

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT DÖŞEME ELEMANLARDA POZİTİF MOMENT TAŞIMA
KAPASİTESİNİN İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Sema YILMAZ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

**KOMPOZİT DÖŞEME ELEMANLARDA POZİTİF MOMENT
TAŞIMA KAPASİTESİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Sema YILMAZ
501041153

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Alper İLKİ (İTÜ)

Y. Doç. Dr. Şevket ÖZDEN (KOÜ)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, 1.0 m x 4.10 m ebatlarında basit kiriş olarak tasarlanan kompozit döşeme elemanların pozitif moment etkisindeki eğilme davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Kesit ve sistem davranışını belirlemeye yönelik mevcut bilgisayar yazılımları bu amaçla geliştirilmiş ve elde edilen deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan kıymetli hocam Y. Doç. Dr. Ercan Yüksel'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmayı destekleyen AL-FA Sınai ve Yatırım Şirketi'ne, teşekkürü bir borç bilirim.

Değerli katkıları için; çalışma süresince yanımda olan, İnş. Yük. Müh. Hasan Anaç'a, İnş. Müh. Serkan Doğan'a, İnş. Yük. Müh. Hakan Saruhan'a, Arş. Gör. Kıvanç Taşkın'a, İnş. Müh. Serhat Alkan'a, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı personeline, Yapı Malzemesi Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

MAYIS 2008

Sema YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.3. Önceki Çalışmalar	2
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	8
2.1. Malzeme Deneyleri	8
2.1.1. Beton Deneyleri	8
2.1.1.1. 28 Günlük Beton Silindir Basınç ve Elastisite Modülü Deneyi	9
2.1.1.2. 69 Günlük Beton Silindir Basınç ve Elastisite Modülü Deneyi	11
2.1.1.3. Beton Çekme Dayanımını Belirlemeye Yönelik Deneyleri	13
2.1.2. Çelik Deneyleri	13
2.1.2.1. Hasır Donatı Çekme Deneyi	14
2.1.2.2. Düz Sac Çekme Deneyi	16
2.1.2.3. Katlanmış Sac Çekme Deneyi	17
2.2. Sistem Deneyleri	19
2.2.1. Numunelerin Üretim Süreci	19
2.2.2. Numunelerin Genel Özellikleri	20
2.2.3. Deney Numuneleri	22
2.2.3.1. Tüm Numuneler İçin Ölçüm ve Yükleme Düzeneği	23
2.2.3.2. CS_1S_H150_S08_1_1400	27
2.2.3.3. CS_1S_H150_S08_2_1400	35
2.2.3.4. CS_1S_H150_S08_3_2400	43
2.2.3.5. CS_1S_H150_S08_4_2400	52

2.2.3.6. CS_1S_H150_S08_5_3200	60
2.2.3.7. CS_1S_H150_S08_6_3200	68
2.3. Deneysel Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması	76
2.3.1. Kayma Açıklığı Aynı Numunelerde Düşey Yük-Düşey Yerdeğiştirme Karşılaştırılması	76
2.3.2. Tüm Numunelerde Sağ ve Sol Mesnet Aderans Kaybı Karşılaştırılması	79
3. KURAMSAL ÇALIŞMALAR	86
3.1. Kompozit Kesitte Moment-Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi	86
3.2. Düşey Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Elde Edilmesi	90
3.3. Deneysel ve Kuramsal Sonuçlarının Karşılaştırılması	90
4. SONUÇLAR	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	99

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Deney Tarihleri ve Silindir Numune Adetleri	8
Tablo 2.2 28 Günlük Silindir Basınç Dayanımları ve Elastisite Modülü Değerleri	10
Tablo 2.3 69 Günlük Numune Silindir Basınç Dayanımları ve Elastisite Modülü Değerleri	11
Tablo 2.4 Beton Eğilme Deneyi Numune Özellikleri	13
Tablo 2.5 Beton Eğilme Deneyi Sonuçları	13
Tablo 2.6 Numuneler ve Gerçekleşen Geometrik Büyüklükler	20
Tablo 2.7 Kayma Deneyine Ait Ayrıntılar	84
Tablo 3.1 Eşdeğer Kompozit Kesitteki Donatı Dağılımı	87

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Silindir Numunelerinin Hazırlanışı	9
Şekil 2.2 : 28 Günlük Beton Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Deney Düzeneği	9
Şekil 2.3 : Numune 1'in 28 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafığı	10
Şekil 2.4 : Numune 2'nin 28 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafığı	10
Şekil 2.5 : 28 Günlük Deneylere Ait Karşılaştırılma	11
Şekil 2.6 : Numune 3'ün 69 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafığı	12
Şekil 2.7 : Numune 4'ün 69 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafığı	12
Şekil 2.8 : 69 Günlük Deneylere Ait Karşılaştırılma	12
Şekil 2.9 : Hasır Donatı Deneyinden Bazı Görüntüler	14
Şekil 2.10 : Hasır Donatı Numunelerine Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	15
Şekil 2.11 : Düz Sac Çekme Deneyinden Bazı Görüntüler	16
Şekil 2.12 : Düz Sac 1'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	16
Şekil 2.13 : Düz Sac 2'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	17
Şekil 2.14 : Düz Sac 3'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	17
Şekil 2.15 : Katlanmış Sac 1'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	18
Şekil 2.16 : Katlanmış Sac 2'ye Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	18
Şekil 2.17 : Katlanmış Sac 3'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafığı	18
Şekil 2.18 : Döşeme Numunelerinde Kullanılan Kayma Kaması Boyutları	19
Şekil 2.19 : Döşeme Numunelerinin Üretim Aşamalarında Çekilen Bazı Fotoğraflar	19
Şekil 2.20 : Döşeme Geometrik Büyüklükleri	20
Şekil 2.21 : Trapez Sac Boyut ve Özellikleri	21
Şekil 2.22 : Kompozit Döşeme Numunesi Perspektif Görünüşü	22
Şekil 2.23 : Kompozit Döşeme Numuneleri Boyutları	23
Şekil 2.24 : Numunelerde Yükleme Düzeneği	24
Şekil 2.25 : Mesnet Numaraları	24
Şekil 2.26 : Açıklık Ortası Alt Şekildeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi	24
Şekil 2.27 : Numunelerde Uygulanan Farklı Kayma Açıklıkları	25
Şekil 2.28 : Tüm Numuneler İçin Ölçüm ve Yükleme Düzeneği	26
Şekil 2.29 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri	27
Şekil 2.30 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesinin Deney Öncesi Görünümü	28

Şekil 2.31	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	28
Şekil 2.32	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	29
Şekil 2.33	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesinde Gözlenen Hasarlar	29
Şekil 2.34	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği	30
Şekil 2.35	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Ortası için q- δ Grafiği	31
Şekil 2.36	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 1. Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği	31
Şekil 2.37	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	32
Şekil 2.38	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	32
Şekil 2.39	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	32
Şekil 2.40	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri	33
Şekil 2.41	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Basınç Bölgesi MUSG Şekildeğiştirme Ölçeri	33
Şekil 2.42	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı	34
Şekil 2.43	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı	34
Şekil 2.44	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri	35
Şekil 2.45	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesinin Deney Öncesi Görünümü	36
Şekil 2.46	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Üst Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	36
Şekil 2.47	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	37
Şekil 2.48	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	37
Şekil 2.49	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesinin Hasar Sonrası Resmi	38
Şekil 2.50	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği	38
Şekil 2.51	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Ortası için q- δ Grafiği	39
Şekil 2.52	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 1. Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği	40
Şekil 2.53	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	40
Şekil 2.54	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	40
Şekil 2.55	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	41

Şekil 2.56	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri	41
Şekil 2.57	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Basınç Bölgesi MUSG Şekildeğiştirme Ölçeri	41
Şekil 2.58	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı	42
Şekil 2.59	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı	42
Şekil 2.60	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri	44
Şekil 2.61	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü	44
Şekil 2.62	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Üst Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	45
Şekil 2.63	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	45
Şekil 2.64	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	46
Şekil 2.65	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Sol ve Sağ Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	46
Şekil 2.66	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesinin Deney Sonrası Resimleri	47
Şekil 2.67	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği	47
Şekil 2.68	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri	48
Şekil 2.69	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P- Şekildeğiştirme Grafiği	48
Şekil 2.70	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği	49
Şekil 2.71	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı	49
Şekil 2.72	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı	50
Şekil 2.73	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	50
Şekil 2.74	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	51
Şekil 2.75	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	51
Şekil 2.76	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri	52
Şekil 2.77	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü	53
Şekil 2.78	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Üst Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	53
Şekil 2.79	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	54
Şekil 2.80	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	54

Şekil 2.81	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesinin Deney Sonrası Görünümü	55
Şekil 2.82	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği	56
Şekil 2.83	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri	56
Şekil 2.84	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P- Şekildeğiştirme Grafiği	57
Şekil 2.85	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği	57
Şekil 2.86	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı	58
Şekil 2.87	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı	58
Şekil 2.88	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	59
Şekil 2.89	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	59
Şekil 2.90	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	59
Şekil 2.91	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri	61
Şekil 2.92	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü	61
Şekil 2.93	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	62
Şekil 2.94	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	62
Şekil 2.95	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesinin Deney Sonrası Görünümü	63
Şekil 2.96	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği	64
Şekil 2.97	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri	64
Şekil 2.98	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P-Şekildeğiştirme Grafiği	65
Şekil 2.99	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği	65
Şekil 2.100	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kayması	66
Şekil 2.101	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kayması	66
Şekil 2.102	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	67
Şekil 2.103	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	67
Şekil 2.104	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	67
Şekil 2.105	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri	69

Şekil 2.106	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü	69
Şekil 2.107	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	70
Şekil 2.108	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi	70
Şekil 2.109	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesinin Deney Sonrası Görünümü	71
Şekil 2.110	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği	72
Şekil 2.111	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Açıklık MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçer	72
Şekil 2.112	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P- Şekildeğiştirme Grafiği	73
Şekil 2.113	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği	73
Şekil 2.114	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Sol Kenar Aderans Kayması	74
Şekil 2.115	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Sağ Kenar Aderans Kayması	74
Şekil 2.116	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	75
Şekil 2.117	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	75
Şekil 2.118	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği	75
Şekil 2.119	: Kayma Açıklığı 1400 mm. Olan Numunelerde Düşey Yük-Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması	77
Şekil 2.120	: Kayma Açıklığı 2400 mm. Olan Numunelerde Düşey Yük-Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması	78
Şekil 2.121	: Kayma Açıklığı 3200 mm. Olan Numunelerde Düşey Yük-Deplasman Grafiklerinin Karşılaştırılması	78
Şekil 2.122	: Kayma Açıklığı 1400 mm. Olan 1. Numunede Düşey Yük-Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	79
Şekil 2.123	: Kayma Açıklığı 1400 mm. Olan 2. Numunede Düşey Yük-Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	79
Şekil 2.124	: Kayma Açıklığı 2400 mm. Olan 3. Numunede Düşey Yük-Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	80
Şekil 2.125	: Kayma Açıklığı 2400 mm. Olan 4. Numunede Düşey Yük-Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	80
Şekil 2.126	: Kayma Açıklığı 3200 mm. Olan 5. Numunede Düşey Yük-Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	81
Şekil 2.127	: Kayma Açıklığı 3200 mm. Olan 6. Numunede Düşey Yük-Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	81
Şekil 2.128	: Tüm Numunelerde Sağ Mesnet Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	82
Şekil 2.129	: Tüm Numunelerde Sol Mesnet Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması	82
Şekil 2.130	: Numune Yükleme Durumu	83
Şekil 2.131	: Aderans Grafiğinde Kritik Noktaların Tanımı.....	84

Şekil 2.132	: Tüm Numunelerde $P/P_{max}=0.90$ Durumuna Ait Elastik Eğri Karşılaştırılması	85
Şekil 3.1	: Eşdeğer Kompozit Kesit	86
Şekil 3.2	: Beton Malzeme Modeli	87
Şekil 3.3	: Hasır Donatı Malzeme Modeli	88
Şekil 3.4	: Katlanmış Sac Malzeme Modeli	88
Şekil 3.5	: $\tau=0$ için Kompozit Kesite Ait Moment-Eğrilik İlişkisi	89
Şekil 3.6	: $\tau=2 \text{ kg/cm}^2$ Kompozit Kesite Ait Moment-Eğrilik İlişkisi ...	89
Şekil 3.7	: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması	91
Şekil 3.8	: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması	91
Şekil 3.9	: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması	92
Şekil 3.10	: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması	92
Şekil 3.11	: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması	93
Şekil 3.12	: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması	93

SEMBOL LİSTESİ

ϕ	: Donatı çapı
h_{silindir}	: Beton silindir yüksekliği
d_{silindir}	: Beton silindir numune çapı
P_{max}	: En büyük düşey kuvvet
σ_{max}	: Gerilme
E_c	: Beton elastisite modülü
b	: Numune genişliği
Gf	: Özgül yüzey enerjisi
W_{muk}	: Mukavemet momenti
M_{max}	: Maksimum eğilme momenti
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik silindir basınç dayanımı
d_d	: Trapez döşeme sacın ağırlık merkezi yatay ekseninin, döşeme kirişi üst kotuna olan mesafesi
d	: Trapez döşeme sacın ağırlık merkezi yatay ekseninin, döşeme betonu üst kotuna olan mesafesi
d'	: Döşeme donatısı ile döşeme betonu üst kotu arasındaki mesafe
h'	: Döşeme donatısı ile döşeme kirişi üst kotu arasındaki mesafe
ΣP	: Toplam düşey kuvvet
L	: Döşeme açıklığı
e	: Kayma açıklığı
l	: İki yük kolu arasındaki mesafe
ϵ_{max}	: En büyük şekildeğiştirme değeri
δ_{max}	: En büyük yerdeğiştirme değeri
τ	: Kayma dayanımı
T	: Kesme kuvveti

KOMPOZİT DÖŞEME ELEMANLARDA POZİTİF MOMENT TAŞIMA KAPASİTESİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Kompozit döşemeler ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun en büyük nedeni kompozit döşemelerin sağladığı avantajlardır. Hızlı üretilebilmesi, ekonomik ve hafif oluşu, alta yerleştirilen çelik sacın donatı görevi dışında kalıp görevi görmesinden dolayı imalatı sırasında geniş çalışma sahası oluşturması, yeterli tesisat boşluğu olanağı sağlaması başlıca üstünlükleridir.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan trapez formu sac elemanlar kullanılarak oluşturulmuş, benzer sac kalınlığı ve döşeme yüksekliğine sahip 6 adet 4.10 m açıklıklı basit kiriş kompozit döşeme numunesi düşey yükler etkisinde denenmiştir. Her bir numune için başta ilk çatlama yükü-ilk çatlama yerdeğiştirmesi, ilk akma yükü-ilk akma yerdeğiştirmesi, en büyük yük-en büyük yerdeğiştirme, aderans kaybı değerleri olmak üzere çok sayıda önemli veri elde edilmiştir.

Deney numunelerinin tasarımında [1] numaralı referans kullanılmıştır. Teorik çalışmada M-KAPA.EXE isimli bilgisayar yazılımında, beton ile sac arasındaki davranış ilişkisi programa yansıtılmış ve moment-eğrilik bağıntısı elde edilmiştir. Elde edilen moment-eğrilik ilişkisi DOC2B.EXE yazılımına giriş bilgisi olarak verilerek sisteme ait yük-yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Ulaşılan kuramsal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Birinci bölümde, çalışmanın amacı ve bu konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde, deney numunelerini oluşturan malzemelere ait deneyler ve deney numunelerinin üretim sürecine ait bilgiler yer almaktadır. Bu bölümdeki malzeme

deneyleri; beton, hasır donatı ve katlanmış sac deneylerini kapsamaktadır. Ayrıca sistem deneyleri olarak 6 adet tek açıklıklı kompozit döşeme numunesi deneyine ait sonuçlar sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde, M-KAPA.EXE ve DOC2B.EXE programları ile yapılan kuramsal çözümler yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

EVALUATION ON THE POSITIVE MOMENT CAPACITY OF COMPOSITE SLABS

SUMMARY

Composite slabs are widely used in construction industry. Throughout this study presented as M.Sc. Thesis, positive moment capacity of composite slabs is investigated.

The thesis consists of experimental and theoretical studies on composite slabs, which have same steel sheet thickness and slab height. The 1/1 scaled six specimens were tested as simply supported beam. For each specimens; the initial crack load, the initial crack displacement, yield load, yield displacement, ultimate load, ultimate displacement and slip between concrete and steel layers are measured.

Design of the test specimens are completed according to [1]. Analytical analyses are performed using the existing computer programs, called M_KAPA.EXE and DOC2B.EXE. Mathematical models for steel and concrete are prepared using the results of the performed material tests. Also depending on the experimental experience, some coefficients are suggested for the slip between concrete and steel layers. They were used in M_KAPA.EXE program to generate the sectional moment-curvature relations. The calculated moment-curvature relations and the other types of data about the specimens are entered to the computer program of DOC2B.EXE to generate load-displacement relations.

The first chapter gives general information and contents of the thesis.

In the second chapter, the performed experimental studies are presented. They includes material tests (concrete, mesh wire and steel sheet tests) and 1/1 scaled composite slab tests. Production process of composite slabs and the obtained test results are explained in detail.

In the third chapter, analytical studies are presented. The analytical works are aimed to obtain sectional moment-curvature and system load-displacement curves.

In the last chapter, the results of analytical and experimental studies are compared. It is found out that there is a good agreement between the results.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Günümüzde kompozit döşemeler, sağladığı birçok avantaj nedeniyle geniş kullanım alanına sahiptir. Bu avantajların başında; hafiflik, ekonomiklik, hızlı imalat süreci, kalıp görevinden dolayı rahat imalat alanı oluşturmaları, yeterli tesisat boşluğu olanağına sahip olması gibi nedenler gelmektedir. Kompozit döşemelerde kompozit davranış sac ve betonun tam olarak birlikte çalışmasına bağlıdır. Kompozit döşemelerde kullanılan sacdaki kabartmalar ve kayma kamaları sayesinde sac ile beton arasındaki aderans sağlanmaktadır. Kompozit döşeme elemanlarında farklı göçme modlarına ulaşılabilmektedir. Bu modlar : (1) Kayma-aderans kaybı, (2) Eğilme göçme modunda alt donatıda kopma, (3) Eğilme göçme modunda üst başlıkta betonda ezilmedir [2]. Kompozit döşemelerde göçme modu büyük önem taşımaktadır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Yukarıda da belirtildiği gibi; kompozit döşemelerde göçme modu, taşıma kapasitesinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu kompozit döşemeyi oluşturan elemanların geometrik şekil ve yerleşimine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun belirlenmesi için şimdiye kadar 1/1 ölçekte birçok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tür çalışmalar büyük maliyetler getirmektedir. Bu tez çalışması, göçme modlarından biri olan eğilme göçmesi durumunda pozitif moment taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik deneysel ve kuramsal çalışmaları içermektedir. Sac kalınlıkları aynı, döşeme yükseklikleri farklı olarak tasarlanan [1] 6 adet kompozit döşeme numunesi düşey yükler etkisinde denenmiştir. M-KAPA.EXE isimli programda, beton ile sac arasında aderans için öngörülen davranış modeli programa tanıtılmış, M- χ bağıntısı elde edilmiştir. Elde edilen M- χ bağıntısı DOC2B.EXE programına aktarılarak numunelere ait yük-yerdeğiştirme grafikleri elde edilmiştir.

1.3 Önceki Çalışmalar

1976 yılında Max L. Porter, A. M. ASCE ve Carl E. Ekberg [2] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşeme elemanlarına ait tasarımla ilgili tavsiyelerde bulunmuştur. Kompozit döşemelerde soğukta şekil verilmiş sacların kalıp görevi yanında çekme donatısı olarak da kullanılmasının büyük avantajlar sağladığı belirtilmiştir. Kompozit döşemelerdeki çalışma mekanizması sac ve beton arasındaki aderansın tam olmasına bağlıdır. Yazarlara göre bu aderans kabartmalarla, hasır donatılarla, çukur ve çıkıntılar gibi geometrik şekillerle ve sac yüzeyinin sürtünme direnciyle sağlanmaktadır. Ayrıca kompozit davranış eklenen kayma kamaları ve benzer elemanlarla arttırılabilir. Kompozit döşeme elemanlarında yük taşıma kapasitesinin göçme moduna bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Bu modlar : (1) Kayma-aderans kaybı, (2) Eğilme göçme modunda alt donatıda kopma, (3) Eğilme göçme modunda üst başlıkta betonda ezilmedir. Bu çalışmada 353 adet numune dayanımı belirlenmek üzere test edilmiştir. Çoğu numunede kayma-aderans kaybı göçmesi görülmüştür ve en belirgin göstergesi, oluşan diyagonal çekme çatlakları ile beton ve sac arası oluşan belirgin kaymadır. Elde edilen deney sonuçlarına *m-k metodu* kullanılarak kayma-aderans kaybı dayanımı elde edilmiştir.

Byron J. Daniels ve Michel Crisinel (1993-1) [3] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerin davranışı ve dayanım analizi araştırılmıştır. Yapılarda kullanılan katlanmış saclar ile oluşturulan kompozit döşemeler için yeni alternatif yöntemlerden oluşan yeni bir hesap yöntemi tanımlanmıştır. Bu yöntem kayma-aderans kaybı test sonuçları ile kompozit döşemelerin dayanımı ve davranışını tahmin eden sayısal bir analizin birleşiminden oluşmaktadır. Bu analiz hem tek açıklık hem de çok açıklıklı sistemler için kullanılabilir. Belirgin bir şekilde beton ve sac arasındaki kimyasal aderans ve beton çekme davranışı betonun gevrek özelliği nedeniyle ihmal edilmiştir. Bu yöntemin gerçek ölçekli deney sonuçlarına göre avantajı; çok yönlülük ve maliyetteki azalma, servis yükleri altındaki yerdeğiştirme, kayma kamaları kullanımı gibi ilave etkileri göz önünde bulundurma, açıklıktaki ilave pozitif moment donatısı, iç mesnetlerdeki negatif moment donatısının kolaylıkla tahmin edilmesi olduğu belirtilmiştir. Bu hesap yönteminin, yeni döşeme tiplerinin geliştirilmesinde ve mevcut döşemelerin performansını arttırmak amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir. Hesap örnekleri tek açıklıklı

kompozit döşemeler için hazırlanmıştır. Bu iki yöntem avantaj ve dezavantajlarıyla karşılaştırılmıştır.

Byron J. Daniels ve Michel Crisinel (1993-2) [4] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerin davranışı ve dayanım analizinde test sonuçları ve parametrik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada katlanmış sactan yapılmış tek ve çok açıklıklı kompozit döşemelerin deney sonuçları sunulmuştur. Bu deneylerde açıklık sayısı, katlanmış sac üzerinde çıkıntılarının var olup olmayışı, kayma kamalarının varlığı, iç mesnetlerdeki negatif moment donatıları değişken olarak incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle kayma-aderans kaybı test sonuçları kullanılarak geliştirilen hesap yöntemi sonuçları ile standart test sonuçları bir örnekte karşılaştırılmıştır. Parametrik analizler narinlik oranı limiti kullanılarak 3 farklı tip sac geometrisi için gerçekleştirilmiştir. Sac tipleri geniş ölçüde kayma-aderans kaybı bağlantılarının özelliklerinin belirlenmesi için seçilmiştir. Narinlik oranı, açıklığın toplam döşeme uzunluğuna oranı olarak tanımlanmıştır. 11 adet parametrenin etkisi her bir sac ve narinlik için araştırılmıştır. Servis yükleri altındaki yerdeğiştirme limiti ($L/250$), en büyük yerdeğiştirme limiti ($L/50$), en büyük yük taşıma kapasitesi gibi etkenler üzerinde durulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; tek açıklıklı döşemelerde kayma kaması olmadan ve ek donatısız hesap yöntemi, deneylerle yakın sonuçlar vermiştir. Narinlik oranı ile en büyük yük taşıma kapasitesinin tasarım için limit olmadığını, ancak esas alınması gereken kriterin açıklık ortasında tanımlanan yerdeğiştirme olduğu belirtilmiştir. Bu yöntemle orta açıklık yerdeğiştirmesinin hem tek hem de çok açıklıklı döşemelerde tahmin edilebileceği belirtilmiştir. ASCE tasarım yönetmeliğinde birçok parametrenin yer almadığı, belirtilmiştir. Katlanmış sac üzerindeki çıkıntılarının en büyük yük taşıma kapasitesi ve süreklilik üzerinde önemli etkisi olduğu belirtilmiştir.

2000 yılında Clinton D. Rex ve Samuel Easterling [5] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerin çekme kuvveti etkisi altındaki davranışı araştırılmıştır. Kısmen dönmesi engellenmiş kompozit döşemelerde yük-yerdeğiştirme davranışının belirlenebilmesi için moment-dönme davranışının da belirlenmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Bu nedenle yük-yerdeğiştirme davranışının tahmininde kullanılan bir modelin geliştirilmesinden söz edilmiştir. Bu model, kompozit döşemelerin yük-yerdeğiştirme davranışının belirlenmesi için 4 adet gerçek ölçekte deneye ait

sonuçların karşılaştırılabilmesi için oluşturulmuştur. Kompozit döşemelerde, yük-yerdeğiştirme davranışının tahmin edilmesi için, çelik donatıların, betonun çekme dayanımının ve kayma kamalarının davranışının modellenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu üç davranış modelinden kompozit döşeme davranış modeline geçilebileceğini göstermişlerdir.

L.H. Lee, S.T. Quek ve K.K. Ang (2000) [6] tarafından yapılan çalışmada; soğukta şekil verilen çelik sac ve betondan oluşan kompozit döşemelerin eğilme momenti etkisindeki davranışı araştırılmıştır. Farklı kalınlık ve farklı donatı oranlarına sahip 10 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Her bir numune için basit bir analitik model kullanılarak negatif moment kapasiteleri tahmin edilerek deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bunun neticesinde kompozit döşemelerin sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir. Kompozit döşemelerin sünekliliğinin kullanılan çelik donatının malzeme özelliklerine bağlı olarak arttırılabileceği belirtilmiştir.

2002 yılında S.Chen [7] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerin yük taşıma kapasitesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Kompozit döşeme elemanlarının geleneksel döşeme elemanlarından daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğu ve kompozit döşemelerin yük taşıma kapasitesinin sac ve beton arakesitindeki kayma-aderans kaybı dayanımına bağlı olduğundan bahsedilmiştir. En üst seviyede, çekme kuvvetlerinin kompozit döşemelerde negatif eğilme donatılarına aktarıldığı ve kayma-aderans kaybının bu bölgede yük taşıma kapasitesi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir. Kompozit döşemelerin kesme-aderans davranışının belirlenmesinde 7 adet basit kiriş ve 2 adet sürekli kiriş deneyi yapılmıştır. Farklı serbestliklere sahip mesnetler tasarlanmıştır. Kayma kamalı döşemelerin kayma kamasız döşemelere göre daha fazla kayma-aderans kaybı dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Kayma-aderans kaybı dayanım grafiğinde lineer bir indirgeme uygulanarak kalibre edilmiştir. Sürekli kompozit döşemelerde kayma-aderans kaybı dayanımının tahmininde, kayma-aderans modelinin elde edilmesi önerilmiştir. Bununla beraber sürekli döşemelerde kesme açıklığının eğilme bölgesine bağlı olduğu ve bu değerın basitçe kenar mesnetlerde $0.8L$, ara mesnetlerde ise $0.6L$ 'lik mesafede olması gerektiği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; düşer kesme kuvvetinin, kayma-aderans kaybı dayanımına oranı basit kirişte 1.065, iki açıklıklı sürekli kompozit kirişler için 1.165 olduğu ve güvenli

tarafında kalındığı gösterilmiştir. Kesme-aderans göçmesi nedeniyle açıklık momentinin, plastik moment seviyesine ulaşamadığı gözlenmiştir.

2003 yılında J.W.B. Stark, J.W.P.M. Brekelmans [8] tarafından yapılan çalışmada; sürekli kompozit döşemelerin plastik tasarımı üzerine araştırmalar yapılmıştır. Günümüzde sürekli kompozit döşemelerin tasarımında basitleştirilmiş hesap yöntemlerinin kullanıldığından söz edilmiştir. Moment dağılımında plastik mafsalların yeterli dönme kapasitesine sahip olmaması durumunda, plastik analize dayalı tasarıma izin verilmediği ifade edilmiştir. Negatif eğilmeye yönelik deneysel çalışma Eindhoven Technical University tarafından yürütülmüştür. Bu araştırmalardan kesitteki kuvvet dağılımı, sürekli döşemelerin plastik eğilme analizinin yapılması gibi sonuçlar elde edilmiştir. Günümüzdeki yöntem ve kabullerin çelişkili ve bazen gereksiz olduğu, bununla birlikte yeni kabullerin eklenmesi gerektiği belirtilmiştir

2003 yılında Michel Crisinel ve Frederic Marimon [9] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerin tasarımında yeni bir yöntemden bahsedilmiştir. Kompozit döşemeler basit ve ekonomik yapı elemanları olmalarına rağmen, tasarımlarının oldukça uzun ve karmaşık olduğu belirtilmiştir. Mevcut tasarım standartları ve ilgili kaynaklar, pahalı ve uzun zaman gerektiren deneyler sonucunda oluşturulmuştur. Yazarlar, kompozit döşemelerin davranışının tahmini için yeni bir yaklaşım yöntemi önermişlerdir. Bu yaklaşım metodu, kompozit döşemelerin kritik kesitinde moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi için standart malzeme deneyleri ile basit hesap modeli küçük ölçekli deneylerin birleştirilmesinden oluşmaktadır. Diğer önerilen metotlardan farklı olarak, hesaplar bilgisayar tarafından yaklaşık sayısal hesaplarla bulunmakla kalmayıp, büyük ölçekli deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak doğruluğu gösterilmiştir. Bu da yeni üretilecek olan farklı tip katlanmış sacın tasarımında pahalı ve uzun süreli deneylere gerek kalmaksızın, kolaylık sağlamasına olanak vermektedir.

2005 yılında G. Marciukaitis, B. Jonaitis, J. Valivonis [10] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerde en büyük moment seviyesine kadar meydana gelen yerdeğiştirmelerin analizi yapılmıştır. Kompozit döşemelerde oluşan yerdeğiştirmelerin, doğrudan çelik sac ile beton arasındaki bağlantı elemanlarının rijitliğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Kompozit döşemelerin yerdeğiştirmesine ait bir

hesaplama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem bağlantıların kayma rijitliğini doğrudan gözönünde bulundurmaktadır. Bu metodun bir diğer avantajı ise kompozit döşeme davranışını başlangıçtan en büyük moment düzeyine kadar belirleyebilmesidir. Çalışmada, çelik sac (Holorib tipli) ile beton arasındaki aderans deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarına göre aderansın üç kademede değişiklik gösterdiği görülmüştür. Her bir kademe için aderans özellikleri belirtilmiş ve yerdeğiştirme hesabında kullanılmıştır. Deneysel araştırmalar Holorib tipindeki sac profilin yerdeğiştirmesi üzerinde yürütülmüştür. Yerdeğiştirmedeki değişim başlangıçtan, en büyük yük seviyesine kadar takip edilmiştir. Yerdeğiştirmelerin kuramsal hesapları da yapılmıştır. Deneysel ve kuramsal sonuçlar arasında uyum gözlenmiştir.

2006 yılında V. Marimuthu ve diğerleri [11] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşemelerin kesme-aderans özelliğinin *m-k metodu* ile belirlenmesi araştırılmıştır. Günümüzde kompozit döşemelerin hesabına dair birçok farklı hesap yöntemi olmasına rağmen, davranışlarının henüz tam olarak anlaşılamadığı belirtilmiştir. Soğukta şekil verilmiş levhalarda bulunan çıkıntıların sac ile beton arasındaki aderansı kuvvetlendirdiği belirtilmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, eğilme yükleri altındaki kesme dayanımı belirtilmiştir. Bu çalışmada ise amaç, dış yükler altında çıkıntıların kayma-aderans davranışını belirleyen *m-k* üzerindeki etkisidir. Toplam 18 adet kompozit döşeme numunesi BS20 kalitesindeki beton ile üretilmiş ve 3'lü gruplar halinde kısa ve uzun çeşitli kesme yüklemesine tabi tutulmuştur. Teorik hesaplar Eurocode-4'e göre yapılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre; kompozit plakların davranışının asıl olarak kesme açıklığına bağlı olduğu, kısa açıklıklarda göçme tipi kayma-aderans kaybı göçmesi gözlenirken, açıklık 1.25'den büyükse göçmenin eğilmeden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca bütün numunelerde kayma, yüklemenin ilk kademelerinde gözlenmiştir. Bu yetersizliğin çıkıntı geometrisinde yapılacak değişikliklerle giderilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca mesnetlere kayma kamalarının yerleştirilmesi ve beton kalınlığının arttırılması da önlem olarak kabul edilmiştir. Her bir katlanmış sac için *m* ve *k* değerlerinde değişiklik gözlenmiştir. Bunun bulunabilmesi için her bir tip için deneysel çalışma gerekmektedir. Boyuna kesme dayanımı kapasitesi hem *m-k metodu* ile hem de *kısmi kesme bağlantısı metodu* ile hesaplanmış, sonuçlar arasında ortalama % 26 fark bulunmuştur.

2006 yılında P. Vainiunas, J. Valivonis, G. Marciukaitis, B. Jonaitis [12] tarafından yapılan çalışmada; kompozit döşeme dayanımının beton ve sac arasındaki aderansa bağlı olduğundan hareketle, kompozit döşemelerin boyuna kesme davranışı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hesaplar beton ve sac arasında tam bir aderans bulunduğu ve beton katmanın çatlamış kesit rijitliği göz önünde bulundurularak yapılmıştır. 6 adet deney numunesi denenmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2007 yılında M. Ferrer ve diğerleri [13] yapılan çalışmada; soğukta şekil verilmiş sactan yapılan kompozit döşemelerin tasarımında kayma-göçme mekanizmasının anlaşılması için deneylerle kanıtlanmış sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı beton ile çelik arasındaki kayma mekanizmasının anlaşılabilmesidir. Kompozit döşemelerin boyuna kayma mekanizmasının anlaşılabilmesi için basit kayma deneyi esas alınmıştır. Kesme dayanımının; sürtünme katsayısına, kabartma derinliği ve sac kalınlığına, sac eğimine, sac uzunluğuna, sac genişliğine, kabartmaların yerleşimine ve profilin dış şekline ve açısına bağlı olduğu belirtilmiştir. Yeni bir çelik sac şekli geliştirilmiş ve optimize edilmiştir. Diğer yandan; birçok kayma testi ve *m-k testleri* sonlu elemanlar yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kabartma eğiminin, yüzey sürtünme durumunun ve benzer birçok parametrenin kayma durumunda belirleyici olduğu gözlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney numunelerinin üretiminde, ülkemizdeki mevcut yönetmeliklerde öngörülen beton kalitesi ile uygulamada en sık karşılaşılan koşullar göz önüne alınarak; 25 MPa dayanımlı beton, alt donatı olarak ST-37 kalitesinde çelik sac ve üst donatı olarak da BÇIV kalitesinde Q188/188 hasır çelik kullanılmıştır.[14] Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve malzeme deneylerinden elde edilen sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak verilmektedir.

2.1 Malzeme Deneyleri

2.1.1 Beton Deneyleri

11.05.2007 tarihinde üretimi gerçekleştirilen deney numunelerinde kullanılan betondan, basınç dayanımının belirlenebilmesi amacı ile 4 adet standart silindir (150×300 mm) numune alınmıştır, Şekil 2.1. Bu numuneler Tablo 2.1’de belirtilen gün ve adetlerde deneye tabi tutulmuştur. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan 500 ton kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak; 28. ve 69. günlerde standart silindir basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla TML CM-15 ölçüm çerçevesi (kompresometre) kullanılmıştır. Standart silindirin ölçüm boyundaki (silindir numune yüksekliğinin ortadaki 150 mm’lik bölümü) yerdeğiştirmeleri ölçmek üzere, ölçüm çerçevesine bağlı konumdaki iki adet yerdeğiştirme ölçer (TML CDP-5) kullanılmıştır. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla (TML TDS-302) kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir.

Tablo 2.1: Deney Tarihleri ve Silindir Numune Adetleri

Deney Tarihindeki Beton Yaşı (Gün)	Denenen Numune Sayıları
28	2
69	2



Şekil 2.1: Silindir Numunelerinin Hazırlanışı

2.1.1.1 28 Günlük Beton Silindir Basınç ve Elastisite Modülü Deneyi

Numunelerin üretiminden itibaren 28 gün sonra 2 adet silindir numune (Numune 1, Numune 2) standart basınç ve elastisite modülü deneyine tabi tutulmuştur, Şekil 2.2. Deneye ait silindir basınç dayanımları ve elastisite modülü değerleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

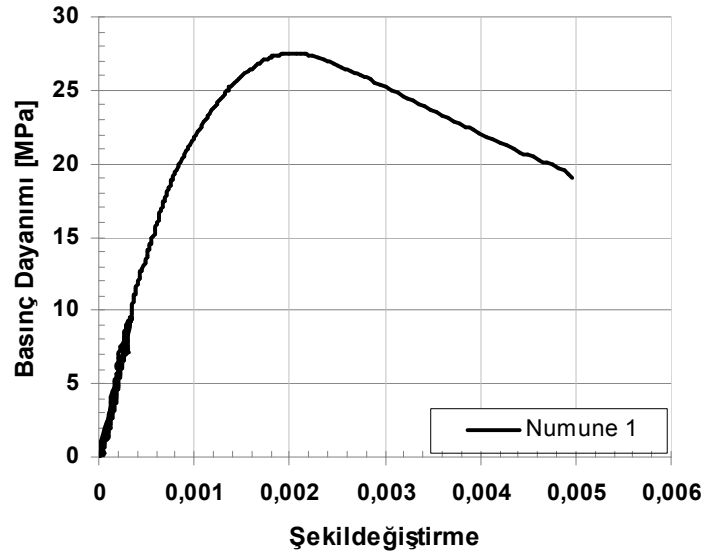
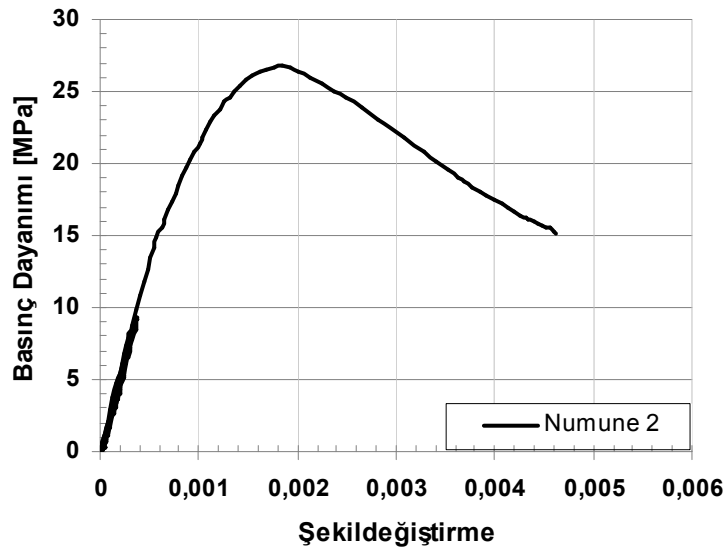


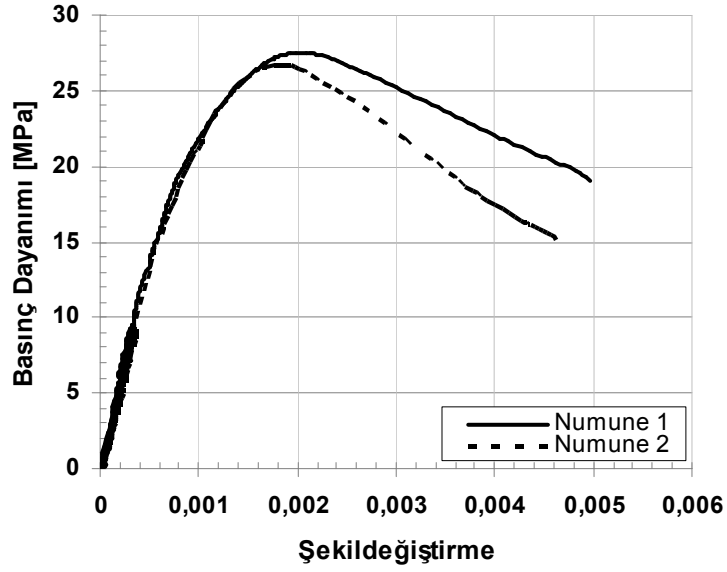
Şekil 2.2: 28 Günlük Beton Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Deney Düzeneği

Tablo 2.2: 28 Günlük Silindir Basınç Dayanımları ve Elastisite Modülü Değerleri

Numune No.	h_{silindir} (Yükseklik) [mm]	d_{silindir} (Çap) [mm]	P_{max} [kN]	σ_{max} [MPa]	E_c (Elastisite Modülü) [MPa]
#1	308	150	486.6	27.5	29273
#2	306	150	480.7	26.7	27239

Numune 1, Numune 2'ye ait 28 günlük beton basınç dayanımı-şekildeğiştirme grafiği Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de verilmiştir. Bu deney sonuçları Şekil 2.5'de karşılaştırılmıştır.

**Şekil 2.3:** Numune 1'in 28 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafiği**Şekil 2.4:** Numune 2'nin 28 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.5: 28 Günlük Deneylere Ait Karşılaştırılma

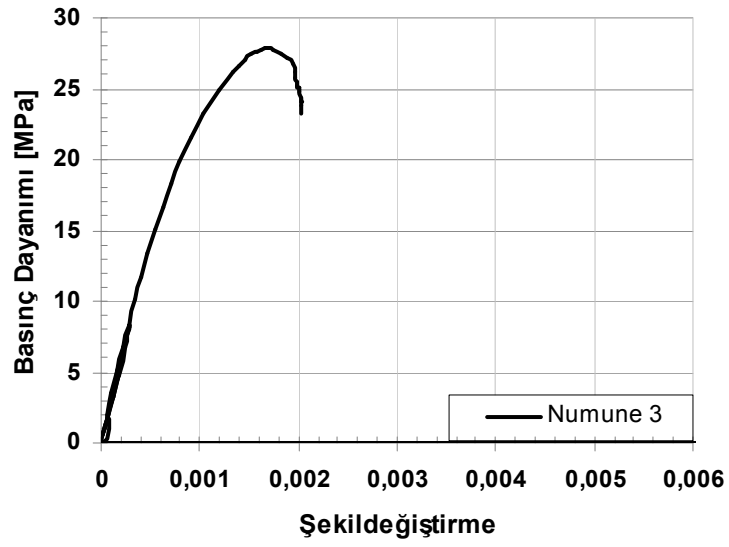
2.1.1.2 69 Günlük Beton Silindir Basınç ve Elastisite Modülü Deneyi

Deney numunelerinin üretiminden itibaren 69 gün sonra 2 adet silindir numune (Numune 3, Numune 4) standart basınç ve elastisite modülü deneyine tabi tutulmuştur. Deneye ait silindir basınç dayanımları ve elastisite modülü değerleri Tablo 2.3’de verilmiştir.

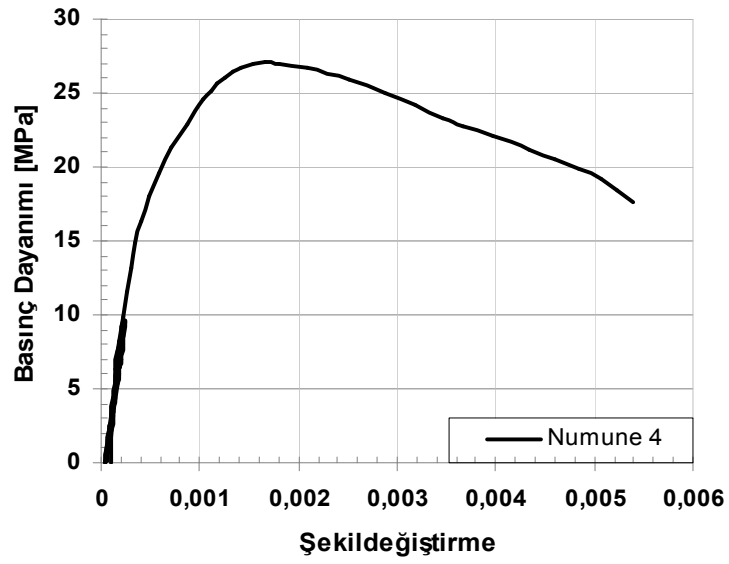
Tablo 2.3: 69 Günlük Numune Basınç Dayanımları ve Elastisite Modülü Değerleri

Numune No.	h_{silindir} (Yükseklik) [mm]	d_{silindir} (Çap) [mm]	P_{max} [kN]	σ_{max} [MPa]	E_c (Elastisite Modülü) [MPa]
#3	309	150	482.7	27.9	29544
#4	308	150	469.9	27.1	37187

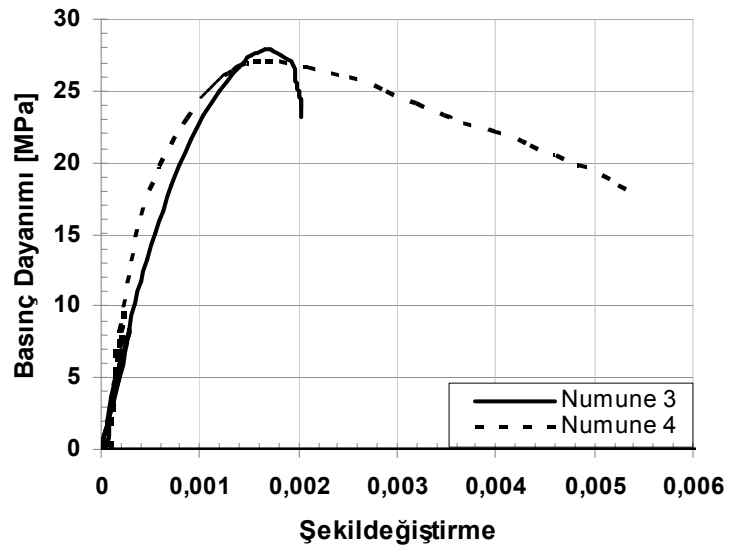
Numune 3, Numune 4’e ait 69 günlük beton basınç dayanımı-şekildeğiştirme grafiği Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de verilmiştir. Bu deney sonuçlarının karşılaştırması da Şekil 2.8’de yapılmıştır.



Şekil 2.6: Numune 3'ün 69 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.7: Numune 4'ün 69 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.8: 69 Günlük Deneylere Ait Karşılaştırılma

2.1.1.3 Beton Çekme Dayanımını Belirlemeye Yönelik Deneyler

Beton eğilme deneylerinde kullanılan 3 adet numune, 100x500 mm'lik dikdörtgen kalıp kullanılarak üretilmiştir. Numunenin açıklık ortasında, yaklaşık numune yüksekliğinin yarısı kadar çentik oluşturularak, kesit zayıflatılmıştır. A, B ve C numunelerine ait özellikler Tablo 2.4'de sıralanmıştır.

Tablo 2.4: Beton Eğilme Deneyi Numune Özellikleri

Numune Adı	Numune Yaşı [gün]	h (Yükseklik) [mm]	Net Yükseklik [mm]	b [mm]
Numune A	34	101	58	500
Numune B	34	99	54	500
Numune C	34	104	59	500

Deney sonuçları ve TS 500 [15] de önerilen bağıntı ile hesaplanan büyüklükler Tablo 2.5'de karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları ve bağıntı ile ulaşılan sonuçların oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 2.5: Beton Eğilme Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Özgül Yüzey Enerjisi G_f [N/m]	P_{max} [N]	M_{max} [N.mm]	W_{muk} [mm ³]	Net Eğilme Dayanımı [MPa]	f_{ctk} [MPa]	f_{ck} [MPa] Silindir Numune 28 Günlük Dayanım	TS 500 $f_{ctk}=0.35\sqrt{f_{ck}}$ [MPa]
A	158	2159.8	215982.4	56627.3	3.81	1.90	27.48	1.83
B	107	1738.3	173831.9	48114.0	3.61	1.80	26.74	1.81
C	99	2248.6	224863.7	60337.3	3.73	1.86	23.95	1.71

2.1.2 Çelik Deneyleri

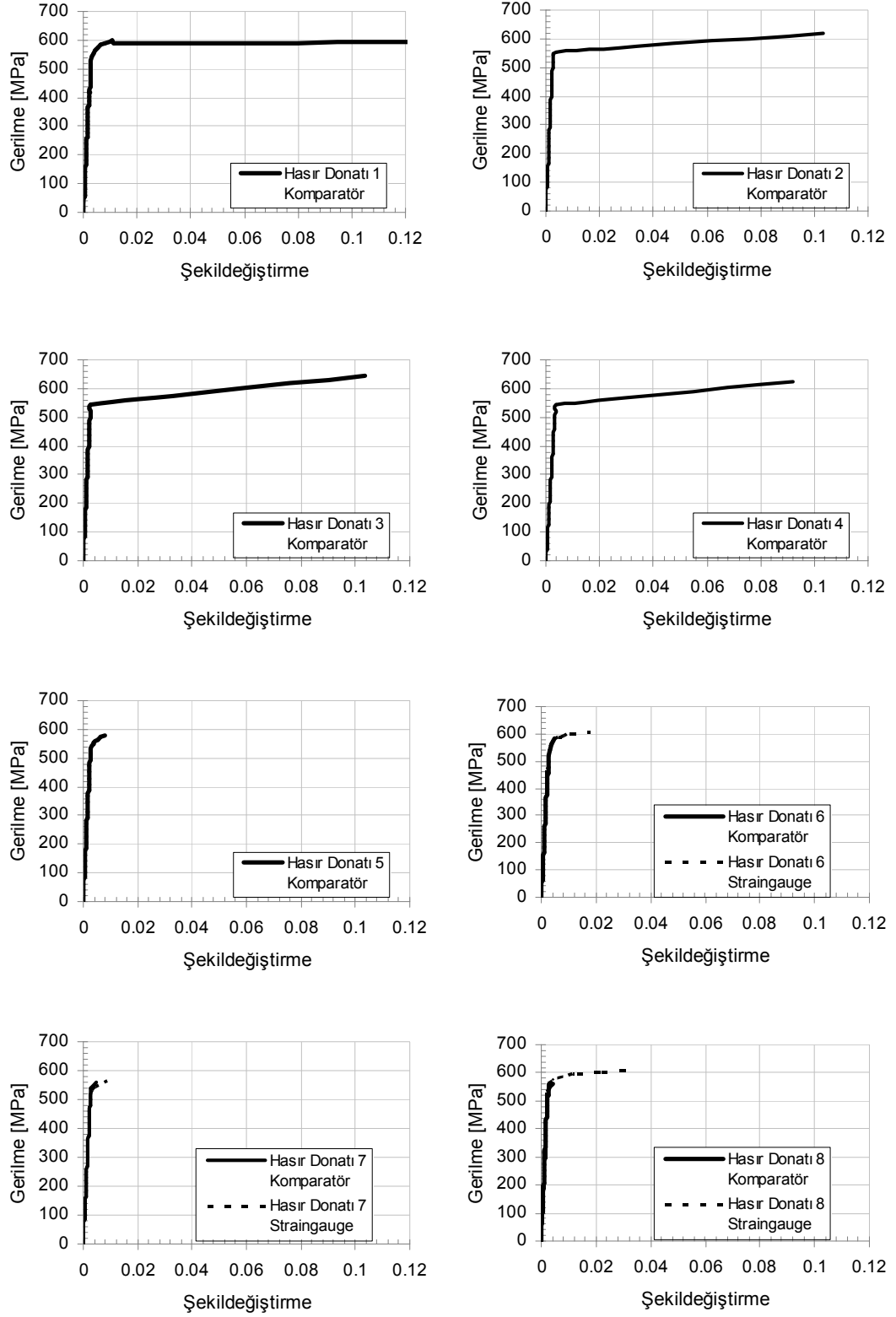
Çelik çekme deneyleri İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında mevcut olan 20 ton kapasiteli Amsler marka mekanik çekme cihazı kullanılarak TS708 standardına [16] uygun olarak yapılmıştır. Çelik deneyleri hasır donatı, düz sac ve katlanmış sac çekme deneyleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

2.1.2.1 Hasır Donatı Çekme Deneyi

Toplam 8 adet Ø6 çapındaki hasır donatı örneğine çekme deneyi uygulanmıştır, Şekil 2.9. Numunelerden 5 tanesinde şekildeğiştirmeler komparatör ile 3 tanesinde ise hem komparatör hem de şekildeğiştirme ölçer ile ölçülmüştür. Tüm numuneler için elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 2.10’da verilmektedir.



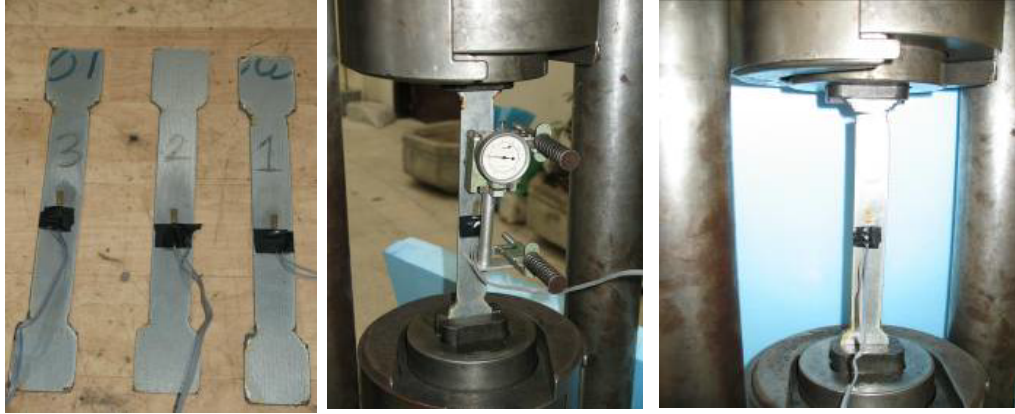
Şekil 2.9: Hasır Donatı Deneyinden Bazı Görüntüler



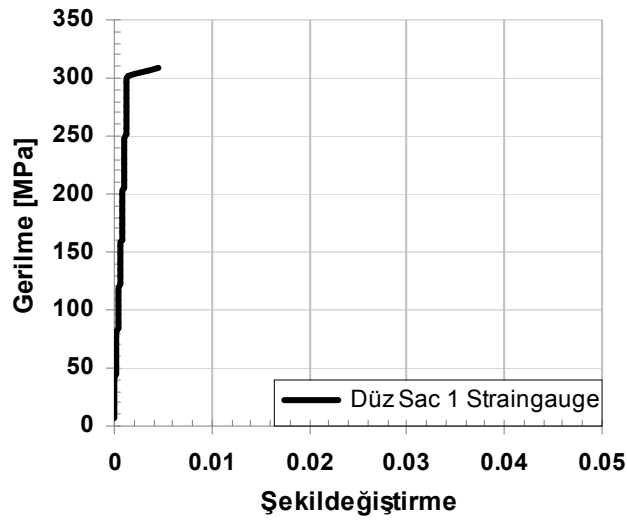
Şekil 2.10: Hasır Donatı Numunelerine Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

2.1.2.2 Düz Sac Çekme Deneyi

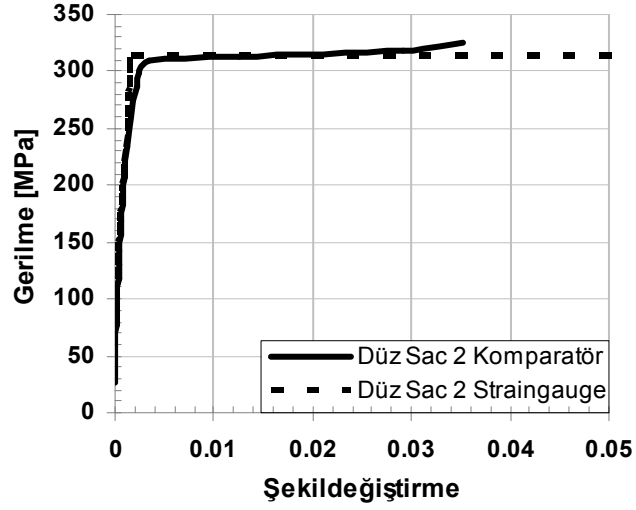
Düz sac çekme deneyi numuneleri, trapez sacın üretildiği sac topundan TS 138' e [17] uygun şablonlar ile kesilerek oluşturulmuştur, Şekil 2.11. Deneyde kullanılan 3 adet sacın et kalınlığı 1.2 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 2.12, Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de verilmiştir.



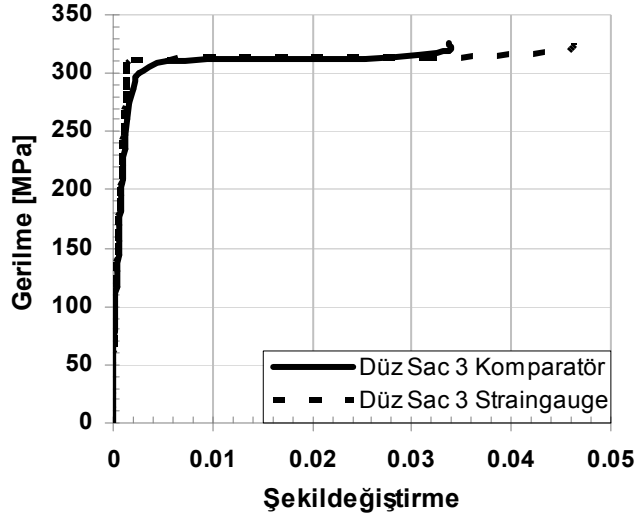
Şekil 2.11: Düz Sac Çekme Deneyinden Bazı Görüntüler



Şekil 2.12: Düz Sac 1'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği



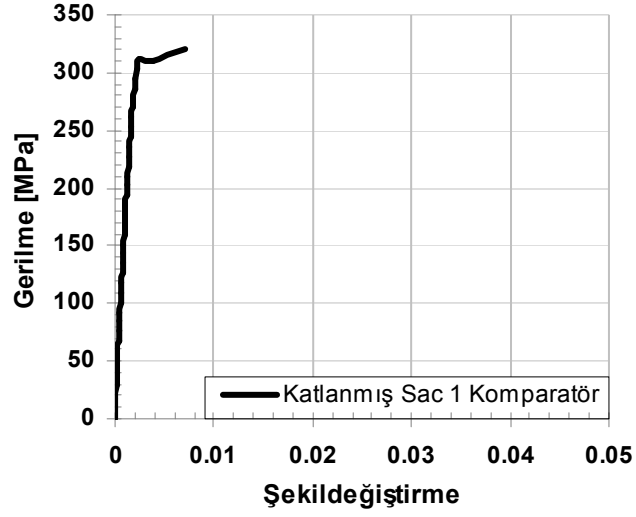
Şekil 2.13: Düz Sac 2’ e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği



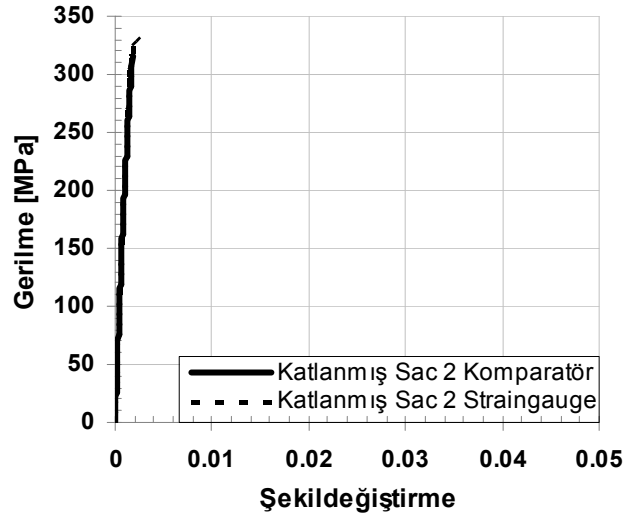
Şekil 2.14: Düz Sac 3’ e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

2.1.2.3 Katlanmış Sac Çekme Deneyi

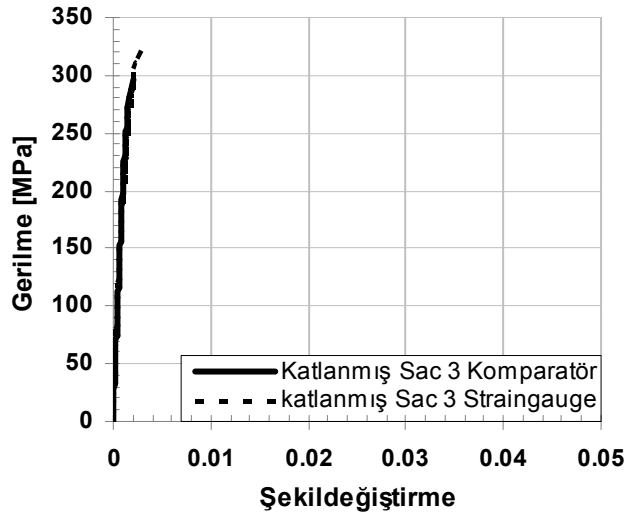
Katlanmış sac çekme deneyinde, kompozit döşeme üretiminde kullanılan trapez sacın uygun bölümlerinden TS 138 standardında [17] belirtilen ölçülerde kesilen 3 adet örneği kullanılmıştır. Alınan numunelerin ölçülen et kalınlıkları yaklaşık 1.00 mm dir. Çekme deneyinde, şekildeğiştirmeler ilk numunede komparatör ile diğer 2 numunede ise hem komparatör hem de şekildeğiştirme ölçer ile yapılmıştır. Elde edilen gerilme şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 2.15, Şekil 2.16, ve Şekil 2.17’de verilmektedir.



Şekil 2.15: Katlanmış Sac 1'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.16: Katlanmış Sac 2'ye Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

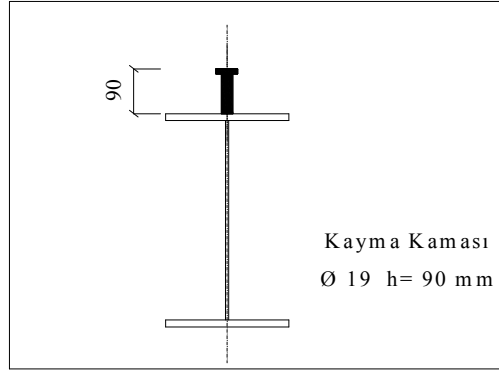


Şekil 2.17: Katlanmış Sac 3'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

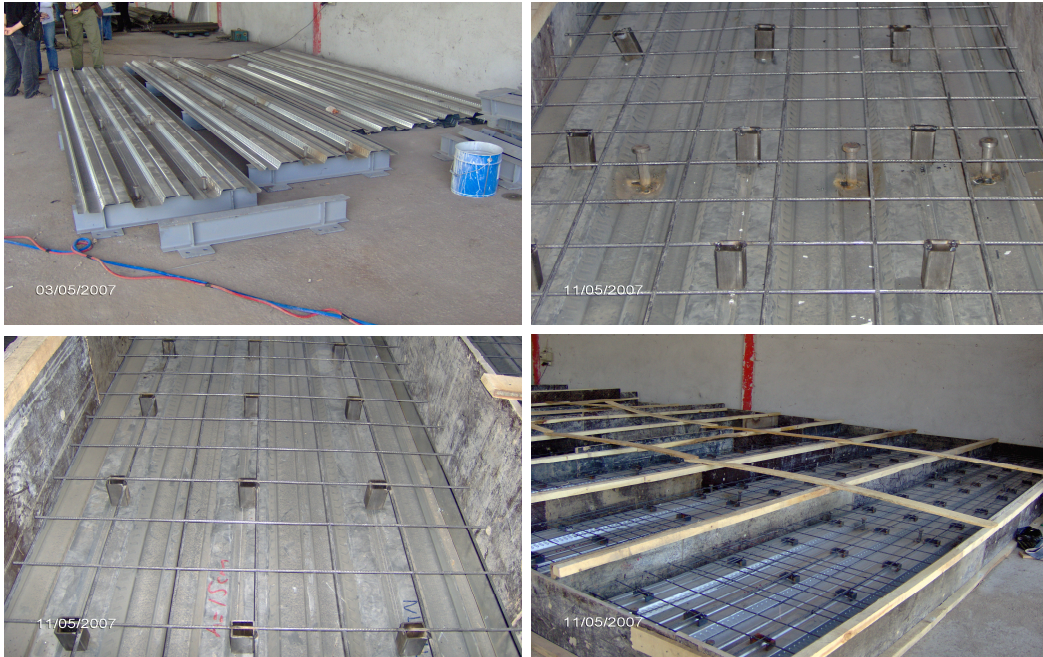
2.2 Sistem Deneyleri

2.2.1 Numunelerin Üretim Süreci

Tüm numuneler 11.05.2007 tarihinde, üretim tesisinde kontrollü olarak üretilmiş ve dört hafta sonra İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarına sevk edilmiştir. Üretim aşamasında; mesnet kirişleri istenilen aralıklarda yerleştirilerek üzerine trapez sac serilmiş, kiriş trapez sac bağlantısı 3 adet/m olacak biçimde Şekil 2.18’de gösterilen 19 mm çaplı kayma kamaları ile sağlanmıştır. Pas payları ise 6 numunenin hepsi teorik olarak aynı yükseklikte trapez sac üzerine puntolanan 80 mm yüksekliğindeki çelik parçalar ile sağlanmıştır. Üretim aşamasında çekilen bazı fotoğraflar Şekil 2.19’de yer almaktadır.



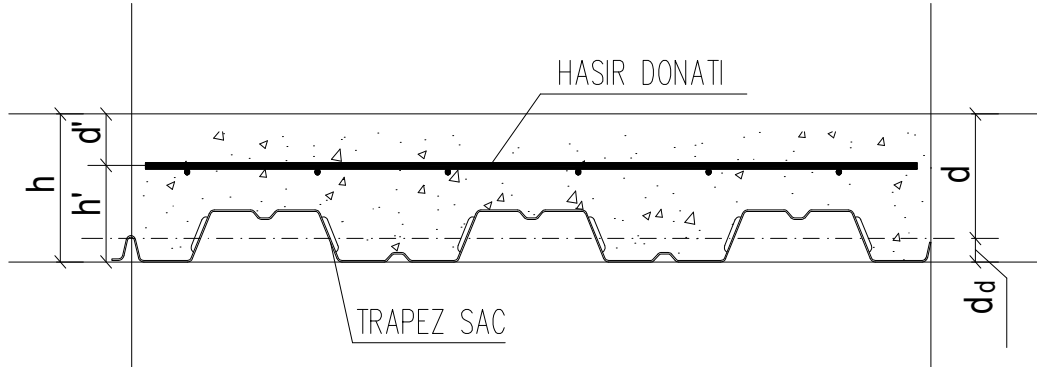
Şekil 2.18: Döşeme Numunelerinde Kullanılan Kayma Kaması Boyutları



Şekil 2.19: Döşeme Numunelerinin Üretim Aşamalarında Çekilen Bazı Fotoğraflar

2.2.2 Numunelerin Genel Özellikleri

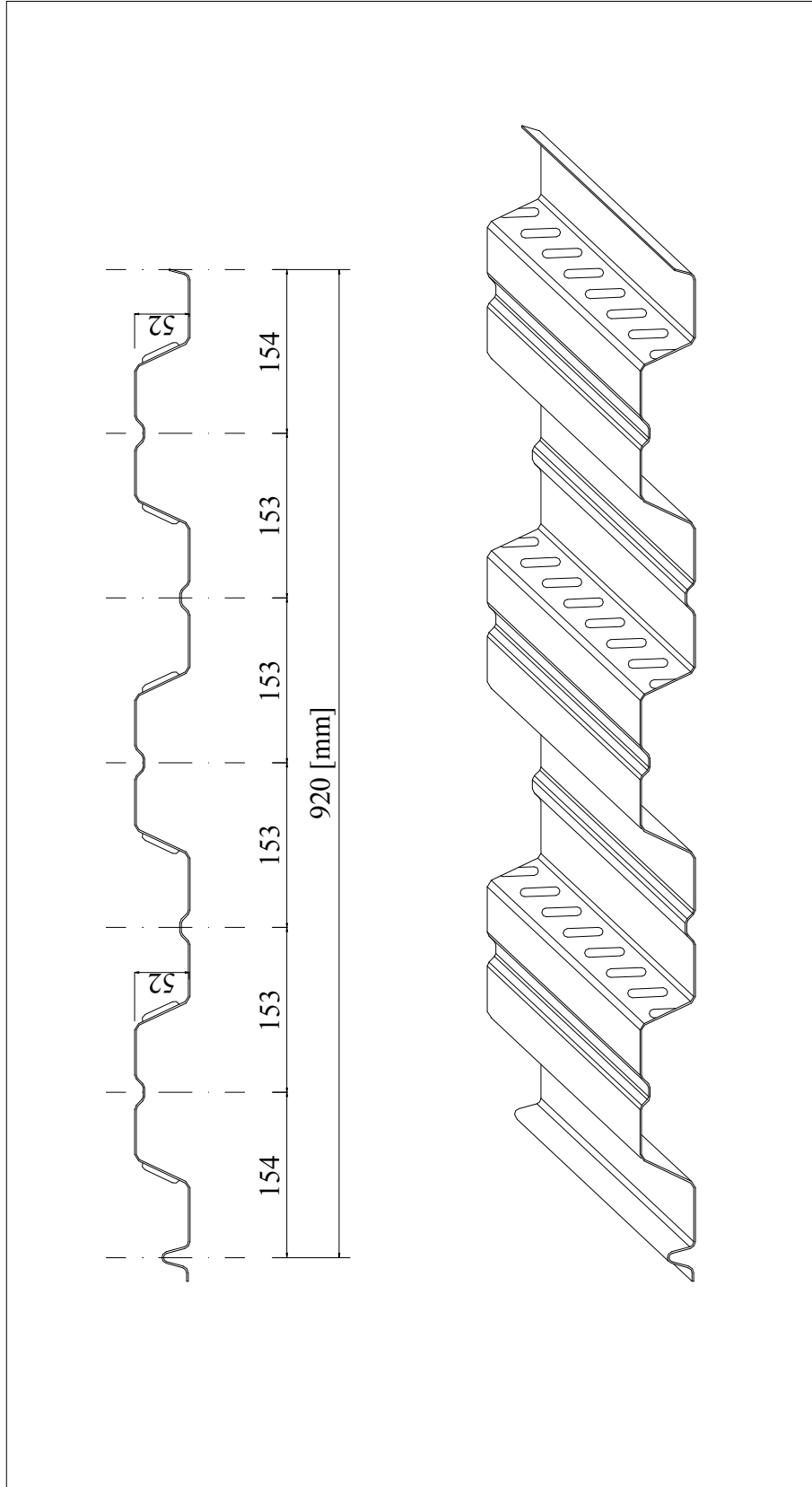
Bu çalışmada altı adet basit kiriş formundaki 1/1 ölçekli döşeme deneysel olarak incelenmiştir. Döşeme sacına ait genel geometrik büyüklükler Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de verilmiştir. Her numune için, gerçekleşen ortalama kesit geometrisine ait büyüklükler ise Tablo 2.6’da yer almaktadır.



Şekil 2.20: Döşeme Geometrik Büyüklükleri

Tablo 2.6: Numuneler ve Gerçekleşen Geometrik Büyüklükler

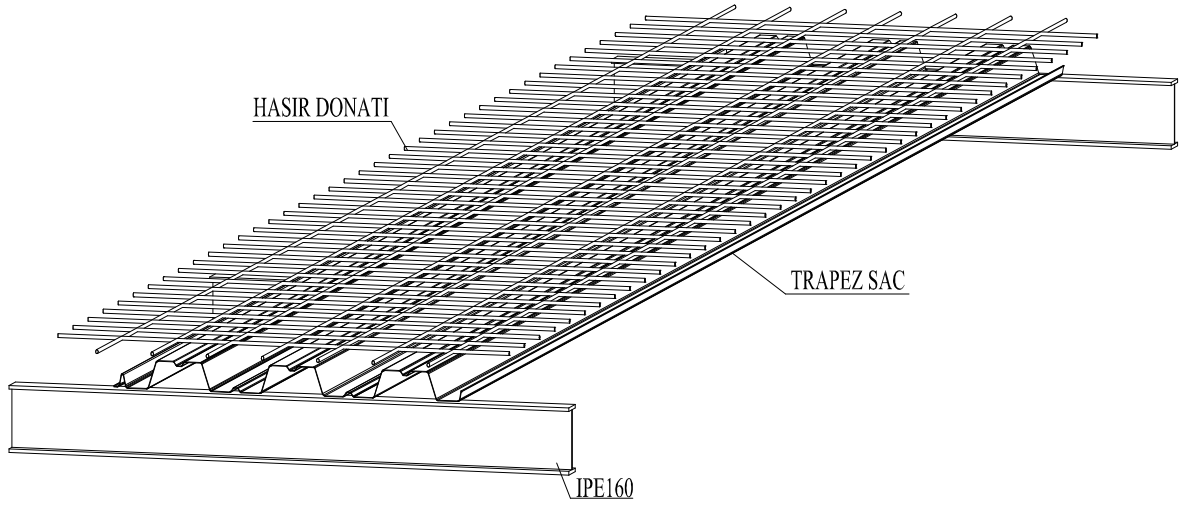
Numune Adı	h	d _d	d = h-d _d	d'	h'
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CS_1S_H150_S08_1_1400	167.95	2.32	144.63	37.95	130
CS_1S_H150_S08_2_1400	164.31	2.32	140.99	34.31	130
CS_1S_H150_S08_3_2400	172.33	2.32	149.01	42.33	130
CS_1S_H150_S08_4_2400	179.22	2.32	155.90	49.22	130
CS_1S_H150_S08_5_3200	179.25	2.32	155.93	49.25	130
CS_1S_H150_S08_6_3200	164.00	2.32	140.68	34.00	130



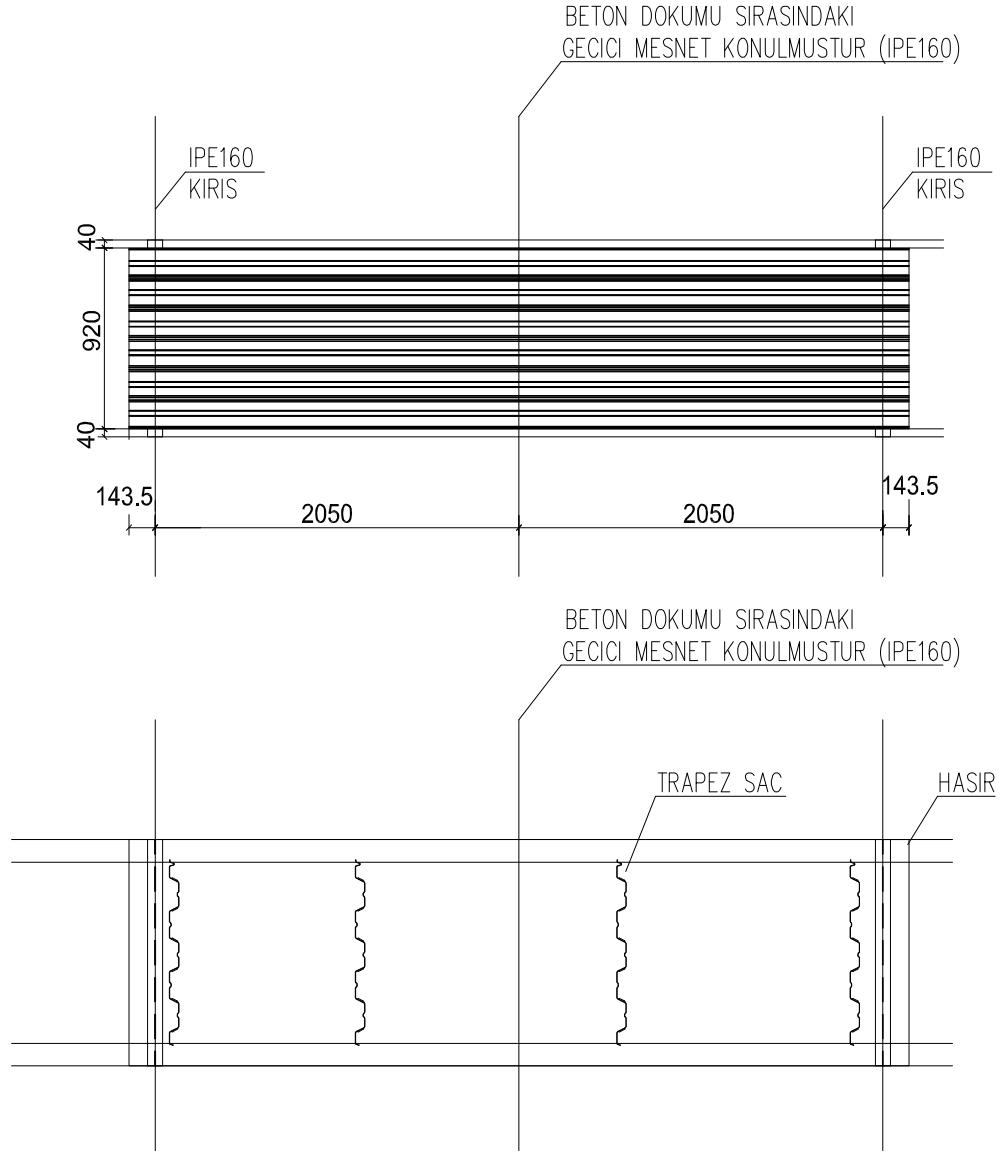
Şekil 2.21: Trapez Sac Boyut ve Özellikleri

2.2.3 Deney Numuneleri

Basit kiriş biçimindeki numuneler 4100 mm açıklığa sahiptir. Şekil 2.22’de kompozit döşeme deney numunelerine ait genel perspektif görünüşü verilmiştir. Deney numuneleri IPE160 kiriş üzerine mesnetlenmiş trapez sac levha ile oluşturulmuştur, Şekil 2.23. Üretim aşamasında açıklık ortasına tali mesnet yerleştirilmiştir.



Şekil 2.22: Kompozit Döşeme Numunesi Perspektif Görünüş

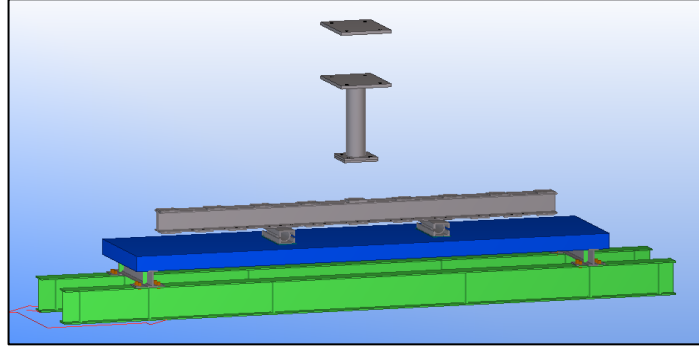


Şekil 2.23: Kompozit Döşeme Numuneleri Boyutları

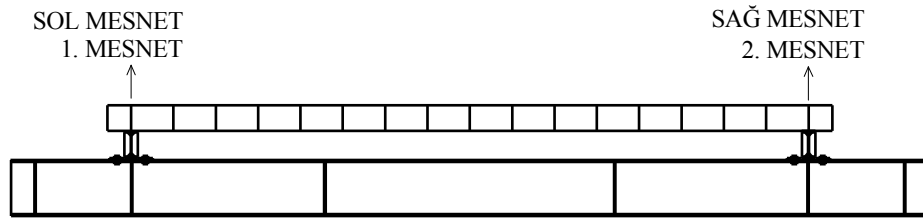
2.2.3.1 Tüm Numuneler İçin Ölçüm ve Yükleme Düzenegi

Şekil 2.24’de deney düzeneğine ait genel yerleşim düzeni verilmiştir. Bu düzen bütün numunelerde aynı olacak şekilde hazırlanmıştır. Şekil 2.25’de numuneye bakış yönü ve mesnetlere ait isimler verilmiştir. Beton basınç bölgesinde 1 adet PI ölçer ve 1 adet beton şekildeğiştirme ölçeri kullanılarak şekildeğiştirme ölçümleri yapılmıştır. Çekme tarafında ise açıklığın tam ortasında 1 adet PI ölçer, Şekil 2.26’da gösterilen trapez dişlerinin alt ve üst kademelerine yerleştirilen 2 adet şekildeğiştirme ölçer ve 1 adet yerdeğiştirme ölçer kullanılarak şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme okumaları

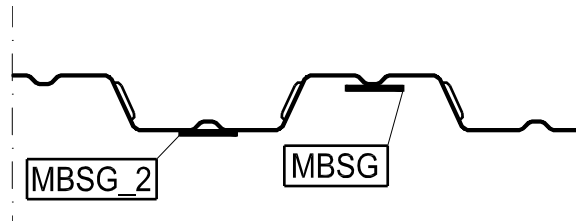
yapılmıştır. Şekil 2.27’da belirtilen her bir kayma açıklığı mesafesinde, yükleme noktaları altında toplam 6 farklı pozisyonda yerdeğiştirme ölçer ile düşey yerdeğiştirme ölçümleri yapılmıştır. Şekil 2.25’de belirtilen mesnet kirişleri (IPE160) ortasından da düşey yerdeğiştirme okuması yapılmıştır. Ayrıca hem sağ hem de sol uçta beton ve sac arasındaki kaymanın belirlenebilmesi için biri saca biri de betona temas eden 2’şer adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır.



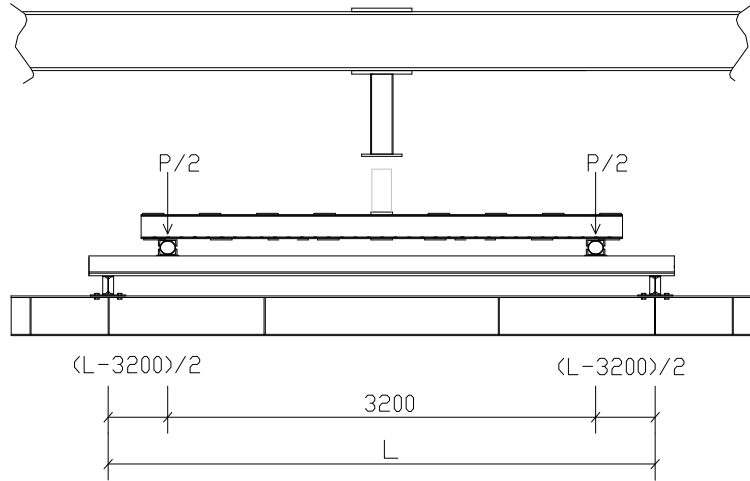
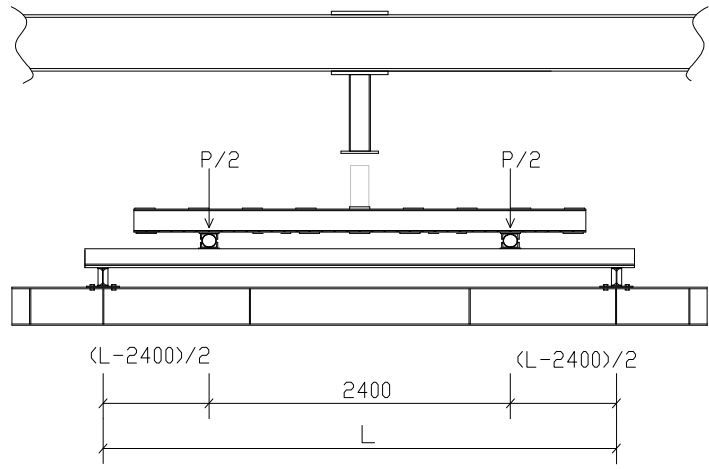
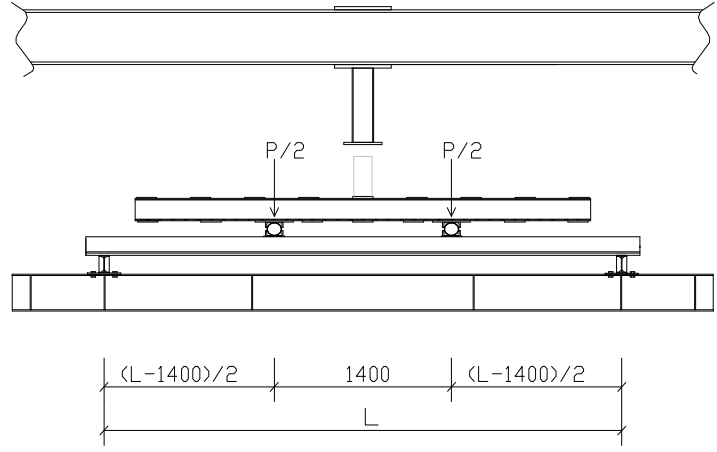
Şekil 2.24 : Numunelerde Yükleme Düzeneği



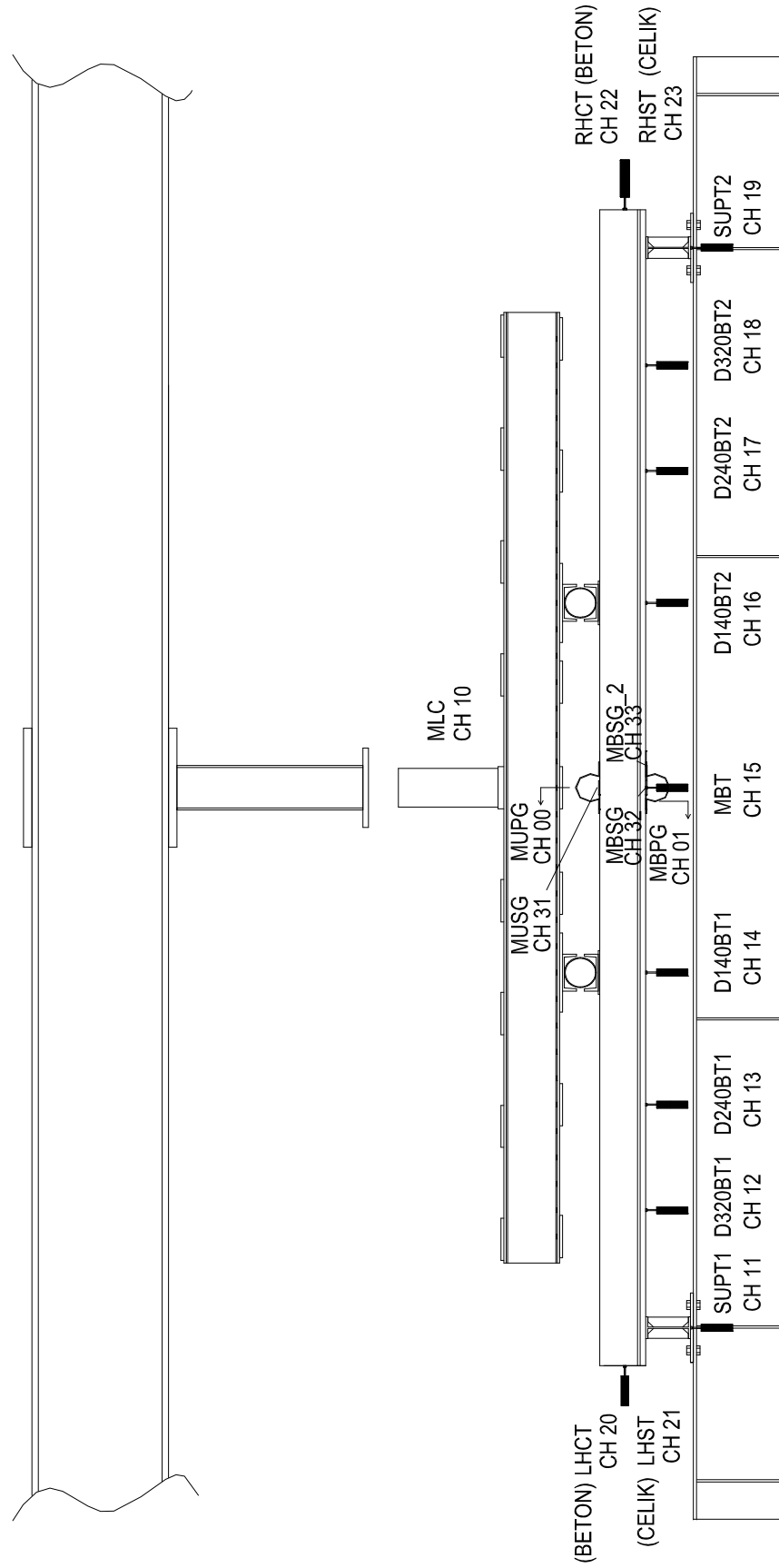
Şekil 2.25 : Mesnet Numaraları



Şekil 2.26: Açıklık Ortası Alt Şekildeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi



Şekil 2.27 : Numunelerde Uygulanan Farklı Kayma Açıklıkları

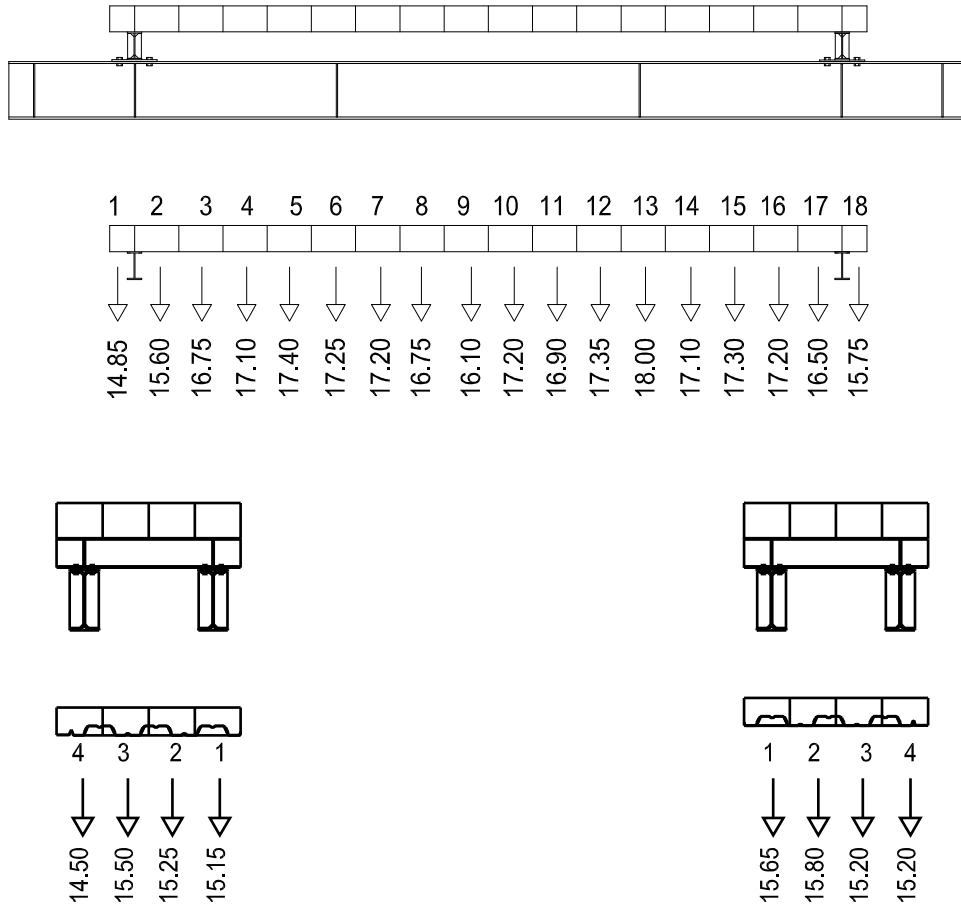


Şekil 2.28 : Tüm Numuneler İçin Ölçüm ve Yükleme Düzenegi

2.2.3.2 CS_1S_H150_S08_1_1400

2.2.3.2.1 Gerçekleşen Döşeme Yükseklikleri

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlıkları Şekil 2.29 da verilmiştir.



Şekil 2.29 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri ([cm])

2.2.3.2.2 Deney Öncesi Numune Görünümü

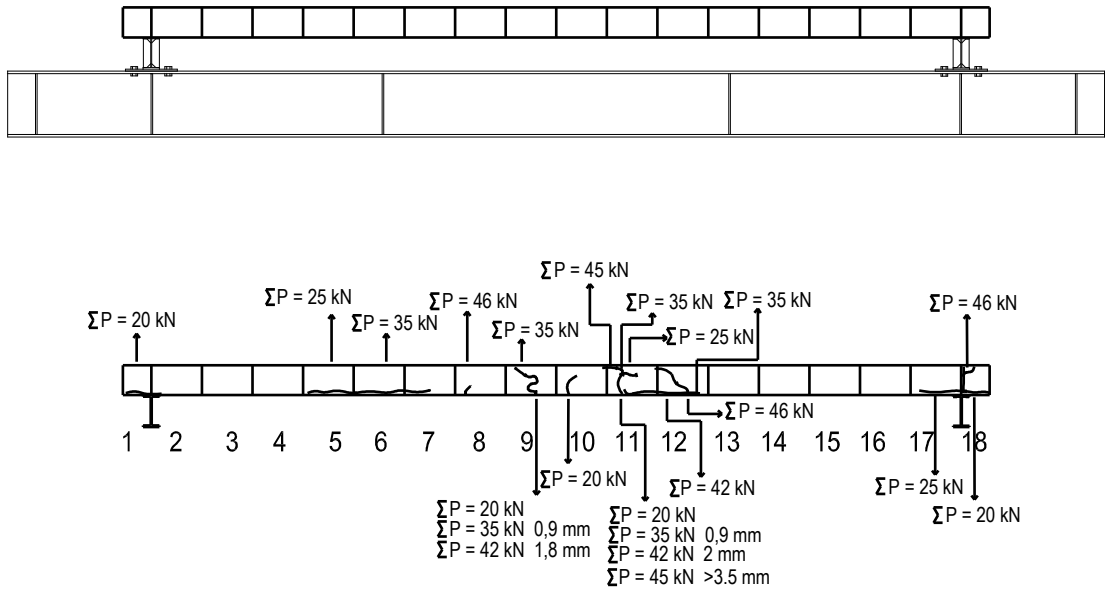
Deney öncesi numuneye ait fotoğraflar Şekil 2.30’da verilmiştir.



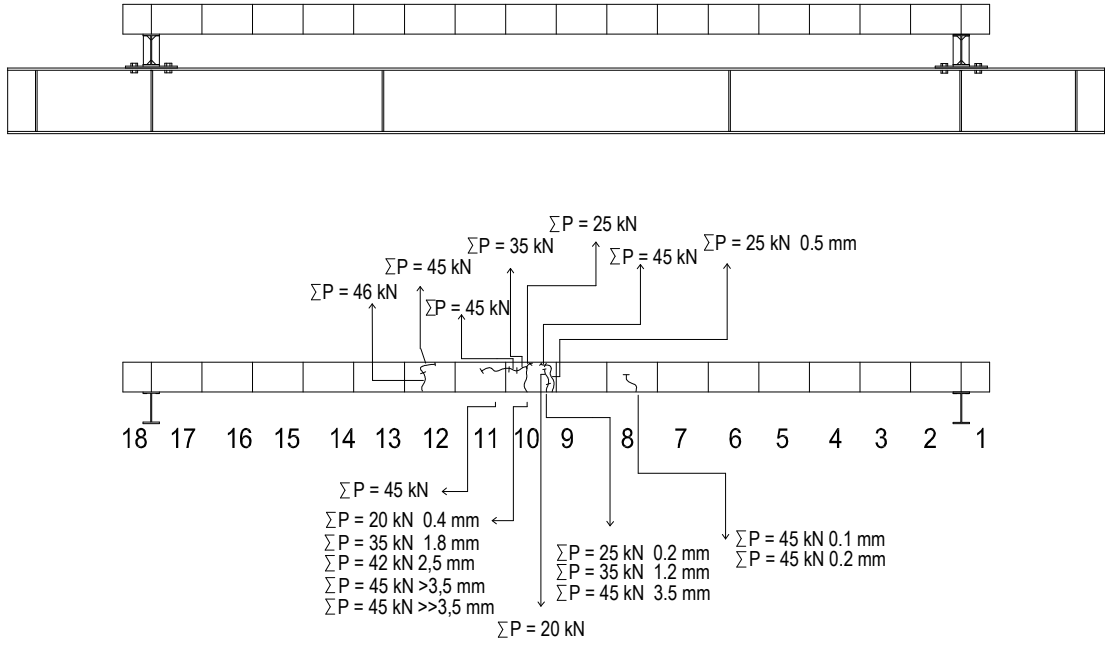
Şekil 2.30 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesinin Deney Öncesi Görünümü

2.2.3.2.3 Çatlak Krokileri

Değişik yükleme aşamalarında gerçekleşen çatlaklar, o aşamadaki toplam yük miktarı ile birlikte ön ve arka yüz için Şekil 2.31 ve Şekil 2.32’de verilmiştir.



Şekil 2.31 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.32 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi

2.2.3.2.4 Deney Sonrası Numune Görünümü

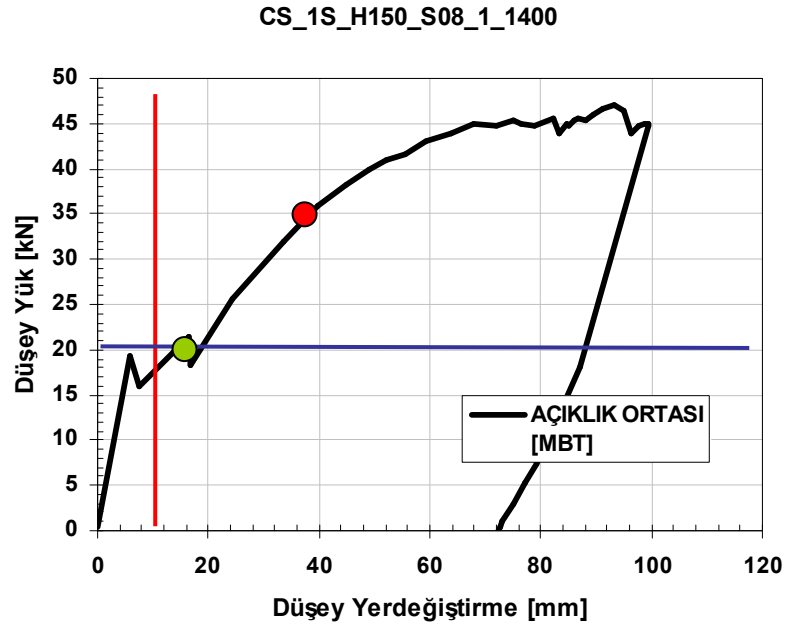
Değişik yükleme adımlarında gözlenen hasarları gösteren fotoğraflar Şekil 2.33'de verilmiştir.



Şekil 2.33 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesinde Gözlenen Hasarlar

2.2.3.2.5 Numuneye Ait Grafikler

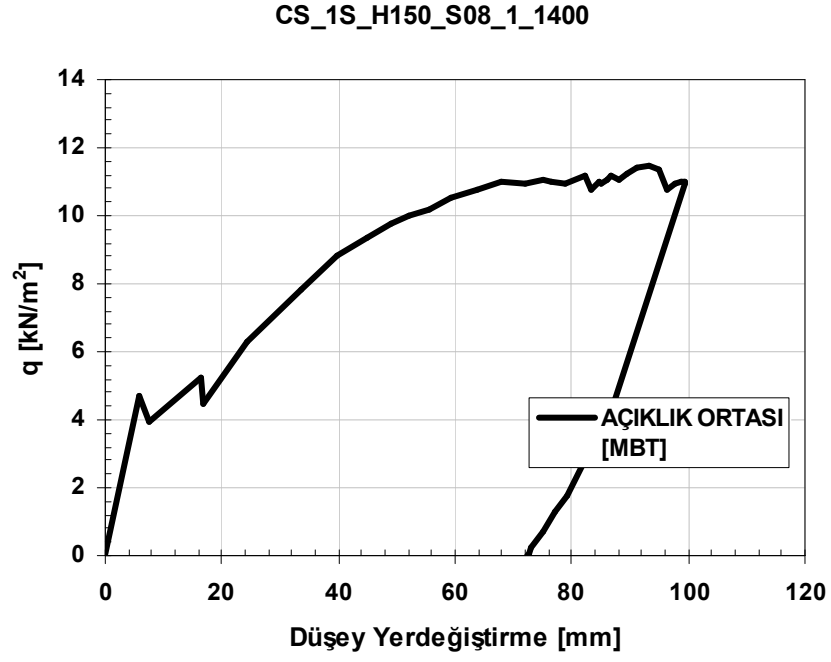
Numune, 1400 mm yük açıklıklı düzenekte tekil yüklemeye maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş arttırılmıştır. Elde edilen yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.34’de verilmiştir.



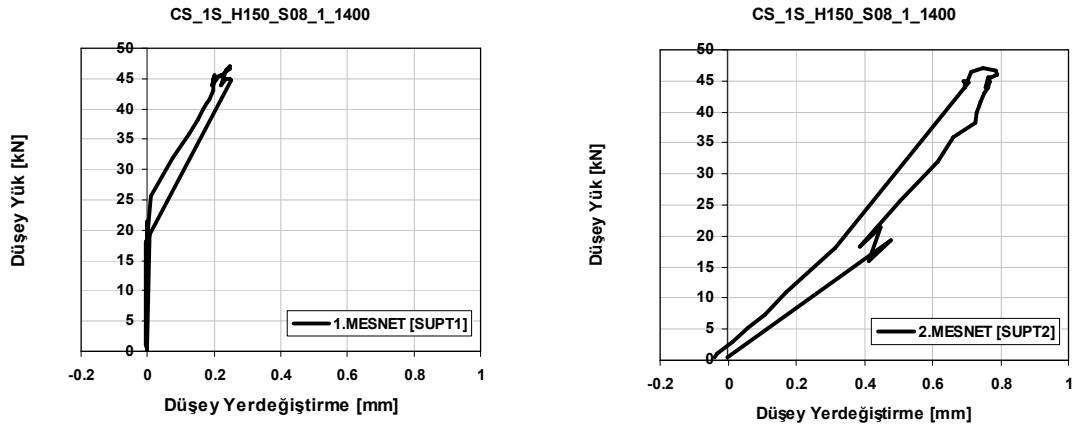
Şekil 2.34 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Ortası için P-δ Grafiği

Tasarımda kullanılan ilave yük miktarını gösteren yatay mavi çizgi ile L/360 kritik sehim oranına karşı gelen düşey kırmızı çizgi grafiklere eklenmiştir. Gözlenen ilk çatlak ve ilk akma seviyeleri de sırası ile yeşil ve kırmızı noktalar ile grafikler üzerine işaretlenmiştir.

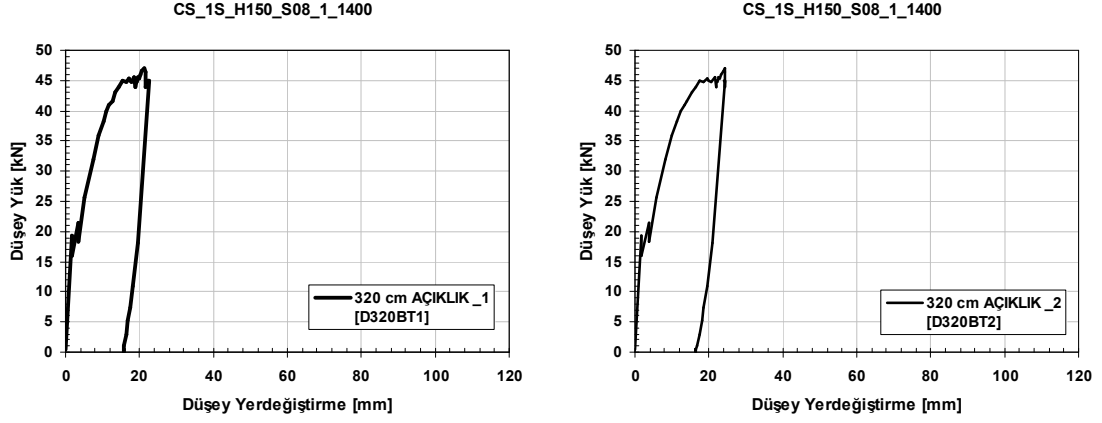
Uygulanan toplam yükün yaklaşık eşdeğer yayılı yüke çevrilmesi ile elde edilen grafik Şekil 2.35’de verilmiştir. Numunenin 1. mesnet ve 2.mesnet için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.36, 320 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.37, 240 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.38, 140 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.39, açıklık ortasındaki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.40, açıklık basınç bölgesi için yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.41, sol kenardaki aderans kaybı Şekil 2.42, sağ kenardaki aderans kaybı Şekil 2.43’de verilmiştir.



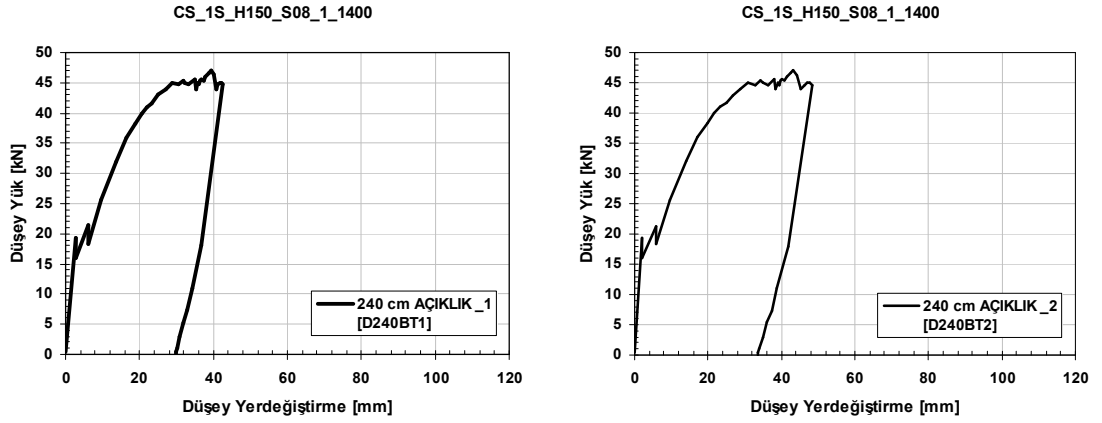
Şekil 2.35 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Ortası için q-δ Grafiği



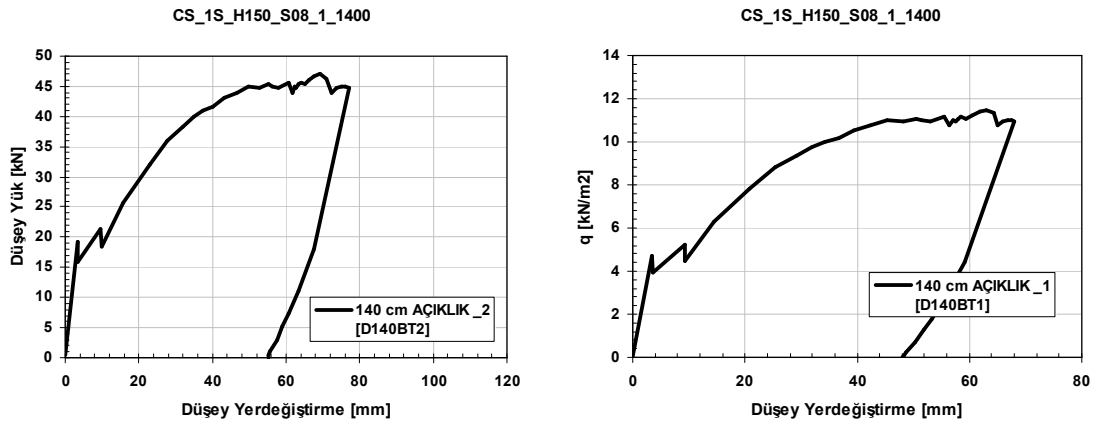
Şekil 2.36 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 1. Mesnet ve 2.Mesnet için P-δ Grafiği



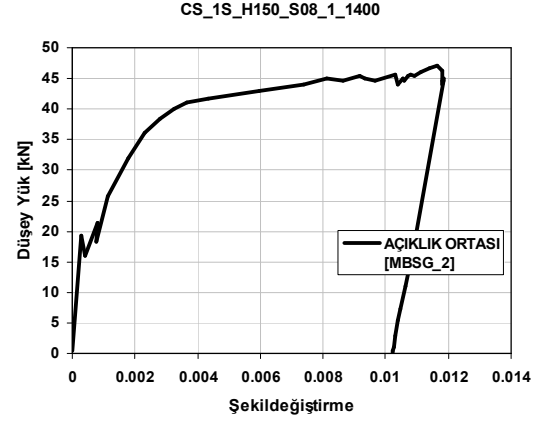
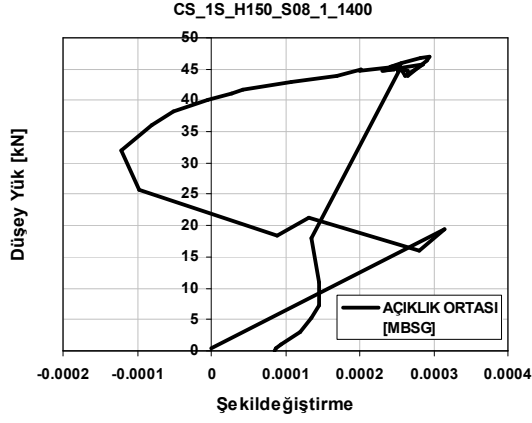
Şekil 2.37 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P-δ Grafiği



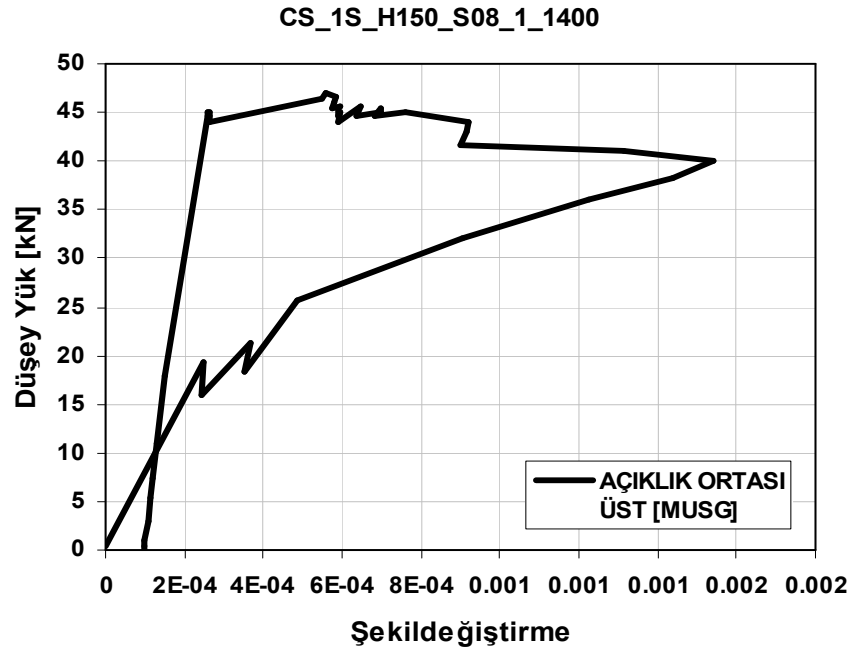
Şekil 2.38 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P-δ Grafiği



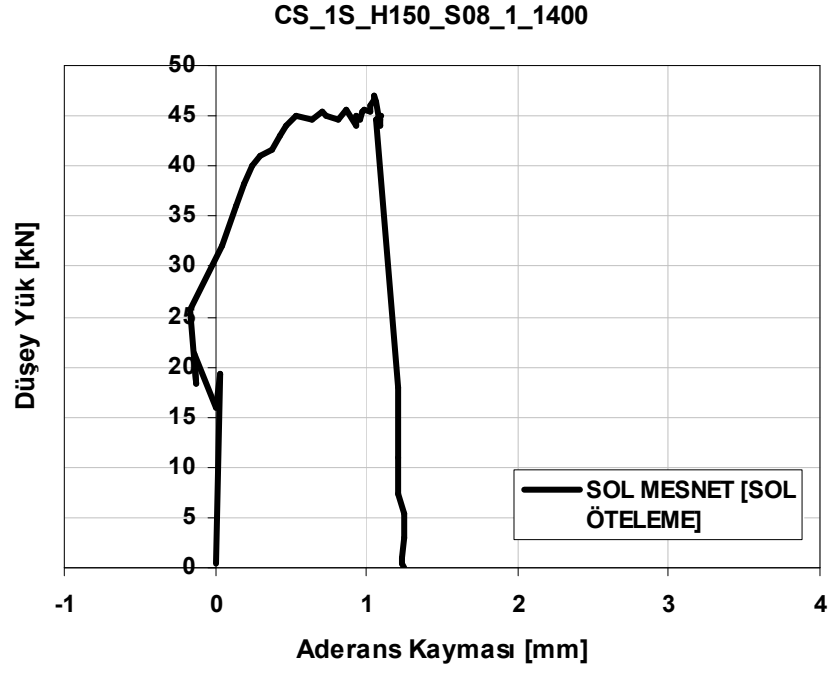
Şekil 2.39 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P-δ Grafiği



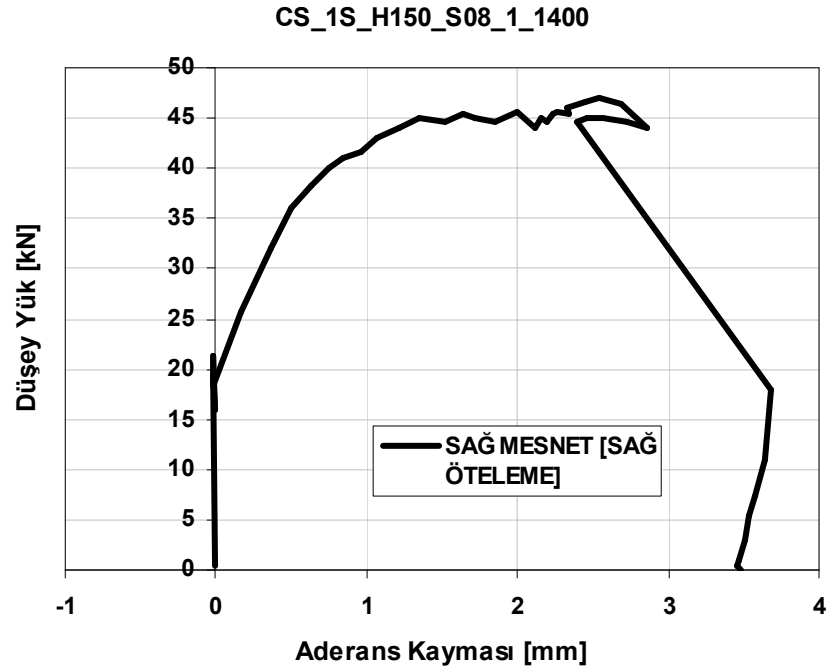
Şekil 2.40 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri



Şekil 2.41 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Açıklık Basınç Bölgesi MUSG Şekildeğiştirme Ölçeri



Şekil 2.42 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı



Şekil 2.43 : CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı

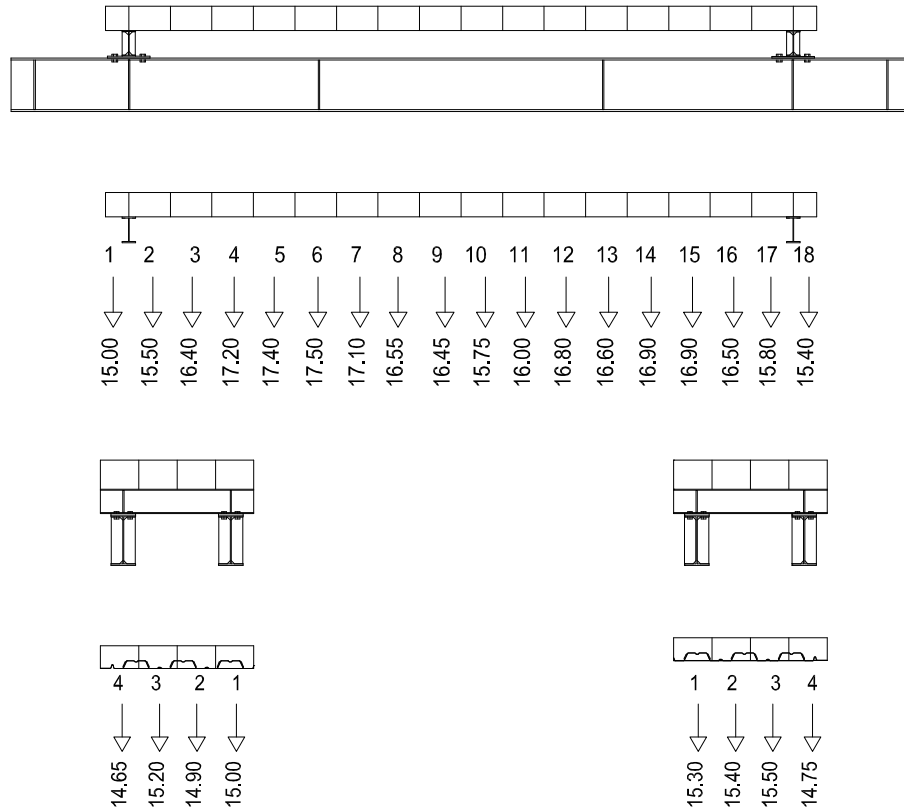
2.2.3.2.6 Deney Gözlemleri

Deney numunesinde ilk çatlak 20 kN toplam yük etkisinde açıklık ortasında meydana gelmiştir. $\Sigma P = 32$ kN toplam yük etkisinde orta şekildeğiştirme ölçer akmıştır. $\Sigma P = 35$ kN da çatlak genişlikleri artmaya başlamıştır ve $\Sigma P = 45$ kN da sol mesnette trapez sac ile beton arasında kayma artmıştır. Ulaşılan en büyük yük değeri 46 kN olmuştur. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği 10 mm dir.

2.2.3.3 CS_1S_H150_S08_2_1400

2.2.3.3.1 Gerçekleşen Döşeme Yükseklikleri

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlıkları Şekil 2.44'de verilmiştir.



Şekil 2.44 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri ([cm])

2.2.3.3.2 Deney Öncesi Numune Görünümü

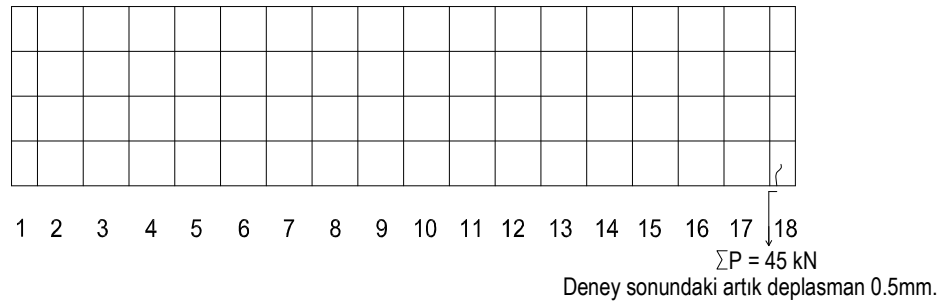
Deney öncesi numuneye ait fotoğraf Şekil 2.45’de verilmiştir.



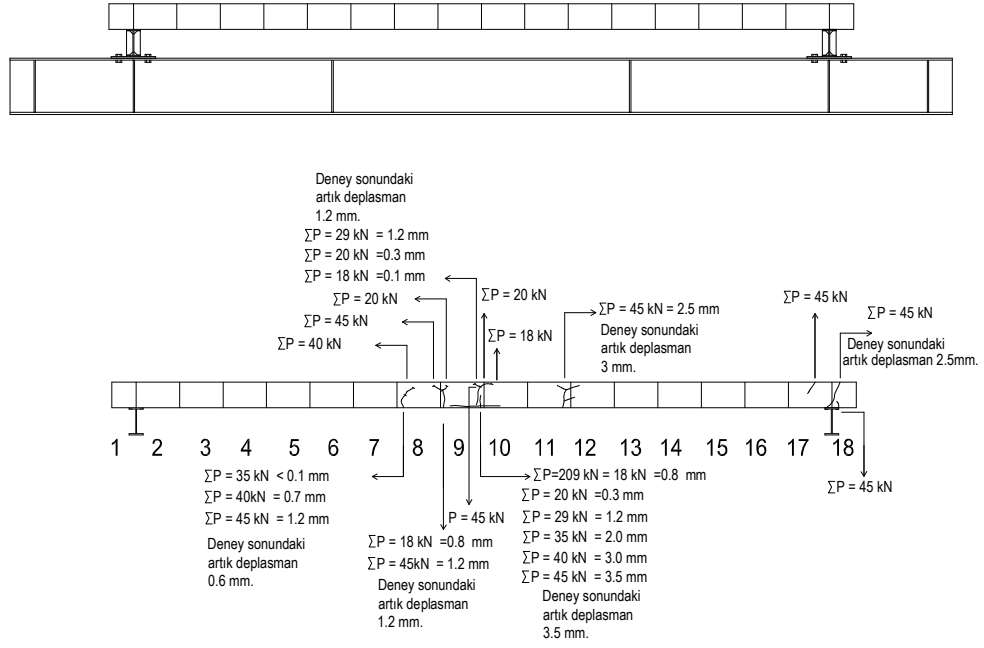
Şekil 2.45 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesinin Deney Öncesi Görünümü

2.2.3.3.3 Çatlak Krokileri

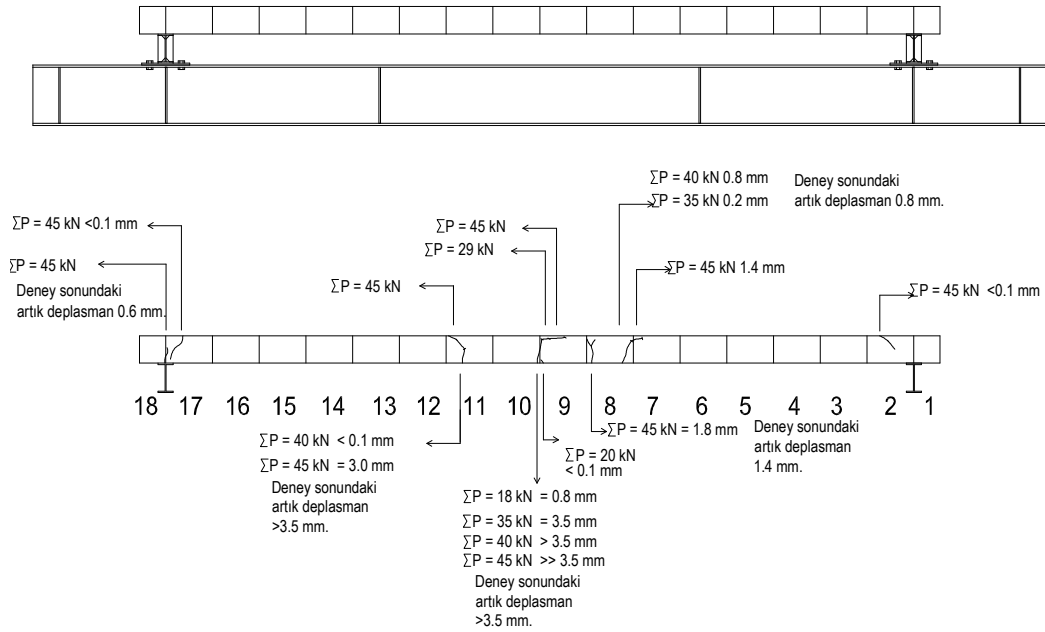
Değişik yükleme aşamalarında gerçekleşen çatlaklar, o aşamadaki toplam yük miktarı ile birlikte Şekil 2.46, Şekil 2.47 ve Şekil 2.48’de verilmiştir.



Şekil 2.46 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Üst Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.47 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.48 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi

2.2.3.3.4 Deney Sonrası Numune Görünümü

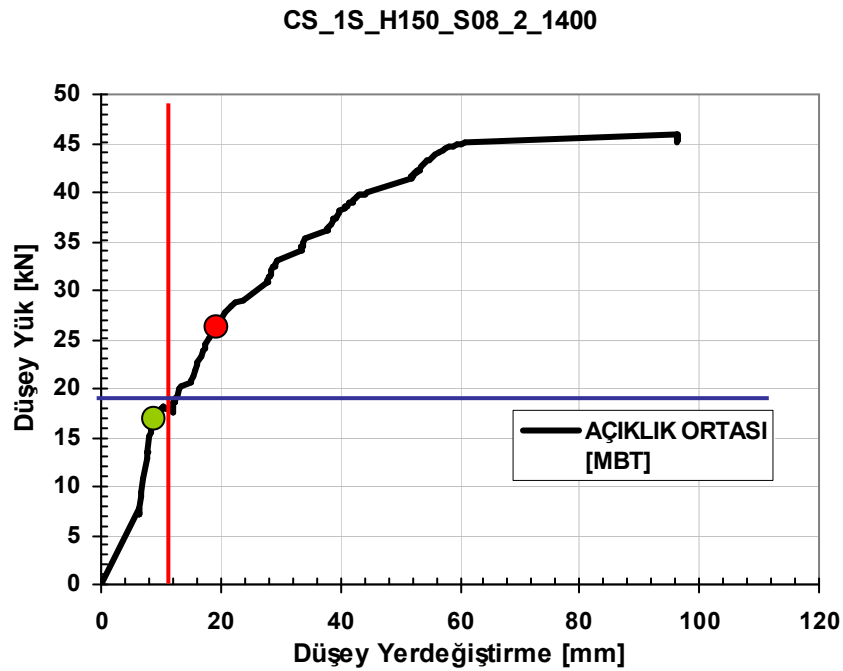
Değişik yükleme adımlarında gözlenen hasarları gösteren fotoğraflar Şekil 2.49'da verilmiştir.



Şekil 2.49 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesinin Hasar Sonrası Resmi

2.2.3.3.5 Numuneye Ait Grafikler

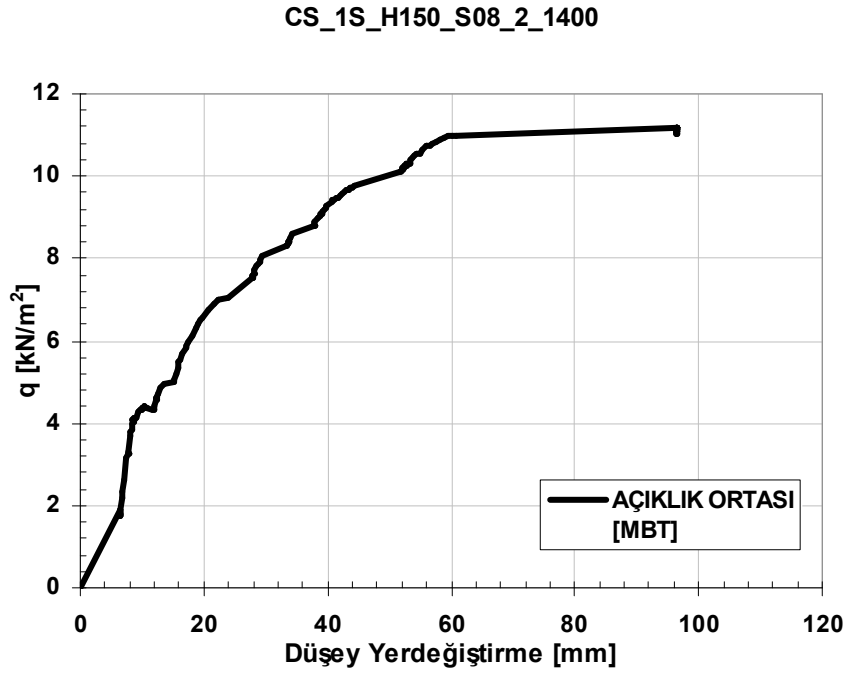
Numune 1400 mm yük açıklıklı düzenekte tekil yükler etkisinde incelenmiştir. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar yükler yavaş yavaş arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir



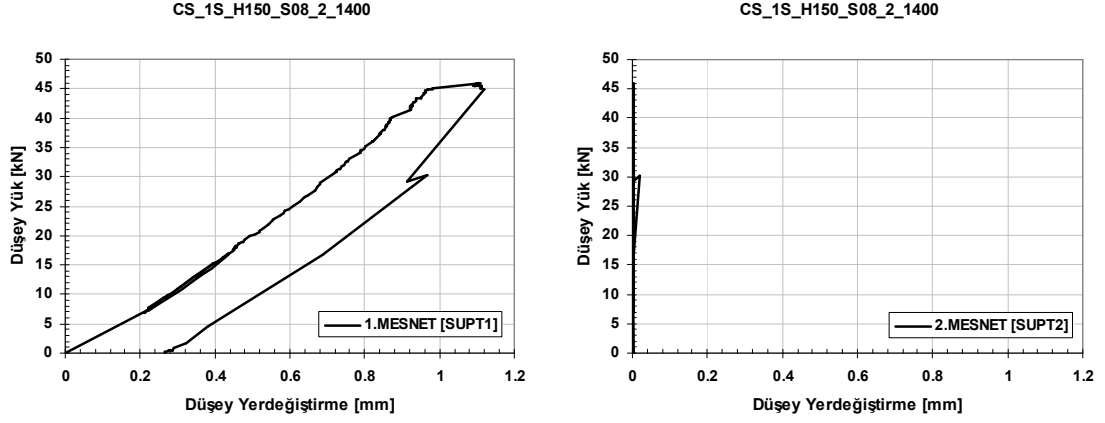
Şekil 2.50 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Ortası için P-δ Grafiği

Tasarımda kullanılan ilave yük miktarını gösteren yatay mavi çizgi ve L/360 kritik sehim oranına karşı gelen düşey kırmızı çizgi grafiklere eklenmiştir. Gözlenen ilk çatlak ve ilk akma seviyeleri de sırası ile yeşil ve kırmızı noktalar ile grafikler üzerine işaretlenmiştir.

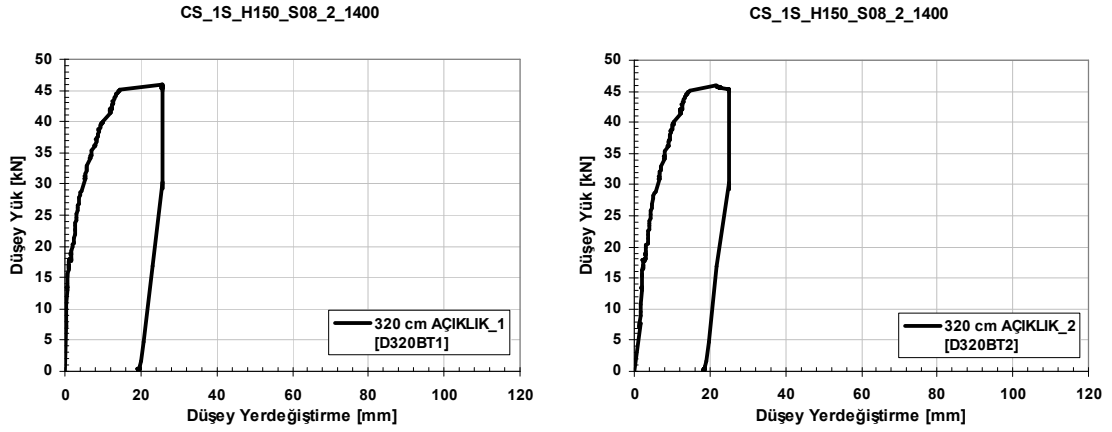
Yaklaşık olarak üniform yayılı yüke dönüşüm yapılmış ve bu durumda oluşan yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.51’de verilmiştir. Numunenin 1. mesnet ve 2.mesnet için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.52, 320 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.53, 240 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.54, 140 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.55, açıklık ortasındaki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.56, açıklık basınç bölgesi için yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.57, sol kenardaki aderans kaybı Şekil 2.58, sağ kenardaki aderans kaybı Şekil 2.59’da verilmiştir



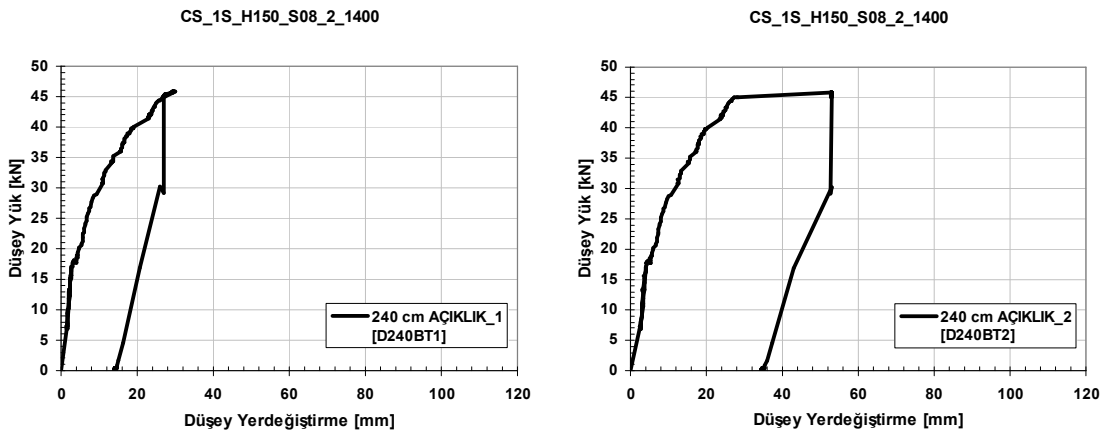
Şekil 2.51 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Ortası için q- δ Grafiği



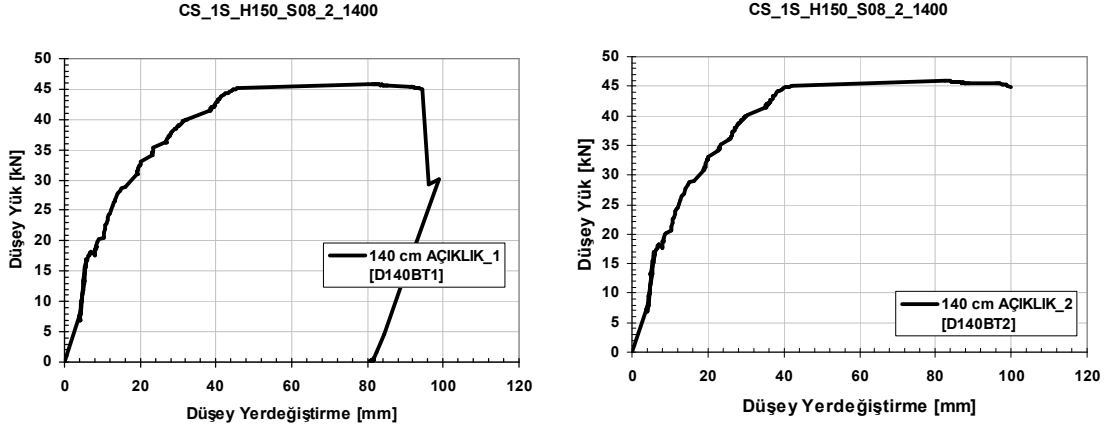
Şekil 2.52 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 1. Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği



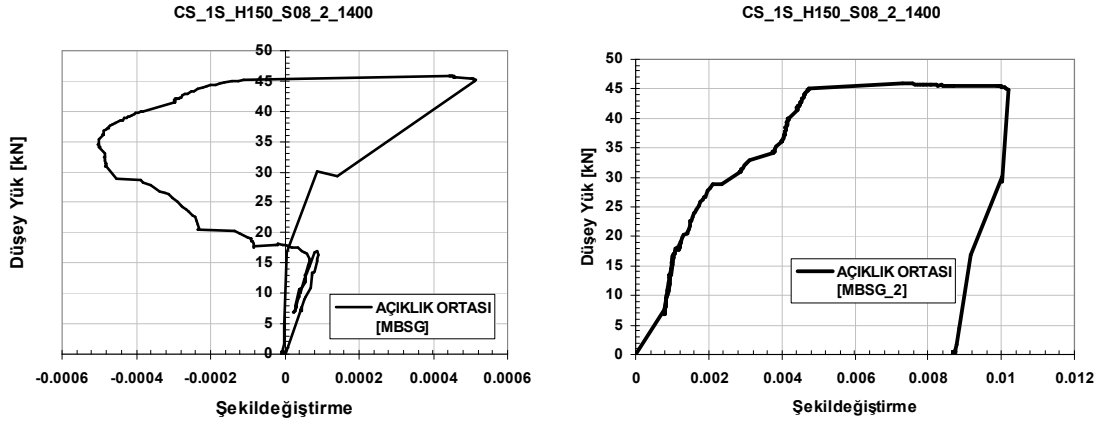
Şekil 2.53 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



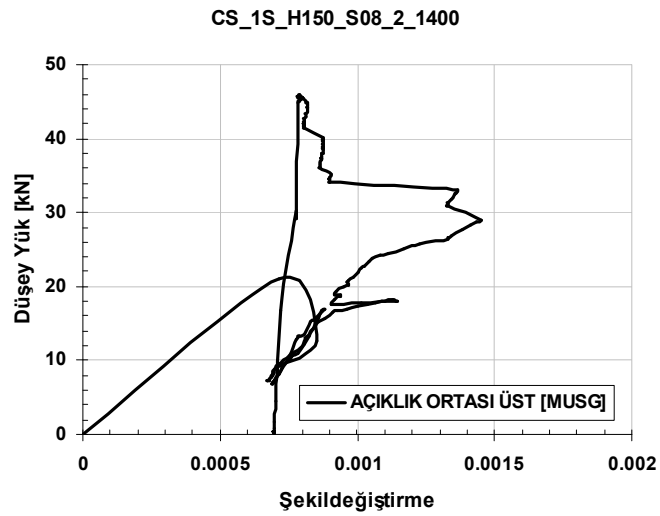
Şekil 2.54 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



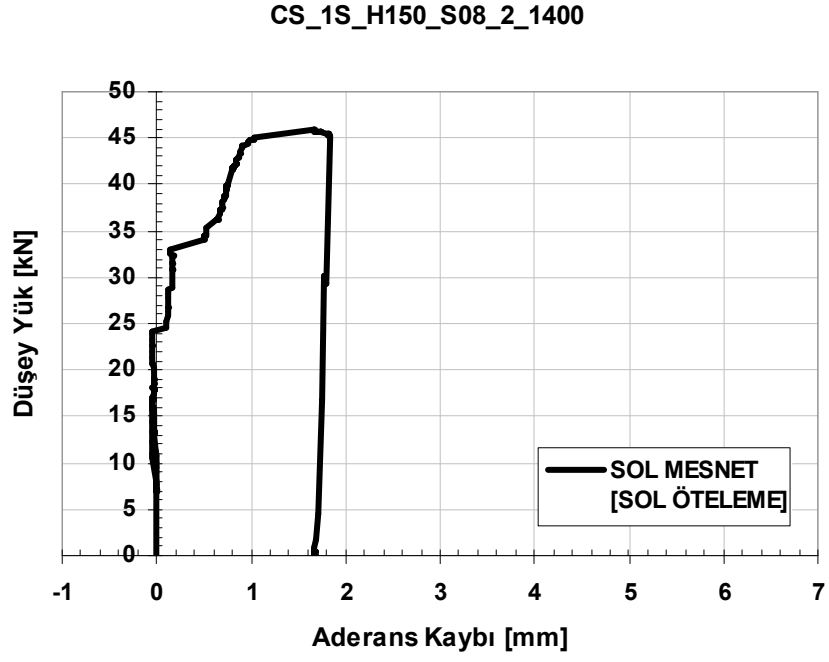
Şekil 2.55 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P-δ Grafiği



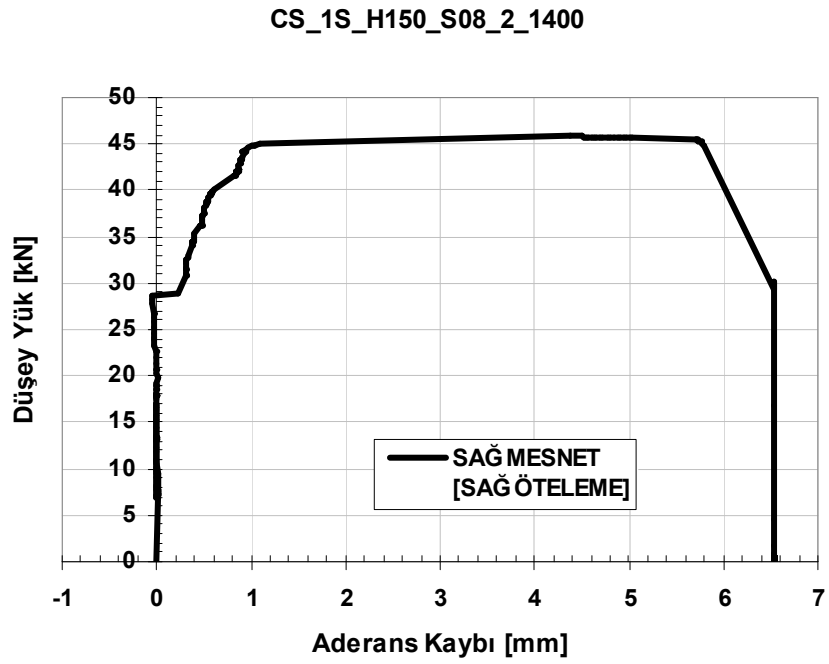
Şekil 2.56 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri



Şekil 2.57 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Açıklık Basınç Bölgesi MUSG Şekildeğiştirme Ölçeri



Şekil 2.58 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı



Şekil 2.59 : CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı

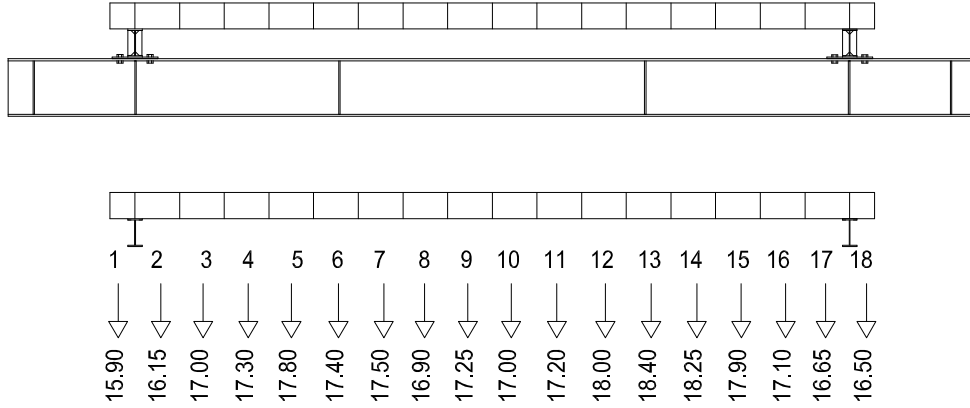
2.2.3.3.6 Deney Gözlemleri

Deney numunesinde ilk çatlak 18 kN yük altında, açıklıkta alt kısımda meydana gelmiştir. 23 kN da açıklıkta şekil değiştirme ölçer akmıştır. 29 kN'lık toplam yük seviyesinde trapez sac ve beton arasında belirgin ayrılma sesleri duyulmuştur. Tüm açıklık boyunca trapez sac ile beton arasında ayrışma belirtileri gözlenmiştir. 29 kN a erişildiğinde açıklık ortasındaki düşey yer değiştirme 30 mm, numune sol ve sağ uçlarında meydana gelen aderans kayıpları da 0.3 mm olarak tespit edilmiştir. 45 kN da sabit yük altında açıklık ortasındaki düşey yer değiştirme 100 mm ye kadar ulaşmıştır. Deney esnasında maksimum 46 kN yük uygulanmış ve gözlenen en büyük çatlak genişliği 10 mm olmuştur.

2.2.3.4 CS_1S_H150_S08_3_2400

2.2.3.4.1 Gerçekleşen Döşeme Yükseklikleri

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlıkları Şekil 2.60'da verilmiştir.





Şekil 2.60 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri ([cm])

2.2.3.4.2 Deney Öncesi Numune Görünümü

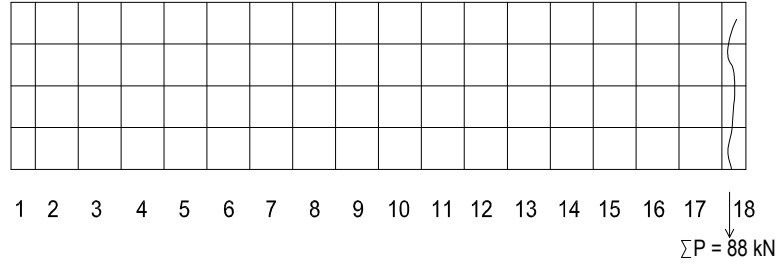
Deney öncesi numuneye ait fotoğraflar Şekil 2.61’ de verilmiştir.



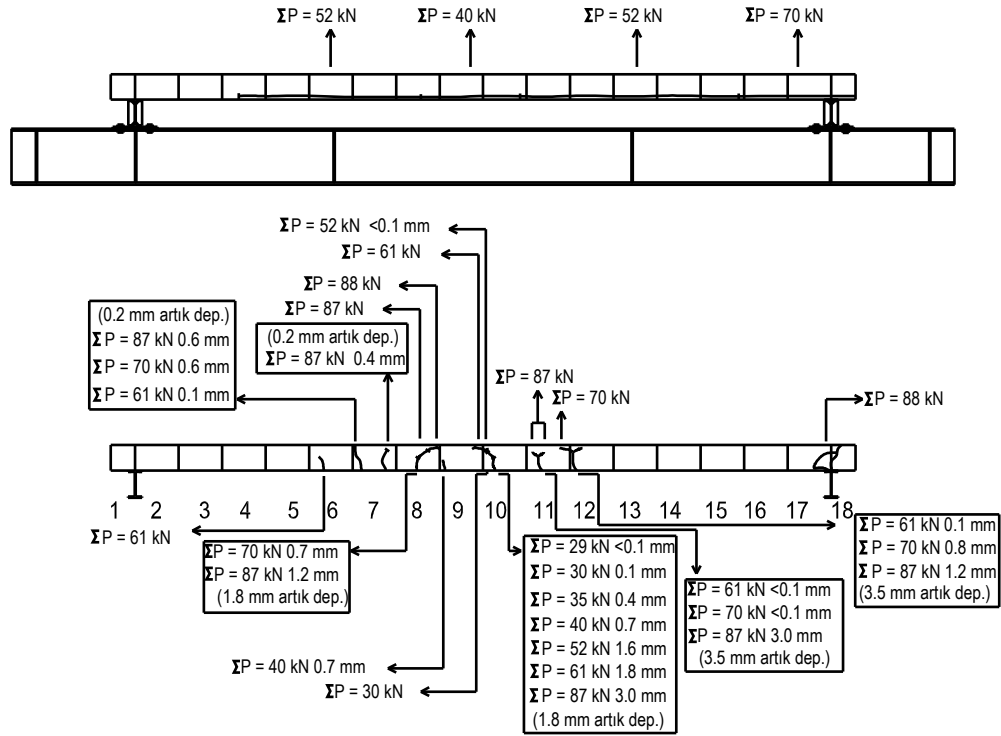
Şekil 2.61 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü

2.2.3.4.3 Çatlak Krokileri

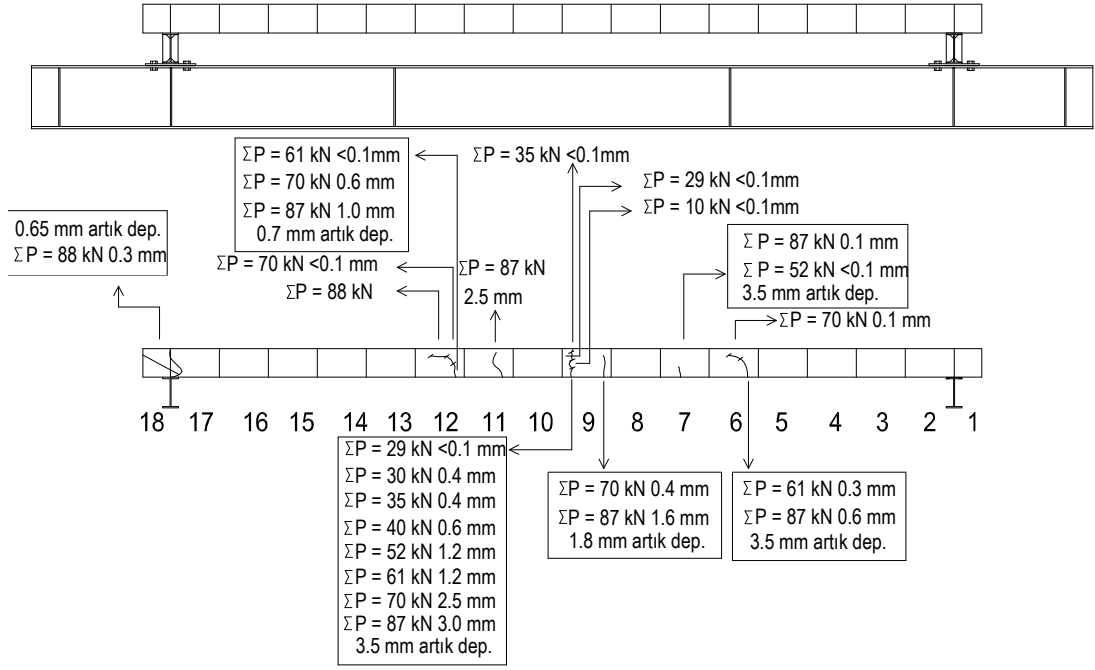
Değişik yükleme aşamalarında gerçekleşen çatlaklar, o aşamadaki toplam yük miktarı ile birlikte Şekil 2.62, 2.63, 2.64 ve 2.65’de verilmiştir.



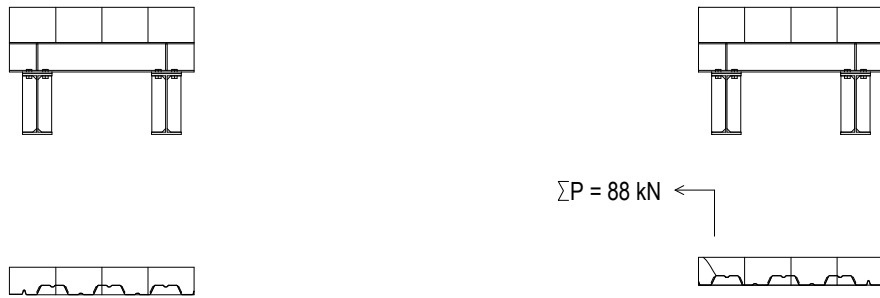
Şekil 2.62 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Üst Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.63 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.64 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.65 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Sol ve Sağ Görünüşe Ait Çatlak Krokisi

2.2.3.4.4 Deney Sonrası Numune Görünümü

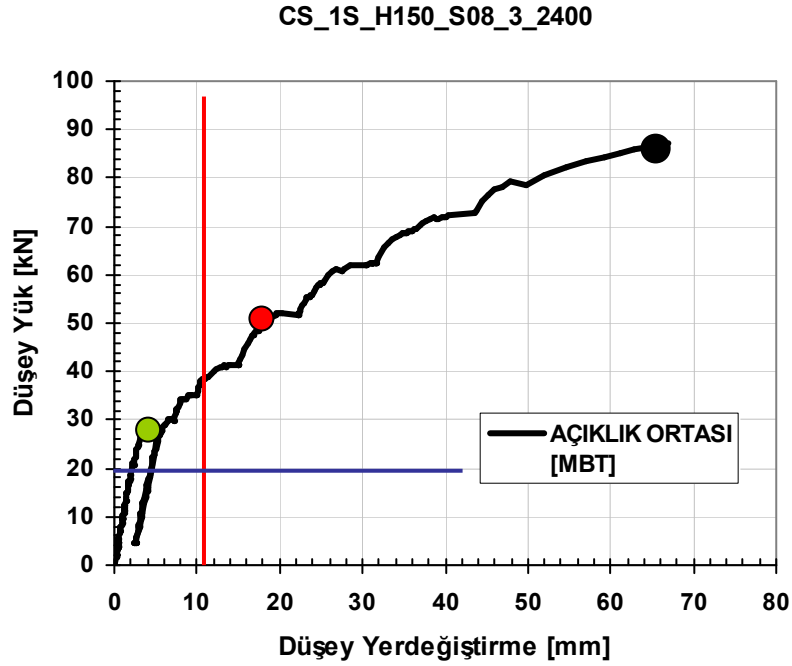
Değişik yükleme adımlarında gözlenen hasarları gösteren fotoğraflar Şekil 2.66'da verilmiştir.



Şekil 2.66 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesinin Deney Sonrası Resimleri

2.2.3.4.5 Numuneye Ait Grafikler

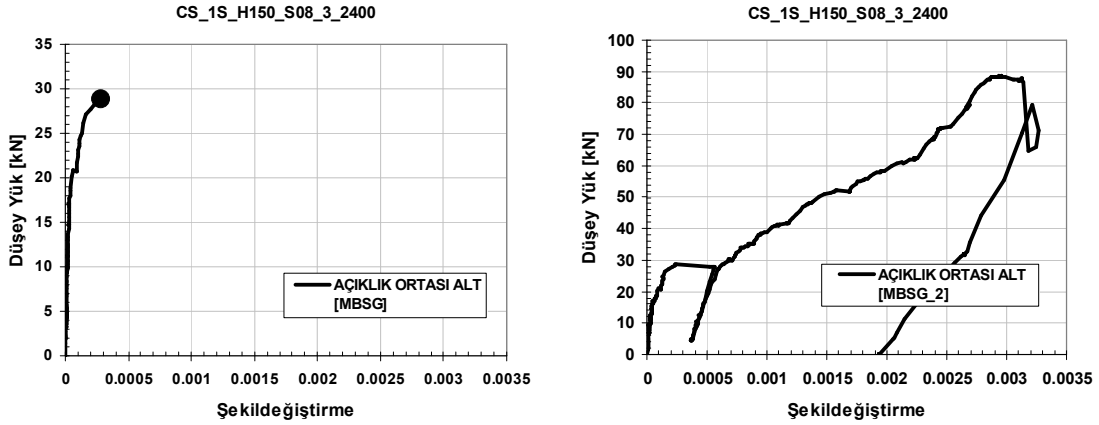
Numune, aralarındaki mesafe 2400 mm olan tekil yükler etkisinde denenmiştir. Göçme aşamasına kadar düşey yükler yavaş yavaş arttırılmıştır. Tüm fiziksel ve mekanik sonuçlar aşağıda yer almaktadır.



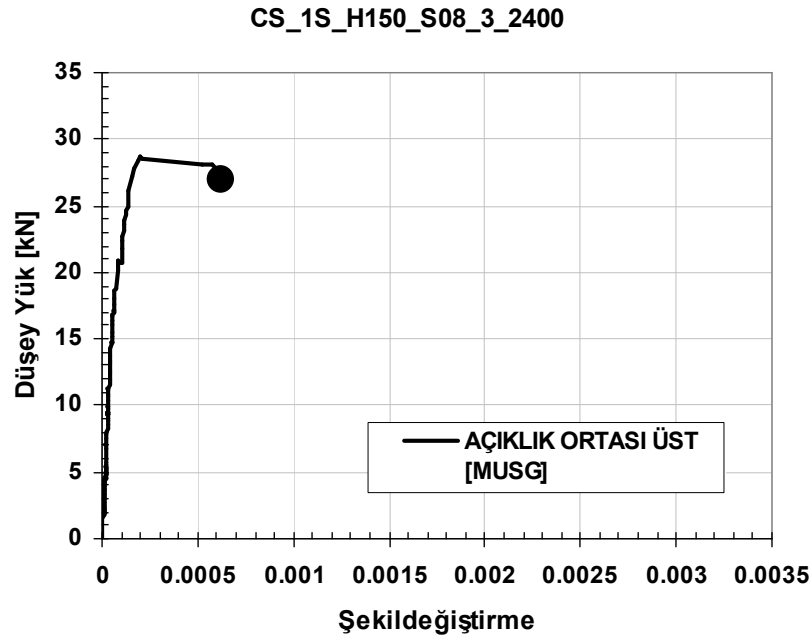
Şekil 2.67 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği

Tasarım aşamasında kullanılan ilave yük miktarını temsil eden yatay mavi çizgi ile L/360 kritik sehim oranına karşı gelen düşey kırmızı çizgi grafiklere eklenmiştir. Gözlenen ilk çatlak ve ilk akma seviyeleri de sırası ile yeşil ve kırmızı noktalar ile

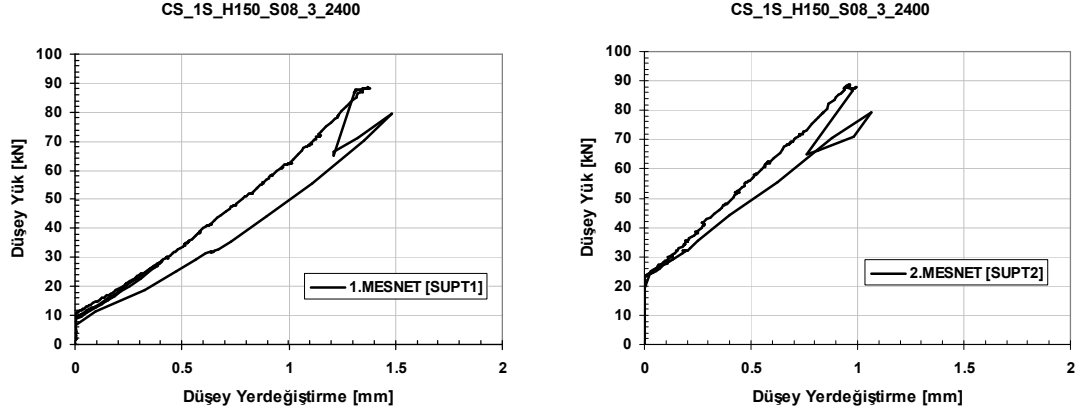
grafikler üzerine işaretlenmiştir. Numunenin açıklık ortası alttaki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.68, açıklık ortası üstteki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.69, 1.mesnet ve 2.mesnet için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.70, sol kenardaki aderans kaybı Şekil 2.71, sağ kenardaki aderans kaybı Şekil 2.72, 320 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.73, 240 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.74, 140 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.75’de verilmiştir



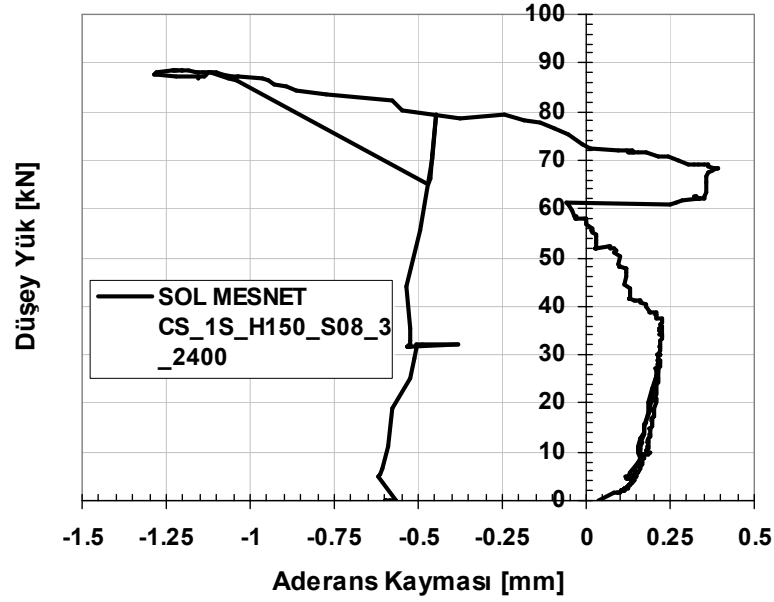
Şekil 2.68 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri



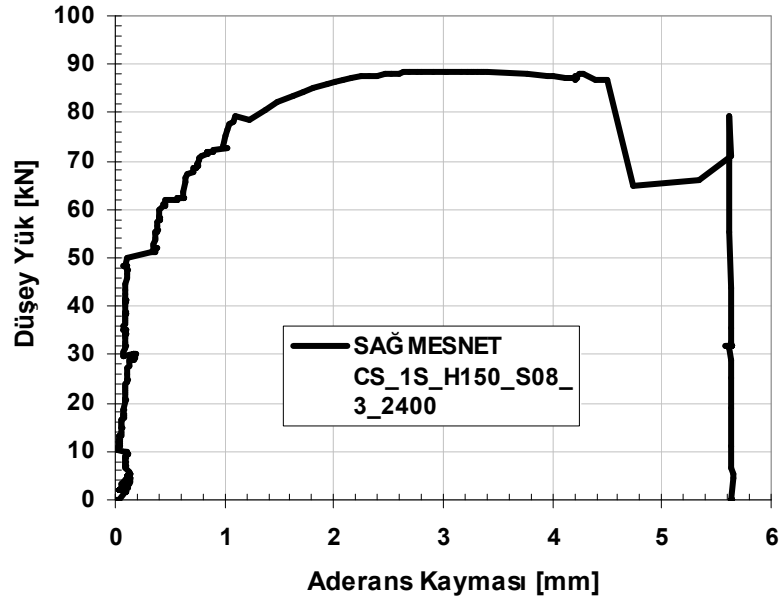
Şekil 2.69 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P-Şekildeğiştirme Grafiği



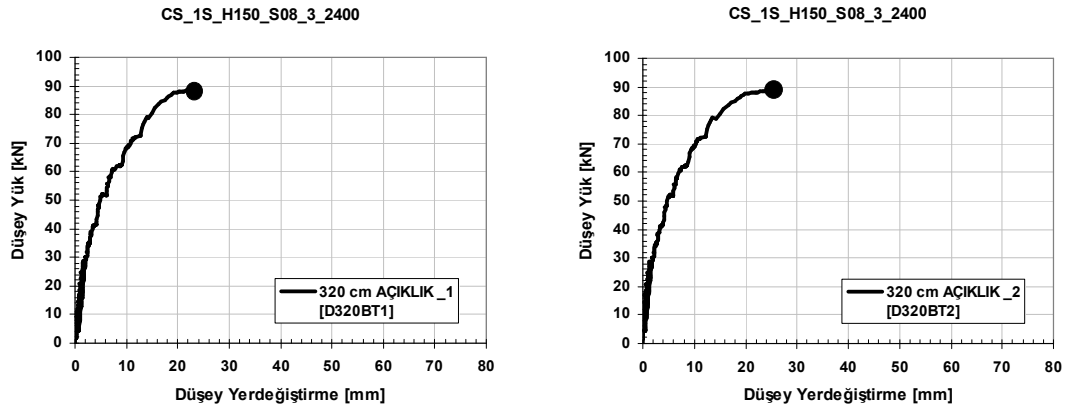
Şekil 2.70 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği



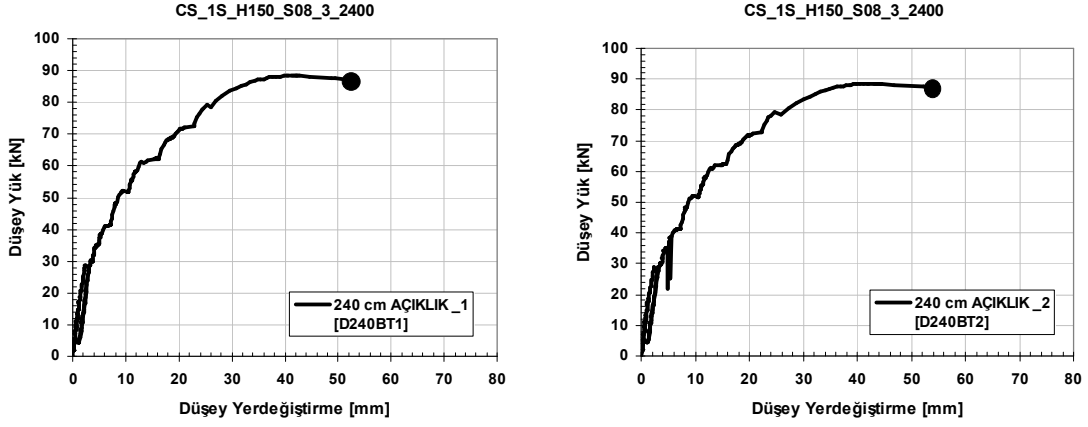
Şekil 2.71 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı



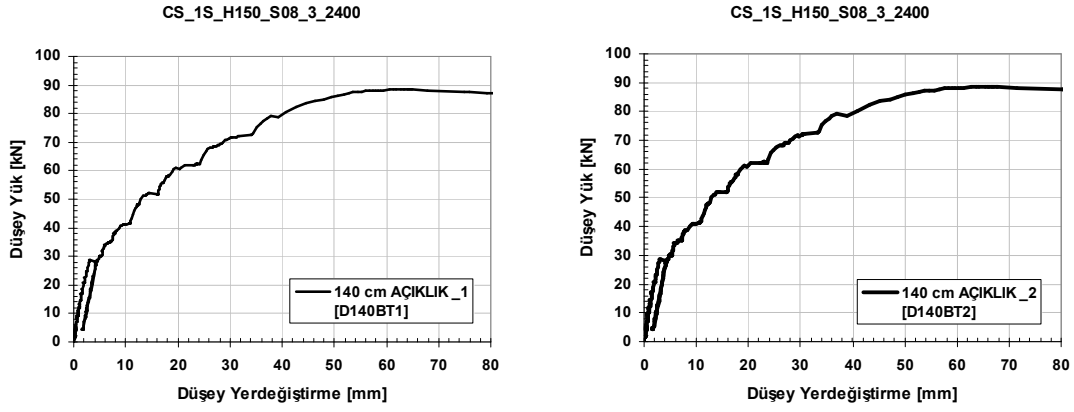
Şekil 2.72 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı



Şekil 2.73 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.74 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.75 : CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği

2.2.3.4.6 Deney Gözlemleri

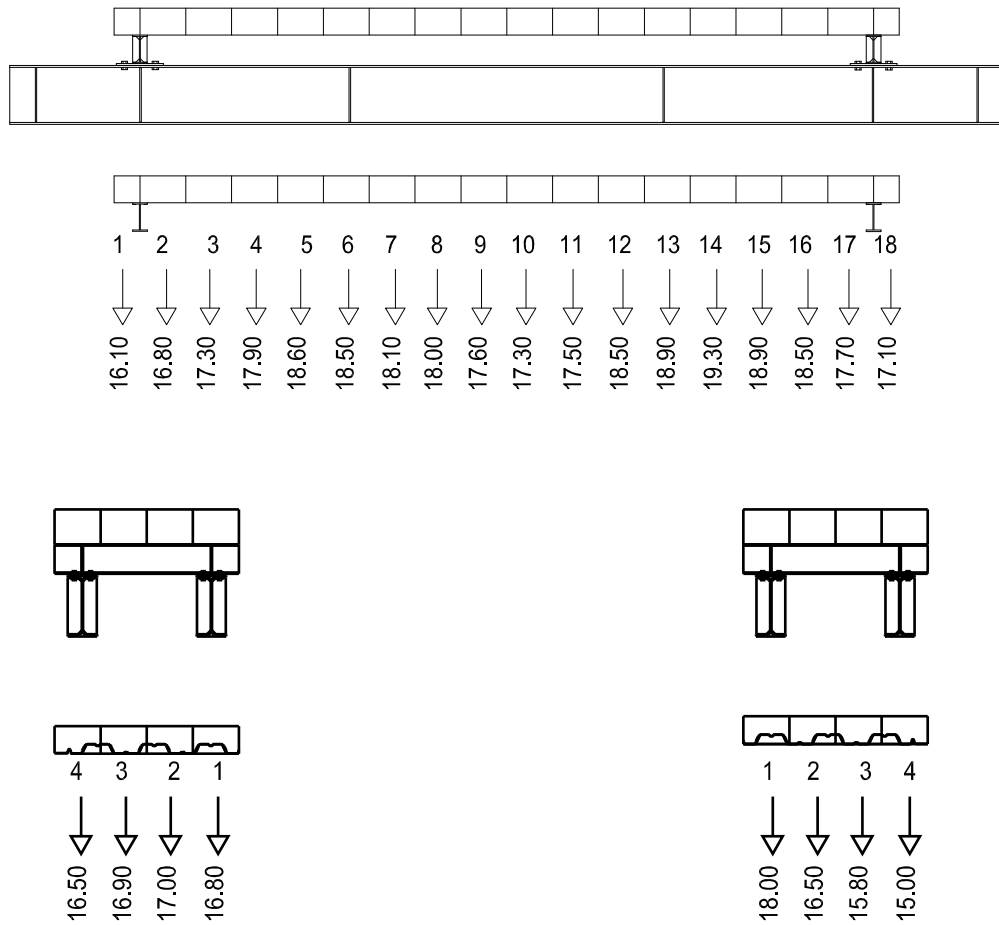
5 kN seviyesinde yük boşaltılmış ve bu yük seviyesinde çatlak gözlenmemiştir. 10 kN seviyesinde çatlak gözlenmemiş karşı gelen orta nokta düşey yerdeğiştirmesi 1 mm olmuştur. 29 kN yük seviyesinde ilk çatlak meydana gelmiştir. 30 kN yük etkisinde aderans kaybını işaret eden sesler duyulmuştur. Bu aşamada açıklık orta noktasındaki düşey yerdeğiştirme 7 mm, şekildeğiştirme ölçerdeki büyüklük 685 μ m, numune sol ve sağ kenarlarındaki aderans kayıpları ise 0.2 mm ve 0.16 mm olmuştur. 41 kN yük etkisinde yoğun olarak trapez sac ve beton arasında ayrılma sesleri duyulmuş ve ayrılma göz ile de teyit edilmiştir. 52 kN yük seviyesinde,

açıklık ortasında en büyük sehim 20.2 mm, en büyük şekildeğiştirme 1587 mµ (ilk akma) ve numune sol ve sağ kenarlarındaki gözlenen aderans kayıpları da 0.4 mm düzeyindedir. Ulaşılan en büyük yük 88 kN, karşı gelen düşey yerdeğiştirme 110 mm dir. Numune sağ kenarındaki kayma kamalarının bulunduğu kesitlerde enine çatlaklar oluşmuştur. Deney sonunda orta noktada düşeyde 70 mm artık yerdeğiştirme kalmıştır.

2.2.3.5 CS_1S_H150_S08_4_2400

2.2.3.5.1 Gerçekleşen Döşeme Yükseklikleri

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlıkları Şekil 2.76’da verilmiştir.



Şekil 2.76 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri ([cm])

2.2.3.5.2 Deney Öncesi Numune Görünümü

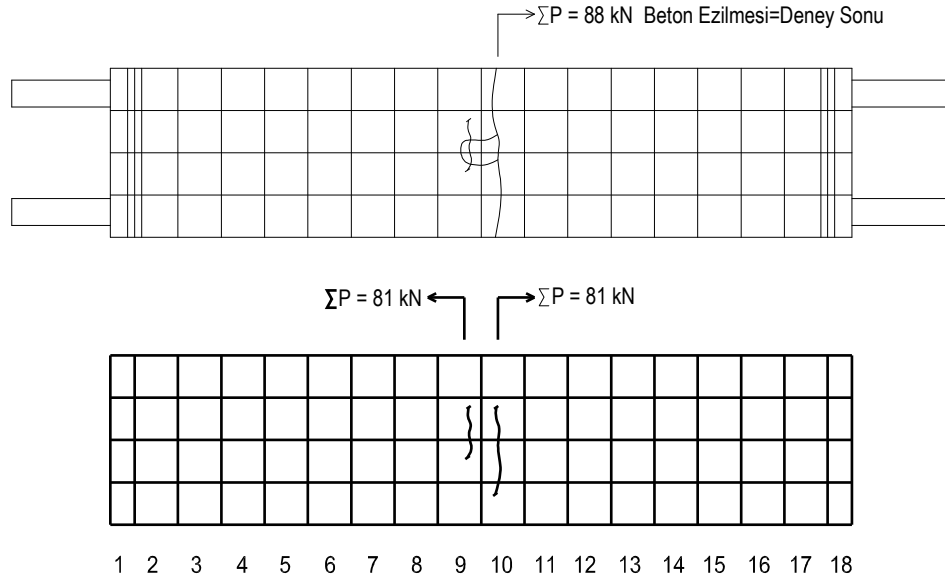
Deney öncesi numuneye ait fotoğraf Şekil 2.77’de verilmiştir.



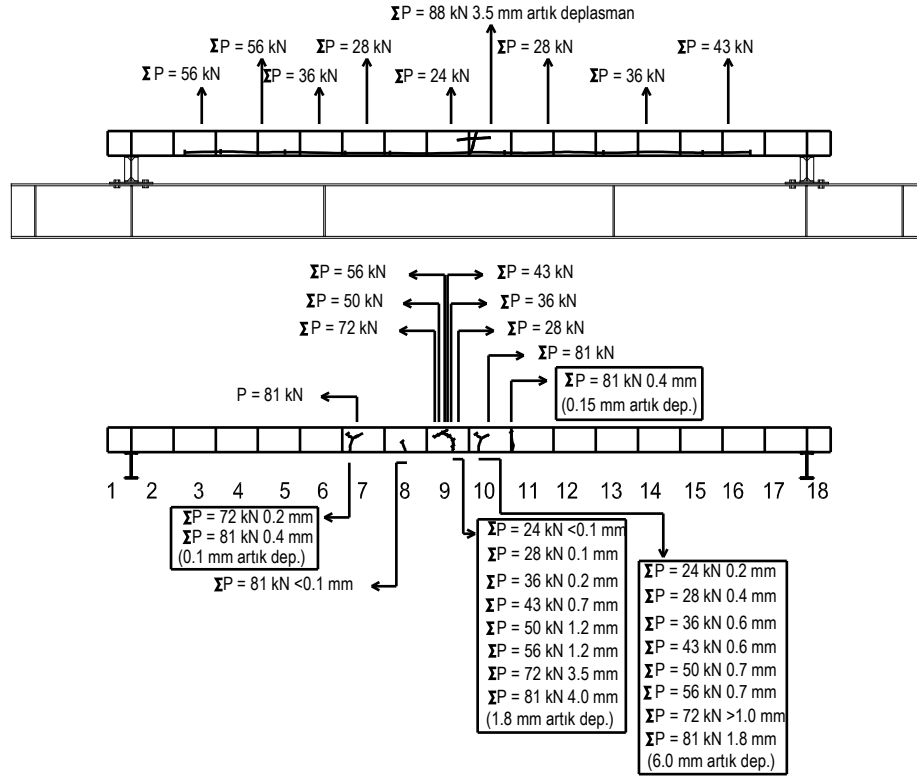
Şekil 2.77 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü

2.2.3.5.3 Çatlak Krokileri

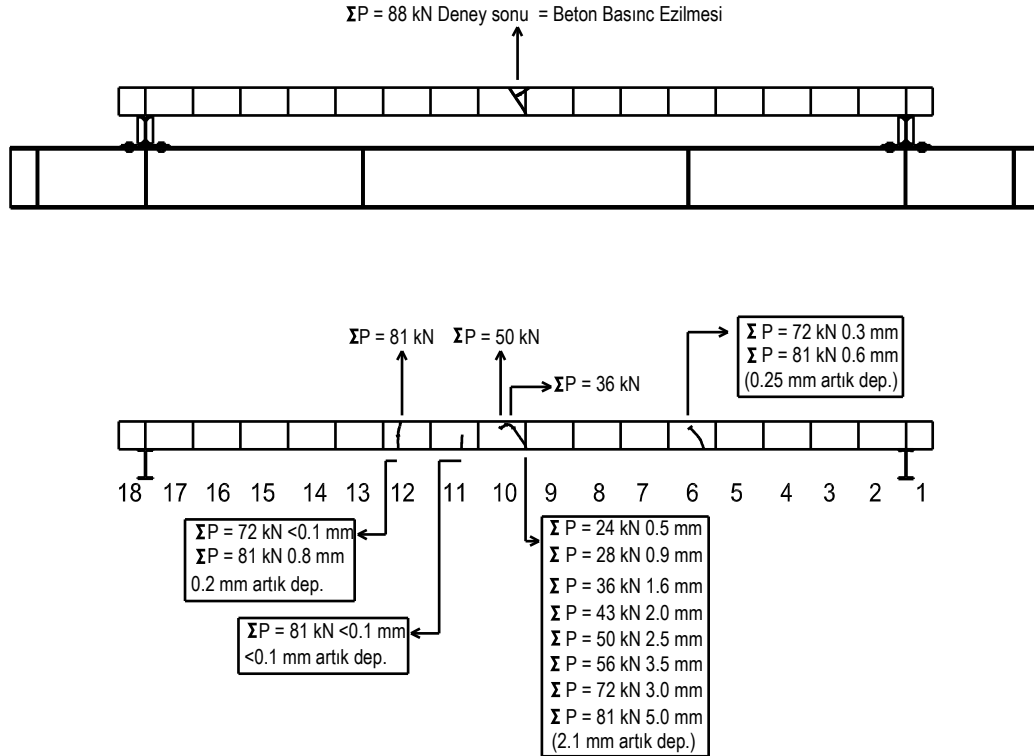
Değişik yükleme aşamalarında gerçekleşen çatlaklar, o aşamadaki toplam yük miktarı ile birlikte Şekil 2.78, 2.79 ve 2.80’de verilmiştir.



Şekil 2.78 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Üst Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.79 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.80 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi

2.2.3.5.4 Deney Sonrası Numune Görünümü

Değişik yükleme adımlarında gözlenen hasarları gösteren fotoğraflar Şekil 2.81’de verilmiştir.

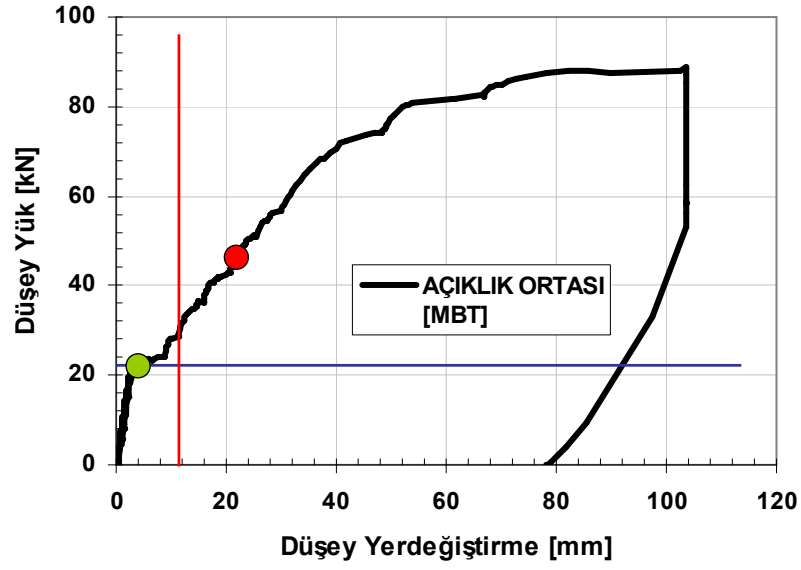


Şekil 2.81 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesinin Deney Sonrası Görünümü

2.2.3.5.5 Numuneye Ait Grafikler

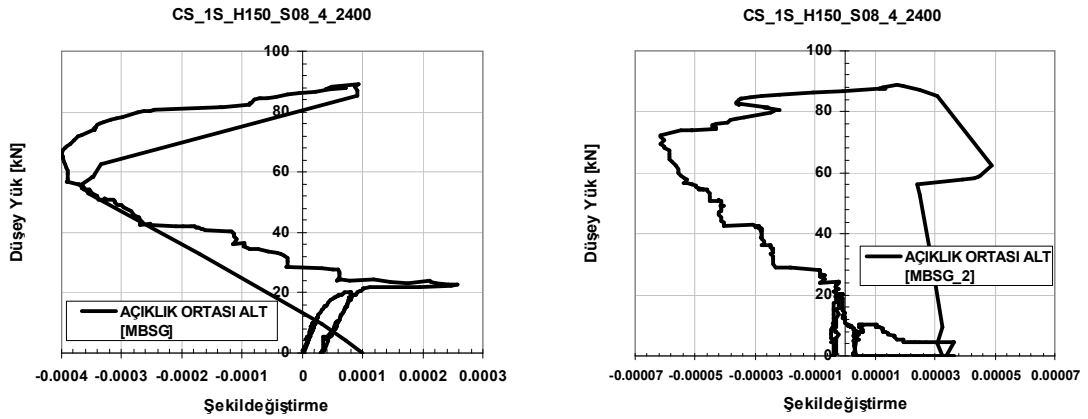
Numune, aralarındaki mesafe 2400 mm olan iki tekil yükün etkisinde bırakılmıştır. Göçme aşamasına kadar yükler yavaş yavaş arttırılmıştır. Numunenin açıklık ortası için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.82, açıklık ortası alttaki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.83, açıklık ortası üstteki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.84, 1.mesnet ve 2.mesnet için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.85, sol kenardaki aderans kaybı Şekil 2.86, sağ kenardaki aderans kaybı Şekil 2.87, 320 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.88, 240 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.89, 140 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.90’da verilmiştir

CS_1S_H150_S08_4_2400

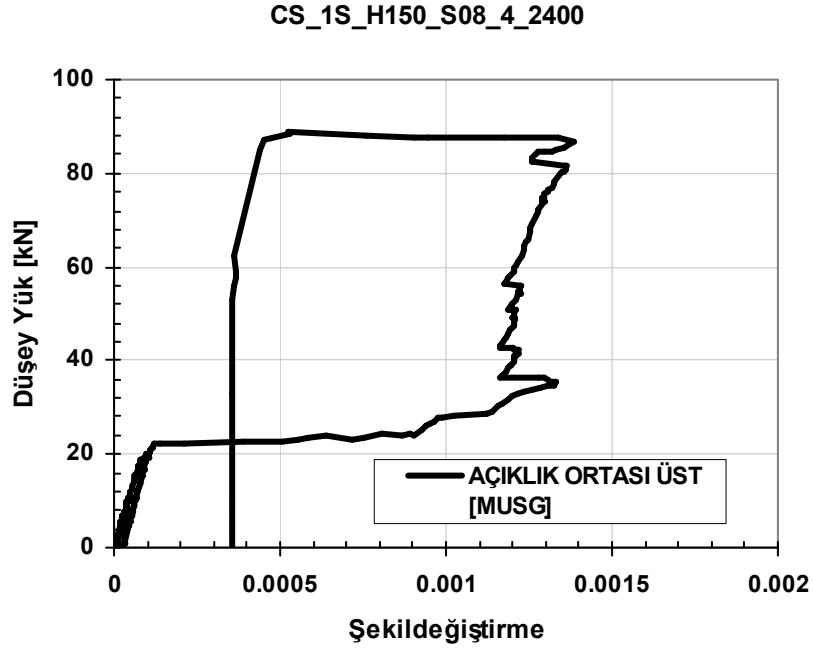


Şekil 2.82 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği

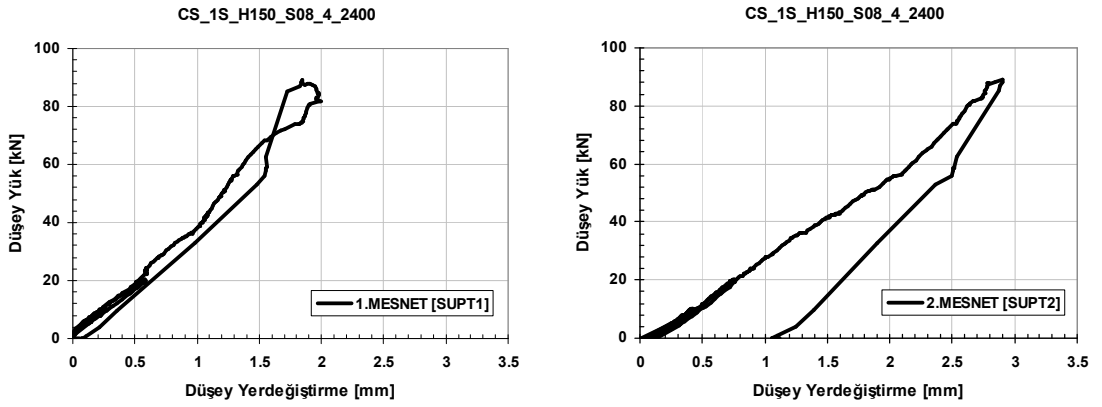
Tasarım aşamasında kullanılan ilave yük miktarını temsil eden yatay mavi çizgi ve L/360 kritik sehim oranına karşı gelen düşey kırmızı çizgi grafiklere eklenmiştir. Gözlenen ilk çatlak ve ilk akma seviyeleri de sırası ile yeşil ve kırmızı noktalar ile grafikler üzerine işaretlenmiştir.



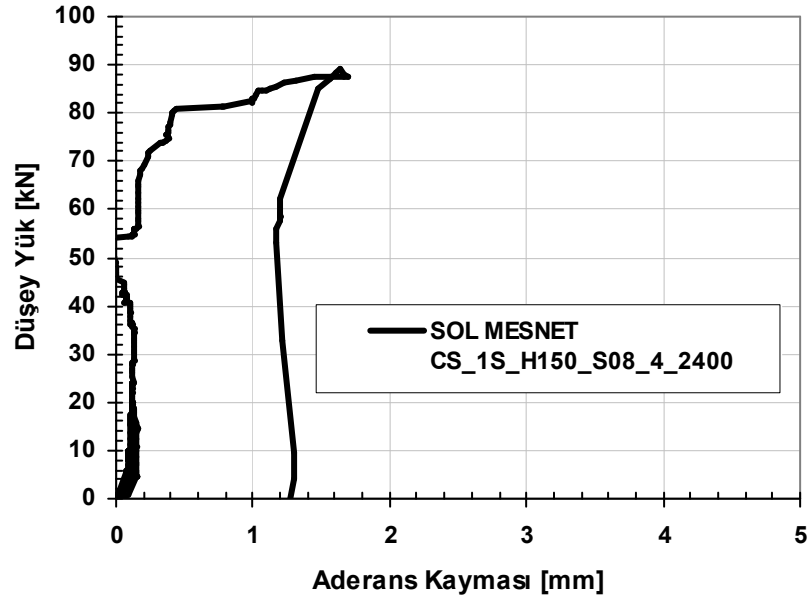
Şekil 2.83 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri



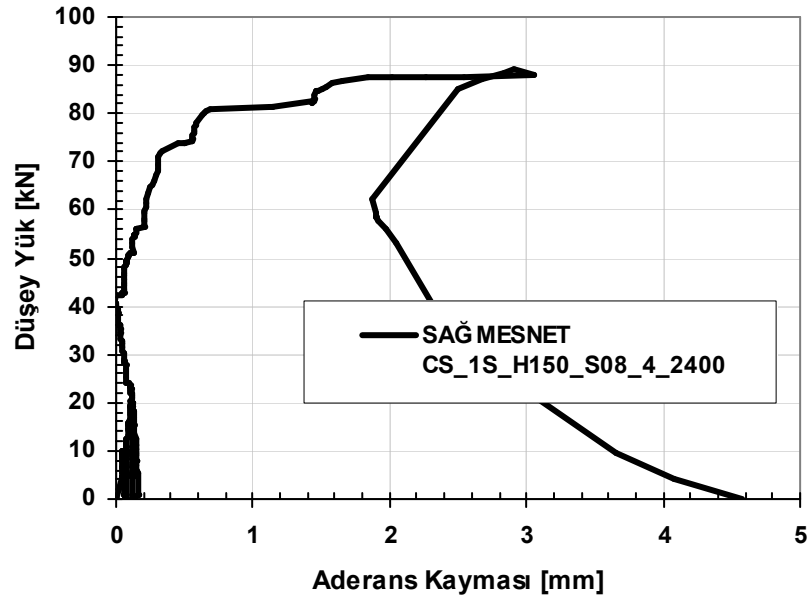
Şekil 2.84 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P-
Şekildeğiştirme Grafiği



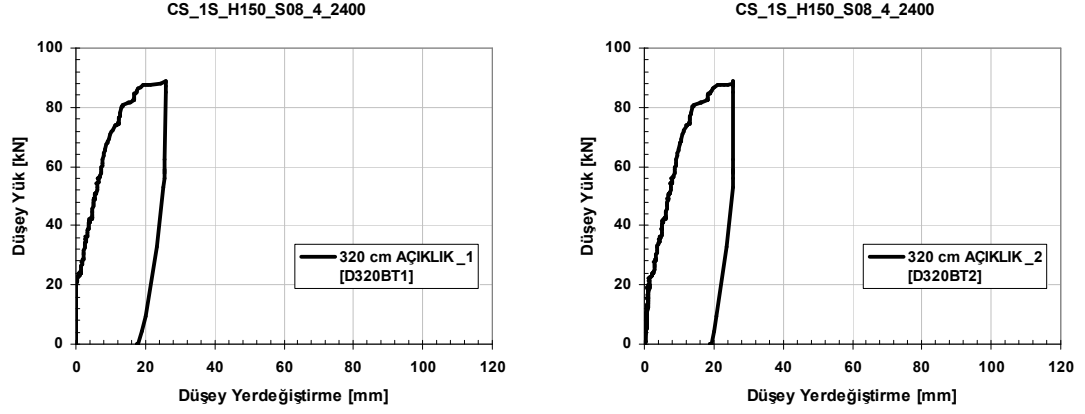
Şekil 2.85 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ
Grafiği



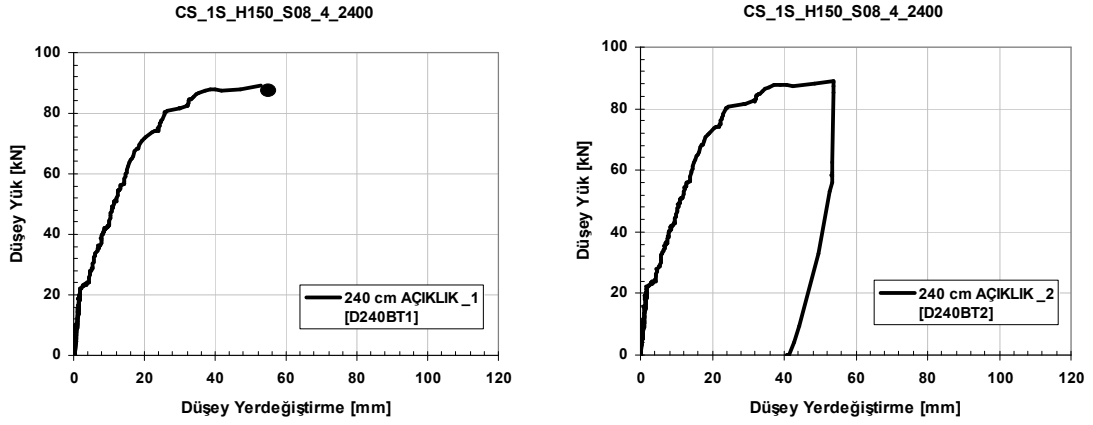
Şekil 2.86 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kaybı



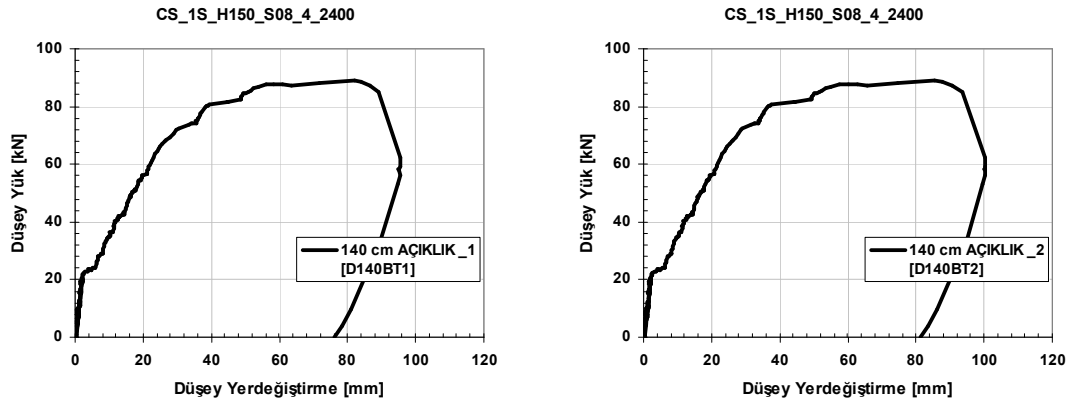
Şekil 2.87 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kaybı



Şekil 2.88 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.89 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.90 : CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği

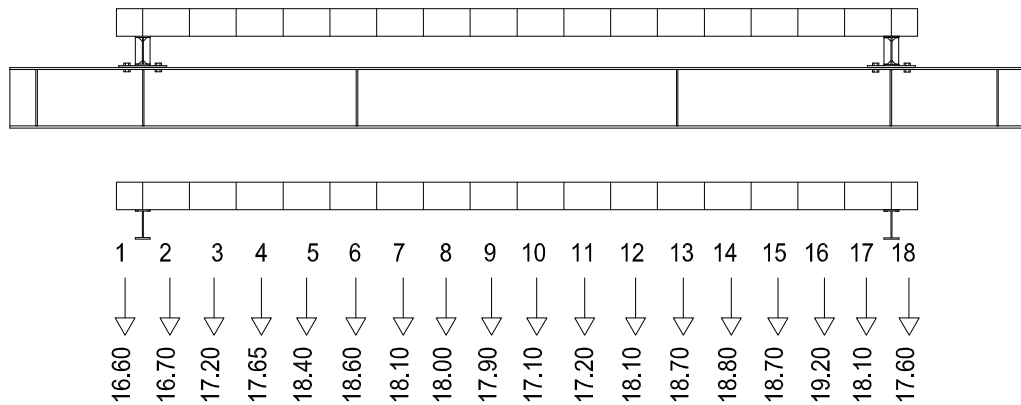
2.2.3.5.6 Deney Gözlemleri

Değişik yükleme adımlarında gerçekleşen orta nokta düşey yerdeğiştirmesi ve trapez sactaki şekildeğiştirme miktarları şöyledir: İlk $\Sigma P = 10$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 1.16$ mm, $\epsilon_{\max} = 19$ m μ ; ikinci $\Sigma P = 10$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 1.2$ mm, $\epsilon_{\max} = 21$ m μ ; $\Sigma P = 20$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 2.4$ mm, $\epsilon_{\max} = 70$ m μ . Bu aşamada yükleme boşaltılmıştır. $\Sigma P = \sim 0$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 0.38$ mm, $\epsilon_{\max} = 30$ m μ ; $\Sigma P = 10$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 1.46$ mm, $\epsilon_{\max} = 56$ m μ ; $\Sigma P = 20$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 2.6$ mm, $\epsilon_{\max} = 91$ m μ . İlk çatlak sesleri $\Sigma P = 23.5$ kN da duyulmuştur. Trapez sac-beton arayüzünde ayrılma gözlenmiştir. Bu yük seviyesinde $\delta_{\max} = 7.00$ mm, $\epsilon_{\max} = 147$ m μ olmuştur. Beton ile çelik arasındaki aderans kaybının orta bölgede başlayıp kenarlara doğru yayıldığı gözlenmiştir. $\Sigma P = 28$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 10.1$ mm, $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.12$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.06$ mm olmuştur. $\Sigma P = 42.8$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 20.3$ mm ve sağ kenarda aderans kaybının başladığı gözlemlenmiştir. $\Sigma P = 80$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 53.7$ mm, $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.4$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.68$ mm olmuştur. Bu aşamada açıklık ortasında basınç bölgesinde ezilmenin başladığı görülmüştür. $\Sigma P = 89$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 103$ mm olmuş ve deney basınç ezilmesi ile son bulmuştur.

2.2.3.6 CS_1S_H150_S08_5_3200

2.2.3.6.1 Gerçekleşen Döşeme Yükseklikleri

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlıkları Şekil 2.91’de verilmiştir.





Şekil 2.91 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri ([cm])

2.2.3.6.2 Deney Öncesi Numune Görünümü

Deney öncesi numuneye ait fotoğraf Şekil 2.92’de verilmiştir.



Şekil 2.92 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü

2.2.3.6.3 Çatlak Krokileri

Değişik yükleme aşamalarında gerçekleşen çatlaklar, o aşamadaki toplam yük miktarı ile birlikte Şekil 2.93 ve Şekil 2.94’de verilmiştir.

2.2.3.6.4 Deney Sonrası Numune Görünümü

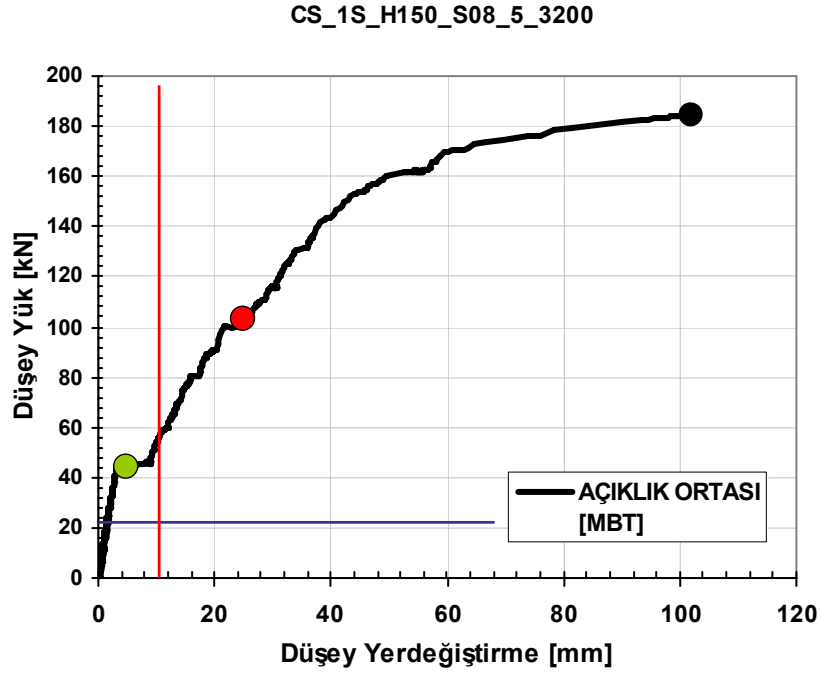
Değişik yükleme adımlarında gözlenen hasarları gösteren fotoğraflar Şekil 2.95’de verilmiştir.



Şekil 2.95 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesinin Deney Sonrası Görünümü

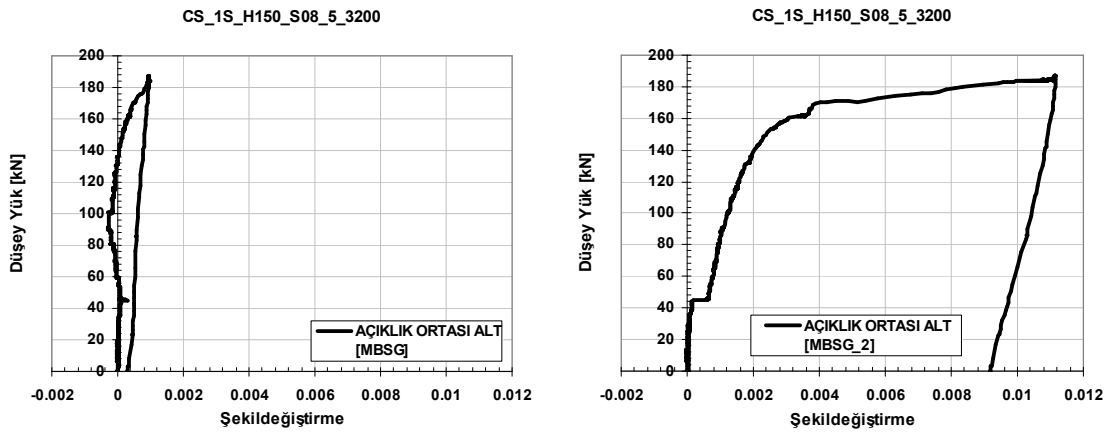
2.2.3.6.5 Numuneye Ait Grafikler

Numune, aralarındaki mesafe 3200 mm olan tekil yükler etkisinde bırakılmıştır. Başlangıç aşamasındaki küçük yükleme boşaltma çevrimlerinden sonra yükler göçme aşamasına kadar yavaş yavaş arttırılmıştır. Numunenin açıklık ortası için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.96, açıklık ortası alttaki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.97, açıklık ortası üstteki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.98, 1.mesnet ve 2.mesnet için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.99, sol kenardaki aderans kaybı Şekil 2.100, sağ kenardaki aderans kaybı Şekil 2.101, 320 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.102, 240 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.103, 140 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.104’de verilmiştir

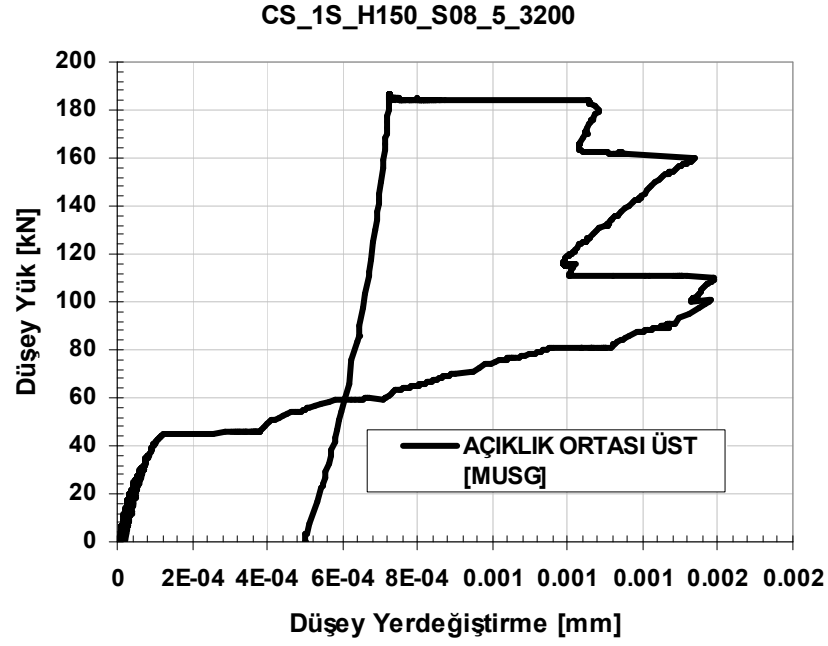


Şekil 2.96 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği

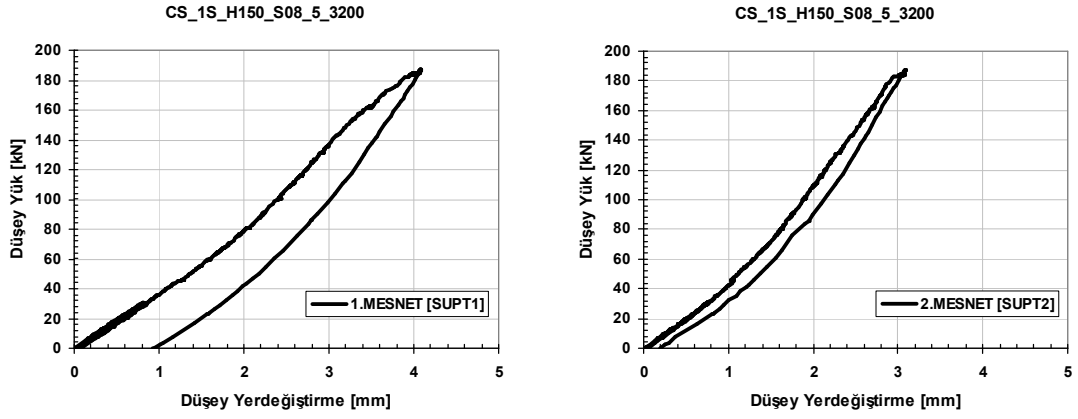
Tasarım aşamasında kullanılan ilave yük miktarını gösteren yatay mavi çizgi ive L/360 kritik sehim oranına karşı gelen düşey kırmızı çizgi grafiklere eklenmiştir. Gözlenen ilk çatlak ve ilk akma seviyeleri de sırası ile yeşil ve kırmızı noktalar ile grafikler üzerine işaretlenmiştir.



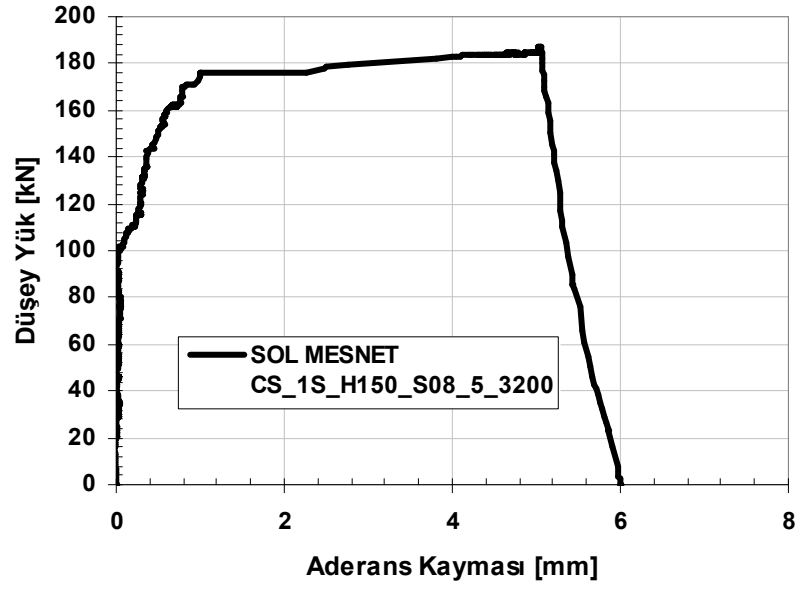
Şekil 2.97 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Açıklık Ortası MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçeri



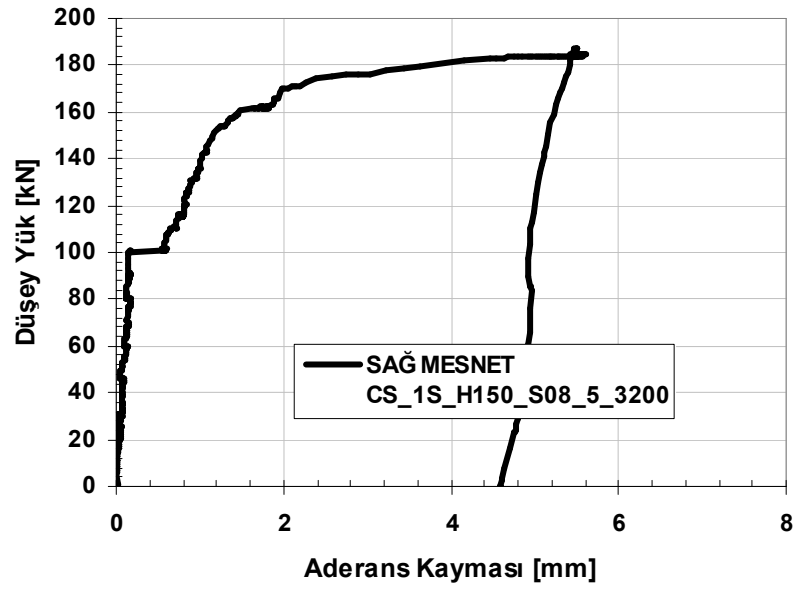
Şekil 2.98 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P- δ Şekildeğiştirme Grafiği



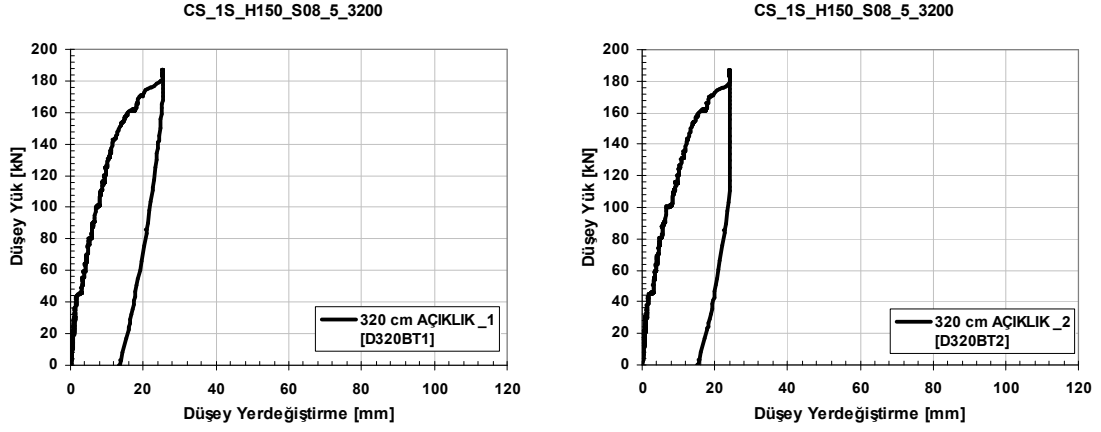
Şekil 2.99 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği



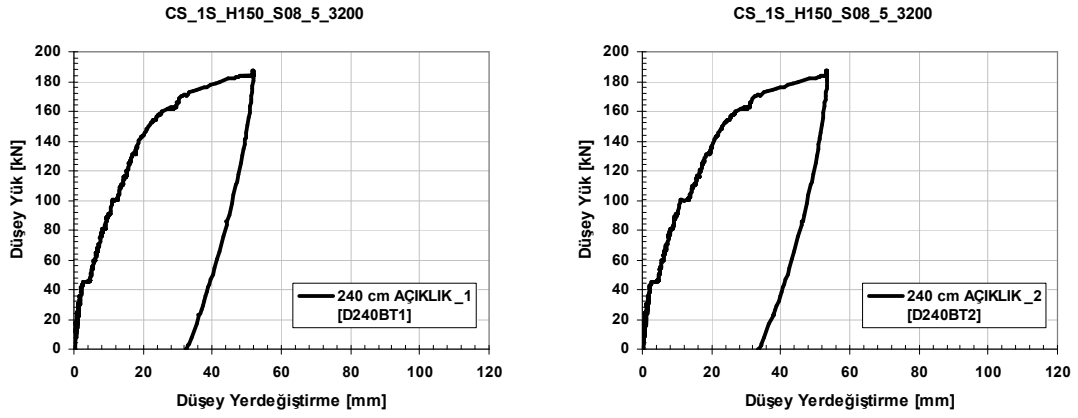
Şekil 2.100 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Sol Kenarda Aderans Kayması



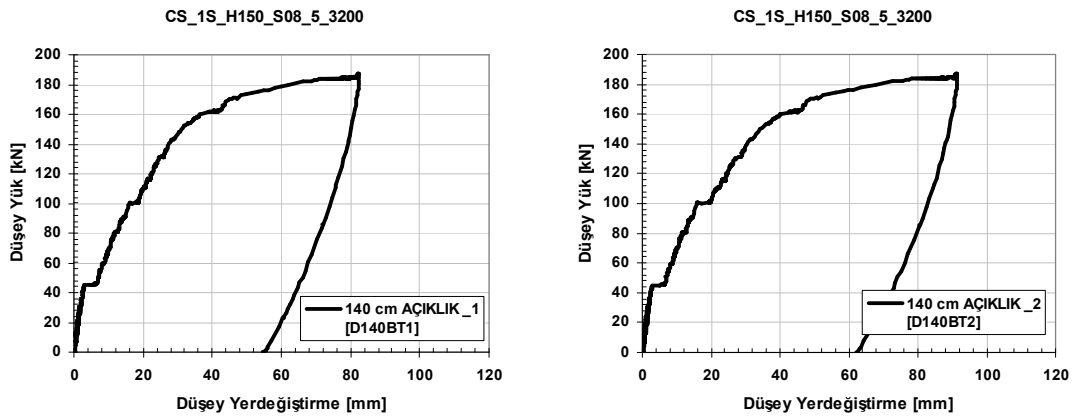
Şekil 2.101 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi Sağ Kenarda Aderans Kayması



Şekil 2.102 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.103 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.104 : CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği

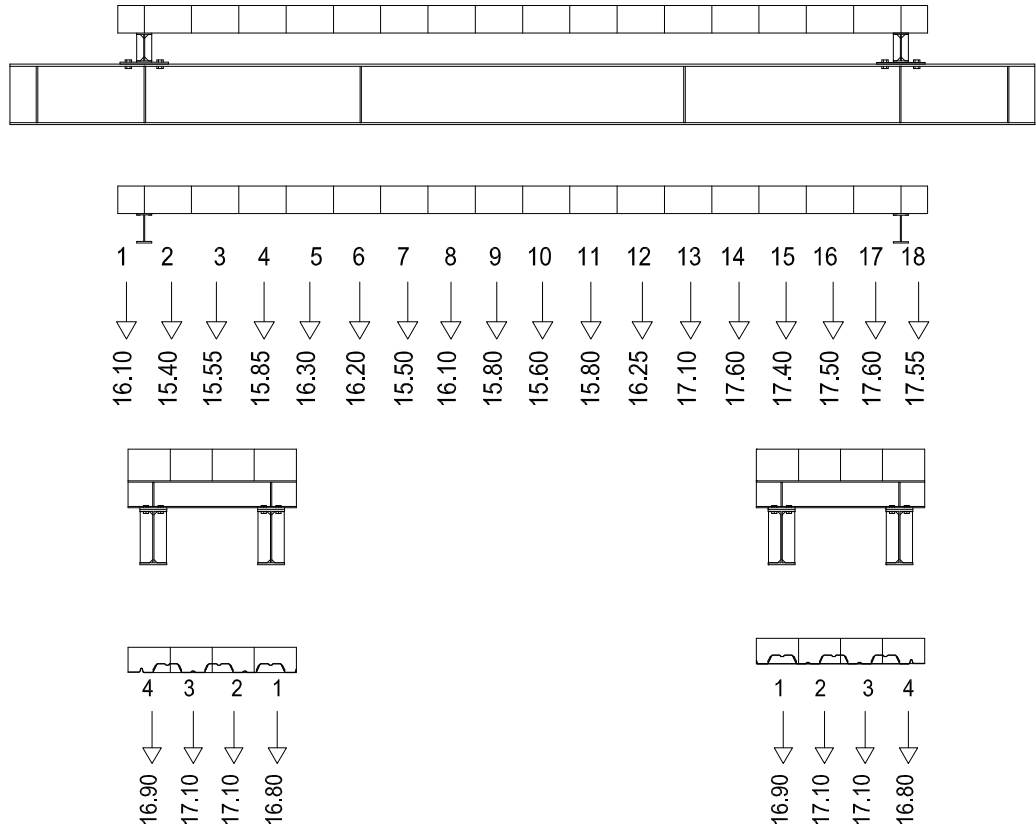
2.2.3.6.6 Deney Gözlemleri

Değişik yükleme adımlarında gerçekleşen orta nokta düşey yerdeğiştirmesi ve trapez sactaki şekildeğiştirme miktarları şöyledir: $\Sigma P = 10$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 0.67$ mm, $\epsilon_{\max} = 13$ m μ , bu yük seviyesinde çatlak gözlenmemiştir; $\Sigma P = 20$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 1.28$ mm, $\epsilon_{\max} = 30$ m μ ; $\Sigma P = 25$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 1.62$ mm, $\epsilon_{b\max} = 40$ m μ , $\epsilon_{t\max} = -48$ m μ ; $\Sigma P = 30.7$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 2.04$ mm, $\epsilon_{b\max} = 60$ m μ , $\epsilon_{t\max} = -60$ m μ , bu yük seviyesine kadar numunenin elastik bölgede kaldığı gözlenmiştir. Bu aşamada yükleme boşaltılmıştır. $\Sigma P = \sim 0$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 0.24$ mm, $\epsilon_{\max} = 21$ m μ ; $\Sigma P = 10$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 0.88$ mm; $\Sigma P = 20$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 1.46$ mm; $\Sigma P = 30$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 2.08$ mm, $\epsilon_{b\max} = 69$ m μ , $\epsilon_{t\max} = -69$ m μ ; $\Sigma P = 45$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 3.40$ mm, $\epsilon_{b\max} = 174$ m μ , $\epsilon_{t\max} = -122$ m μ olarak kaydedilmiş ve ilk çatlak gözlenmiştir. $\Sigma P = 60$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 11.70$ mm, $\epsilon_{a\max} = 777$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -669$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = \sim 0$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.1$ mm olmuştur. $\Sigma P = 70$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 13.76$ mm, $\epsilon_{a\max} = 870$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -898$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.04$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.14$ mm olmuştur. $\Sigma P = 80$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 16.02$ mm, $\epsilon_{a\max} = 965$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -1111$ m μ ve $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = \sim 0$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.12$ mm olmuştur. $\Sigma P = 90$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 19.80$ mm, $\epsilon_{a\max} = 1107$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -1407$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = \sim 0$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.1$ mm olmuştur. $\Sigma P = 100$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 22.10$ mm, $\epsilon_{a\max} = 1220$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -1574$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = \sim 0$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.15$ mm olmuştur. $\Sigma P = 111$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = -27.72$ mm, $\epsilon_{a\max} = 1380$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -1385$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = -0.15$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = -0.66$ mm olmuştur. Bu aşamada trapez sacta ilk akma oluşmuştur. $\Sigma P = 115$ kN seviyesinde $\delta_{\max\text{ilk}} = -29.60$ mm $\delta_{\max\text{son}} = -30.48$ mm; $\Sigma P = 130$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 34.1$ mm, $\epsilon_{\max} = 1759$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = -0.3$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = -0.8$ mm; $\Sigma P = 160$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 49.68$ mm, $\epsilon_{\max} = 3087$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = -0.6$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = -1.5$ mm; $\Sigma P = 180$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 93.0$ mm olarak gözlenmiştir. Ulaşılan en büyük yük 188 kN ve oluşan en büyük çatlak genişliğı 10 mm olmuştur.

2.2.3.7 CS_1S_H150_S08_6_3200

2.2.3.7.1 Gerçekleşen Döşeme Yükseklikleri

Enine ve boyuna doğırtuda gerçekleşen döşeme kalınlıkları şekil 2.105'de verilmiştir.



Şekil 2.105 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Ön, Sol ve Sağ Görünüş Döşeme Yükseklikleri ([cm])

2.2.3.7.2 Deney Öncesi Numune Görünümü

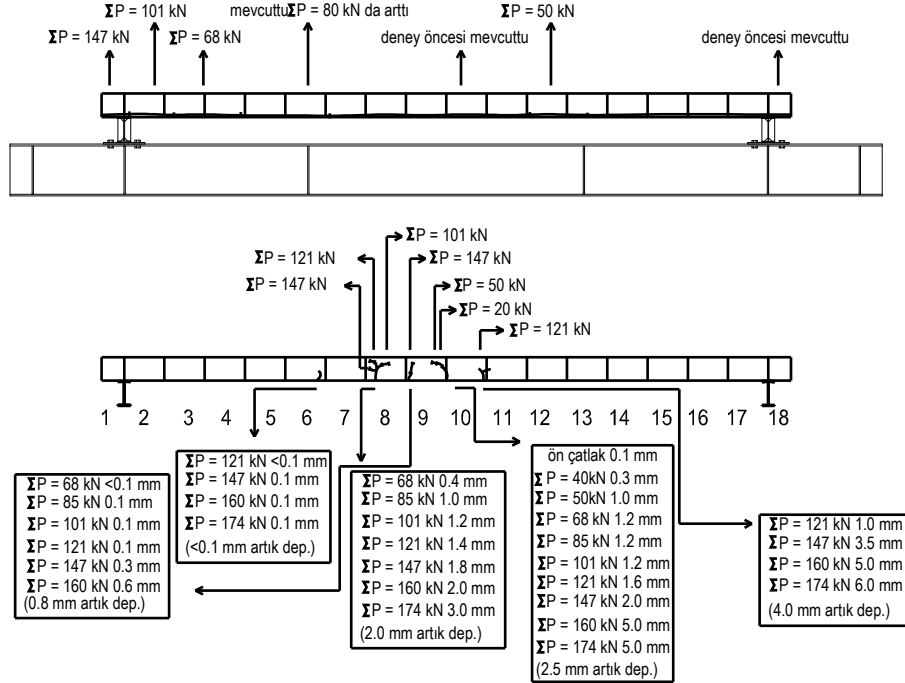
Deney öncesi numuneye ait fotoğraflar Şekil 2.106’ da verilmiştir.



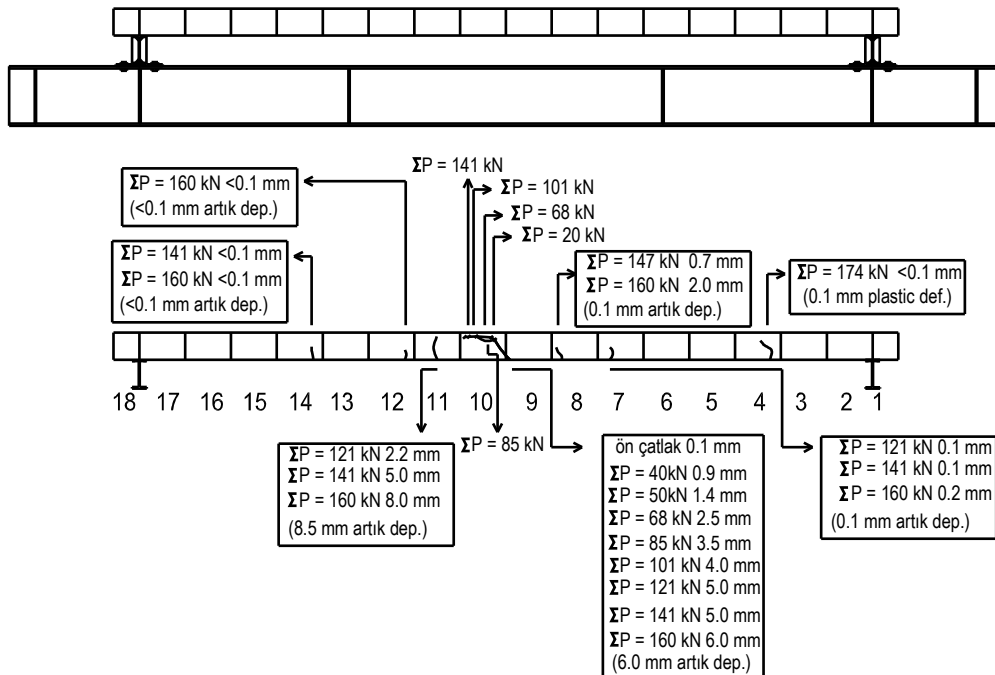
Şekil 2.106 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesinin Deney Öncesi Görünüşü

2.2.3.7.3 Çatlak Krokileri

Değişik yükleme aşamalarında gerçekleşen çatlaklar, o aşamadaki toplam yük miktarı ile birlikte Şekil 2.107 ve Şekil 2.108’ de verilmiştir.



Şekil 2.107 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Ön Görünüşe Ait Çatlak Krokisi



Şekil 2.108 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Arka Görünüşe Ait Çatlak Krokisi

2.2.3.7.4 Deney Sonrası Numune Görünümü

Değişik yükleme adımlarında gözlenen hasarları gösteren fotoğraflar Şekil 2.109’da verilmiştir.

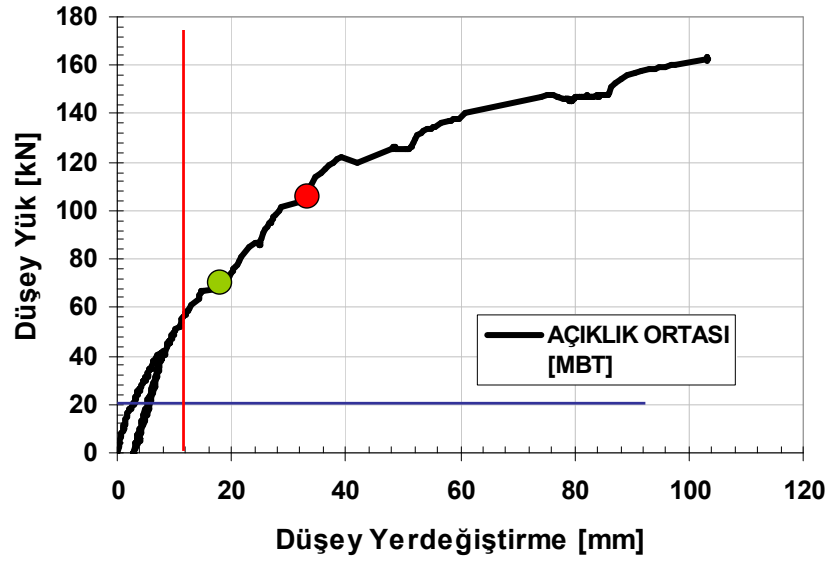


Şekil 2.109 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesinin Deney Sonrası Görünümü

2.2.3.7.5 Numuneye Ait Grafikler

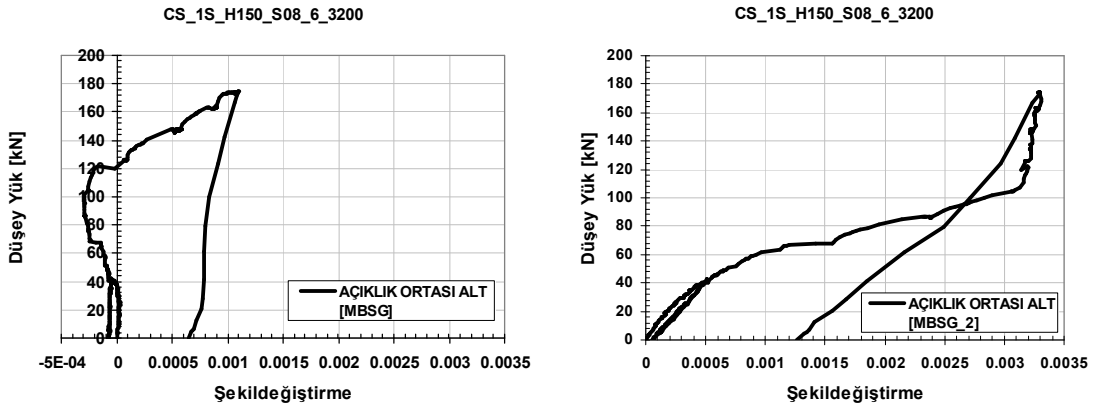
Numune, aralarındaki mesafe 3200 mm olan iki tekil tük etkisinde bırakılmıştır. Başlangıç aşamasında uygulanan yükleme ve boşaltma çevrimlerinin ardından yükler yavaş yavaş arttırılmıştır. Numunenin açıklık ortası için yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 2.110, açıklık ortası alttaki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.111, açıklık ortası üstteki yük-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 2.112, 1.mesnet ve 2.mesnet için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.113, sol kenardaki aderans kaybı Şekil 2.114, sağ kenardaki aderans kaybı Şekil 2.115, 320 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.116, 240 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.117, 140 cm açıklık için yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 2.118’de verilmiştir.

CS_1S_H150_S08_6_3200

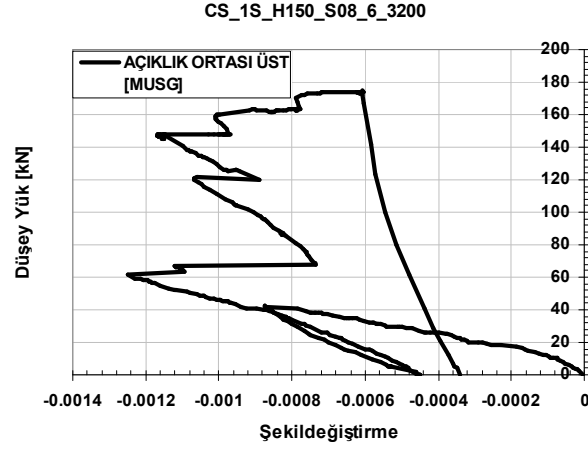


Şekil 2.110 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Açıklık Ortası için P- δ Grafiği

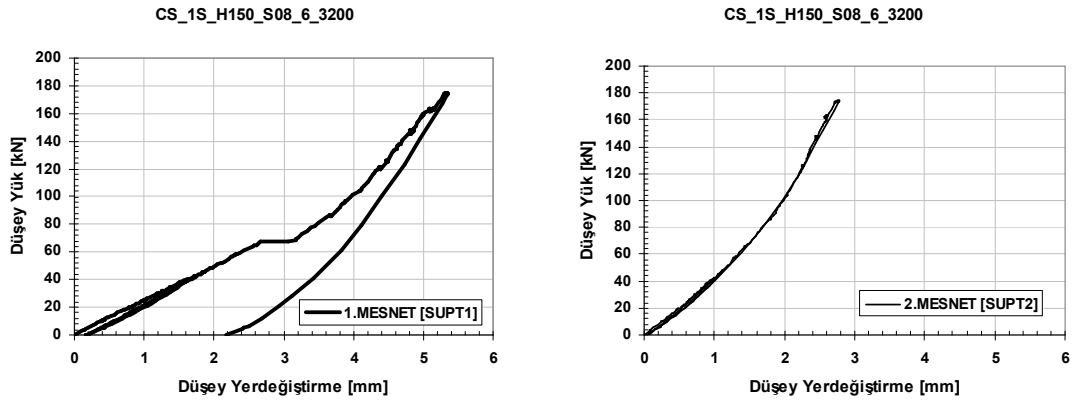
Tasarım aşamasında kullanılan ilave yük miktarını gösteren yatay mavi çizgi ve L/360 kritik sehim oranına karşı gelen düşey kırmızı çizgi grafiklere eklenmiştir. Gözlenen ilk çatlak ve ilk akma seviyeleri de sırası ile yeşil ve kırmızı noktalar ile grafikler üzerine işaretlenmiştir.



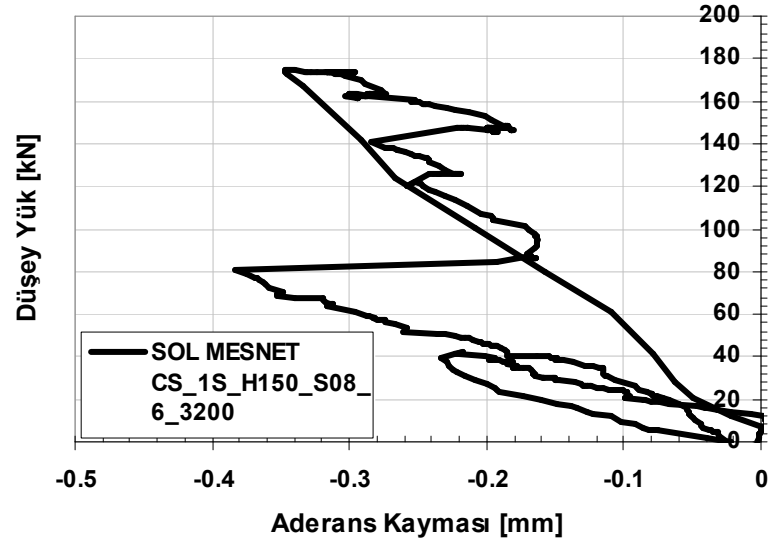
Şekil 2.111 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Açıklık MBSG ve MBSG_2 Şekildeğiştirme Ölçer



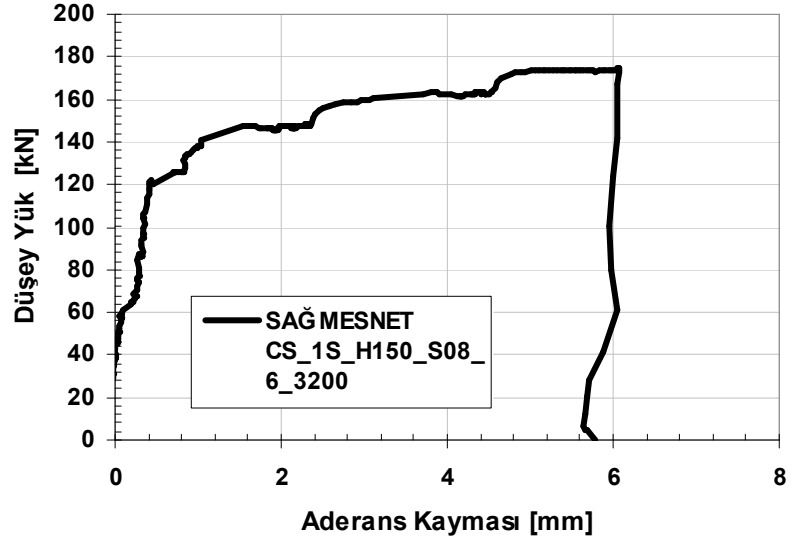
Şekil 2.112 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Açıklık Ortası Üst için P-Şekildeğiştirme Grafiği



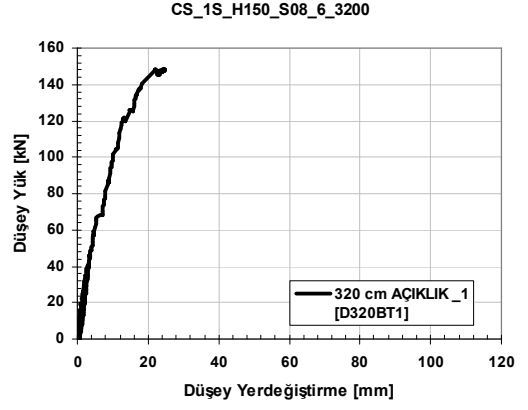
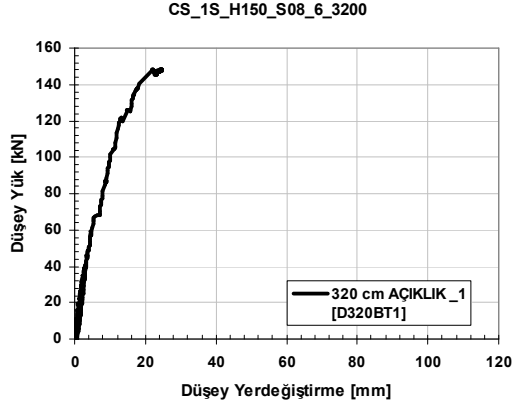
Şekil 2.113 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 1.Mesnet ve 2.Mesnet için P- δ Grafiği



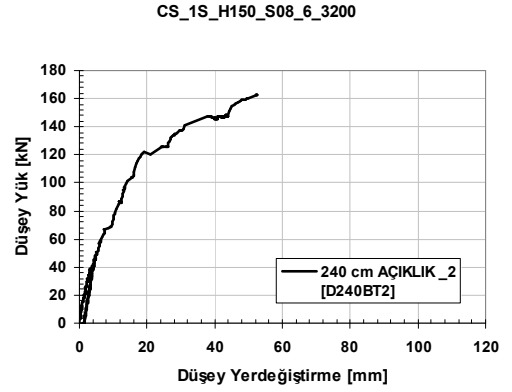
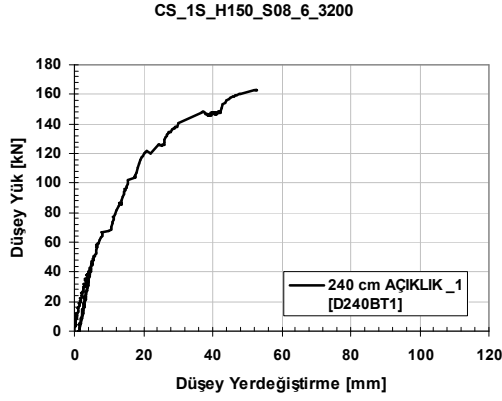
Şekil 2.114 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Sol Kenar Aderans Kayması



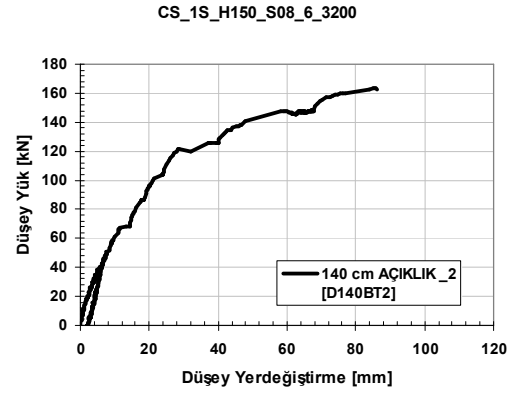
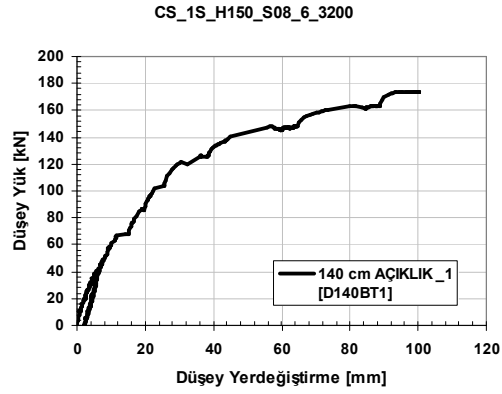
Şekil 2.115 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi Sağ Kenar Aderans Kayması



Şekil 2.116 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 320 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.117 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 240 cm Açıklık_1 ve Açıklık_2 için P- δ Grafiği



Şekil 2.118 : CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesi 140 cm Açıklık_1 ne Açıklık_2 için P- δ Grafiği

2.2.3.7.6 Deney Gözlemleri

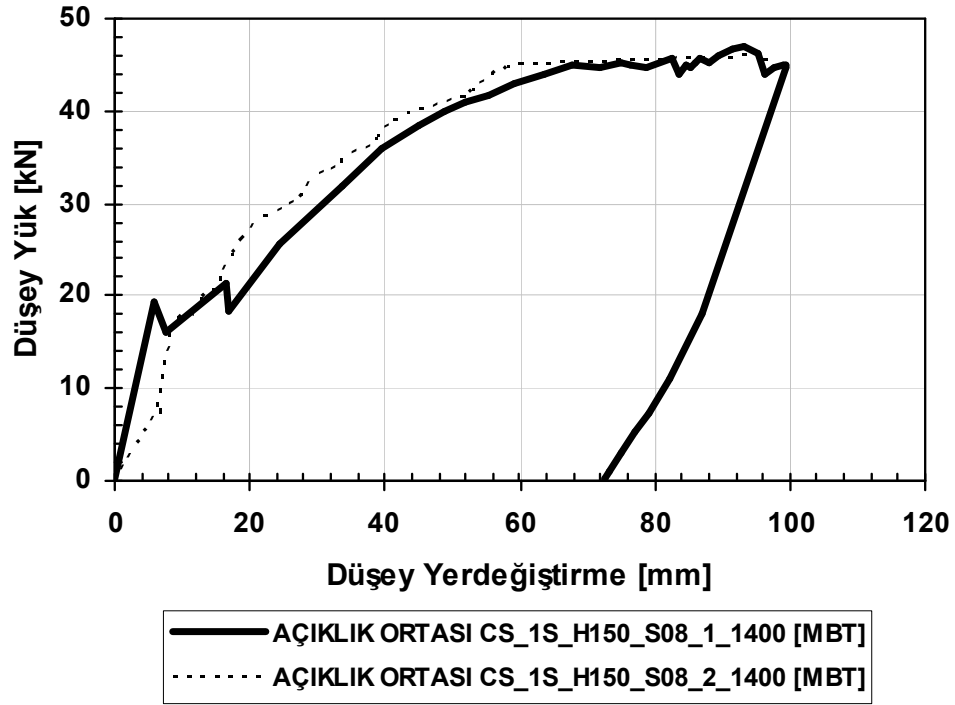
Değişik yükleme adımlarında gerçekleşen orta nokta düşey yerdeğiştirmesi ve trapez sactaki şekildeğiştirme miktarları şöyledir: $\Sigma P = 20$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 2.74$ mm, $\epsilon_{b\max} = 169$ m μ , $\epsilon_{c\max} = -289$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.087$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.1$ mm; $\Sigma P = 30$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 4.62$ mm, $\epsilon_{\max} = 304$ m μ , $\epsilon_{c\max} = -510$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.145$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.08$ mm; $\Sigma P = 40$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 7.00$ mm, $\epsilon_{\max} = 470$ m μ , $\epsilon_{c\max} = -784$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.21$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.06$ mm, bu aşamada yük boşaltılmıştır. İkinci defa $\Sigma P = 40$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 7.84$ mm, $\epsilon_{\max} = 495$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -876$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.15$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = \sim 0$ mm; $\Sigma P = 61$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 12.88$ mm, $\epsilon_{\max} = 964$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -1250$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.3$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.1$ mm, bu yük seviyesinde ön sağ bölgede trapez sac beton arayüzünde ayrılma gözlenmiştir. $\Sigma P = 68$ kN seviyesinde ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada $\delta_{\max} = 12.88$ mm, $\epsilon_{\max} = 1418$ m μ , $\epsilon_{c\max} = -734$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.34$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.26$ mm olmuştur. $\Sigma P = 85$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 23.12$ mm, $\epsilon_{\max} = 2142$ m μ , $\epsilon_{b\max} = -814$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.15$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.3$ mm; $\Sigma P = 101$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 28.86$ mm, $\epsilon_{\max} = 2900$ m μ , $\epsilon_{\min} = -919$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.16$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.37$ mm olmuştur. $\Sigma P = 111$ kN da trapez sacta akma gözlenmiştir. Akmanın gerçekleştiğı aşamadaki en büyük düşey yerdeğiştirme 28.2 mm dir. $\Sigma P = 121$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 38.5$ mm, $\epsilon_{\max} = 3202$ m μ , $\epsilon_{\min} = -1068$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.35$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 0.42$ mm olmuştur. $\Sigma P = 141$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 61.0$ mm, $\epsilon_{\max} = 3240$ m μ , $\epsilon_{\min} = -1100$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.30$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 1.08$ mm; $\Sigma P = 147$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 83.70$ mm, $\Sigma P = 160$ kN seviyesinde $\delta_{\max} = 97.7$ mm, $\epsilon_{\max} = 3260$ m μ , $\epsilon_{\min} = -996$ m μ , $\delta_{\text{sol}} \text{ aderans kaybı} = 0.25$ mm, $\delta_{\text{sağ}} \text{ aderans kaybı} = 3.00$ mm olmuştur. Ulaşılan en büyük yük 174.5 kN olmuş bu yük düzeyinde meydana gelen en büyük çatlak 9 mm olmuştur.

2.3 Deneyisel Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

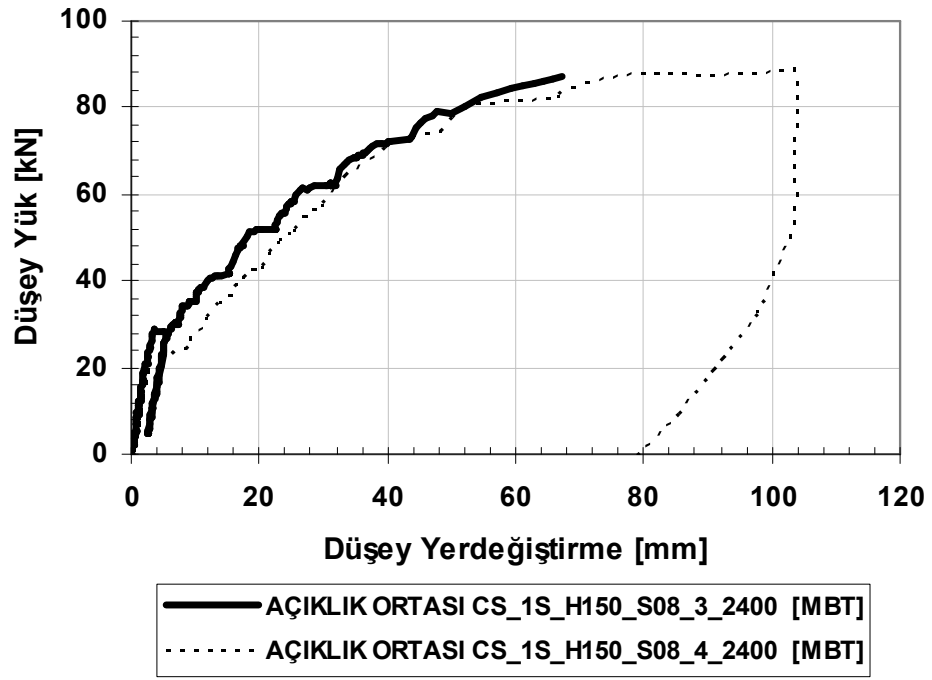
2.3.1 Kayma Açıklığı Aynı Numunelerde Düşey Yük-Düşey Yerdeğiştirme Grafiklerinin Karşılaştırılması

Üç farklı kesme açıklığı uygulanan ve her grupta 2 adet numunenin bulunduğu bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 2.119, Şekil

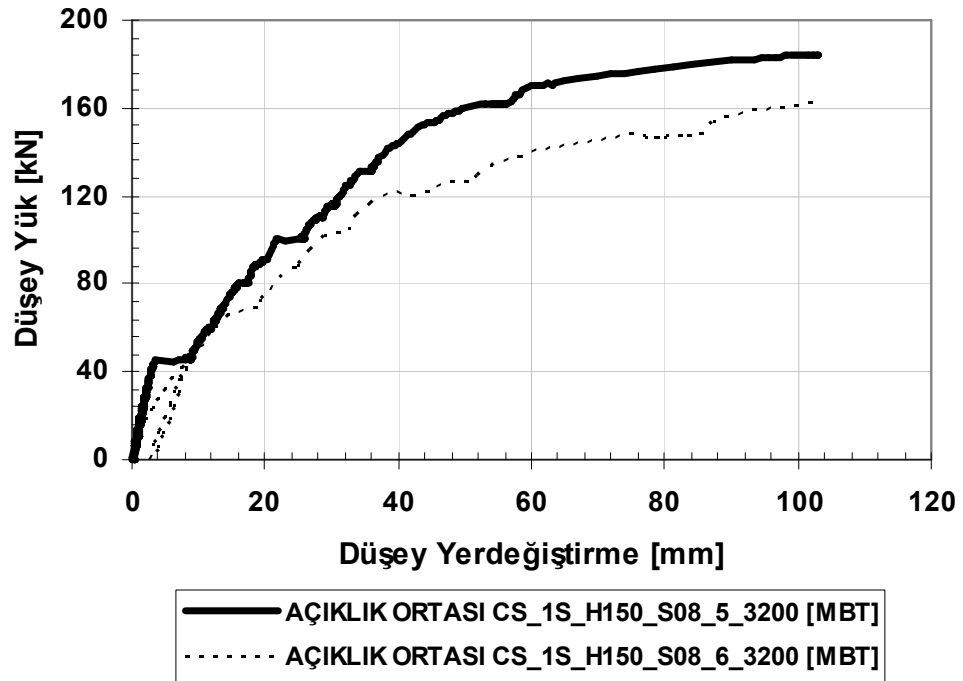
2.120’de verilen grafikteki değerlere göre aynı kayma açıklığına sahip numuneler arasında davranış açısından önemli bir farklılık bulunmamaktadır. Şekil 2.121’de 5 ve 6 no’lu numunelere ait grafiklerdeki farklılığın nedeni 6 no’lu numunede muhtemel bir ön kusurun varlığı ve numunelerin imalatı sırasında tasarlanan döşeme yüksekliğinden bir miktar farklı üretim yapılmış olmasıdır. 6 no’lu numunenin döşeme kalınlığı, 5 no’lu numuneye göre 15 mm daha incedir.



Şekil 2.119: Kayma Açıklığı 1400 mm. Olan Numunelerde Düşey Yük-Yerdeğiştirme Grafiklerinin Karşılaştırılması



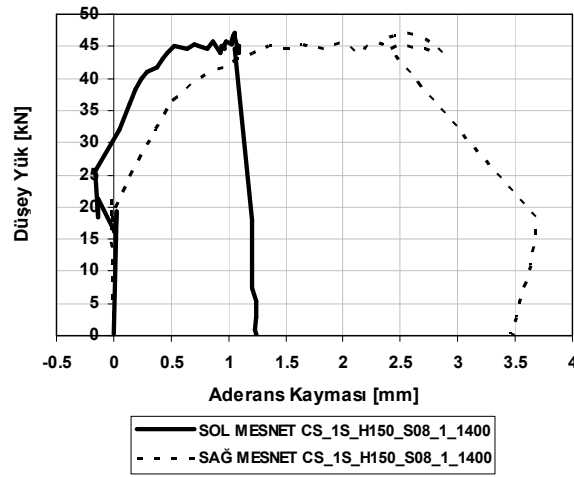
Şekil 2.120: Kayma Açıklığı 2400 mm. Olan Numunelerde Düşey Yük-Yerdeğiştirme Grafiklerinin Karşılaştırılması



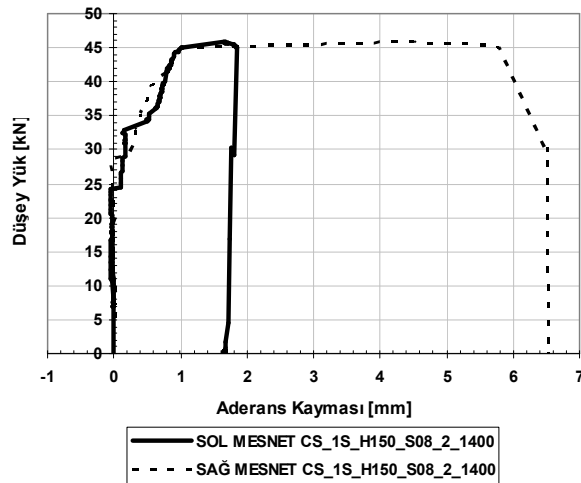
Şekil 2.121: Kayma Açıklığı 3200 mm. Olan Numunelerde Düşey Yük-Yerdeğiştirme Grafiklerinin Karşılaştırılması

2.3.2. Tüm Numunelerde Sağ ve Sol Mesnet Aderans Kaybı Karşılaştırılması

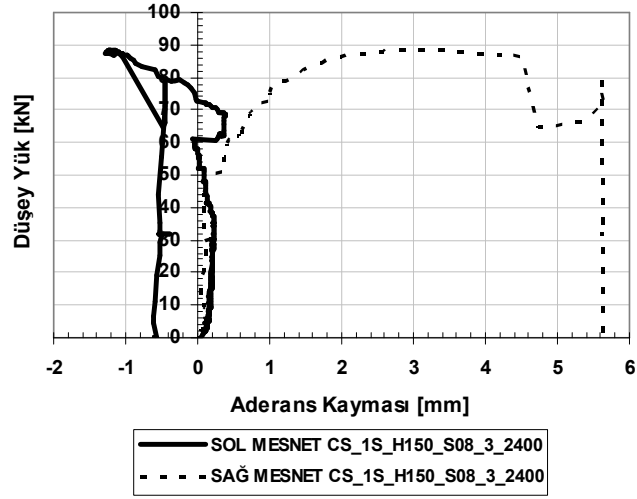
3 farklı kesme açıklığı uygulanan ve her bir grupta 2 numune denenerek, sağ ve sol kenarlarda beton ve sac arasındaki kaymanın ölçülebilmesi amacıyla biri beton, biri de sac yüzeyine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yerdeğiştirme değerlerinin farkları alınarak kayma büyüklüklerine geçilmiştir. Bu bölümde elde edilen verilerden Düşey Yük-Aderans Kayması grafikleri çizilmiştir. Şekil 2.122, Şekil 2.123, Şekil 2.124, Şekil 2.125, Şekil 2.126 ve Şekil 2.127’de her bir numunenin sağ ve sol mesnet bölgelerindeki düşey yük-aderans kayması grafikleri karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 2.128’de, bütün numunelerin sağ mesnetlerindeki düşey yük-aderans kayması grafikleri karşılaştırılması, Şekil 2.129’da ise sol mesnetlerindeki düşey yük-aderans kayması grafikleri karşılaştırılması verilmiştir.



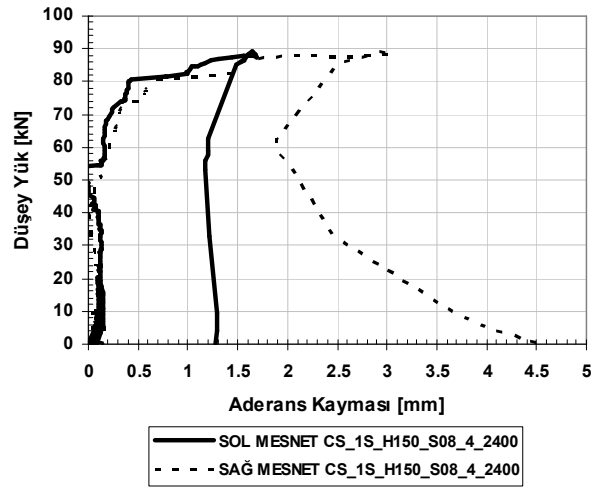
Şekil 2.122: Kayma Açıklığı 1400 mm Olan 1. Numunede Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması



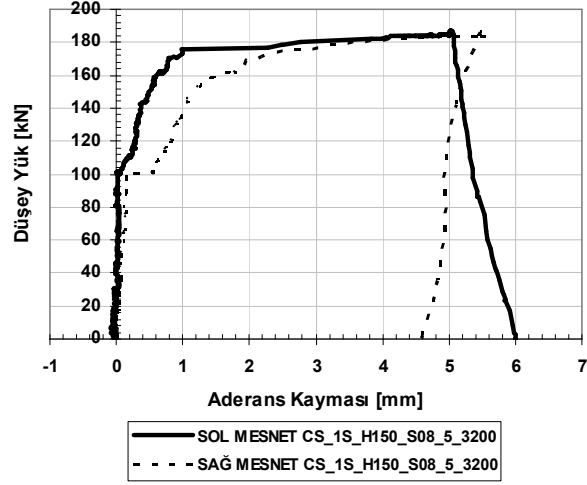
Şekil 2.123: Kayma Açıklığı 1400 mm Olan 2. Numunede Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması



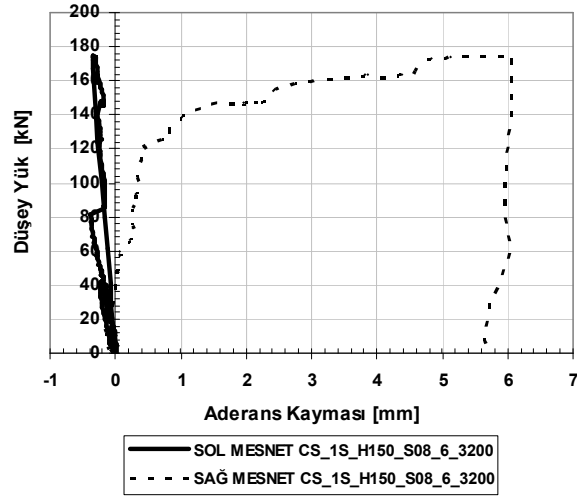
Şekil 2.124: Kayma Açıklığı 2400 mm Olan 3. Numunede Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması



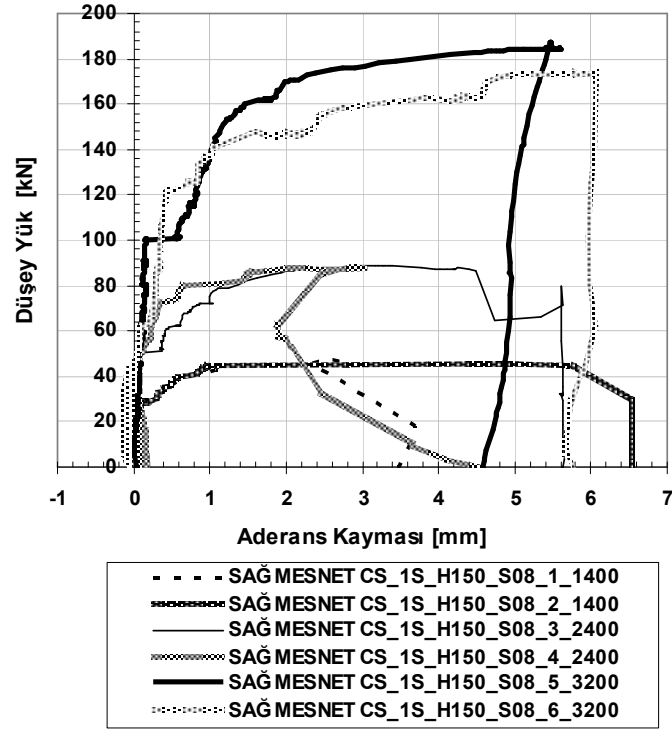
Şekil 2.125: Kayma Açıklığı 2400 mm Olan 4. Numunede Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması



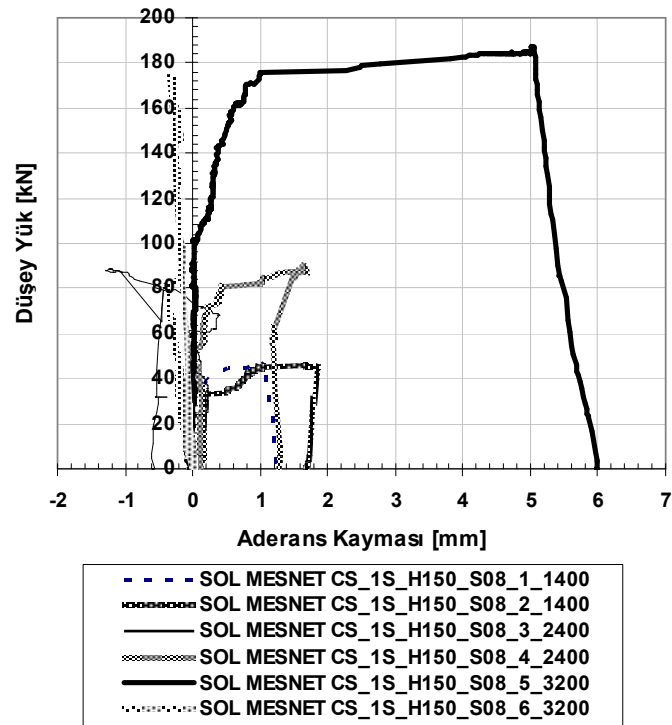
Şekil 2.126: Kayma Açıklığı 3200 mm Olan 5. Numunede Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 2.127: Kayma Açıklığı 3200 mm Olan 6. Numunede Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması

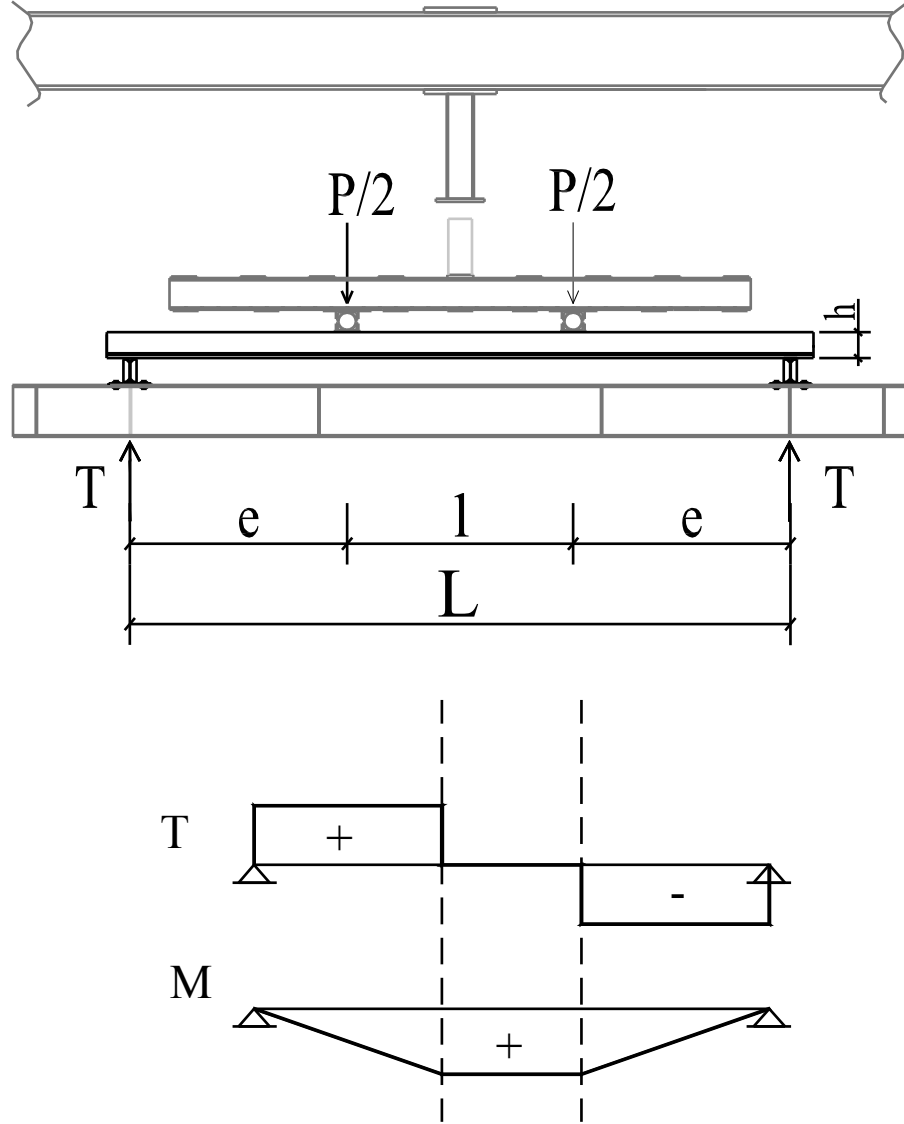


Şekil 2.128: Tüm Numunelerde Sağ Mesnet Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 2.129: Tüm Numunelerde Sol Mesnet Düşey Yük- Aderans Kayması Grafiklerinin Karşılaştırılması

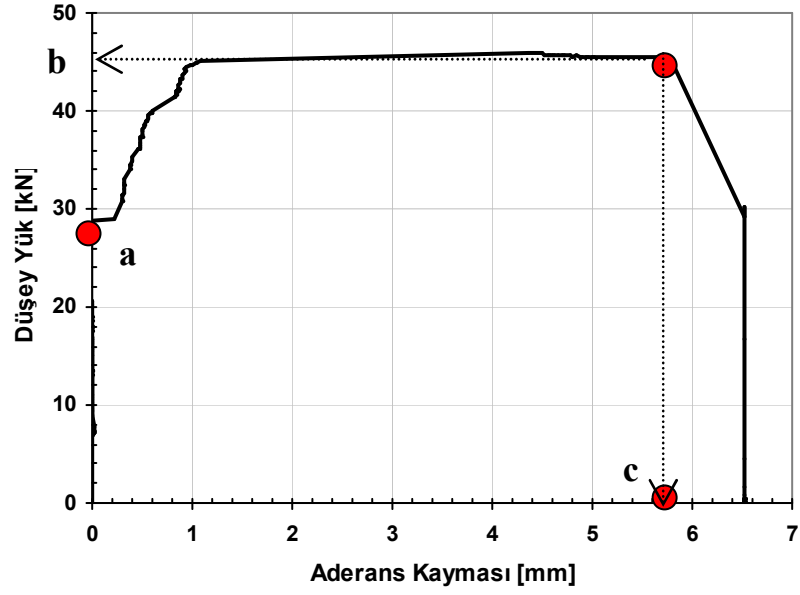
Şekil 2.130’da numune yükleme durumu, yükleme mesafeleri, mesnetlerde oluşan kesme kuvveti gösterilmiştir. Kesme açıklığı 2.1 ve ortalama kayma gerilmesi de 2.2 formülleri kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2.7’de verilmiştir. Şekil 2.132’de Tablo 2.7’de belirtilen a, b ve c kritik noktalarının tanımları verilmiştir. a noktası kaymanın başladığı yük seviyesini, b noktası ulaşılan en büyük yük seviyesini, c noktası ise kaydedilen en büyük kayma miktarını göstermektedir.



Şekil 2.130: Numune Yükleme Durumu

$$\xi = e/L \quad (2.1)$$

$$\tau = T / (e \cdot 1000) \quad [\text{kN/mm}^2] \quad (2.2)$$

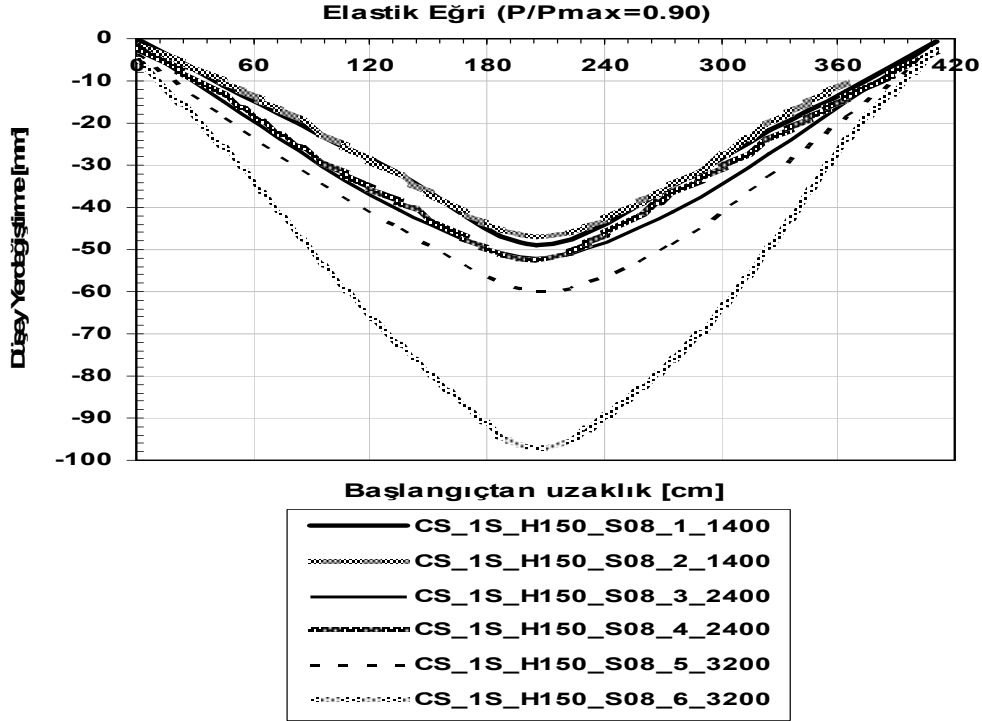


Şekil 2.131: Aderans Grafiğinde Kritik Noktaların Tanımı

Tablo 2.7: Kayma Deneyine Ait Ayrıntılar

Numune	ξ [mm/mm]	e [mm]	e/h [mm/mm]	T [kN]	τ [N/mm ²]	a [kN]	b [kN]	c [mm]	Mesnet
CS_1S_H150_S08_1_1400	0.330	1350	8.04	9.50	0.00704	20	46	2.32	Sağ
						18	46	1.06	Sol
CS_1S_H150_S08_2_1400	0.330	1350	8.23	13.25	0.00980	29	45	1.82	Sağ
						24	45	5.74	Sol
CS_1S_H150_S08_3_2400	0.208	850	4.94	27.00	0.03176	50	88	4.50	Sağ
						58	88	1.25	Sol
CS_1S_H150_S08_4_2400	0.208	850	4.75	24.25	0.02853	42	88	2.68	Sağ
						55	88	1.56	Sol
CS_1S_H150_S08_5_3200	0.110	450	2.51	50.25	0.01120	99	188	5.43	Sağ
						102	188	5.10	Sol
CS_1S_H150_S08_6_3200	0.110	450	2.74	25.00	0.00556	50	175	6.06	Sağ
						12	175	0.35	Sol

Altı farklı numunede gerçekleşen en büyük yük değerinin %90'ı seviyesinde elde edilen yerdeğiştirme formu Şekil 2.132'de verilmiştir.



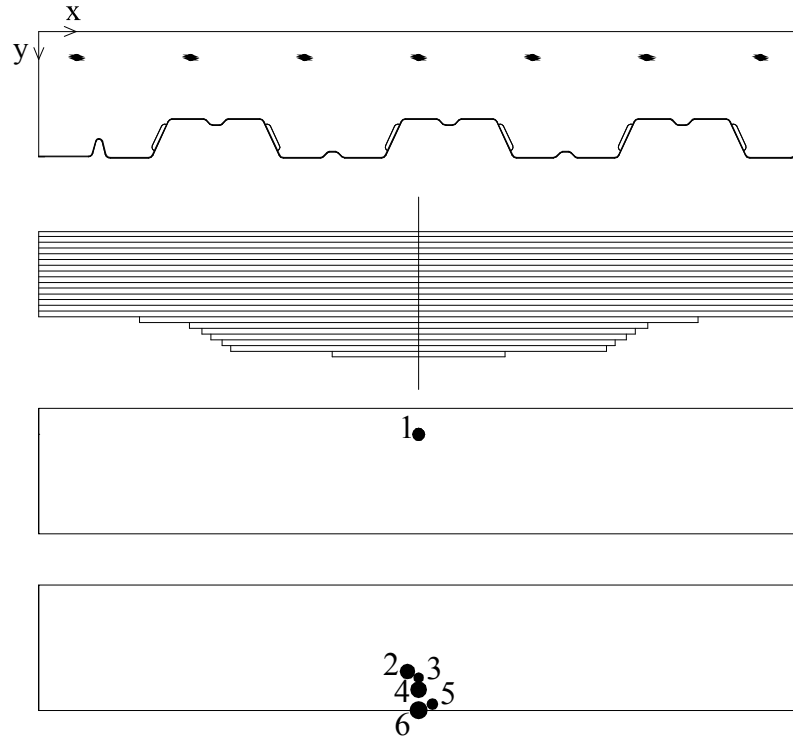
Şekil 2.132: Tüm Numunelerde $P/P_{max}=0.90$ Durumuna Ait Elastik Eğri Karşılaştırılması

Üç farklı $e=M/V$ değerine sahip toplam altı adet numune üzerinde yapılan deneyler sonucunda, kesme kuvveti etkisinde sac ve beton arayüzünde oluşan ortalama kayma gerilmesi büyüklüğünün değişimi irdelenmiştir. CS_1S_H150_S08_1_1400 numunesinde ($e=1350$ mm) sac ve beton arasındaki kayma, ilgili ortalama gerilme $\tau=0.0075$ MPa değerine eriştiğinde başlamıştır. CS_1S_H150_S08_5_1400 numunesinde ise ($e=450$ mm) oluşan ortalama kayma gerilmesi $\tau=0.111$ MPa düzeyine eriştiğinde, beton ve sac arasındaki kayma başlamaktadır. Bu durum mesnet kirişleri üzerine yerleştirilen kayma kamalarının yakın çevresinde etkili olabildiği şeklinde yorumlanmıştır. Basit kiriş açıklığı büyüdükçe; kompozit kesitin aderansı konusunda, sac üzerindeki geometrik biçimlerin mesnet kirişleri üzerine çakılan kayma kamalarından daha önemli olabileceği dikkate alınmalıdır.

3. KURAMSAL ÇALIŞMALAR

3.1 Kompozit Kesitte Moment Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi

Eğilme momenti etkisindeki bir kompozit kesitte, kuramsal olarak oluşturulan moment eğrilik ilişkisi yardımı ile dayanım, rijitlik, rijitlik kaybı, kesit sünekliği gibi önemli yapısal büyüklükler elde edilebilmektedir. Kompozit kesitte moment eğrilik ilişkisinin belirlenmesi için M-KAPA.EXE isimli bir bilgisayar yazılımı kullanılmıştır,[18]. Program verilen kesiti ince dilimlere ayırarak idealleştirmektedir. Şekil 3.1’de tipik kompozit kesitin idealleştirilmiş biçimi gösterilmiştir. Değişken genişlikli beton katmanlar, kesit üst kısmında yer alan basınç donatısı toplam alanını ifade eden 1 nolu nokta ve katlanmış sac alanının idealleştirilmesi ile elde edilmiş farklı yüksekliklerdeki 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu noktalar kompozit kesiti oluşturmaktadır. Farklı yüksekliklerde idealleştirilmiş donatıların alanları Tablo 3.1 de verilmiştir.



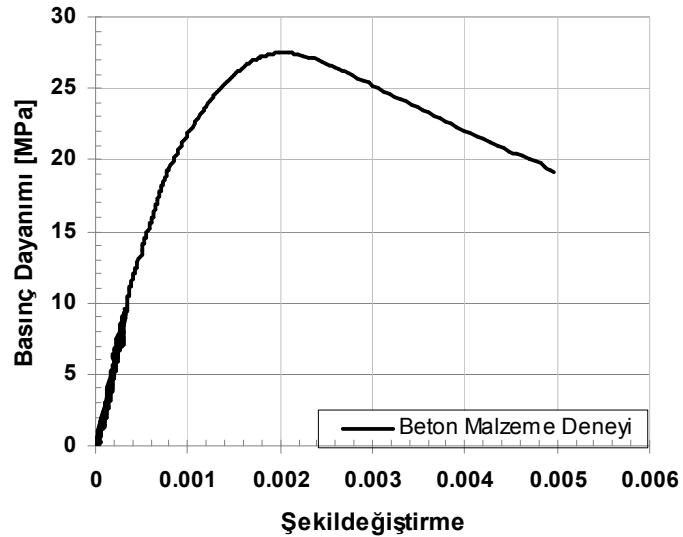
Şekil 3.1: Eşdeğer Kompozit Kesit

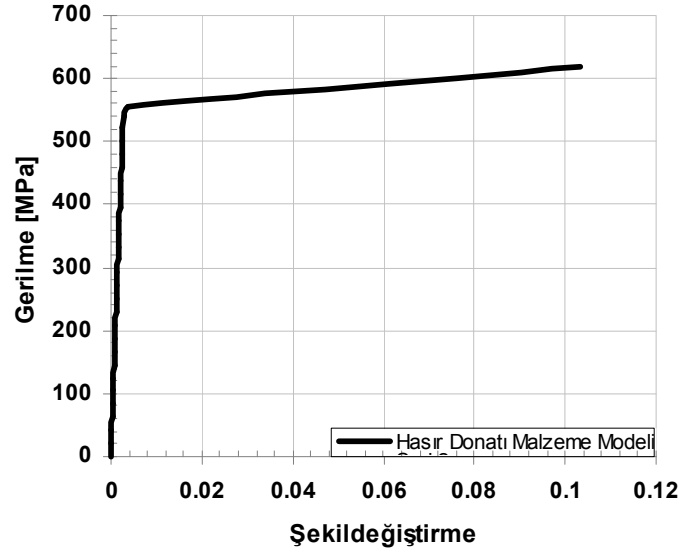
Tablo 3.1: Eşdeğer Kompozit Kesitteki Donatı Dağılımı

Numune Adı	Donatı Numarası	Donatı Cinsi	Donatı Alanı (mm ²)
CS_1S_H150_S08_1_1400 CS_1S_H150_S08_2_1400 CS_1S_H150_S08_3_2400 CS_1S_H150_S08_4_2400 CS_1S_H150_S08_5_3200 CS_1S_H150_S08_6_3200	1	Hasır Donatı	197.9
	2	Trapez Sac	224.6
	3		82.5
	4		268.1
	5		111.5
	6		319.6

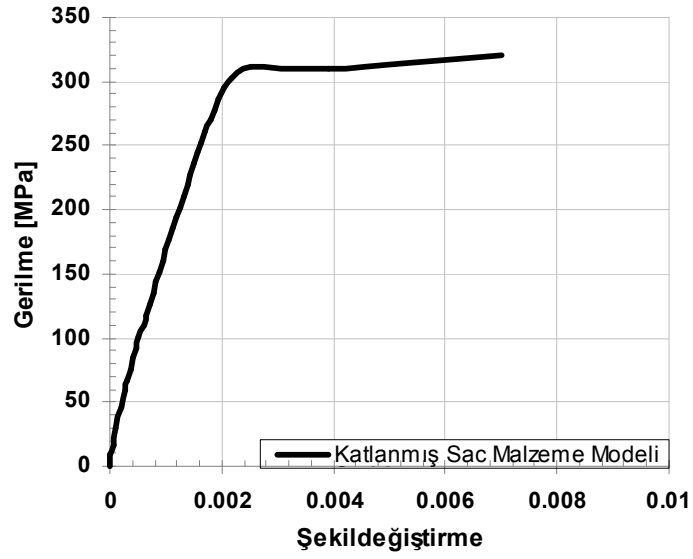
Ayrıntıları [18] de yer alan M-KAPA.EXE programında, öngörülen beton şekildeğiştirme durumları için tarafsız eksen derinlikleri ardışık yaklaşım ile belirlenmektedir. Öngörülen bir tolerans büyüklüğüne erişildiğinde kesitte denge sağlanmakta ve bu duruma karşı gelen moment ve eğrilik değerleri hesaplanmaktadır.

Kesiti oluşturan malzemelere ait davranış modelleri, gerçekleştirilen malzeme deneyleri sonuçlarına dayalı olarak Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4 de verilmektedir.

**Şekil 3.2:** Beton Malzeme Modeli



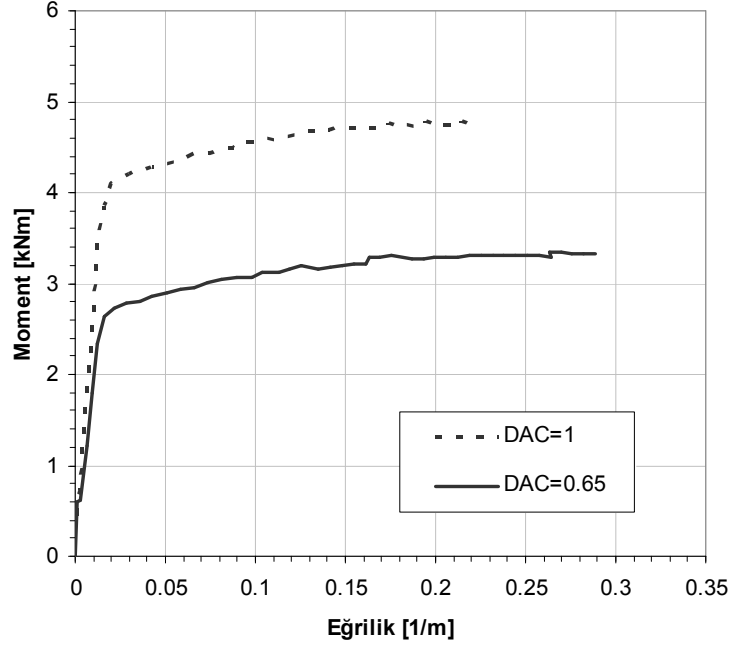
Şekil 3.3: Hasır Donatı Malzeme Modeli



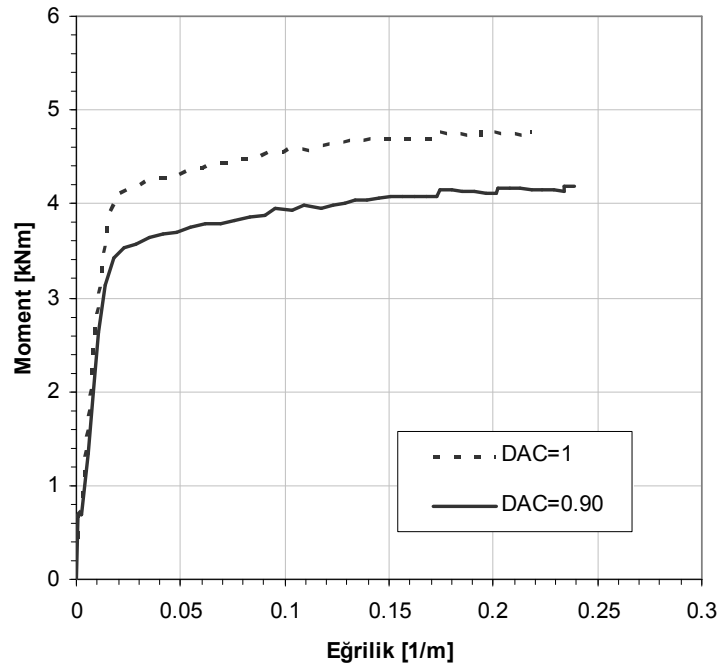
Şekil 3.4: Katlanmış Sac Malzeme Modeli

Katlanmış sac ile beton arasındaki aderansın kritik bir kayma gerilmesi düzeyinden sonra gevşemesi ve yok olması durumu moment-eğrilik ilişkilerinin hazırlanması aşamasında, döşeme numunesinin bütünü için üniform bir *donatı azaltma çarpanı* (DAC) ile temsil edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde oluşan kritik kayma gerilmelerine bağlı olarak 0.65 ile 0.90 aralığında değerler belirlenmiştir.

CS_1S_H150_S08_1_1400 ve CS_1S_H150_S08_5_3200 numuneleri için tam aderans durumunda ve donatı azaltma çarpanı kullanıldığı durumda gerçekleşen moment eğrilik ilişkileri sırası ile Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 da verilmiştir.



Şekil 3.5: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesi İçin Moment-Eğrilik İlişkileri



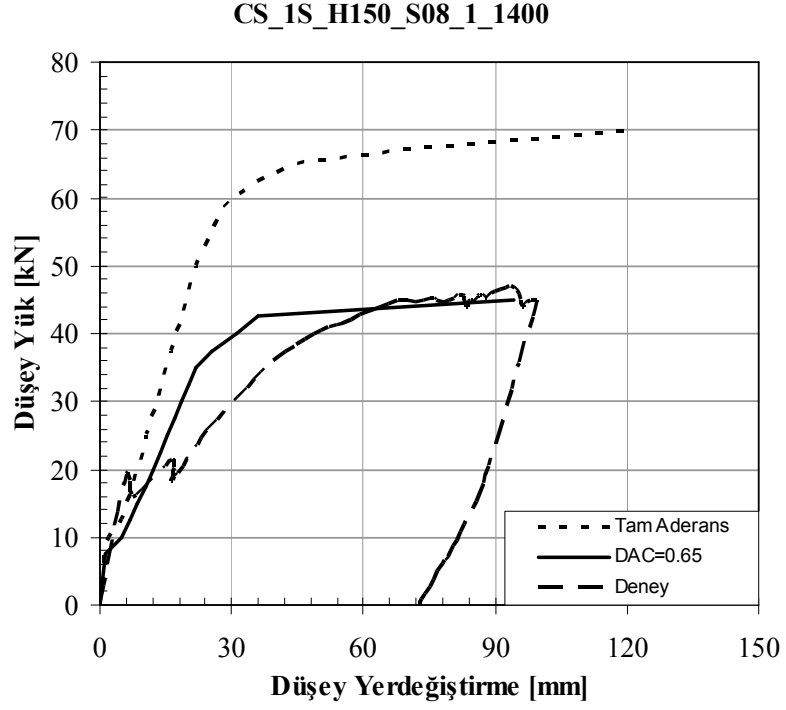
Şekil 3.6: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesi İçin Moment-Eğrilik İlişkisi

3.2 Düşey Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Elde Edilmesi

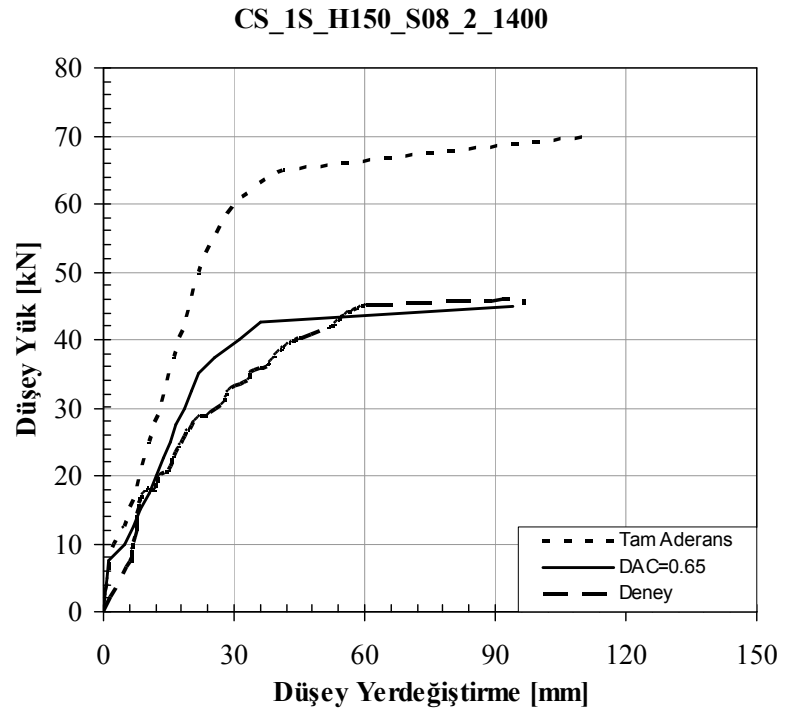
Malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinin hesabı için geliştirilen DOC2B.EXE programı [18] kullanılarak, kompozit döşeme numunelere ait kuramsal düşey yük-yerdeğiştirme ilişkileri oluşturulmuştur. Kuramsal yük-yerdeğiştirme eğrileri hem tam aderans hem de donatı azaltma çarpanı kullanılarak iki farklı durum için oluşturulmuştur. Tüm yük durumları için sistemin doğrusal olmayan davranışının sadece moment-eğrilik ilişkisi ile temsil edilebildiği varsayımı yapılmıştır. Deneysel çalışmada her numune üzerinde iki adet tekil yükün etkidiği noktalara 0.5 kN şiddetinde düşey yükler etkitilmiş ve bu yükler adım adım artırılmıştır. Her yük artımı için, sistem değişen rijitlik değerleri ile tekrar çözülmüştür.

3.3 Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması

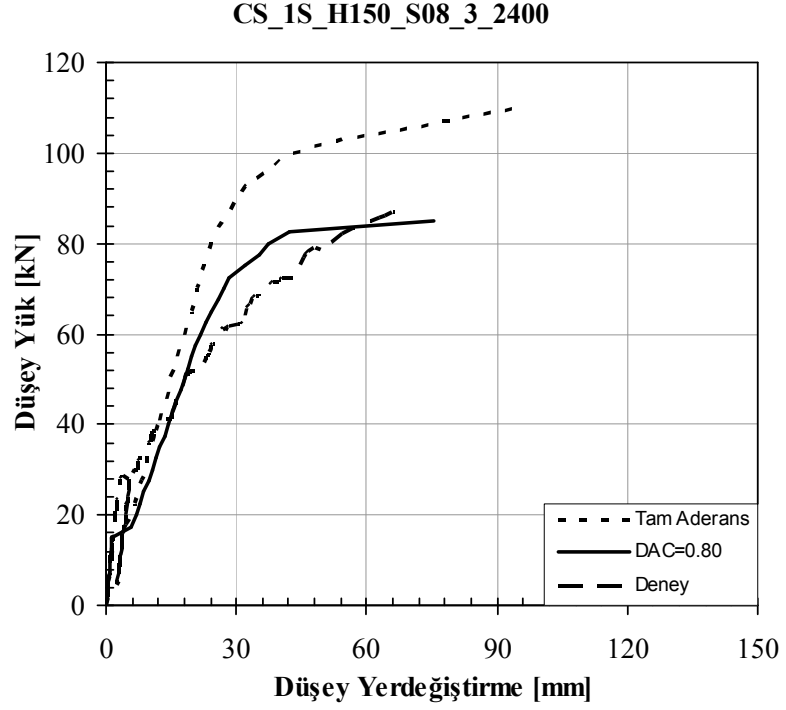
Deneysel çalışmada incelenen altı adet numuneye ait toplam düşey yük – açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkileri iki farklı durum için kuramsal olarak elde edilmiş ve deneysel çalışma sonuçları ile üst üste konmuştur. Elde edilen sonuçlar şekil 3.7, 3.8, 3.9 3.10, 3.11 ve 3.12 de verilmiştir.



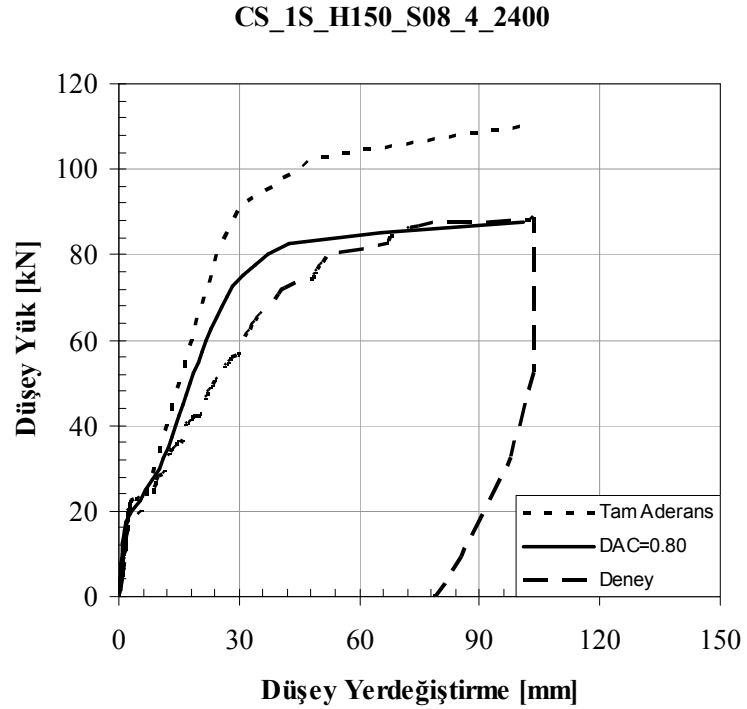
Şekil 3.7: CS_1S_H150_S08_1_1400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması



Şekil 3.8: CS_1S_H150_S08_2_1400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması

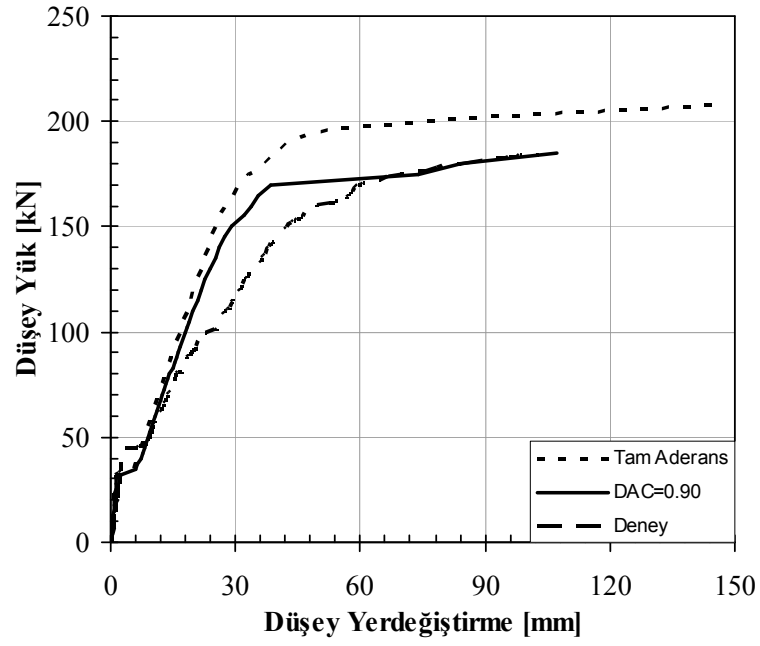


Şekil 3.9: CS_1S_H150_S08_3_2400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması



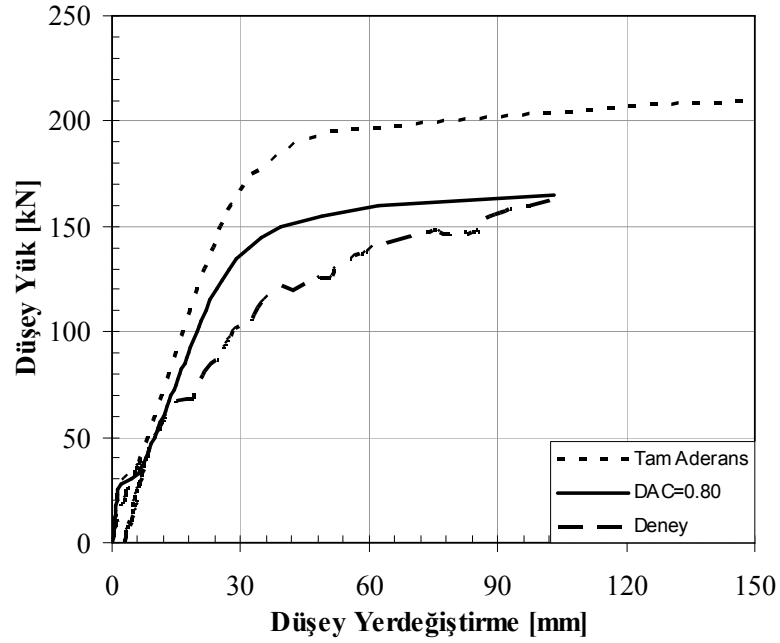
Şekil 3.10: CS_1S_H150_S08_4_2400 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması

CS_1S_H150_S08_5_3200



Şekil 3.11: CS_1S_H150_S08_5_3200 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması

CS_1S_H150_S08_6_3200



Şekil 3.12: CS_1S_H150_S08_6_3200 Numunesine Ait Deneysel ve Kuramsal Sonuçların Karşılaştırılması

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, çelik sac ile beton arasındaki aderans kaybının başladığı kayma gerilmesi düzeyine uygun olarak seçilmiş *donatı azaltma çarpanları* kullanılarak kompozit döşeme elemanların yük yerdeğiştirme ilişkilerinin yaklaşık olarak elde edilebileceği gösterilmiştir. Elde edilen diyagramlarda genel olarak başlangıç rijitliği ve en büyük dayanım deneysel sonuçlara yakın olurken, diyagramın çatlama sonrasındaki kolunun eğimi genel olarak deneyden farklı olmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında kompozit döşeme elemanlarda pozitif moment taşıma kapasitesi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Aynı tip sacla üretilmiş ve planda 1000×4100 mm boyutlarına sahip 1/1 ölçekli toplam 6 adet kompozit döşeme numunesi düşey yükler etkisinde denenmiştir. Numuneler üç farklı kayma açıklığı oluşturacak şekilde, iki adet tekil yükün etkisinde eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmanın belirli bir aşamasından sonra beton ile sac arasında gözlemlenen aderans kaybını temsil etmek üzere, kesit hesaplarında kullanılabilecek donatı azaltma çarpanları önerilmiştir. Önerilen çarpanlar kullanılarak oluşturulan tipik kompozit kesitlere ait moment-eğrilik ilişkileri, sistemin malzeme bakımından doğrusal olmayan hesabında giriş bilgisi olarak kullanılmaktadır. DOC2B.EXE programı kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan hesapta elde edilen kuramsal yük-yerdeğiştirme eğrileri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Numunelerin üretiminden sonra değişik tarihlerde yapılan beton basınç deneyi sonuçlarına göre; ortalama silindirik basınç dayanımı 27 MPa olarak tayin edilmiştir. Katlanmış sac için yapılan çekme deneylerinde ortalama akma dayanımı 290 MPa olarak belirlenmiştir. Kullanılan hasır donatı için yapılan çekme deneylerinde de ortalama 543 MPa lık akma dayanımına erişilmiştir.

Deneysel çalışma sonuçlarına göre, numunelerin tasarımı için esas alınan yük ve sehim sınırlarının üzerine çıkmıştır. Tasarım yükleri düzeyinde sac ile beton arasında kayma gözlenmemiştir.

CS_1S_H150_S08_1_1400 numunesinde ($e=1350$ mm) ortalama kayma gerilmesi $\tau=0.0075$ MPa düzeyine eriştiğinde, CS_1S_H150_S08_5_3200 numunesinde ise ($e=450$ mm) ortalama kayma gerilmesi $\tau=0.111$ MPa düzeyine ulaştığında beton ve sac arasında ayrılma başlamıştır. Çalışılan tüm numunelerde eğilme tipi göçme modu ile deneyler sonuçlanmıştır. Kayma kamalarının etkinliğinin en az olduğu

($e=1350$ mm) durumda ulaşılan $\tau=0.0075$ MPa değeri sac ve beton arasında gerçekleşen aderans için bir sınır değer olarak değerlendirilebilir.

Yapılan kuramsal çalışmalarda, kayma kaması etkisinin göreli olarak daha az hissedildiği numunelerde ($e=1350$ mm) tam aderans durumu ile deney sonuçları arasındaki fark büyütür. Kayma kaması etkisinin göreli olarak daha fazla hissedildiği numunelerde ($e=450$ mm) ise bu fark oldukça küçülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arda T.S., Yardımcı N., 2000. Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Birsen Yayınevi.
- [2] Porter M.L., Ekberg Jr. CE., 1976. Design recommendations for steel deck floor slabs, ASCE, J. Structural Division.
- [3] Daniels B.J., Crisinel M., 1993-1. Composite Slab Behavior and Strength Analysis, Part 1: Calculation Prosedure, J. Structural Engineering.
- [4] Daniels B.J., Crisinel M., 1993-2. Composite Slab Behavior and Strength Analysis, Part 2: Comparisons with Test Results and Parametric Analysis, J. Structural Engineering.
- [5] Rex C. D., Easterling S., 2000. Behavior of modelling of reinforced composite slab in tension, J. Structural Engineering
- [6] Lee L. H., Quek S. T., Ang K. K., 2000. Negatif moment behaviour of cold-formed steel deck and concrete composite slabs, J. Constructional Steel Research.
- [7] Chen S., 2002. Load carrying capacity of composite slabs with various end Constraints, J. Constructional Steel Reserch.
- [8] Starks J. W. B., Brekelmans J. W. P. M., 2003. Plastic design of continuous composite slabs, J. Constructional Steel Reserch.
- [9] Crisinel M., Marimon F., 2003. A new simplified method for the desing of composite slabs, J. Constructional Steel Reserch.
- [10] Marciukaitis G., Jonaitis B., Valivonis J., 2005. Analysis of deflections of composite slabs with profiled sheeting up to the ultimate moment, J. Constructional Steel Reserch.
- [11] Marimuthu V., Seetharaman J., Jayachadran S. A., Chellappan A., Bandyopadyay T. K., Dutta D., 2006. Experimental studies on composite deck slabs to determine the shear-bond characteristic (m-k) value of the embossed profiled sheet, J. Constructional Steel Reserch.
- [12] Vainiunas P., Valivonis J., Marciukaitis G., Jonaitis B., 2006. Analysis of longitudinal shear behavior for composite steel and concrete slabs, J. Constructional Steel Reserch.

- [13] Ferrer M., Marimon F., Crisinel M., 2007. Designing cold-formed steel sheets for composite slabs: An experimentallay validated FEM approach to slip failure mechanics.
- [14] Yüksel, E., Yıldırım, H., Taşkın, K., Saruhan, H., “Alfapanel Trapez Formlu Döşeme Sacı ile Oluşturulan Betonarme Döşemelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Tasarım Tablolarının Oluşturulması Hakkında Teknik Rapor”, İTÜ Döner Sermaye İşletmesi, Şubat 2008.
- [15] TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] TS 708, 1996. Beton Çelik Çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TS 138, 1996. Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] Yüksel, E. 1998. Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Sema YILMAZ, 1982 yılında Ordu’da doğmuştur. İlköğretimini Çakmak İlköğretim Okulu’nda, liseyi Haydarpaşa Lisesi’nde tamamlamıştır. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde öğrenim görmeye başlamıştır. 2004 yılı bahar dönemi sonunda öğrenimini tamamlayarak, 2005 yılı bahar dönemi başlangıcında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Mühendisliği Programı’nda öğrenim görmeye başlamıştır.