

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARMA KİRİŞLERİN (KARMA DÖŞEME+ÇELİK)
POZİTİF MOMENTLER BÖLGESİNDE TAŞIMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmet KAMA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet Necati YELGİN

Temmuz 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARMA KİRİŞLERİN (KARMA DÖŞEME+ÇELİK)
POZİTİF MOMENTLER BÖLGESİNDE TAŞIMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

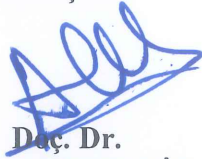
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmet KAMA

Enstitü Anabilim Dalı

: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez **28.07**/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Doç. Dr.
Ahmet N. YELGİN
Jüri Başkanı**



**Yrd. Doç. Dr.
M.Sami DÖVEN
Üye**



**Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin KASAP
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

İsmet KAMA

22.05.2017

TEŞEKKÜR

“KARMA KİRİŞLERİN (KARMA DÖŞEME+ÇELİK) POZİTİF MOMENTLER BÖLGESİNDE TAŞIMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tez çalışması Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doç. Dr. Ahmet Necati YELGİN danışmanlığında hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada 6 adet, 1.0 m x 4.00 m ebatlarında basit kiriş olarak tasarlanan kompozit döşeme elemanların pozitif moment etkisindeki eğilme davranışı deneysel ve kuramsal sonuçları incelenmiştir.

Araştırma konusunun seçimi, planlanması ve yürütülmesi sürecinde değerli görüş ve önerileriyle beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet Necati YELGİN’e teşekkür ederim.

Çalışmanın bazı aşamalarında sağladığı katkı ve desteklerinden dolayı yardımını esirgemeyen araştırma görevlisi Sayın Aydın DEMİR ’e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca sürekli destek verip bugünlere gelmemde büyük emekler harcayan ve çalışmam boyunca gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2017-50-01-015) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Literatür Araştırması.....	3
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT DÖŞEME SİSTEMİ	10
2.1. Kompozit Döşeme Sisteminin Ortaya Çıkışı	10
2.2. Kompozit Döşeme Sistemini Oluşturan Elemanlar	11
2.2.1. Beton	12
2.2.2. Profillemiş çelik sac	13
2.2.3. Kayma bağlantısı	15
2.2.3.1. Başlıklı saplama	16
2.2.3.2. Kayma bağlayıcısı donatı çeliği	20
2.2.4. Çelik kiriş	22
2.2.5. Döşeme için donatı çeliği	22
2.3. Kompozit Döşeme İle İlgili Kurallar	23
2.3.1. Döşeme kalınlığı, donatı ve agrega	23

2.3.2. Karma kirişin etkili tabla genişliği	24
2.3.3. Karma kirişlerin pozitif momentler bölgesinde taşıma gücü ..	25
2.3.4. Karma kirişlerde eğilme momenti ile kesme kuvvetleri arasındaki etkileşim	28
2.3.5. Karma kirişlerde normal kuvvet ve eğilme momenti arasındaki etkileşim	29
2.3.6. Karma kiriş kesitlerinde deformasyon kuralları	30
2.4. Kompozit Döşeme Sistemlerinin Gelişiminin Sağladığı Avantajlar..	31
2.5. Yapım Aşamasındaki Gelişmeler ve Önlemler	32

BÖLÜM 3.

KARMA KİRİŞ KESİTİNİN BOYUTLANDIRILMASI VE DENEYSEL

ÇALIŞMALAR	34
3.1. Belirlenen Sistem İçin Yükleme, Açıklık ve Boyutlandırma	34
3.2. Boyutlandırılan Sistemle İlgili Hesaplama ve Tahkikler	37
3.2.1. Kesitin pozitif moment taşıma gücü	37
3.2.2. Kayma elemanları (başlıklı saplama) hesabı	38
3.2.3. Döşeme plağındaki minimum enine donatının belirlenmesi ...	40
3.3. Malzeme Deneyleri	41
3.3.1. Beton deneyleri	42
3.3.1.1. 28 günlük beton küp basınç dayanımı deneyi	43
3.3.2. Çelik deneyleri	44
3.3.2.1. Donatı çekme deneyi	44
3.3.2.2. Trapez sac çekme deneyi	47
3.3.2.3. IPE240 profili flanş ve gövde çekme deneyi	49
3.4. Kompozit Döşemeye Ait Numune Deneyleri	53
3.4.1. Numunelerin üretim süreci	53
3.4.2. Numunelerin genel özellikleri	57
3.4.3. Deney numuneleri	58
3.4.4. Tüm numuneler için ölçüm ve yükleme düzeneği	59
3.4.4.1. DN1 1N D120 deney numunesi	61
3.4.4.1.1. Numuneye ait grafikler	62

3.4.4.2. DN2 1S D120 deney numunesi	65
3.4.4.2.1. Numuneye ait grafikler	66
3.4.4.3. DN3 2N D150 deney numunesi	68
3.4.4.3.1. Numuneye ait grafikler	70
3.4.4.4. DN4 1S D150 deney numunesi	72
3.4.4.4.1. Numuneye ait grafikler	74
3.4.4.5. DN5 2S D120 deney numunesi	76
3.4.4.5.1. Numuneye ait grafikler	77
3.4.4.6. DN6 2S D150 deney numunesi	80
3.4.4.6.1. Numuneye ait grafikler	82
 BÖLÜM 4.	
DENEYSEL SONUÇLAR	85
4.1. Kompozit Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi.....	85
4.2. Düşey Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması	90
 BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
 KAYNAKLAR.....	
ÖZGEÇMİŞ.....	100

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Q	: Donatı çapı
A_s	: Çelik profil gövde enkesit alanı
b	: Kayma bağlantısı boyutu
b_{eff}	: Çalışan tabla genişliği
t_{bu}	: Çelik profil alt başlık kalınlığı
t_{bo}	: Çelik profil üst başlık kalınlığı
t_g	: Çelik profilin gövde kalınlığı
b_u	: Gövde betonu genişliği
b_{ao}	: Çelik profil üst başlık genişliği
b_{au}	: Çelik profil alt başlık genişliği
d	: Döşeme kalınlığı
E_a	: Çelik elastisite modülü
E_b	: Beton elastisite modülü
F_a	: Çelik profil enkesit alanı
I_x	: Kirişler arası aks aralığı
L	: Döşeme açıklığı
a_a, a_b	: Yönetmeliklere göre değişen azaltıcı iki katsayı
σ_f	: Çelik profil akma sınırı
Q	: Karma kesitte bulunabilecek kesme kuvveti
I_c	: Karma kesit eylemsizlik momenti
σ_{br}	: Küp beton anma mukavemeti
σ_{FH}	: Kayma bağlantısının akma sınırı
γ_H	: Genellikle 0,85 değerinde alınan bir güvenlik katsayısı
H	: Kayma kuvveti
Z	: Pozitif momentler bölgesinde, çelik profilin taşıyabileceği çekme kuvveti

B	: Beton tablanın taşıyabileceği basınç kuvveti
f_{ctk}	: Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik silindirik 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
h_a	: Çelik profil yüksekliği
h_s	: Çelik profil gövde yüksekliği
h_{ao}	: Çelik profili iki eşit alana bölen eksenin üstündeki çelik yüksekliği
h_{au}	: Çelik profili iki eşit alana bölen eksenin altındaki çelik yüksekliği
h_t	: Enkesit toplam yüksekliği
K_1	: Kiriş altındaki Komparametreye ait okunan değer
K_2	: Kiriş ortasındaki strain gage boy değişimine ait okunan değer
K_3	: Döşeme kenarına strain gage boy değişimine ait okunan değer
K_4	: Kirişin alt flanşındaki Komparametreye ait okunan değer
K_5	: Döşeme kenarının enine doğrultundaki Komparametreye ait okunan değer
M	: Kirişte uygulanan yükten dolayı oluşan moment
M_{pa}	: Çelik profilin plastik olarak taşıyabileceği moment
M_u	: Enkesit plastikleşme momenti
M_{ud}	: Deneysel plastikleşme momenti
n	: Çelik profil ve beton elastisite modülleri oranı
y	: Tarafsız eksenin yeri
D_a	: Karma çalışan çelik tarafından taşınan basınç kuvveti
D_b	: Karma çalışan beton tarafından taşınan basınç kuvveti
y_1	: Elastik hesapta tarafsız eksenin üstündeki mesafe
y_2	: Elastik hesapta tarafsız eksenin altındaki mesafe
d_1	: Kayma bağlantısının boyu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kompozit döşeme sistemi	11
Şekil 2.2. Beton dökümü	12
Şekil 2.3. Profillenmiş çelik sac	13
Şekil 2.4. Kompozit döşemelerde kullanılan çelik sac tipleri	14
Şekil 2.5. Kompozit döşemelerde kayma bağlayıcı türleri	15
Şekil 2.6. Kayma bağlayıcısının kesme kuvvetini aktarma etkisi	15
Şekil 2.7. Kompozit döşeme plaklarında beton-çelik bağlantı türleri	16
Şekil 2.8. Kompozit döşemelerde başlıklı saplama	17
Şekil 2.9. Başlıklı saplamada geometrik büyüklükler	17
Şekil 2.10. Kaynaklanmış başlıklı kayma bağlantısı	20
Şekil 2.11. Donatı çeliği geometrisi	21
Şekil 2.12. Kompozit döşeme ve kiriş birleşimi	22
Şekil 2.13. Çelik sac ve döşeme için boyutlar	24
Şekil 2.14. Kesit geometrik özellikleri	25
Şekil 3.1. Karma kirişin önden görünüşü	36
Şekil 3.2. Karma kirişin üstten görünüşü	36
Şekil 3.3. Başlıklı saplamada parametreleri	39
Şekil 3.4. Küp Numunelerinin Hazırlanışı	42
Şekil 3.5. 28 Günlük Beton Basınç Dayanımı	43
Şekil 3.6. 28 Günlük Basınç Dayanımı-Şekildeğiştirme Grafiği	44
Şekil 3.7. Donatı çekme deneyi	45
Şekil 3.8. Donatı numunelerine ait Kuvvet-Şekildeğiştirme grafiği no:1	46
Şekil 3.9. Donatı numunelerine ait Kuvvet-Şekildeğiştirme grafiği no:2	47
Şekil 3.10. Deney numunelerine ait trapez sac	47
Şekil 3.11. Trapez sac çekme deneyinden bazı görüntüler	48

Şekil 3.12. Trapez sac numunesine ait Kuvvet-şekildeğiştirme grafiği	49
Şekil 3.13. Flanş plaka çekme deney numuneleri	50
Şekil 3.14. IPE240 profile ait flanş kopma deney numuneleri	51
Şekil 3.15. Gövde plaka çekme deney numuneleri	51
Şekil 3.16. IPE240 profil ait gövde kopma deney numuneleri	52
Şekil 3.17. Numunelerinde kullanılan kayma kaması boyutları	54
Şekil 3.18. Numunelerde Kullanılan başlıklı saplama boyutları	54
Şekil 3.19. Döşeme numunelerinin üretim aşamalarında çekilen bazı resimler	55
Şekil 3.20. Döşeme yükseklikleri farklı çift başlıklı saplama kalıp aşamalarında çekilen bazı resimler	55
Şekil 3.21. Döşeme yükseklikleri farklı tek ve çiftli donatı çeliği kalıp aşamalarında çekilen bazı resimler	56
Şekil 3.22. Döşeme numunelerinin beton döküldükten sonra çekilen bazı resimler.....	56
Şekil 3.23. Kompozit döşeme ait geometrik şekil	57
Şekil 3.24. Kompozit döşeme numunesine ait perspektif görünüş ve donatı tasarımı	58
Şekil 3.25. Kompozit döşeme numunesine ait geçici ara mesnetlerin gösterimi ..	59
Şekil 3.26. Numunelerde yükleme düzeneği	59
Şekil 3.27. Tüm numuneler için ölçüm ve yükleme düzeneği	60
Şekil 3.28. Tüm numuneler İçin deplasman ve şekildeğiştirme ölçüm cihazları	60
Şekil 3.29. Tüm numuneler İçin uzama ve kısalma ölçüm cihazları	61
Şekil 3.30. DN1-1N-D120 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler	62
Şekil 3.31. DN1-1N-D120 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri	62
Şekil 3.32. DN1-1N-D120 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği	63
Şekil 3.33. DN1-1N-D120 numunesine ait yük-%uzama grafiği	63
Şekil 3.34. DN1-1N-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği	64
Şekil 3.35. DN2-1S-D120 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler	65
Şekil 3.36. DN2-1S-D120 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri	65
Şekil 3.37. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği	66
Şekil 3.38. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-%uzama grafiği	66
Şekil 3.39. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği	67

Şekil 3.40. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	68
Şekil 3.41. DN3-2N-D150 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler	69
Şekil 3.42. DN3-2N-D150 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri	69
Şekil 3.43. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiğı	70
Şekil 3.44. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-%uzama grafiğı	70
Şekil 3.45. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	71
Şekil 3.46. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	72
Şekil 3.47. DN4-1S-D150 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler	73
Şekil 3.48. DN4-1S-D150 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri	73
Şekil 3.49. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiğı	74
Şekil 3.50. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-%uzama grafiğı	74
Şekil 3.51. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	75
Şekil 3.52. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	76
Şekil 3.53. DN5-2S-D120 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler	77
Şekil 3.54. DN5-2S-D120 numuneye ait ön ve üst çatlak görünüşleri	77
Şekil 3.55. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiğı	78
Şekil 3.56. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-%uzama grafiğı	78
Şekil 3.57. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	79
Şekil 3.58. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	80
Şekil 3.59. DN6-2S-D150 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler	81
Şekil 3.60. DN6-2S-D150 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri	81
Şekil 3.61. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiğı	82
Şekil 3.62. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-%uzama grafiğı	82
Şekil 3.63. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	83
Şekil 3.64. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiğı	84
Şekil 4.1. Eğilme ve eksenel yük altında deforme olmuş eleman parçası	86
Şekil 4.2. Malzeme modelleri	86
Şekil 4.3. DN1-1N-D120 numunesi için moment eğrilik ilişkisi	87
Şekil 4.4. DN2-1S-D120 numunesi için moment eğrilik ilişkisi	87
Şekil 4.5. DN3-2N-D150 numunesi için moment eğrilik ilişkisi	88
Şekil 4.6. DN4-1S-D150 numunesi için moment eğrilik ilişkisi	88
Şekil 4.7. DN5 -2S- D120 numunesi için moment eğrilik ilişkisi	89

Şekil 4.8. DN6-2S-D150 numunesi için moment eğrilik ilişkisi	89
Şekil 4.9. DN1-DN2 deney sonuçlarının karşılaştırılması	90
Şekil 4.10. DN1-DN3 deney sonuçlarının karşılaştırılması	91
Şekil 4.11. DN2-DN4 deney sonuçlarının karşılaştırılması	92
Şekil 4.12. DN2-DN3 deney sonuçlarının karşılaştırılması	93
Şekil 4.13. DN6-DN3 deney sonuçlarının karşılaştırılması	94



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Beton sınıfları ve karakteristik değerleri	12
Tablo 2.2. Donatı çeliğinin mekanik ve kimyasal özellikleri	21
Tablo 2.3. Donatı çeliği sınıfları ve karakteristik değerleri	23
Tablo 3.1. Deney tarihleri ve küp numune adetleri	42
Tablo 3.2. 28 günlük küp basınç dayanımları	43
Tablo 3.3. Q8 donatı çekme deneyi standart sınır değerleri	45
Tablo 3.4. Q8 donatı çekme deneyi sonucu bulunan değerler	46
Tablo 3.5. Trapez sac çekme deneyi sonucu bulunan değerler	48
Tablo 3.6. Flanş plaka numunesine ait gerilme-uzama grafiğı	52
Tablo 3.7. Gövde plaka numunesine ait gerilme-uzama grafiğı	53
Tablo 3.8. Üretilen numunelerin geometrik büyüklükleri	57
Tablo 4.1. Deney sonuçları ve teorik taşıma yüklerinin karşılaştırılması	96

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kompozit Kiriş Kompozit Döşeme, Başlıklı saplama, yük yerdeğiştirme,

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan trapez formlu sac elemanlar kullanılarak oluşturulmuş, benzer sac kalınlığı, 12 cm ve 15 cm döşeme yüksekliğine sahip 6 adet 1.00 mx 4.00 m açıklıklı basit kiriş kompozit döşeme numunesi düşey yükler etkisinde pozitif moment taşıma davranış hesap tahkikleri ve kayma elemanları hesabı yapılacaktır. Her bir numune için kompozit kirişlerde moment-eğrilik diyagramı, Yük-yerdeğiştirme(deplasman), en büyük yük-en büyük yerdeğiştirme, profilin alt ve üst flanşlarında yük-şekildeğiştirme donatı çeliğinin başlıklı saplamalara alternatif olarak aynı boyda kesilmiş donatı çeliğinin kullanılabilirliği deneysel ve analitik olarak yüklere göre önemli veriler elde edilecektir. Deney numunelerinin tasarımında [1] numaralı referans kullanılmıştır. Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır.

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

İkinci bölümde, kompozit döşeme sistemini oluşturan elemanlar, konstrüktif kurallar, kompozit döşemelerin inşaat ve çalışma sürecinde tasarımı anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, Karma kiriş kesitinin boyutlandırılması, hesap tahkikleri, deney numunelerini oluşturan malzemelere ait deneyler ve numunelerinin üretim sürecine ait bilgiler yer almaktadır. Bu bölümdeki malzeme deneyleri; beton, donatı ve katlanmış sac deneylerini kapsamaktadır. Ayrıca sistem deneyleri olarak 6 adet tek açıklıklı kompozit döşeme numunesi deneyine ait sonuçlar sunulmaktadır.

Dördüncü bölümde, deneysel ve kuramsal çözümlemeler yer almaktadır. Beşinci bölümde sonuçlara bağlı olarak deneysel ve kuramsal sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

COMPOSITE BEAMS (COMPOSITE UPHOLSTERY+STEEL)

ANALYSIS OF CARRYING BEHAVIOR TO THE POSITIVE MOMENT REGIONS

SUMMARY

Keywords: Composite Beam, Composite Upholstery, Headed Stud, Displacement, Load

In this work presented as a graduate thesis, 6 samples of 1.00 mx 4.00 m span of simple beam composite slab with similar sheet thickness, 12 cm and 15 cm floor height formed using commonly used trapezoidal sheet metal elements, Checks and slip elements will be made. For each sample, the usefulness of the same cut-out reinforcement steel as an alternative to the stiffness-curvature diagram in composite beams, load-displacement (displacement), maximum load-largest displacement, load-deformation at the top and bottom flanges of the profile, Important data will be obtained according to the loads. Reference number [1] has been used in the design of the test specimens. The thesis work consists of four parts.

In the first part, the aim of the work and the previous work about this subject have been summarized.

In the second part, the elements of composite flooring system, design rules, composite flooring are explained in the construction and working process.

In the third chapter, the dimension of the cross section of the beam, the experiments belonging to the materials forming the test samples and the information about the production process of the samples have been talked about. Material tests in this section; It includes concrete, reinforcement and folded sheet tests. In addition, the results of 6 single span composite slab sample tests are presented as system experiments.

In the fourth part, experimental and theoretical solutions are given. In the fifth chapter, based on these results, experimental and theoretical results were compared and interpreted.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kompozit yapı tarzının (karma yapı) esası, beton tabliye ile çelik kirişlerinin aralarında kayma rijitliği oluşacak şekilde birbirine bağlanarak, müşterek çalışmalarının sağlanmasıdır. Bu nedenle, temas yüzeylerinde, kesme kuvvetlerinden doğan kayma kuvvetleri, güvenilir bir şekilde aktarılmalıdır.

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 oluşturmaması, yeterli tesisat boşluğu olanağı sağlaması başlıca üstünlükleridir [2].

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 [3].

Kompozit döşemeleri oluşturan malzeme kalitelerindeki gelişmeler, deneyimler, tasarım yöntemlerindeki değişiklikler kompozit çelik sac-beton döşeme sistemlerindeki elemanların daha hafif ve ekonomik olmasını sağlamaktadır. Kompozit döşemelerde tasarım kadar yapım aşamasında da önemli olan ekonomi, inşaat sırasında ortaya çıkabilecek problemlere deneyimlerden de yararlanarak kolay ve ekonomik çözümler bulmaya bağlıdır [4].

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı 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 birçok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tür çalışmalar büyük maliyetler getirmektedir [5].

Bu tez çalışması, göçme modlarından biri olan eğilme göçmesi durumunda pozitif moment taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik deneysel ve kuramsal çalışmaları içermektedir. Sac kalınlıkları aynı, başlıklı saplamalar ve donatı çeliği sayısı farklı, döşeme yükseklikleri 12 cm ve 15 cm olarak tasarlanan 6 adet kompozit döşeme numunesi düşey yükler etkisinde denenmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizde üretilmeyen başlıklı saplamalara alternatif olarak aynı boyda kesilmiş donatı çeliğinin kullanılabilirliği deneysel olarak incelenecektir. Bu amaçla, kompozit döşemelerde 4 adet numunede başlıklı saplamaların kullanıldığı 2 numunede ise donatı çeliği kullanılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile donatı çeliği numunelerle başlıklı saplamalı numuneler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile numunelere ait yük-deplasman, moment-eğrilik diyagramları, Yük-şekildeğiştirme, betonda kısılma ve IPE240 profilinde uzama grafikleri elde edilmiştir.

Ülkemizde kompozit elemanlar genellikle çelik veya betonarme yapıların kiriş ya da döşemelerinde kullanılmaktadır. Kompozit döşeme ve kirişlerde çelik ve betonun birlikte hareketini sağlayan en önemli eleman kayma bağlayıcılarıdır. Kayma bağlayıcıları beton ile çelik arasında oluşabilecek kaymayı önlemek ve beton plağın şekil değiştirmeden dolayı çelik elemanlardan ayrılmasını önlemek için kullanılır [1].

Ülkemizde inşaat yapılarında yaygın olarak betonarme iskeletli yapılar uygulanmaktadır. Oysa betonarme yapı belli bir katın üstünde ihtiyaca cevap

vermemekte, yapının ağırlığı kat sayısı arttıkça artmakta ve dolayısıyla deprem yükü de artmaktadır. Çok fazla yaygın olmamakla birlikte çelik karkas sistemler de inşaat yapılarında uygulanmaktadır. Çelik, karakteri gereği büyük açıklıkların aşılmasında, çürük zeminli yapılarda, hız isteyen işlerde, deprem ve benzeri dinamik etkileri karşılamada betonarmeye nazaran çok iyi sonuçlar verir. Ancak yüksek sıcaklıklarda mukavemet düşüklüğü, paslanmaya dayanıksız olması, ses ve ısıyı iyi iletmesi çeliğin sakıncalı yanlarını oluşturmaktadır.

Bu amaçla yapılacak olan çalışmada ele alınacak parametreler;

- Farklı kayma bağlayıcıları (başlıklı saplama ve donatı çeliği)
- Kayma bağlayıcılarının tekli ve çiftli olarak kiriş trapez sac üzerindeki bağlantı sayısı
- Beton döşemelerin yüksekliğidir.

1.2. Literatür Araştırması

Alander C. C., (1998), Kompozit yapıların kullanılmaya başlamasından beri bir çok kayma bağlayıcısı türü kullanılmıştır. Kaynaklama ile yapılan kayma bağlayıcıları özellikle ince saçlarda istenilen dayanımı vermemektedir. Kaynaklama için uygun hava koşulları ve elektrik kaynağının sürekli bulunması da kaynaklanarak üretilen kayma bağlayıcıları için problem teşkil etmektedir. Bu problemler mühendisleri kaynak kullanılmayan kayma bağlayıcılarını araştırmaya yönlendirmiştir. Kaynak kullanılmayan kayma bağlayıcıları kayma bağlayıcıların basınçla çakılması veya vidalanması ile üretilmektedir. Bu çalışmada kayma bağlayıcısı olarak Standoff vidaları denenmiştir. Deney aletleri Virgiana Tech yapı ve malzeme araştırma laboratuvarında hazırlanmış ve yine deneyler aynı yerde yapılmıştır. Standoff vidaları vidalama tabancaları ile katlanmış çelik saçların üstlerine vidalanırlar. Bu vidaların kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğini araştırmak için 11 gruptan oluşan 106 adet küçük ölçekli İtme-çıkarma (Push out) deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak Standoff vidaları alternatif bir kayma bağlayıcısı olduğu tespit edilmiştir [14].

2000 yılında Clinton D. Rex ve Samuel Easterling 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 [5].

1976 yılında Max L. Porter, A. M. ASCE ve Carl E. Ekberg 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 artırılabilir. Kompozit döşeme elemanlarında yük taşıma kapasitesinin göçme moduna bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir [2].

Byron J. Daniels ve Michel Crisinel (1993-2) 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 çıkıntıların 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 [4].

Kim B., Wright H. ve Cairns R., (2001), çalışmalarında katlanmış çelik saçlar üzerinde hazırlanmış kompozit kirişlerdeki kayma bağlayıcısı davranışlarını incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında 3 adet numune hazırlamışlar ve deney sonuçlarını irdelemişlerdir. İtme-çıkarma (Push-out) deneylerini hem iki boyutlu hem de üç boyutlu modellemişlerdir. Deneylerin amacı kompozit kirişlerde kayma bağlayıcıları için yük-deplasman ilişkilerinin, en yüksek kesme yükü kapasitesinin ve kırılma türlerinin tespitidir. Kayma bağlayıcısı olarak 13 mm çapında 65 mm uzunluğunda başlıklı saplamalar kullanmışlardır. Döşemelerde beton boyutları 450 mm genişliğinde, 425 mm eninde ve 75mm yüksekliğinde yapılmıştır. Betonda üst donatı olarak 6 mm çapında 4 adet donatı kullanılmıştır. Düzenekte oluşan deplasmanları tespit etmek için altı adet deplasman ölçer kullanmışlardır. Yapılan deneyel ve analitik çalışma sonucunda ana kırılma türünün kayma bağlayıcısı çevresindeki betonda kırılma olduğunu tespit etmişlerdir.

L.H. Lee, S.T. Quek ve K.K. An (2000) 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 deneyel sonuçlarla

karşılaştırılmıştır. Bunun neticesinde kompozit döşemelerin sünek davranış gösterdiği belirlenmiştir. Kompozit döşemelerin sünekliliğinin kullanılan çelik donatının malzeme özelliklerine bağlı olarak arttırılabileceği belirtilmiştir [6].

2003 yılında J.W.B. Stark, J.W.P.M. Brekelmans 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 [8].

2006 yılında P. Vainiunas, J. Valivonis, G. Marciukaitis, B. Jonaitis 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 [12].

2007 yılında M. Ferrer ve diğerleri 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 [13].

2003 yılında Michel Crisinel ve Frederic Marimon 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 modelli küçük ölçekli deneylerin birleştirilmesinden oluşmaktadır [9].

BÖLÜM 2. KOMPOZİT DÖŞEME SİSTEMİ

2.1. Kompozit Döşeme Sisteminin Ortaya Çıkışı

Çelik iskeletli yapıların döşeme sistemlerinde, çelik kirişlere oturan betonarme plaklar, özellikle statik açıdan da getirdikleri yararlar bakımından sık kullanılan elemanlardır. Bu elemanlar prefabrik olabildiği gibi çokça yerinde dökme beton olarak da teşkil edilmektedirler. Bu aşamada, yapıdaki ana sistemin çelik konstrüksiyon olması nedeniyle kalıp ve iskele sorunu bulunmamasına karşın, sırf döşeme plakları için kalıp ve iskele gereksinimi doğmaktadır. Bu sebepten son yıllarda herhangi bir kalıp iskelesi gerektirmeden kendini taşıyabilen katlanmış çelik sacların kalıcı kalıp olarak kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu şekilde uygulanan katlanarak biçimlendirilmiş çelik sac levha, yeni dökülen plak betonu ve donatısını, kendi ağırlığını ve inşaat sürecindeki hareketli yükleri taşımaktadır. Beton sertleştikten sonra ise bu çelik sacın yük taşımaya hiçbir katkısı olmayıp ‘kör kalıp’ görevi görmesinden öte bir yararı bulunmamaktadır (Odabaşı ve Yorgun, bt).

Günümüzde, kompozit döşemeler değişik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yönetim binaları ve ofisler için geniş hacimler sağlayan kompozit döşemeli büyük açıklıklı çelik yapılar modern inşaatlarda tercih edilmektedir. Geleneksel betonarme döşeme yerine kompozit döşeme kullanılmasıyla yapı ağırlığında 1 kN/m² ye kadar azalma sağlanabildiğinden, yeni binalarda olduğu kadar eski binaların yenilenmelerinde kompozit döşeme kullanımı ekonomik olmaktadır. Yangın dayanımı ve ısı izolasyonu gibi özelliklerinden dolayı okul, ev ve hastane inşaatlarında da kompozit döşemeler tercih edilmektedirler. Büyük açıklıklarda büyük dayanım kapasitesi elde edilebilmesi ile yapım hızı ve kolaylığı, otoparklarda da kompozit döşemelerin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Nethercot, 2004).

2.2.1. Beton

Kompozit döşeme plaklarında normal veya hafif ağırlıklı beton kullanılır. Genelde birim hacim ağırlığı $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$ olan hafif ağırlıklı beton kullanılır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Beton dökümü [18].

En çok kullanılan beton sınıfları ve karakteristik değerleri Eurocode 2'ye göre Tablo 2.1.'de verilmektedir. f_{ck} betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı, f_{ctm} betonun çekme dayanımı, $f_{ctk0.05}$ karakteristik çekme dayanımını ve E_{cm} kısa yüklemeler altındaki elastisite modülüdür.

Tablo 2.1. Beton sınıfları ve karakteristik değerleri [20].

	Beton sınıfı			
Karakteristik değerler	C20	C25	C30	C35
$f_{ck} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	20	25	30	35
$f_{ctm} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	2,2	2,6	2,9	3,2
$f_{ctk0.05} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	1,5	1,8	2,0	2,2
$E_{cm} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$	30	31	32	34

Eurocode 4'e göre tasarımda kompozit döşemelerde kullanılabilen betonun minimum dayanımı 20 N/mm^2 olmalıdır. C50 kalitesinden daha yüksek kaliteye sahip betonların emniyeti deneylerle kanıtlanmadıkça kompozit döşemelerde kullanımları tavsiye edilmemektedir. Beton, çelik sacın korozyonuna sebep olabilecek maddeler içermemelidir.

2.2.2. Profillenmiş çelik sac

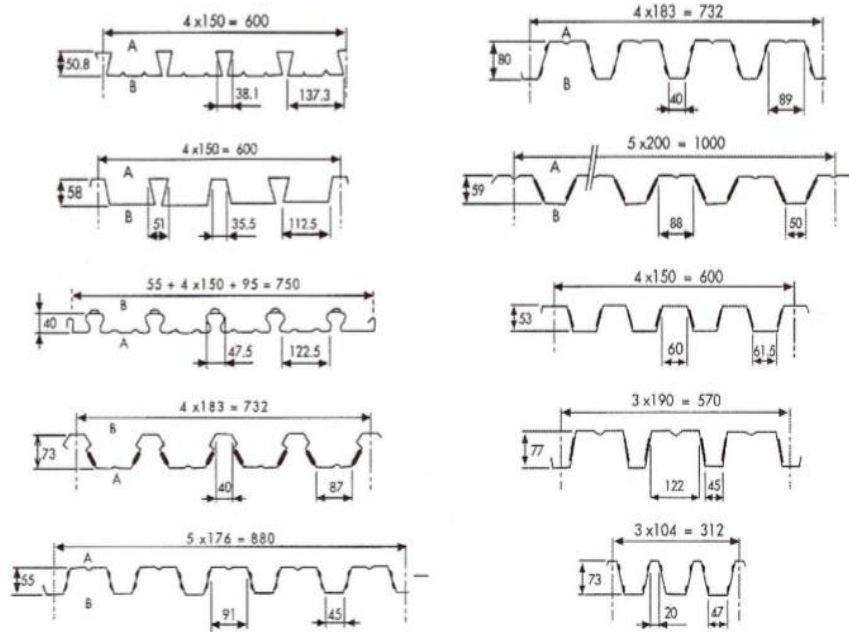
Beton ile mekanik kenetlenmeyi sağlayan trapez sac enkesitler ekonomik olduklarından kompozit döşemelerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton ve çelik sac arasındaki kompozit etkiyi oluşturmak için çok çeşitli tipte soğukta biçimlendirilmiş çelik sac enkesitleri kullanılmaktadır. Kompozit döşemelerde kullanılabilen profillenmiş çelik sac tipinin çeşitliliği çelik sac enkesitinin profillenme biçimi, oluk derinliği, olukların tekrarlama aralığı, sac boyutları ve çelik sac ile beton arasındaki aderansı sağlayan mekanik bağlantıların farklılığı ile oluşmaktadır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Profillenmiş çelik sac [23].

Şekil 2.4.'de kompozit döşemelerde kullanılan çelik sac enkesitlerinden bazıları ve çelik sac ile beton arasındaki mekanik bağlantıyı sağlamak için sac yüzeylerinde oluşturulan girinti ve çıkıntıların biçimleri görülmektedir.

Kompozit döşemelerde kullanılan çelik sacın minimum kalınlığının 0,70 mm olması Eurocode 4'de önerilmektedir.

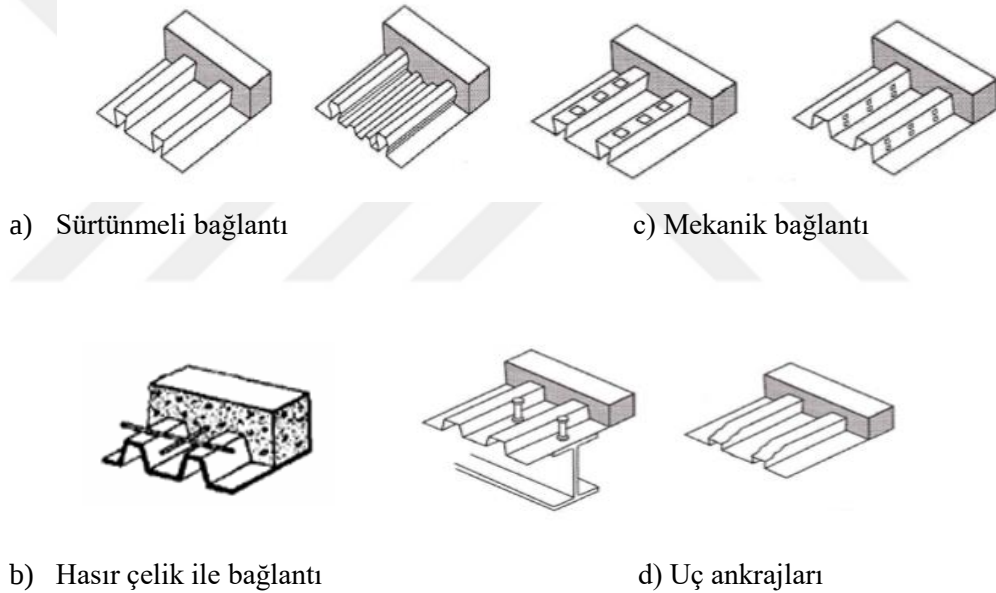


Şekil 2.4. Kompozit döşemelerde kullanılan çelik sac tipleri [13].

Kompozit döşeme elemanı olarak kullanılacak çelik sacın minimum akma dayanımı 220 N/mm^2 olmalıdır. Pratikte, kompozit döşemeler için genelde 280 N/mm^2 ile 350 N/mm^2 arasında akma dayanımına sahip çelik sacların kullanımı tercih edilmektedir (Nethercot, 2004). Korozyon açısından, katlanmış çelik sac yüzeylerinin, atmosfer şartlarından korunabilmesi amacıyla, galvanizlenmiş olmaları zorunluluğu bulunmaktadır. Eurocode 4'e göre korozif ortamların oluşmadığı iç mekânlarda sacın her iki yüzü de 275 g/m^2 miktarında galvaniz ile kaplanmalıdır.

Kompozit çalışmanın gerçekleştirilmesi için, bağlantı aşağıdaki şekillerden biri veya birkaçı ile kurulur:

- (Şekil 2.6-a), Kapalı oluklar şeklinde teşkil edilmiş profillenmiş çelik sac enkesiti kıvrangıçkuyruğu şeklinde düzenlenerek kesme etkisinin aktarılması ile
- (Şekil 2.7-b), Katlanmış saca kaynaklanmış hafif bir çelik donatı hasırı ile
- (Şekil 2.7-c), Profillenmiş çelik sacın yüzeyinde oluşturulan girinti ve çıkıntılarla sağlanan mekanik bağlantı ile
- (Şekil 2.7-d), Döşemenin uçlarına yerleştirilmiş kayma bağlantıları veya çelik sac ucundaki olukların şekillendirilmesi ile [3].



Şekil 2.7. Kompozit döşeme plaklarında beton-çelik bağlantı türleri

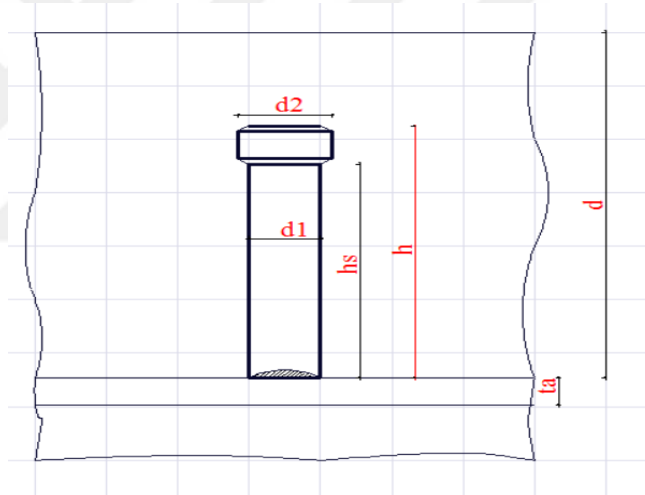
2.2.3.1 . Başlıklı saplama

Başlıklı saplamanın kiriş üst başlığına kaynaklanacak ucunda oluşturulan ark ile bu uçtaki deokside malzeme kolayca erir. Eriyen metali üniform tutarak ve ark ısını koruyarak iyi bir kaynak elde etmek için başlıklı kayma bağlantısının ucunda özel seramik halka kullanılır.



Şekil 2.8. Kompozit döşemelerde başlıklı saplama

Başlıklı kayma bağlantılarının çapı genel olarak 13 mm~25 mm arasındadır, Korozyondan korumak amacıyla galvanizlenmiş saca doğrudan kayma bağlantıları kaynaklanabilir. 1,6 mm'ye kadar tek bir çelik saca ve 1,2 mm'ye kadar üst üste binmiş çift çelik sac kalınlığı üzerinden sac delinmeden kaynak yapılabilmektedir. Kayma bağlantı elemanı olarak başlıklı saplamalar kullanıldığında;



Şekil 2.9. Başlıklı saplamada geometrik büyüklükler

$$h_s \geq 50 \text{ mm} \quad (2.1)$$

$$d_1 \leq \begin{cases} 23 \text{ mm} \\ 2t_a \end{cases} \quad (2.2)$$

$$d_2 \geq 1,5d_1 \quad (2.3)$$

büyüklikleri sağlanmalıdır (Şekil 2.9.). Bu durumda başlıklı kamanın H_{lu} taşıma gücü;

$$H_{lu} = 0,32 \alpha \alpha d_1^2 \sqrt{\beta_{wn} E_b} \leq 0,55 \alpha d_1^2 \sigma_{FH} \quad (2.4)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntıda:

σ_{br} : Beton anma mukavemeti (küp)

E_b : Beton elastiklik modülü

σ_{FH} : Kayma bağlantısının akma sınırı ($\max \sigma_{FH} = 3500 \text{ kg/cm}^2$) [1]

α değeri için;

$$\alpha = \begin{cases} h/d_1 = 3,0 \text{ için } 0,85 \\ h/d_d = 4,2 \text{ için } 1,00 \end{cases} \quad (2.5)$$

değerinde alınan bir katsayıdır (Ara değerler için lineer enterpolasyon yapılabilir.). Başlıklı saplamaların birbirinden uzaklıkları:

$$\text{Enine doğrultuda} \quad e \geq 4d_1 \text{ (istisnai: } 2,5d_1) \quad (2.6)$$

$$\text{Boyuna doğrultuda ise} \quad e \begin{cases} \geq 5d_1 \\ \leq (3 \sim 4) d \leq 600 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.7)$$

bağıntıları ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca eğik etriye türündeki kayma elemanları içinde her kol için;

$$H_{lu} = \alpha_a \sigma_{FH} F_{IH} \quad (2.8)$$

bağıntısı verilebilir. Burada F_{IH} etriyenin bir kolunun enkesit alanı σ_{FH} kayma bağlantısının akma sınırı α_a azaltıcı katsayı göstermektedir. Karma kirişte kayma bağlantıları için yapılan hesaplamalar; Bir moment extremum noktası ile bir moment

sıfır noktası arası olarak sınırlandırılacak bir kayma bölgesine konulması gerekli kayma bağlantı elemanın sayısı, plastik hesapta

$$n_H = H/\alpha_H H_{lu} \quad (2.9)$$

olarak bulunur. H söz konusu bölgede plakla çelik profil arasındaki kayma kuvveti, α_H genellikle 0,85 değerinde alınan bir güvenlik katsayısıdır. Hesapta taşıma gücü yöntemiyle yapıldığından kayma bağlantısı aralıkları eş tutulur. Ele alınan kayma bölgesindeki H kayma kuvveti;

Pozitif momentler bölgesinde, çelik profilin taşıyabileceği Z çekme kuvveti ile beton tablanın taşıyabileceği B basınç kuvvetinden küçük olanına eşittir.

$$Z = \alpha_a \sigma_F F_a \quad (2.10)$$

$$D_b = \alpha_b \sigma_{br} b_{eff} d \quad (2.11)$$

değerlerinden küçüğü H değerini ifade eder. Negatif momentler bölgesinde ise H plaktaki mesnet donatısının taşıyabileceği Z' çekme kuvvetine eşittir.

$$H = Z' = \alpha_a \sigma_F' F_a' \quad (2.12)$$

formülü kullanılarak kayma kuvveti hesaplanır [1]. Başlık kalınlığı ince veya kayma bağlantısı çapı büyük olduğunda, ısı çelik sacı eritmeye çalışırken alttaki başlık fazla eriyebilir ve kayma bağlantısının başlık içine gömülmesine sebep olur. Bu problemi azaltmak amacıyla 10 mm çapa sahip kayma bağlantılarının kullanımı 1994'den itibaren yönetmeliklerde yer almıştır (Yorgun, 2005), (Şekil 2.10.).



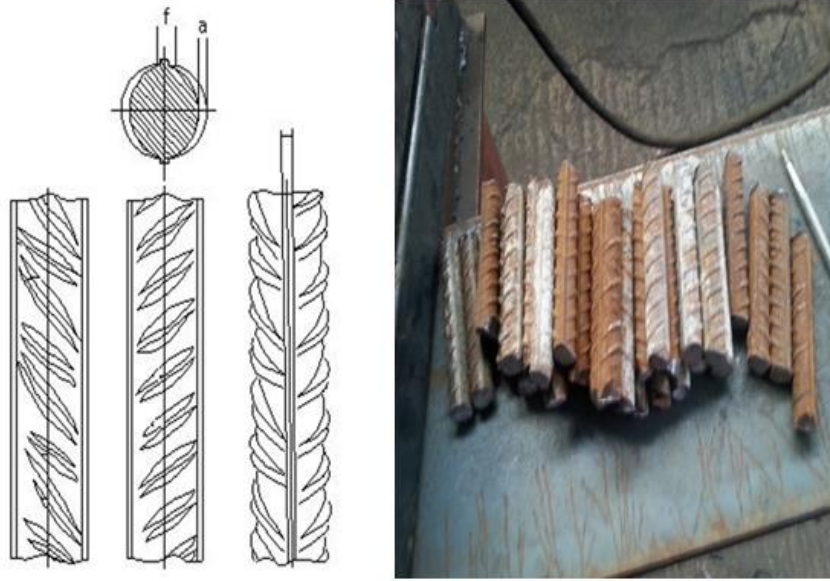
Şekil 2.10. Kaynaklanmış başlıklı kayma bağlantısı

Çelik sac alttaki mesnet kirişine tam olarak oturmalıdır. Kaynaktan önce, eğer varsa, çelik sac yüzeyindeki ıslaklık basınçlı hava püskürtülerek kurutulmalıdır [3].

2.2.3.2 . Kayma bağlayıcısı donatı çeliği

Kayma bağlayıcısı olarak kullanılması düşünülen donatı çeliği; depreme dayanıklı, süneklik değeri yüksek, yorulma dayanımı fazla, geometrisinden dolayı betonla aderansı yüksek ve kaynaklanabilirlik değeri yüksek, kolayca şantiyede elde edilebilen ve istenilen boyutlarda hazırlanabilen bir malzemedir. Donatı çeliği sıcak haddeleme esnasında ısıtılma işlemiyle üretilen, betonla aderansını artırıcı nervürler oluşturulmuş bir beton çelik çubuğudur.

Ülkemizde üretilen BÇIII-BÇIV standartlarındaki beton çelik çubuklarından; süneklik, kaynak yapılması kolay, korozyon dayanımı yüksek olan donatı çeliği, sürekli kullanımı artan bir betonarme inşaat çeliğidir. Nervürlü donatı yüzeyinde imalat sırasında yapılan çıkıntılar, beton ve donatının birbirine daha iyi kenetlenmesini sağlar (Ersoy 2001). Donatı çeliğinin geometrisi Şekil 2.11.'de mekanik ve kimyasal özellikleride Tablo 2.2.'de gösterilmiştir.



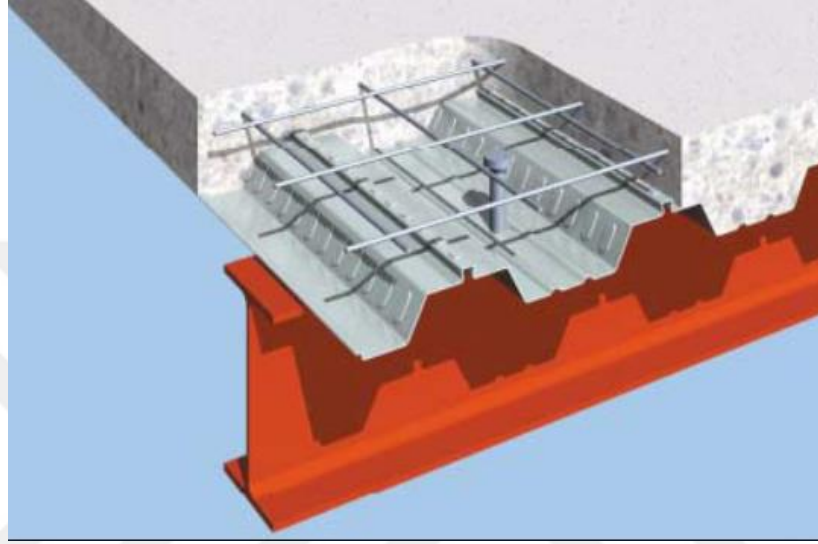
Şekil 2.11. Donatı çeliği geometrisi

Tablo 2.2. Donatı çeliğinin mekanik ve kimyasal özellikleri

Özellikler	BÇ III-a çeliği	BÇ III-a çeliği
Akma Dayanımı (N/mm ²)	Min 420	Max 500
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma ×1,10	Akma ×1,08
% Uzama l ₀ = 10d	10	12
Bükme Testi 180°	5d	4d
Karbon (%)	0.40 max	0.22 max
Kükürt (%)	0.050 max	0.050 max
Fosfor (%)	0.050 max	0.050 max
Azot (%)	-	0.012 max
Karbon Eşdeğeri (%)	-	0.50 ax

2.2.4.Çelik kiriş

Kompozit döşeme sisteminin bir elemanı olan çelik kirişin, mekanik kayma bağlantıları vasıtasıyla betona bağlanmasıyla bu iki malzeme beraber çalışmaktadır (Şekil 2.12.)



Şekil 2.12. Kompozit döşeme ve kiriş birleşimi [24].

2.2.5. Döşeme için donatı çeliği

Kompozit döşemelerde kullanılacak donatı çelikleri betonarme yapılar için geçerli standartlara uygun olmalıdır. Nervürlü veya düz yüzeyli donatılar kullanılabilir. Negatif moment ve yangın donatısı olarak normal sünekliğe sahip donatıların kullanılması önerilmektedir. Karma bir eleman olan betonarmede, donatı ile betonun birlikte çalışması bu iki malzeme arasındaki bağ kuvvetleri yani aderans ile sağlanır. Kompozit kirişlerde ise çelik kirişin üst başlığına yerleştirilen kayma bağlantıları ile beton ve çelik arasındaki boyuna kayma önlenerek kompozit etki elde edilir.

Tablo 2.3. Donatı çeliği sınıfları ve karakteristik değerleri [20].

Donatı çeliği sınıfı	S 500 (nervürlü)	S 550 (hasır çelik)
$f_{ys}, \text{N/mm}^2$	500	550
$f_{ts}, \text{N/mm}^2$	550-600	580
$E_s, \text{kN/mm}^2$	210	210

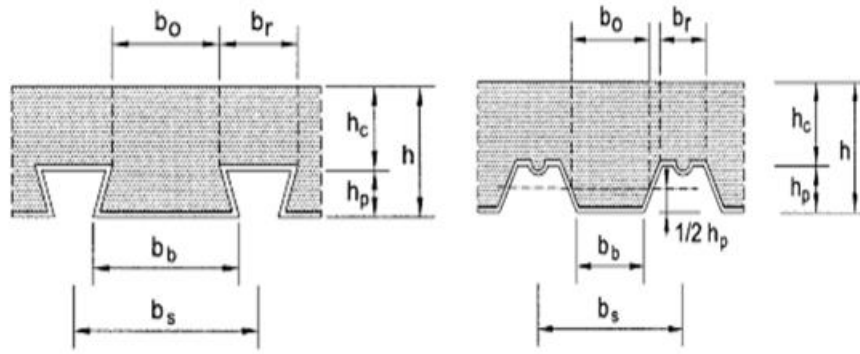
Kompozit döşemelerde çok kullanılan donatı çelikleri için karakteristik değerler Tablo 2.2.'de verilmiştir. f_{ys} Donatının karakteristik akma dayanımı, f_{ts} donatının karakteristik çekme dayanımı ve E_s elastisite modülüdür [20].

2.3. Kompozit Döşeme İle İlgili Kurallar

2.3.1. Döşeme kalınlığı, donatı ve agrega

Eurocode 4' e göre kompozit döşemelerde;

- Toplam kalınlık olan h değeri 80 mm'den ve çelik sac profil üstündeki beton kalınlığı olan h_c 40 mm'den az olmamalıdır. Eğer kompozit döşeme, bir kirişle beraber kompozit olarak çalışıyorsa veya çelik sacın mesnetlendiği kiriş veya rüzgâr bağlantıları için yanal bağlantı görevi üstleniyorsa bu değerler h için 90 mm ve h_c için 50 mm den az olmamalıdır (Şekil 2.13.).
- Her iki yönde de donatı miktarı 80 mm²/m'den az olmamalıdır.
- Donatıların Aralıkları 2h ve 350 mm'yi geçmemelidir.
- Betonun içindeki agreganın dane çapı aşağıdaki sınırları aşmamalıdır:
 - a) $0,4 h_c$
 - b) $b_o / 3$
 - c) 31,5 mm



Şekil 2.13. Çelik sac ve döşeme için boyutlar [18].

Kompozit döşemede rötreden dolayı ve çatlakları en aza indirmek için, boyuna ve enine doğrultuda tüm alana minimum donatı yerleştirilmelidir. Bu donatı mevcut donatıya ilave edilmelidir. Donatının minimum alanı her iki doğrultuda beton en kesitin % 0,2'sidir ve genellikle hasır çelik kullanılmaktadır.

Eğer döşeme sürekli olarak göz önüne alınırsa, negatif moment bölgesinde donatı alanı hesapla belirlenmelidir ve her bir komşu açıklığın en azından %30'una yayılmalıdır. Nervürlü donatıların kullanımı tavsiye edilmektedir (Yorgun, 2003). Sürekli döşemeler basit mesnetli kiriş serileri gibi göz önüne alınarak boyutlandırıldığında çatlakları en aza indirmek için yerleştirilen donatının enkesit alanı, geçici ara desteksiz döşemelerde çelik sacın üstündeki beton enkesit alanının % 0,2'sinden az olamaz [18].

2.3.2. Karma kirişin etkili tabla genişliği

Karma kiriş davranışında en önemli etkenlerden biri kiriş tablası olarak çalışan kısmının genişliğidir. Bu genişliğin belirlenmesi için değişik standart ve referanslarda farklı emniyetlerde genişliklerden bahsedilmektedir. Ancak bu konuda uygun ve genel olarak daha güvenli diyebileceğimiz bir değer ve kıyas esasına ve deneysel çalışmalara dayanan tabla genişliği belirleme yöntemi uygulanabilir [1]. Karma kirişin etkili tabla genişliği;

$$b_{eff} = \begin{cases} I_x \\ I/4 \\ 16d + b_{ao} \end{cases} \quad (2.13)$$

bağıntısına göre belirlenmektedir (AISC~binalarda).

b_{eff} : Çalışma tabla genişliği

I : Kiriş açıklığı

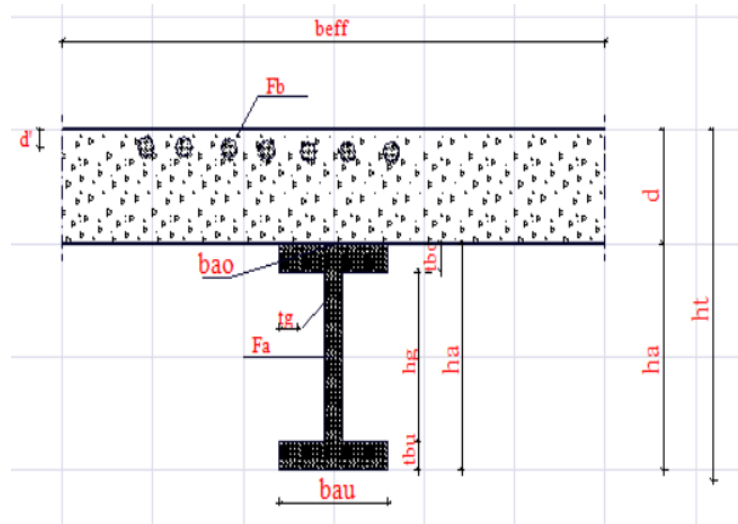
I_x : Kirişler arası aks aralığı

d : Tabla kalınlığı

b_{ao} : Çelik profil üst başlık genişliği

2.3.3. Karma kirişlerin pozitif momentler bölgesinde taşıma gücü

Kompozit kirişlerle ilgili incelenen yönetmeliklerde bazı katsayılarla tek bir hesap yöntemine indirgeyerek yapılan çalışmalarla sistemler ele alınabilir. Plastik hesapta, hem çelik hemde beton için dikdörtgen gerilme diyagramları kabul edilmektedir (Şekil 2.14.).



Şekil 2.14. Kesit geometrik özellikleri

Kompozit kirişlerde pozitif momentler bölgesinde taşıma gücü hesabında tarafsız eksenin yeri α_a ve α_b yönetmeliklere göre değişen azaltıcı iki katsayı σ_F çelik profil akma sınırı ve σ_{br} beton küp mukavemeti (C25 dayanım 300 kg/cm^2) olmak üzere;

$$Z = \alpha_a \sigma_F F_a \quad (2.14)$$

$$D = \alpha_b \sigma_{br} b_{eff} y \quad (2.15)$$

$$y = \alpha_a \sigma_F F_a / \alpha_b \sigma_{br} b_{eff} \quad (2.16)$$

bağıntılarıyla aranır. Çift simetrik çelik kesitte $h_a/2$ ye eşit alınabilen h_{au} değeri

$$h_{ao} = t_{bo} + (1/t_g)((F_a/2) - b_{ao}t_{bo}) \quad (2.17)$$

$$h_{au} = h_a - h_{ao} \quad (2.18)$$

olmak üzere;

a) $y \leq d$ ise kesitçe taşınabilecek en büyük moment;

$$M_u = Z_e = Z (h_{ao} + d - y/2) \quad (2.19)$$

b) Tarafsız eksen tabla altında, $y > d$ durumunda, tarafsız eksenin konumunu belirlemek için;

$$D_b = \alpha_b \sigma_{br} b_{eff} d \quad (2.20)$$

$$D_a = Z - D_b \quad (2.21)$$

$$F_{ad} = D_a / (2\alpha_a \sigma_F) \quad (2.22)$$

$$y_a = F_{ad} / b_{ao} \quad (2.23)$$

hesaplanır. Eğer;

$$y_a \leq t_{bo} \quad \text{ise} \quad y = d + y_a \quad (2.24)$$

olup taşınabilecek moment

$$M_u = D_b e_1 + D_a e_2 = D_b [h_{ao} + d/2] + D_a [h_{ao} - y_a/2] \quad (2.25)$$

bağıntısından belirlenir.

$y_a \geq t_{bo}$ durumunda y ve M_u

$$D_{ab} = 2\alpha_a \sigma_F b_{ao} t_{bo} \quad (2.26)$$

$$D_{ag} = D_a - D_{ab} \quad (2.27)$$

$$F_{ag} = D_{ag} / 2\alpha_a \sigma_F \quad (2.28)$$

$$y_{ag} = F_{ag} / t_g \quad (2.29)$$

$$y = d + t_{bo} + y_{ag} \quad (2.30)$$

$$\begin{aligned} M_u &= D_b e_1 + D_{ab} e_{2b} + D_{ag} e_{2g} \\ &= D_b [h_{ao} + d/2] + D_{ab} [h_{ao} - t_{bo}/2] + D_{ag} [h_{ao} - t_{bo} - y_{ag}/2] \end{aligned} \quad (2.31)$$

bağıntılarıyla bulunurlar. Kesit M_{max} momentini taşıyorsa güvenlik derecesi

$$v = M_u / M_{max} \quad (2.32)$$

olarak belirlenir. Türkiyede kompozit yapı elemanlarına ilişkin bir standart yoktur. Ancak TS 4561 “Çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları”nda verilen ağırlık katsayılarından yararlanılabilir. Yukarıda açıklanan plastik kesit hesabı yöntemi, petek ve kafes gövdeli karma kirişler için yeterince deneyimden geçmemiştir. Bu durumlarda elastik hesap yöntemlerinin kullanılması tavsiye edilir [1].

2.3.3. Karma kirişlerde eğilme momenti ile kesme kuvvetleri arasındaki etkileşim

Karma kesitte bulunabilecek Q kesme kuvvetinin, güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, yalnız çelik profil tarafından taşındığı kabul edilir. Bu durumda TS.4561 yönetmelik kuralları geçerlidir.

$$Q_{pa} = 0,52 \sigma_F t_g h_g \quad (2.33)$$

Bu standart da tanımlanan plastikleşme kesme kuvveti ve Q kesitte ağırlıklı yüke göre hesaplanmış kesme kuvveti olmak üzere;

$$Q < 0.3 Q_{pa} \quad (2.34)$$

ise M_u veya $|-M_y|$ değerlerinde bir azaltma yapılmaz. Aksi durumda, yani

$$Q > 0.3 Q_{pa} \quad (2.34)$$

ise profil gövde kalınlığı standart uyarınca, t_g yerine

$$t_g' = t_g \left(1 - (Q/Q_{pa})^2\right)^{1/2} \quad (2.33)$$

değerinde alınır ve M_u veya $|-M_y|$ bu azaltılmış değer göz önüne alınarak belirlenir [1].

2.3.5. Karma kirişlerde normal kuvvet ve eğilme momenti arasındaki etkileşim

Çeşitli yapılarda, sanayide, yüksek yapılarda, köprülerde kullanılan karma kirişler kullanıldığı yapı sistemine bağlı olarak normal kuvvet etkisinde kalabilmektedir. Yapı sistemlerinde, kullanılan kren makinelerinde veya yatay kuvvet oluşturabilecek herhangi bir etkiyle oluşan normal kuvvet durumunda, bu kuvvetin etki eksenini olarak, kiriş kolon bağlantısı genelde çelik elemanlar arasında gerçekleştiğinden birleşimin ağırlık merkezi veya yaklaşık olarak çelik profilin eksenini alınabilir. Köprü kirişlerinde ise, etki çizgisi genelde köprü tabliyesinin üst kenarında kabul edilebilir.

Normal kuvvet basınç karakterli ise beton tablanın orta noktasına, çekme karakterli ise profilin eş alan merkezine taşınır. Bu taşıma işlemi, ilk konuma göre gösterdiği dış merkezliğe bağlı (+) veya (-) işaretli bir ΔM fark momenti oluşacaktır.

a) Basınç türü normal kuvvet durumunda, beton tablanın b_{eff} genişliği;

$$\Delta b_{eff} = N / (\alpha_b \sigma_{br} d) \quad (2.34)$$

kadar azaltılarak, M_y taşıma gücü

$$b_{eff}' = b_{eff} - \Delta b_{eff} \quad (2.35)$$

değerine bağlı olarak hesaplanır ve

$$M + \Delta M_e \leq M_u \quad (2.36)$$

kıyaslama yapılır.

b) Çekme türü normal kuvvet durumunda ise, çelik profilin t_g gövde kalınlığı;

$$\Delta t_g = N / (\alpha_a r_F h_g) \quad (2.37)$$

kadar azaltılarak, M_y taşıma gücü

$$t_g'' = t_g' - \Delta t_g \quad (2.38)$$

değerine bağlı olarak hesaplanır. Az rastlanan $t_g'' < 0$ özel durumunda, kesit azaltması başlıklara taşınabilir. Kontrol bu durum içinde geçerlidir [1].

2.3.6. Karma kiriş kesitlerinde deformasyon kuralları

Karma kirişlerde deformasyon sınırlaması için köprü kirişlerinde

$$h_t = h_a + d > l/25 \quad (2.39)$$

$$h_a \geq l/30 \quad (2.40)$$

minimum yükseklik sınırlamalarını getirmekte, uzun süreli yükler etkisi durumunda şekil değiştirme hesaplarında, karma kesite eşdeğer çelik kesit hesaplanırken beton kesitin $n = E_a/E_b$ 'ye değil $3n$ 'e bölünmesini öngörmektedir.

Bina tipi yapılarda kullanılan karma kirişlerin sehim hesabında karma kiriş kesit malzemeleri elastisite oranı olan n 'nin iki katı ($2n$) olarak alınır. Sehim değerleri bu koşullar altında bina tipi yapılarda $l/360$, karma kirişli köprülerde $l/800$ sınırlarını aşmamalıdır. Ayrıca statik hesaplarda çubukların eylemsizlik momentleri göz önüne alınırken, I_c karma kesit eylemsizlik momentinin yalnız (+) moment yüklü bölgelerde geçerli olduğu, (-) momentli bölgelerde ise çelikle ilgili eylemsizlik momenti değerinin kullanılması öngörülmektedir.

Karma kiriş deformasyon hesaplarında dikkat edilecek diğer bir husus ölü ve hareketli yüklerden meydana gelen sehimlerin ayrı ayrı hesaplanarak toplandıklarında $I/360$ sınırı aşılmamalıdır. Eğer ölü ve hareketli yükler için, beton kesitin $2n$ katsayısına bölünmesiyle elde edilen bir atalet momenti değerine göre hesap yapılmış ise bu durumda sınır değeri olarak $I/300$ alınabileceği de belirtilmektedir. Bina tipi yapılar için $2n$ alınması uygun iken köprü tipi yapılarda ise etkiyen yük tiplerinin çeşitliliğinden dolayı $3n$ alınması uygun olacaktır [1].

2.4. Kompozit Döşeme Sistemlerinin Gelişiminin Sağladığı Avantajlar

Profillenmiş çelik sac, çelik kiriş, beton ve kayma bağlantıları kombinasyonu ile oluşturulan kompozit döşemeler geleneksel döşemelere göre birçok yapısal ve ekonomik avantajlara sahiptir. Bu avantajlarının yanında, kompozit döşeme tasarımında 1960'dan günümüze kadar ortaya çıkan önemli değişiklikler aşağıda olduğu gibi özetlenebilir:

- Çelik sac akma dayanımı 220 N/mm^2 iken günümüzde 350 N/mm^2 akma dayanımına sahip çelik sac kullanılmaktadır.
- Çelik sac enkesitindeki değişikliklere paralel olarak kompozit döşeme enkesiti değişmiştir. $6\sim 7.5 \text{ m}$ olan kiriş açıklığı $9\sim 12 \text{ m}$ 'ye kadar, $2\sim 2.5 \text{ m}$ olan kiriş aralıkları ise $2.5\sim 3 \text{ m}$ 'ye kadar çıkmıştır.
- Yapım aşamasında ıslak beton ağırlığını taşımakta zorlanan çelik kirişlerde kullanılan geçici ara destekler yerine aşırı sehimlerin önlenmesi için günümüzde kirişlere ters sehim verilmesi tercih edilmektedir.

Yukarıda sıralanan gelişmelerle ortaya çıkan ekonomileriyle beraber, aşağıda sıralanan avantajlarından dolayı oldukça yaygın kullanım alanı bulmaktadır:

- Profillenmiş çelik sac genellikle geçici ara desteğe gerek olmaksızın, beton için kalıcı kalıp görevi görür, betonlamadan sonra alt yüzü temiz kalır ve çelik sac alt yüzü boyanarak estetik bir görüntü elde edilebilir.

- Çelik sac enkesiti, genellikle pozitif moment için yeterli olan donatı görevi görür. Rötire ve sıcaklık değişimlerine dayanım veya iç mesnetlerde sürekliliği sağlamak için döşemede ilave donatı kullanılabilir.
- Çelik sacların üretimi fabrikada kontrol altında yapılmaktadır. Bu ürünün aynı kalitede üretilmesini sağladığından, kullanılan malzemeden dolayı yapımda daha az hata yapılmasını sağlar.
- Kompozit döşemeler yeni koşullara kolaylıkla uygun hale getirilebilirler. Tesisatın gizlenmesi için, kiriş başlığı ve oluklar arasında kalan aralık ideal bir alandır [3].

2.5. Yapım Aşamasındaki Gelişmeler ve Önlemler

Kompozit çalışma başlamadan önce, yapım aşamasında oluşabilecek sehim azaltmak amacıyla önceleri kompozit kirişler geçici ara destekler yapıldı. Beton dayanımının %75'ine ulaşıldığında ara desteklerin kaldırıldığı bu yöntemde, beton ağırlığını geçici ara destekler ve çelik kirişler taşımaktadır.

Ara destekler kaldırıldığında zamanla meydana gelen şekil değiştirme sonucu döşeme üst yüzeyinde mesnetler civarında çatlaklar ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, beton dökümü sırasında geçici ara destek kullanımının kompozit elemanın eğilme dayanımını etkilemediğini göstermiştir. Ara destek kullanılmadığında yapım aşamasında tüm yükleri çelik eleman taşımaktadır. Bu yüklerden dolayı oluşacak sehimleri dengelemek için günümüzde çelik kirişe yukarı doğru ön eğrilik (ters sehim) verilmektedir. Genellikle beton yerleşimindeki dikkatsizliklere bağlı olarak, kompozit döşemelerde en sık karşılaşılan emniyeti azaltan yapım problemleri betonun göllenmesi, çelik sacın aşırı sehim yapması ve sacın kenar bindirmelerinin ayrılmasıdır.

Islak beton yükünün çelik sac açıklığı boyunca üniform yayıldığı kabul edilir. Dolayısıyla, ıslak beton kesinlikle önceden açıklığın ortasına dökülüp, sonradan kenarlara dağıtılmamalıdır. Doğru yerleşim için beton önce mesnet elemanları üzerine dökülmeli, sonra sac açıklığının ortasına doğru ilerleyerek işlem

tamamlanmalıdır. Beton dökümünden önce çelik sac üzerindeki her türlü yabancı malzeme temizlenmelidir. Beton çelik sacın korozyonuna sebep olabilecek maddeler içermemelidir.

Yapım aşamasında dikkat edilecek diğer önemli nokta ise, çelik sacın üzerinden başlıklı kayma bağlantılarının kiriş üst başlığına kaynaklanmasıdır. Kayma bağlantısı başlığına yerleştirilen kaynak tabancası ile yarı otomatik kaynak yöntemi ile kaynaklanmaktadır [12].



BÖLÜM 3. KARMA KİRİŞ KESİTİNİN BOYUTLANDIRILMASI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Belirlenen Sistem İçin Yükleme, Açıklık ve Boyutlandırma

Beton plak ve st37 çelik profilden oluşturulan sistemin davranışı incelenmiştir. Bu sistemde minimum donatı yerleştirilmiş betonarme plağın alt yüzeyi ile profilin üst flanşı arasına trapez sac yerleştirilerek kayma elemanları (başlıklı saplama+donatı çeliği) kaynatılmıştır. Buna göre kirişin davranışı incelenmiş ve teorik esaslara göre pozitif moment taşıma gücü kayma elemanların hesabı ve döşeme donatı hesapları yapılmıştır. Bu kesitte IPE240 çelik profil ile beton plağı kayma elemanları ile kaynatılarak kirişteki moment-eğrilik, yük-deplasman alt ve üst flanşlarda yük-şekildeğiştirme ve kirişteki uzama davranışları araştırılmıştır.

6 numune üzerinde tekli ve çiftli (başlıklı saplama+ donatı çeliği) kayma elemanları ile güçlendirilmiş karma kirişin moment taşıma gücü, deformasyon, kapasite sınırlarının incelenmesi amacıyla 4 m açıklığında hareketli ve sabit mesnetler kullanılmış bir kirişe pozitif moment oluşturacak şekilde kirişe tekil yük uygulanması ele alınmıştır.

100 cm genişliğinde 400 cm uzunluğunda, 3 adet numune 12 cm ve 3 adet numune 15 cm olarak farklı kayma elemanları ile standartlara uygun olarak IPE240 profiline 1 mm'lik trapez saclar ile profilin üst flanşına kaynatılmıştır. Karma kirişlerde başlıklı saplamalar ve profiller st37 ve C25 beton kalitesinde hazır beton kullanılmıştır. Profilin üzerine trapez saclarla kaynaklanan kayma bağlayıcılarının boyu başlıklı saplamalar için 19 mm çap kalınlığında, 90 mm boyunda saplamalar ile 90 mm boyunda 18 mm çapında donatı çeliği kullanılmıştır.

Döşeme boyutları Eurocode 3'e göre etkili tabla genişliği ve daha önceden yapılan 23 çalışma referansı dikkate alınarak ebatları 3 adet 4000×1000×120 mm ve 3 adet 4000×1000×150 mm olarak hazırlanmıştır.

1. Beton döşeme yüksekliği: h=12 cm ve h=15 cm kalınlığında döşemeler.
2. Kayma bağlayıcı adedi: tek ve çift sıralı kayma bağlayıcısı başlıklı saplama kullanımı.
3. Kayma bağlayıcı adedi: tek ve çift sıralı kayma bağlayıcısı donatı çeliği kullanımı.

Deney numunelerinde en önemli değişiklikler kayma bağlayıcısı türleri ve sayısının farklı olması ve döşeme yüksekliklerin farklı olmasıdır.

- Çelik profilin özellikleri

$$E_a = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$b_{ao} = 120 \text{ mm (üst başlık gen.)}$$

$$F_y = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

$$b_{au} = 120 \text{ mm (alt başlık gen.)}$$

$$\alpha_a = 0,94 \text{ (Ağırlık katsayısı tablo)}$$

$$t_{bo} = 9,5 \text{ mm (üst başlık kal.)}$$

$$\sigma_f = 2,4 \text{ t/cm}^2$$

$$t_{bu} = 9,5 \text{ mm (alt başlık kal.)}$$

$$h_a = 240 \text{ mm}$$

$$t_g = 6,2 \text{ mm (gövde kal.)}$$

$$h_s = 221 \text{ mm (gövde yüksekliği)}$$

TS4561 uyarınca $\eta = 1.7$ alınacaktır.

- Beton plak özellikleri

$$\alpha_b = 0,74$$

$$\sigma_{br} = 180 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma = 2,50 \text{ t/m}^3$$

$$f_c = 25 \text{ kg/cm}^2$$

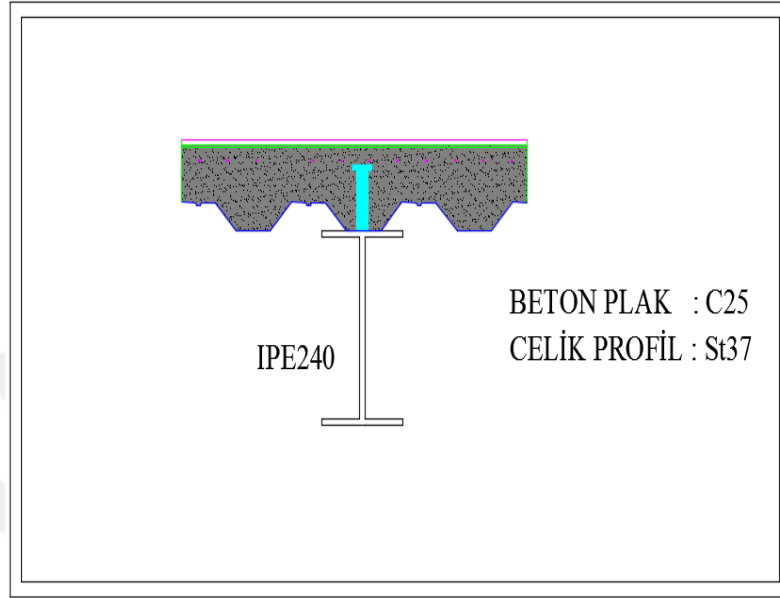
(Tablo 2.2.) C25

$$d = 120 \text{ mm, } 150 \text{ mm}$$

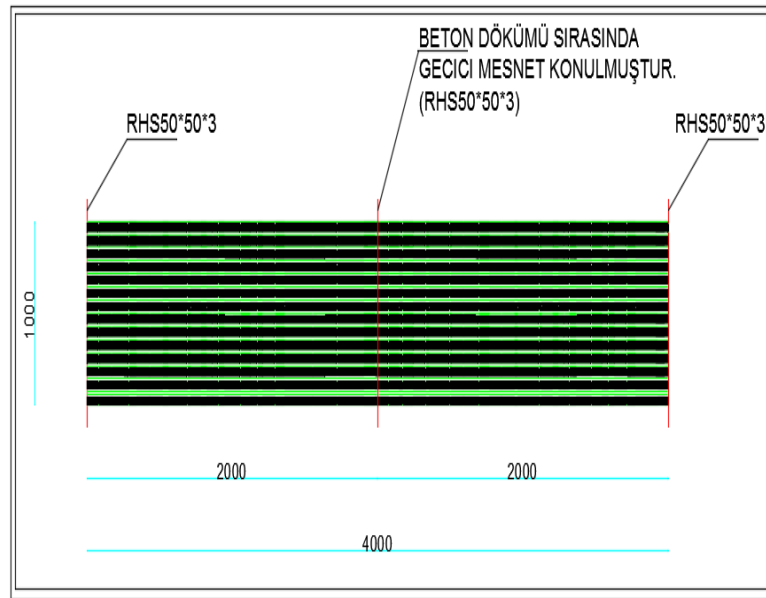
$$E_b = 302,50 \text{ kg/cm}^2$$

- Kayma elemanları kabulleri

Tek ve çift sıra 7/8' 32 mm ve $h=90$ mm olan başlıklı saplamaların ($a_{FH} = 3,5 \text{ t/cm}^2$).



Şekil 3.1. Karma kirişin önden görünüşü



Şekil 3.2. Karma kirişin üstten görünüşü

3.2. Boyutlandırılan Sistemle İlgili Hesaplama ve Tahkikler

3.2.1. Kesitin pozitif moment taşıma gücü

Tasarlanan kesitin çalışan tabla genişliği, b_{eff} d:12 cm , $b_{ao} = 12$ cm

$$I_x = 100 \text{ cm}^4$$

$$I/4 = 100 \text{ cm}^4$$

$$b_{eff}: 100 \text{ cm}$$

$$16d + b_{ao} = 204 \text{ cm}$$

olarak belirlenir. Bu hesaplamada AISC'nin binalar için önerdiği koşullar göz önüne alınmıştır ($F_{a1}=10 \text{ cm}^2$).

Çelik profil kesit alanı F_a , $F_a = 39,12 \text{ cm}^2$ olduğuna göre karma kiriş kesitin pozitif moment bölgesi çekme kuvveti kapasitesi;

$$Z = \alpha_a \sigma_F F_a = 0,94.2,4.39,12 = 88.25 \text{ t}$$

şeklinde hesaplanır. Pozitif moment bölgesinde plastik tarafsız eksenin y değeri,

$$y = Z/D = \alpha_a \sigma_F F_a / \alpha_b \sigma_{br} b_{eff}$$

$$= 88.25 / 0,74.0,18.100$$

$$= 6,62 \text{ cm} < d = 12 \text{ cm}$$

Çelik profili iki eşit alana ayıran eksenin üst kısma olan uzaklığı h_{ao} ,

$$h_{ao} = t_{bo} + (1/t_g)((F_a/2) - b_{ao}t_{bo})$$

$$h_{ao} = 0,95 + (1/0,62)((19,56) - 12.0,95)$$

$$h_{ao} = 14,11 \text{ cm}$$

$$h_{au} = 24 - 14,11 \text{ ise } h_{au} = 9,89 \text{ cm}$$

Buna göre kesitin pozitif moment kapasitesi M_u ,

- $y \leq d$ ise kesitçe taşınabilecek en büyük moment $6,62 \text{ cm} \leq 12 \text{ cm}$

$$M_u = Z_e = Z (h_{ao} + d - y/2)$$

$$M_u = 20 \text{ t m}$$

olarak hesaplanır. Tasarlanan kesitin çalışan tabla genişliği, b_{eff} d:15 cm

$$(F_{a2}=11.4 \text{ cm}^2) , b_{ao} = 12 \text{ cm}$$

$$I_x = 100 \text{ cm}$$

$$I/4 = 100 \text{ cm}$$

$$b_{eff}: 100 \text{ cm}$$

$$16d + b_{ao} = 252 \text{ cm} \quad d:12 \text{ cm} \quad Z1=22 \text{ t} ; d:15 \text{ cm} \quad Z2=25.5 \text{ t}$$

olarak belirlenir. Bu hesaplamada AISC'nin binalar için önerdiği koşullar göz önüne alınmıştır. 15 cm'lik döşeme için etkili tabla genişliği, çelik profil ve beton plak değerleri değişmediğinden dolayı çekme kuvveti ve taşıyabileceği max moment değerleri değişmeyecektir. Sonuç ve öneriler kısmında teorik pozitif moment taşıma yükleri tablo halinde verilecektir.

- $y \leq d$ ise kesitçe taşınabilecek en büyük moment $6,62 \text{ cm} \leq 15 \text{ cm}$

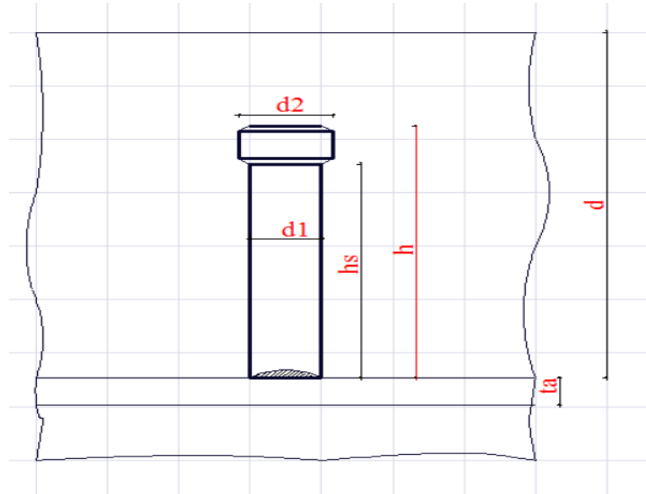
$$M_u = Z_e = Z (h_{ao} + d - y/2)$$

$$M_u = 20 \text{ t m}$$

olarak hesaplanır [1].

3.2.2. Kayma elemanları (başlıklı saplama) hesabı

Tek ve çift sıra 7/8" 32 mm ve $h = 90 \text{ mm}$ olan başlıklı saplamaların ($a_{FH} = 3,5 \text{ t/cm}^2$).



Şekil 3.3. Başlıklı saplamada parametreleri

$$h_s \geq 50 \text{ mm}$$

$$h_s = 80 \text{ mm}$$

$$d_1 \leq \begin{cases} 23 \text{ mm} \\ 2t_a \end{cases}$$

$$d_1 = 19 \text{ mm} \leq 23 \text{ mm}$$

$$d_2 \geq 1,5d_1$$

$$d_2 \geq 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm} \geq 28,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{FH} = 3500 \text{ kg/cm}^2 = 3,5 \text{ t/cm}^2$$

$$\alpha = \begin{cases} h/d_1 = 3,0 \text{ için } 0,85 \\ h/d_d = 4,2 \text{ için } 1,00 \end{cases}$$

$$h/d_1 = 9/1,9 = 4,73 \quad \alpha = 1,34 \text{ (enterpolasyonla)}$$

Başlıklı kamanın taşıma gücü H_{1u}

$$H_{1u} = 0,32 \cdot \alpha \cdot d_1^2 \sqrt{\beta_{wn} E_b} \leq 0,55 \cdot d_1^2 \sigma_{FH}$$

$$H_{1u} \leq 0,32 \cdot 1,34 \cdot 1,9^2 \sqrt{100 \cdot 302,500} \leq 2,692 \text{ t}$$

$$H_{1u} \leq 0,55 \cdot 1,9^2 \cdot 3,5 = 6,949 \quad 2,692 < 6,949$$

Pozitif momentler bölgesinde;

$$H = Z = 88,25 \text{ t}$$

$$n_H = \frac{H}{\alpha_H H_{1u}}$$

α_H : güvenlik katsayısı (0,85)

$n_H = 14$ adet d:12 cm'lik döşemede başlıklı saplamalar ve donatı çeliği tekli olarak kaynatılacaktır.

$n_H = 28$ adet d:15 cm'lik döşemede başlıklı saplamalar ve donatı çeliği çift olarak kaynatılacaktır.

$$e = \left\{ \begin{array}{l} \geq 5d_1 \\ \leq (3 \approx 4)d \leq 600 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

$$e_b = \frac{\frac{0,75}{2} \cdot 600}{14} = 28,125 \text{ cm çift}$$

$$e = \left\{ \begin{array}{l} > 5d_1 = 5 \cdot 1,9 = 9,5 \text{ cm} \\ < 3d = 3 \cdot 15 = 45 \text{ cm} \\ < 60 \text{ cm} \end{array} \right. \quad e < 3d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ cm (12 cm döşeme)}$$

3.2.3. Döşeme plağındaki minimum enine donatının belirlenmesi

$$\text{C25} \quad f_{ctd} = \frac{18}{1,5} = 12 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{2000}{1,15} = 1738 \text{ kg/cm}^2$$

pozitif momentler bölgesi

$$H'_{(+)} = H_{(+)} - \alpha_b \sigma_{br} b_{ao} y$$

$$= 63053 \text{ kg}$$

$$I_H = 0,75 \cdot \frac{I}{2} = \frac{0,75 \times 400}{2} = 150 \text{ cm}$$

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} 2d I_H$$

$$= 28080 \text{ kg}$$

$$H' > V_{cr} \quad V_c = 0,8 V_{cr} = 0,8 \times 28080 = 22464 \text{ kg}$$

$$V_s = H' - V_c = 63053 - 22464 = 40589 \text{ kg}$$

$$V_s = \frac{A_{st}}{s} f_{yd} I_H \quad \alpha = 90^\circ \text{ için}$$

$$\frac{A_{st}}{s} = \frac{V_s}{f_{yd} I_H} = \frac{40589}{1738 \times 150} = 0,155$$

Her kayma çatlağında boyuna 3Ø8/30 düz donatı toplam 3 donatı hesaplanmıştır [1].

$$\frac{A_{st1}}{s} = \frac{0,065}{6} = 0,025 \quad \text{Ø8/30}$$

Asgari döşeme donatısı Ø8 / 11,5

3.3. Malzeme Deneyleri

Deney numunelerinin üretimi, ülkemizdeki mevcut yönetmeliklerde öngörülen beton kalitesi ile uygulamada en sık karşılaşılan koşullar göz önüne alınarak; 25 MPa dayanımlı beton, alt donatı olarak ST37 kalitesinde çelik sac ve üst donatı olarak da BÇIV kalitesinde Q8 donatı kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve malzeme deneylerinden elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

3.3.1. Beton deneyleri

19.04.2017 tarihinde üretimi gerçekleştirilen deney numunelerinde kullanılan betondan, basınç dayanımının belirlenebilmesi amacı ile 4 adet standart küp numune alınmıştır (Şekil 3.4.). Tablo 3.1.'de belirtilen 28 günlük olarak (150x150x150 mm) 4 adet numune deneye tabi tutulmuştur. SÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan pres makinesi kullanılarak; 28. günde standart küp basınç deneyi yapılmıştır. Deneyler sırasında basınç dayanımı-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla kompresometre kullanılmıştır. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir.

Tablo 3.1. Deney Tarihleri ve Küp Numune Adetleri

Deney tarihindeki beton yaşı (gün)	Denenen Numune Sayıları
28	4



Şekil 3.4. Küp numunelerinin hazırlanışı

3.3.1.1. 28 günlük beton küp basınç dayanımı deneyi

Numunelerin üretiminden itibaren 28 gün sonra 4 adet küp numune standart basınç deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.5.). 28 günlük beton basınç dayanımı-şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.6.'da verilmiştir.

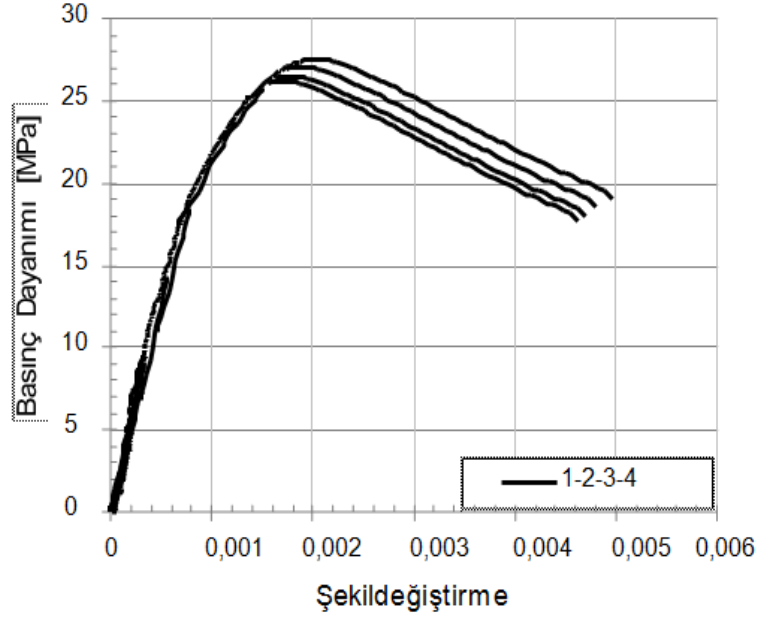


Şekil 3.5. 28 günlük beton basınç dayanımı

Tablo 3.2. 28 günlük küp basınç dayanımları

Numune no.	Kesit/kırılma Alanı (cm^2)	Hacim (cm^3)	$h_{küp}$ Yükseklik(mm)	$b_{küp}$ Eni (mm)	P_{max} [kN]	a [MPa]
1	225	3375	150	150	526.60	27.10
2	225	3375	150	150	517.00	25.878
3	225	3375	150	150	543.90	26.173
4	225	3375	150	150	530.00	26.790

4 Numuneye ait 28 günlük beton basınç dayanımı-şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.6.'de verilmiştir.



Şekil 3.6. 28 günlük basınç dayanımı-şekildeğiştirme grafiği

3.3.2. Çelik deneyleri

Çelik çekme deneyleri SÜ Teknoloji Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında mevcut olan 5 ton ve 50 ton kapasiteli mekanik çekme cihazları kullanılarak TS708 standardına [20] uygun olarak yapılmıştır. Çelik deneyleri Q8 donatı trapez sac ve IPE240 profilinin flanş ve gövde çekme deneyleri olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

3.3.2.1. Donatı çekme deneyi

Toplam 2 adet Q8 çapındaki donatı örneğine çekme deneyi uygulanmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Donatı çekme deneyi

Tüm numuneler için TS708 ve TS ISO 15630 standart sınır değerleri ve deney sonucu bulunan değerler Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'de verilmiştir. Aynı zamanda deney sonucu kuvvet-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.3. Q8 donatı çekme deneyi standart sınır değerleri

Akma min. N/mm^2	Çekme min. N/mm^2	Kopma uzama (%)	Çekme Akma	Kopma Akma
420	500	10	1.15	1.30
420	500	10	1.15	1.30
420	500	10	1.15	1.30

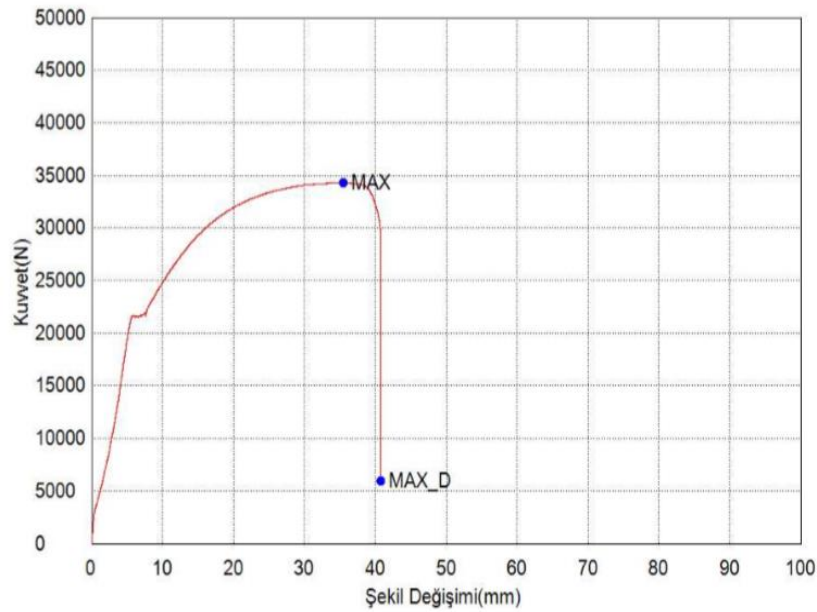
Tablo 3.4. Q8 donatı çekme deneyi sonucu bulunan değerler

Rapor Tarihi	11.05.2017	Test Tarihi	11.05.2017	Rapor Tarihi	11.05.2017	Test Tarihi	11.05.2017
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme	Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hz	4mm/min	Şekil	Çubuk	Hz	4mm/min	Şekil	Çubuk
Grup Sayısı	1	Alt Grup Sayısı	3	Grup Sayısı	1	Alt Grup Sayısı	3

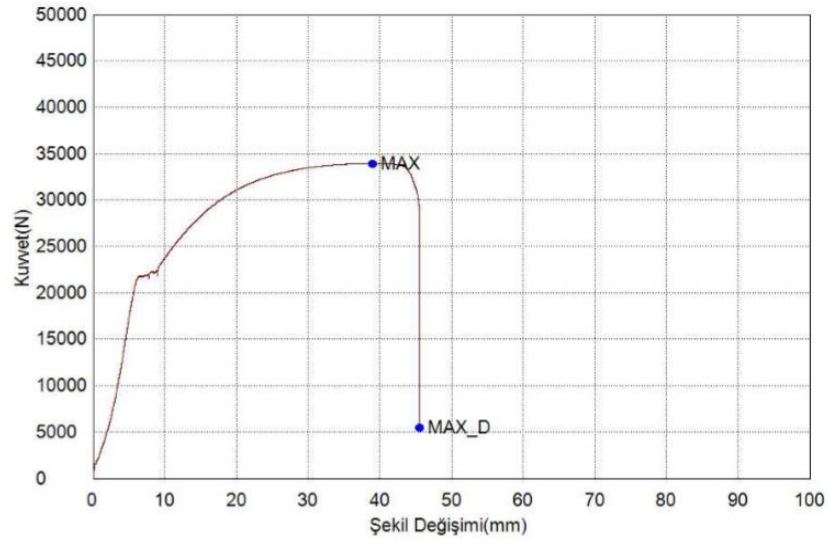
İsim	Max Kuvvet	Max Gerilme	Max Uzama	Max Yüzde Uzama
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N	N/mm ²	mm	%
1_1	34275.0	681.880	35.5150	15.9978
1_2	33834.4	675.103	39.0240	17.5784

İsim	Max Şekil Değişimi	Max Zaman	Max Uzama Kuvvet	Max Uzama Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması		
Birim	mm	sec	N	N/mm ²
1_1	35.5150	532.750	5951.56	118.403
1_2	39.0240	585.400	5492.19	109.284

İsim	Max Uzama Uzama	Max Uzama Şekil Değişimi	Max Uzama Zaman
Parametreler			
Birim	mm	mm	sec
1_1	40.7810	40.7810	611.800
1_2	45.6040	45.6040	684.150



Şekil 3.8. Donatı numunelerine ait kuvvet-şekildeğiştirme grafiği no:1



Şekil 3.9. Donatı numunelerine ait kuvvet-şekildeğiştirme grafiği no:2

3.3.2.2. Trapez sac çekme deneyi

Trapez sac çekme deneyinde, kompozit döşeme üretiminde kullanılan trapez sacın uygun bölümlerinden TS 138 standardında [20] belirtilen ölçülerde kesilen 3 adet 30mmx300mmx1mm kullanılmıştır. Alınan numunelerin ölçülen et kalınlıkları yaklaşık 1.00 mm'dir. Çekme deneyinde, 3 adet numune çekme deneyi komparatörü ile yapılmıştır. Elde edilen kuvvet- şekildeğiştirme ilişkileri Tablo 3.5.'de ve trapez sac örnekleri Şekil 3.10. Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.'de verilmektedir.



Şekil 3.10. Deney numunelerine ait trapez sac



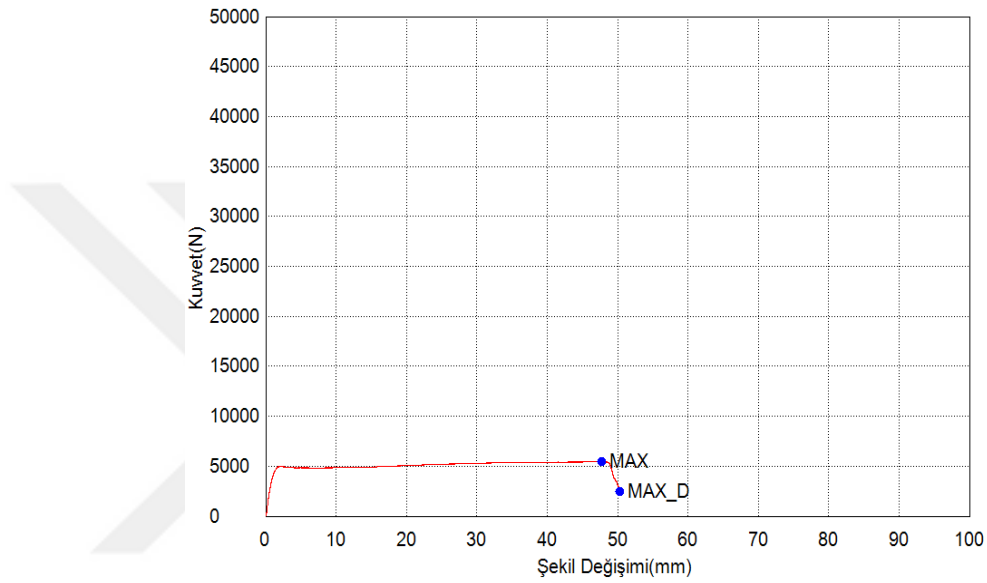
Şekil 3.11. Trapez sac çekme deneyinden bazı görüntüler

Tablo 3.5. Trapez sac çekme deneyi sonucu bulunan değerler

Max. Kuvvet	Max. Gerilme	Max. Uzama	Max. Yüzde Uzama	
Tüm Alan	Tüm Alan	Tüm Alan	Tüm Alan	
Parametreler	Hesaplaması	Hesaplaması	Hesaplaması	Hesaplaması
Birim	N	N/mm ²	mm	%
1 _ 1	5443.75	181.458	47.7690	21.5176
İsim	Max. Şekildeğişimi	Max. Strain	Max. Zaman	Max. Uzama- Kuvvet
Tüm Alan	Tüm Alan	Tüm Alan	Hesaplaması	
Parametreler	Hesaplaması	Hesaplaması		
Birim	mm	%	sec	N
1 _ 1	47.7690	21.5176	818.850	2484.38
Max. Uzun-Yüzde	Max Uzun-Şekildeğişim	Max. Uzun-Uzun	Uzun	Değişimi
İsim	Max. Uzun-Gerilme			
Parametreler				
Birim	N/mm ²	mm	%	mm
1 _ 1	82.8125	50.3800	22.6937	50.3800

Tablo 3.5. (Devamı)

İsim	Max. Uzama-Strain	Max. Uzama-Zaman	Kopma-Kuvvet	Kopma-Gerilme
Parametreler			Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	%	sec	N	N/mm2
1_1	22.6937	863.650	2848.38	92.8152



Şekil 3.12. Trapez sac numunesine ait kuvvet-şekildeğiştirme grafiği

3.3.2.3. IPE240 profili flanş ve gövde çekme deneyi

Mekanik ve kimyasal özelliklerini test etmek için çelik üzerinden numune alırken, bu özelliklerin rulo eni, boyu ve kalınlığı boyunca değişeceğini unutmamalısınız. Bunun temel sebebi çeliğin farklı bölümlerinin farklı sıcaklıklara, farklı deformasyon yönlerine ve/veya farklı ısıma ve soğuma oranlarına sahip olmasıdır. IPE240 flanş ve gövde çekme deneyinde, kompozit döşeme üretiminde kullanılan profilin uygun bölümlerinden TS EN ISO 377:2013 standardında [22] belirtilen ölçülerde numuneler hazırlanmıştır.

Flanşlardan kesilen 4 adet 30mmx300mmx9.5mm ve gövdeden kesilen 4 adet 30mmx300mmx6.2mm kullanılmıştır. Alınan numunelerin ölçülen et kalınlıkları yaklaşık olarak flanştan 9,5 mm ve gövdeden 6,2 mm'dir. Çekme deneyinde, 50 tonluk makineyle deney yapılmıştır. Elde edilen Gerilme (N/mm²)-Uzama (%) ilişkileri grafiği Tablo 3.6. ve Tablo 3.7.'de sonuçları gösterilmiştir.

Flanş ve gövde plaka örnekleri Şekil 3.13., Şekil 3.14., Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'da verilmektedir.



Şekil 3.13. Flanş plaka çekme deney numuneleri



Şekil 3.14. IPE240 profile ait flanş kopma deney numuneleri



Şekil 3.15. Gövde plaka çekme deney numuneleri



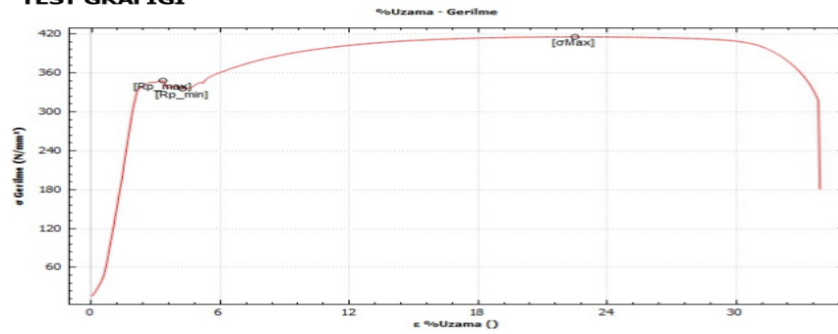
Şekil 3.16. IPE240 profil ait gövde kopma deney numuneleri

Tablo 3.6. Flanşın plaka numunesine ait gerilme-uzama grafiği

NUMUNE BİLGİLERİ

Müşteri		Tarih	11/05/17
Standart	Extansometresiz çekme	Malzeme	
Dosya no	D_1105_171706	Numune cinsi	
Seri No		Kesit alanı	285.000mm ²
İş emri		Çap	mm
Döküm No		A Kesiti	9.500mm
Kaynak mukavemeti		B Kesiti	30.000mm

TEST GRAFİĞİ



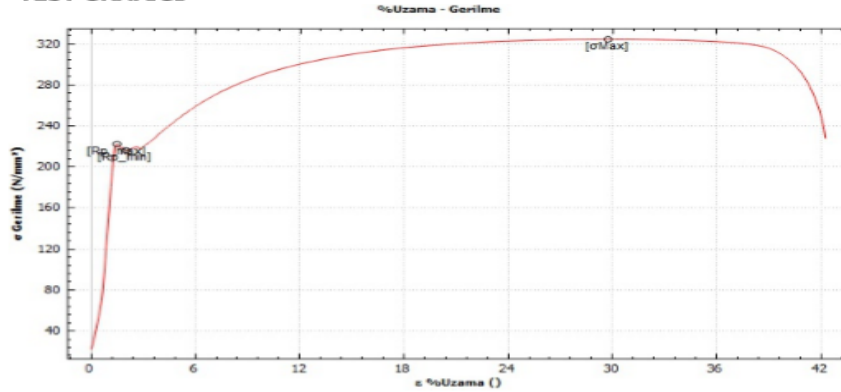
SONUÇLAR

Fm	118.413kN	Rmin	335.723000
Rm	415.5N/mm ²	RMax	348.035000
L0 Boyu	190.000mm	RAvg	341.879000
L1 Boyu	255.177mm	E modul	1388.890000
Uzama%	%34.3	Deney hızı	20mm/dk
Rp02	335.7N/mm ²		

Tablo 3.7. Gövdenin plaka numunesine ait gerilme-uzama grafiği

NUMUNE BİLGİLERİ

Müşteri		Tarih	11/05/17
Standart	Extansometresiz çekme	Malzeme	
Dosya no	D_1105_165139	Numune cinsi	
Seri No		Kesit alanı	186.000mm ²
İş emri		Çap	mm
Döküm No		A Kesiti	6.200mm
Kaynak mukavemeti		B Kesiti	30.000mm

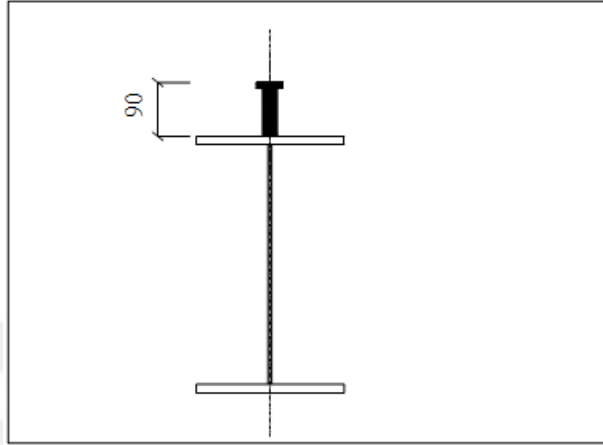
TEST GRAFİĞİ**SONUÇLAR**

Fm	60.342kN	Rmin	215.871000
Rm	324.4N/mm ²	RMax	222.237000
L0 Boyu	180.000mm	RAvg	219.054000
L1 Boyu	257.140mm	E modul	1593.630000
Uzama%	%42.9	Deney hızı	20mm/dk
Rp02	215.9N/mm ²		

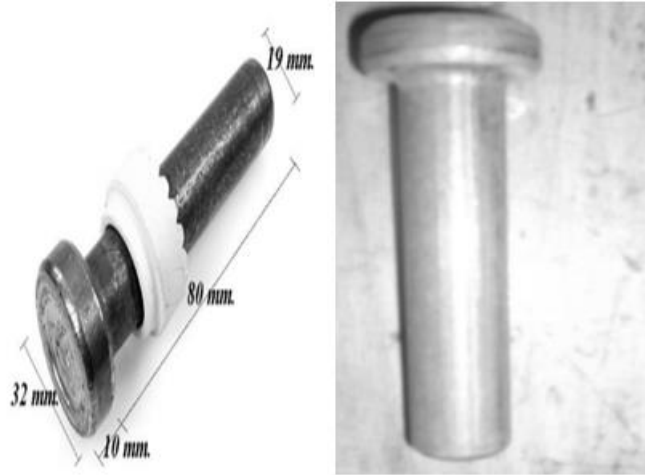
3.4. Kompozit Döşemeye Ait Numune Deneyleri**3.4.1. Numunelerin üretim süreci**

Tüm numuneler 01.04.2017 tarihinde, YLG çelik firması üretim tesisinde kontrollü olarak üretilmiş ve iki hafta sonra SÜ İnşaat Fakültesi Yapı Laboratuvarına sevk edilmiştir. Üretim aşamasında; IPE240 kirişleri istenilen uzunlukta (4.5 m) kesilerek üzerine 4mx1m uzunluğunda 1mm'lik trapez sac serilmiş, 4 adet numunenin kiriş trapez sac bağlantısı üzerinde başlıklı saplamalar ve 2 adet numunenin kiriş trapez sac bağlantısı üzerinde ise donatı çeliği kullanılmıştır. Eurocode 3'e göre kontrollü olacak biçimde Şekil 3.17.'de gösterilen 19mmx90mm çaplı kayma kamaları ile sağlanmıştır.

Farklı boyutlarda başlıklı saplamalar piyasada mevcut olmasına rağmen bu çalışmada; 19 mm çap kalınlığında, 90 mm boyunda, 32 mm başlık çapında ve 10 mm başlık boyunda saplamalar ile 90 mm boyunda 18 mm çapında donatı çeliği kullanılmıştır. Bu saplamalar EN 10 025 standartlarına uygundur. Kullanılan başlıklı saplamanın boyutları ve resmi Şekil 3.18.'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Numunelerinde kullanılan kayma kaması boyutları



Şekil 3.18. Numunelerde kullanılan başlıklı saplama boyutları

Üretim aşamasında çekilen bazı fotoğraflar yer almaktadır (Şekil 3.19., Şekil 3.20.). Eurocode 4'e göre kompozit döşemede;

- Donatıların Aralıkları 2h ve 350 mm'yi geçmemelidir (Şekil 3.21., Şekil 3.22.).



Şekil 3.19. Döşeme numunelerinin üretim aşamalarında çekilen bazı resimler



Şekil 3.20. Döşeme yükseklikleri farklı çift başlıklı saplama kalıp aşamalarında çekilen bazı resimler



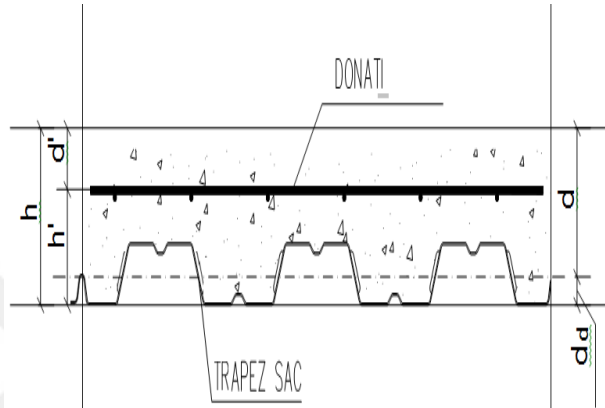
Şekil 3.21. Döşeme yükseklikleri farklı çiftli donatı çeliği ve başlıklı saplama aşamalarında çekilen bazı resimler



Şekil 3.22. Döşeme numunelerinin beton döküldükten sonra çekilen bazı resimler

3.4.2. Numunelerin genel özellikleri

Bu çalışmada altı adet basit kiriş formundaki 1/1 ölçekli döşeme deneysel olarak incelenmiştir. Döşeme sacına ait genel geometrik büyüklükler Şekil 3.23.'de verilmiştir. Her numune için, gerçekleşen ortalama kesit geometrisine ait büyüklükler ise Tablo 3.8.'de yer almaktadır.



Şekil 3.23. Kompozit döşeme ait geometrik şekil

Tablo 3.8. Üretilen numunelerin geometrik büyüklükleri

Numune Adı	h	d_d	$d = h - d_d$	d'	h'
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
DN1-1S-D120	140	20	120	30	90
DN2-2S-D120	140	20	120	30	90
DN3-1N-D120	140	20	120	30	90
DN4-1S-D150	170	20	150	30	120
DN5-2S-D150	170	20	150	30	120

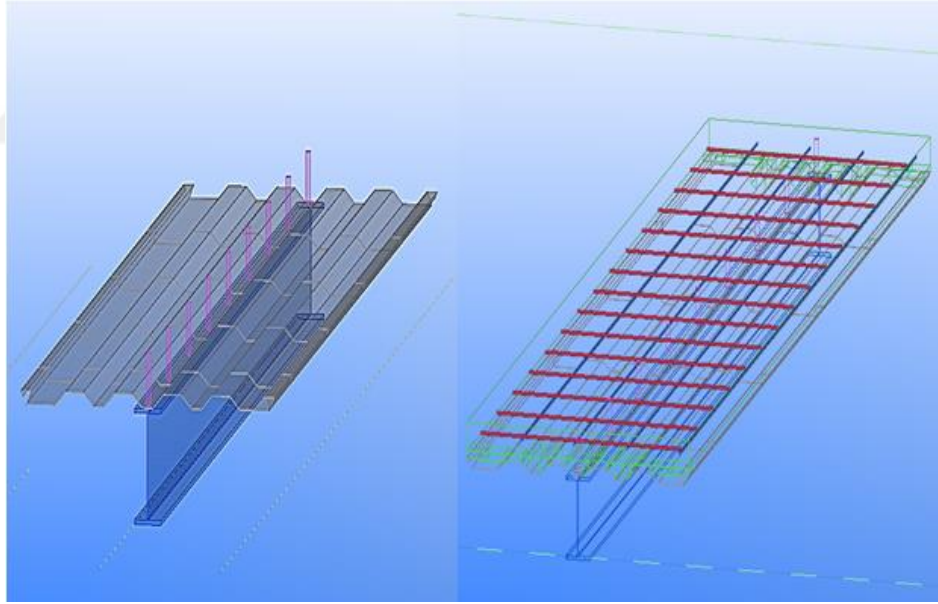
Tablo 3.8. (Devamı)

DN6-2N-D150	170	20	150	30	120
-------------	-----	----	-----	----	-----

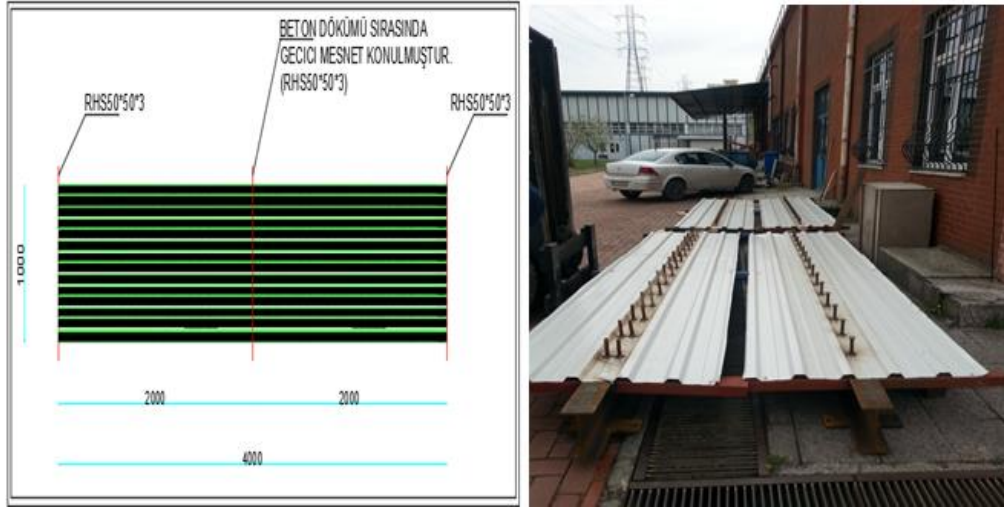
DN: Deney no., S: Başlıklı saplama, N: Nervürlü Donatı D: Döşeme kalınlığı

3.4.3. Deney numuneleri

Basit kiriş biçimindeki numuneler 4000 mm açıklığa sahiptir. Şekil 3.24.'de kompozit döşeme deney numunelerine ait genel perspektif görünüşü verilmiştir. Deney numuneleri IPE240 kiriş üzerine mesnetlenmiş trapez sac levha ile oluşturulmuştur, Şekil 3.25.'de üretim aşamasında açıklık ortasına tali mesnet yerleştirilmiştir.



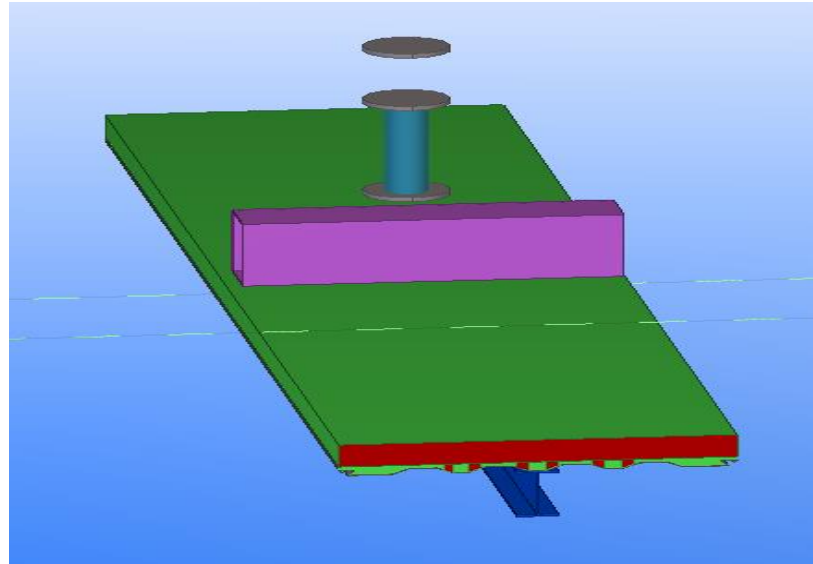
Şekil 3.24. Kompozit döşeme numunesine ait perspektif görünüş ve donatı tasarımı



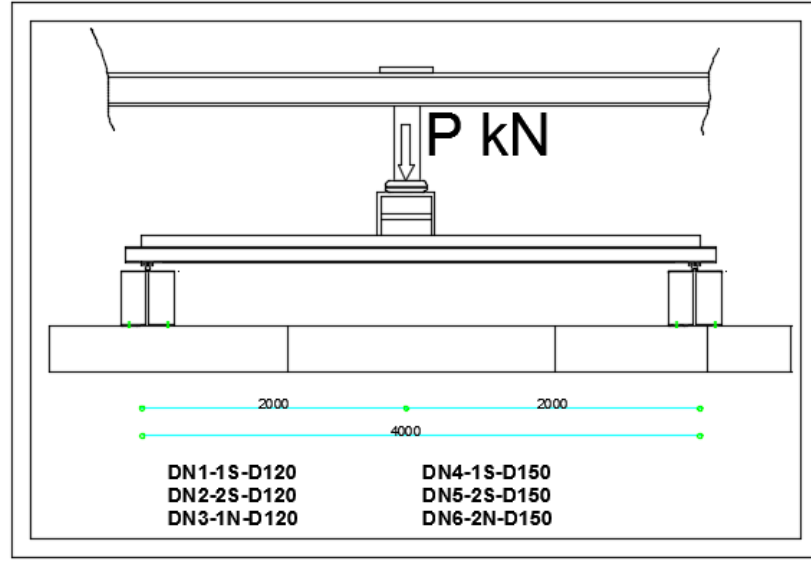
Şekil 3.25. Kompozit döşeme numunesine ait geçici ara mesnetlerin gösterimi

3.4.3. Tüm numuneler için ölçüm ve yükleme düzeneği

Şekil 3.26.'de deney düzeneğine ait genel yerleşim düzeni verilmiştir. Bu düzen bütün numunelerde aynı olacak şekilde deney numunesinin ortasından tekil yük uygulanmıştır. Şekil 3.27.'de numuneye bakış yönü ve yükleme düzeneğine ait ön görünüş verilmiştir.



Şekil 3.26. Numunelerde yükleme düzeneği



Şekil 3.27. Tüm numuneler için ölçüm ve yükleme düzeneği

Tüm deney numunelerinde kirişin alt flanşın orta noktasına deplasmanı ölçmek için boyu 200 mm olan potansiyometre ve şekildeğiştirmeyi ölçmek için kirişin orta noktasının alt ve üst flanşlara 10 mm’lik Strain Gauge yapıştırılarak kullanılmıştır (Şekil 3.28.).



Şekil 3.28. Tüm numuneler için deplasman ve şekildeğiştirme ölçüm cihazları

Betonun ksalmasını ölçmek için numunenin uç kısmına ölçümün hassas olması için 10cmx10cm'lik bir ince plaka numuneye yapıştırılarak boyu 150 mm'lik olan potansiyometre ve kirişin uzamasını ölçmek için kirişin üst flanş ucuna ölçümün hassas olması için 10cmx10cm'lik bir ince plaka numuneye yapıştırılarak Mitoto cihazı kullanılmıştır. Bu cihazlar kullanılarak yük-şekildeğiştirme ve yük-yerdeğiştirme, uzama ve ksalma okumaları yapılmıştır (Şekil 3.29.). Hazırlanan kompozit döşeme 5 ton kapasiteli forklift ile deney düzeneğine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.29. Tüm numuneler için uzama ve ksalma ölçüm cihazları

3.4.4.1. DN1-1N- D120 deney numunesi

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlığı 12 cm ve trapez sac altından döşemenin üstüne kadar toplam kalınlık 14 cm'dir. Kayma bağlantısı elemanları 9 cm boyunda tek sıralı olacak şekilde Q18 donatı çeliği kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneye ait resimler Şekil 3.30.'da ve döşemede meydana gelen çatlakların ön ve arka görünüşleri ise Şekil 3.31.'de verilmiştir.



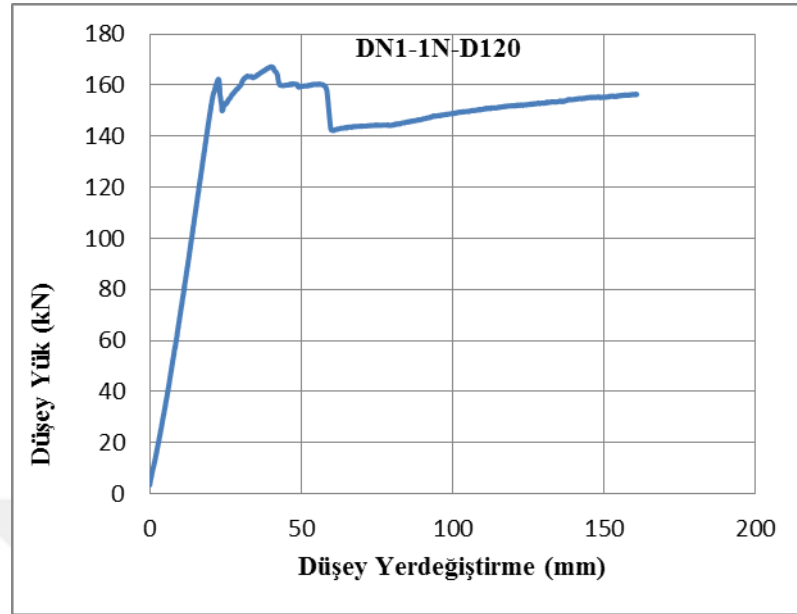
Şekil 3.30. DN1-1N-D120 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler



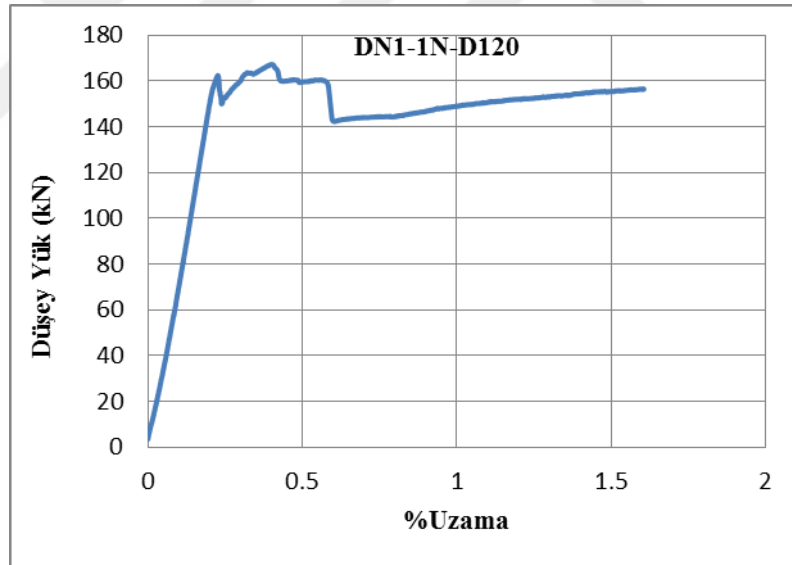
Şekil 3.31. DN1-1N-D120 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri

3.4.4.1.1. Numuneye ait grafikler

Numune 4 m açıklı düzenekte tekil yüklemeye maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş artırılmıştır. Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme, yük-şekildeğiştirme (alt flanş-üst flanş) ve kirişteki uzamadan elde edilen sonuçlar grafiklerle Şekil 3.32. ve Şekil 3.33.'de verilmiştir.



Şekil 3.32. DN1-1N-D120 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği

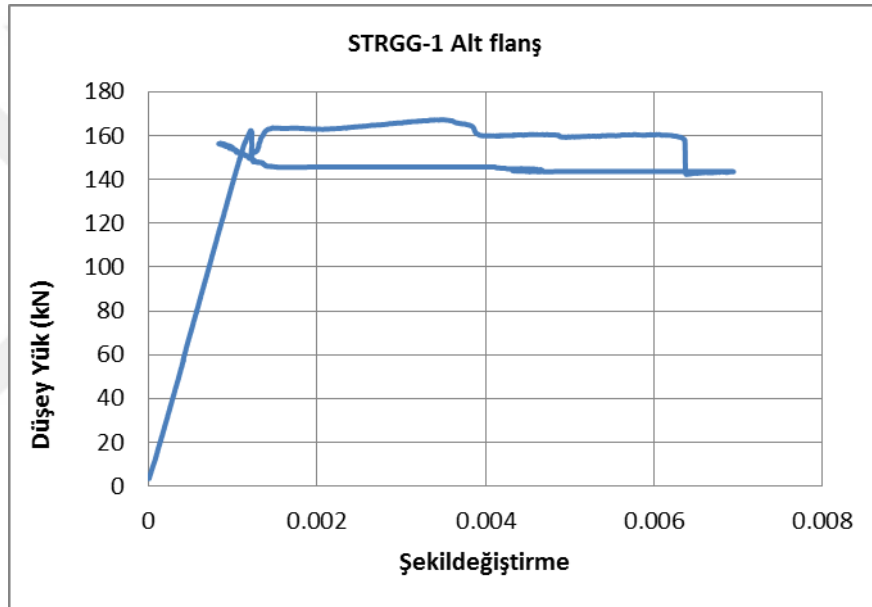


Şekil 3.33. DN1-1N-D120 numunesine ait yük-%uzama grafiği

Deney numunesine tekil yük yüklenmeye başlanmış ve her 0.5 saniyede yük-yerdeğiştirme, uzama ve şekildeğiştirme değerleri cihazlardan okunmuştur. Yük yerdeğiştirme grafiğindende görüldüğü gibi 160 kN'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar iyice artmış ve alınan video kayıtlarından gözlemlendiği gibi kayma bağlantıları kopmaya başlamış ve numune

akmaya başlanmıştır. Daha sonra kiriş yüklenmeye devam edilmiş ve $P=163 \text{ kN}$ 'a ulaştığında kayma elemanları döşemeden kopmaya devam etmiştir. Kayma elemanları kopmaya devam ettiğinde grafikte görüldüğü gibi bazı noktalarda yükte aniden azalmalar meydana gelmiştir.

Deney sonunda yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kompozit kirişin tam orta noktasında tekil yükün uygulandığı ekseninde 12 cm döşeme plağında ön ve arka taraflarında çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği yaklaşık olarak 8 mm'dir.



Şekil 3.34. DN1-1N-D120 numunesine ait yük-şekil değiştirme grafiği

Pilot numune deneyinde kirişin alt flanşındaki Strain Gauge değerleri okunmuştur (Şekil 3.34.). Deney bittikten sonra yükleme aniden kaldırıldığı zaman grafikte görüldüğü gibi şekil değiştirme yaptığı görülmüştür. Üst flanşın Strain Gauge koptuğundan dolayı sağlıklı veriler alınmadığından şekil değiştirme grafiği konulmamıştır. Yükleme sona erdikten sonra üst flanşın bazı noktalarında ezilmelerin olduğu gözlemlenmiştir.

3.4.4.2. DN2-1S- D120 deney numunesi

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlığı 12 cm ve trapez sac altından döşemenin üstüne kadar toplam kalınlık 14 cm'dir. Kayma bağlantısı elemanları 19 mm çapında tek sıra dizili başlıklı saplamalar kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneye ait resimler Şekil 3.35. ve döşemede meydana gelen çatlakların ön ve arka görüşleri Şekil 3.36.'da verilmiştir.



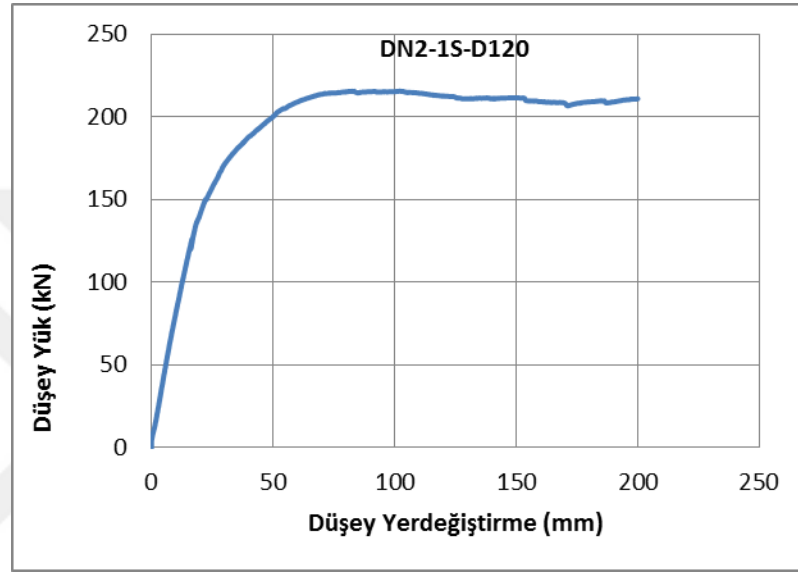
Şekil 3.35. DN2-1S-D120 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler



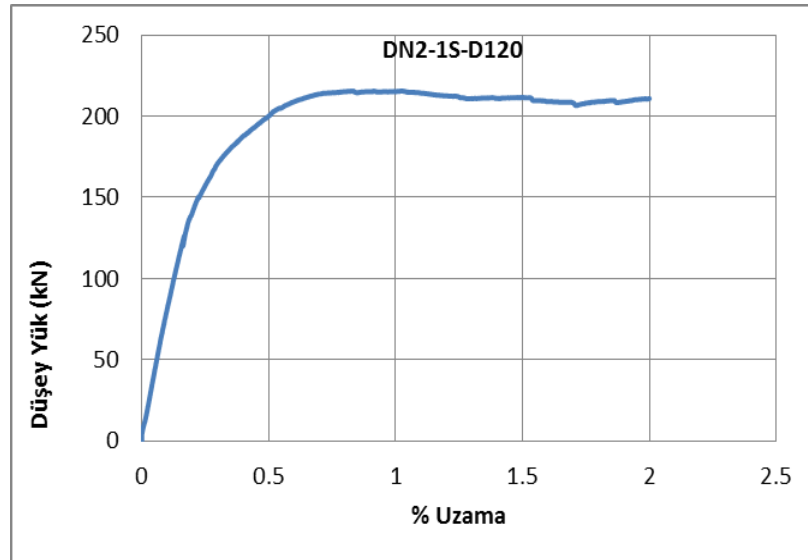
Şekil 3.36. DN2-1S-D120 numuneye ait ön ve arka çatlak görüşleri

3.4.4.2.1. Numuneye ait grafikler

Numune 4 m açıklı düzenekte tekil yüklemeye maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş artırılmıştır. Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme, yük-şekildeğiştirme (alt flanş-üst flanş) ve kirişteki uzamadan elde edilen sonuçlar grafiklerle Şekil 3.37. ve Şekil 3.38.'de verilmiştir.



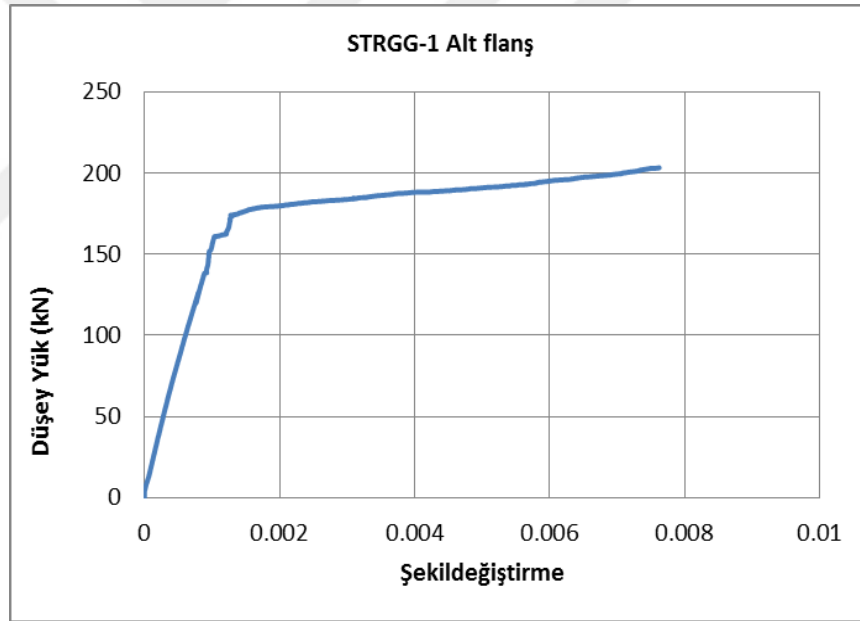
Şekil 3.37. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği



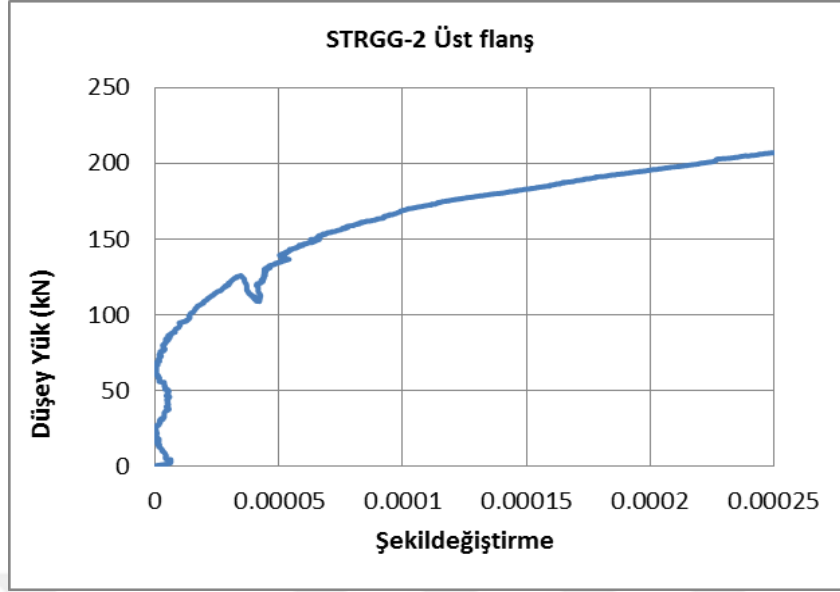
Şekil 3.38. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-%uzama grafiği

Deney numunesine tekil yük yüklenmeye başlanmış ve her 0.5 saniyede yük-yerdeğiştirme, uzama ve şekildeğiştirme değerleri cihazlardan okunmuştur. Yük yerdeğiştirme grafiğindende görüldüğü gibi 215 kN'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar artmış ve alınan kayıtlarından gözlemlendiği gibi kayma bağlantıları(başlıklı saplamalar) kopmaya başlamış ve numune akmaya başlamıştır. Daha sonra kiriş yüklenmeye devam edilmiş ve $P=225$ kN'a ulaştığında kayma elemanları döşemeden kopmaya devam etmiştir.

Deney sonunda yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kompozit kirişin tam orta noktasında tekil yükün uygulandığı ekseninde 12 cm döşeme plağında ön ve arka taraflarında çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği yaklaşık olarak 5 mm'dir.



Şekil 3.39. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği



Şekil 3.40. DN2-1S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği

Bu deney numunesinde kirişin alt ve üst flanşındaki Strain Gauge değerleri Şekil 3.39. ve Şekil 3.40.'da okunmuştur. Deney sonu yükleme kaldırıldıktan sonra grafikte görüldüğü gibi üst flanşta şekildeğiştirme yaptığı görülmüştür. Bunun sebebi başlıklı saplamaların flanşın üst taraflarında ezilmelerin olduğu gözlemlenmiştir.

3.4.4.3. DN3-2N- D150 deney numunesi

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlığı 15 cm ve trapez sac altından döşemenin üstüne kadar toplam kalınlık 17 cm'dir. Kayma bağlantısı elemanları 9 cm boyunda çift sıra Q18 donatı çeliği kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneye ait resimler Şekil 3.41. ve döşemede meydana gelen çatlakların ön ve arka görünüşleri Şekil 3.42.'de verilmiştir.



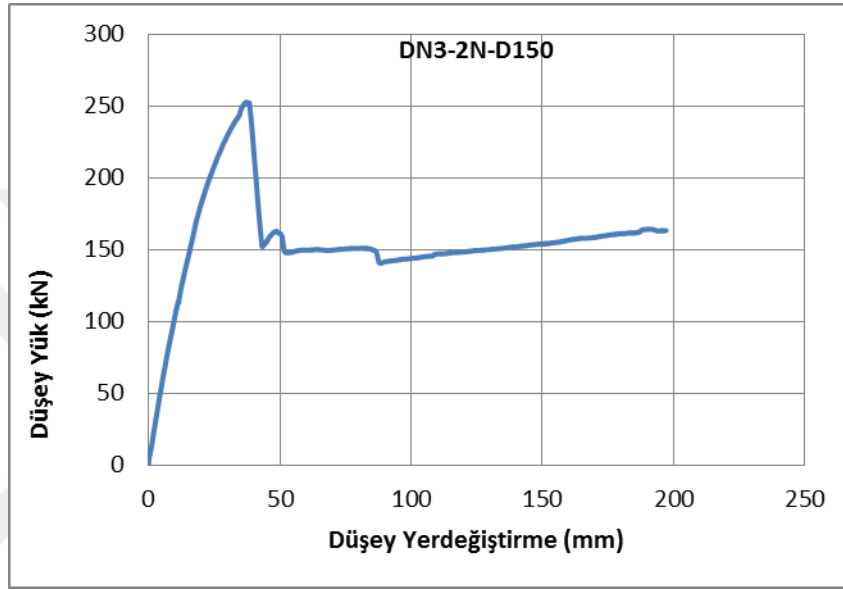
Şekil 3.41. DN3-2N-D150 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler



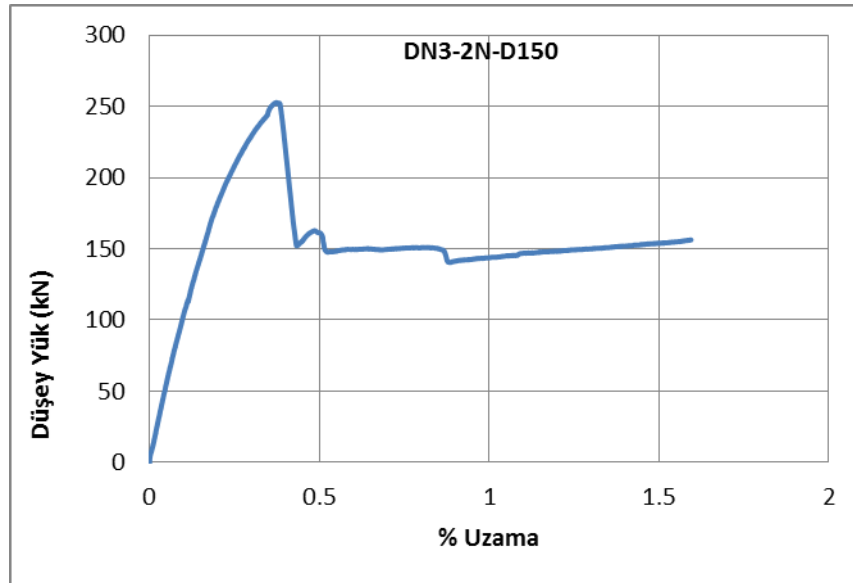
Şekil 3.42. DN3-2N-D150 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri

3.4.4.3.1. Numuneye ait grafikler

Numune 4 m açıklı düzenekte tekil yüklemeye maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş artırılmıştır. Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme, yük-şekildeğiştirme (alt flanş-üst flanş) ve kirişteki uzamadan elde edilen sonuçlar grafiklerle Şekil 3.43. ve Şekil 3.44.'de verilmiştir.



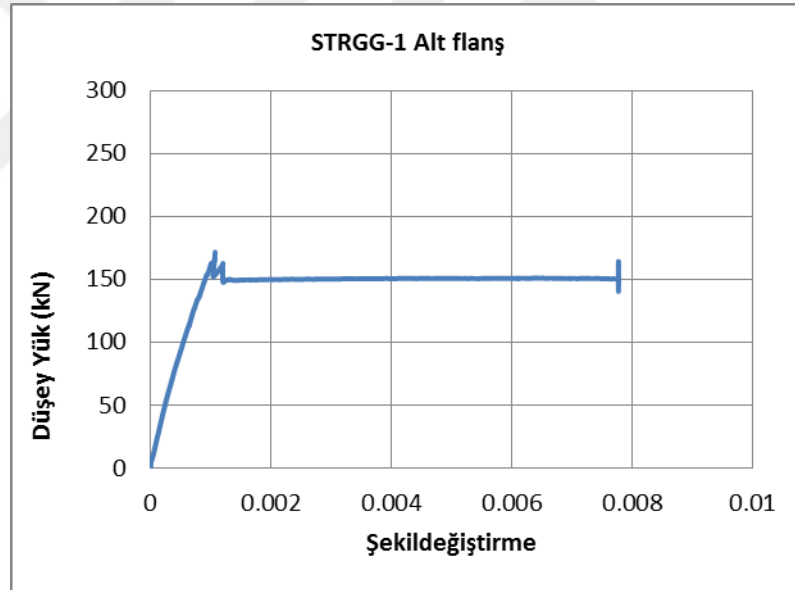
Şekil 3.43. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği



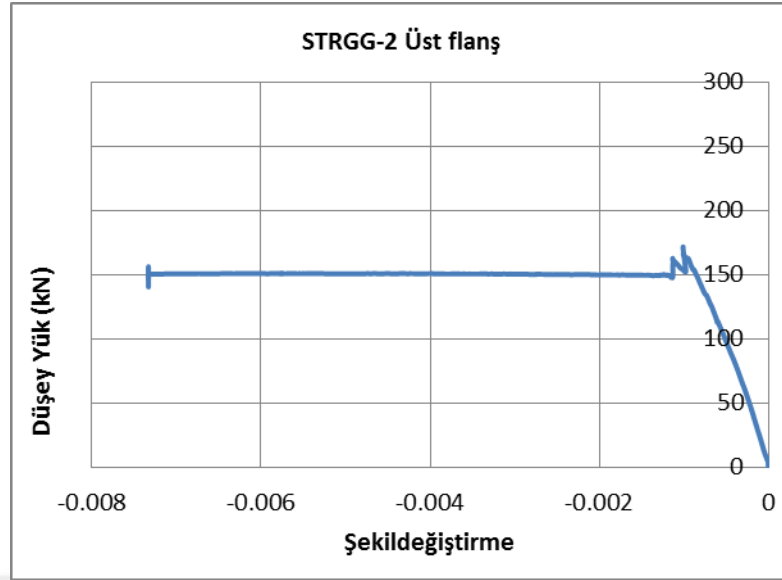
Şekil 3.44. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-%uzama grafiği

Deney numunesine tekil yük yüklenmeye başlanmış ve her 0.5 saniyede yük-yerdeğiştirme değerleri, uzama ve şekildeğiştirme değerleri cihazlardan okunmuştur. Yük yerdeğiştirme grafiğindende görüldüğü gibi 253 kN'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar artmış ve alınan kayıtlarından gözlemlendiği gibi kayma bağlantıları(donatı çeliği) sıyrılmaya başlamış ve numune akmaya başlamıştır. Daha sonra kiriş yüklenmeye devam edilmiş ve $P=160$ kN'a inmiş kayma elemanları döşemeden sıyrılmaya devam etmiştir.

Deney sonunda yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kompozit kirişin tam orta noktasında tekil yükün uygulandığı ekseninde 15 cm döşeme plağında ön ve arka taraflarında çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği yaklaşık olarak 3 mm'dir.



Şekil 3.45. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği



Şekil 3.46. DN3-2N-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği

Bu deney numunesinde kirişin alt ve üst flanşındaki Strain Gauge değerleri Şekil 3.45. ve Şekil 3.46.'da okunmuştur. Deney bittikten sonra yükleme kaldırıldıktan sonra grafikten de görüldüğü gibi üst ve alt flanşta şekildeğiştirmeler olduğu görülmüştür. Bu deney numunesinin kayma bağlantıları donatı çeliği olduğundan dolayı yaklaşık olarak $P=250$ kN'dan sonra döşemeden sıyrılmalar olduğu gözlemlenmiştir.

3.4.4.4. DN4-1S- D150 deney numunesi

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlığı 15 cm ve trapez sac altından döşemenin üstüne kadar toplam kalınlık 17 cm'dir. Kayma bağlantısı elemanları 19 mm çapında tek sıra dizili başlıklı saplamalar kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneye ait resimler Şekil 3.47. ve döşemede meydana gelen çatlakların ön ve arka görünüşleri Şekil 3.48.'de verilmiştir.



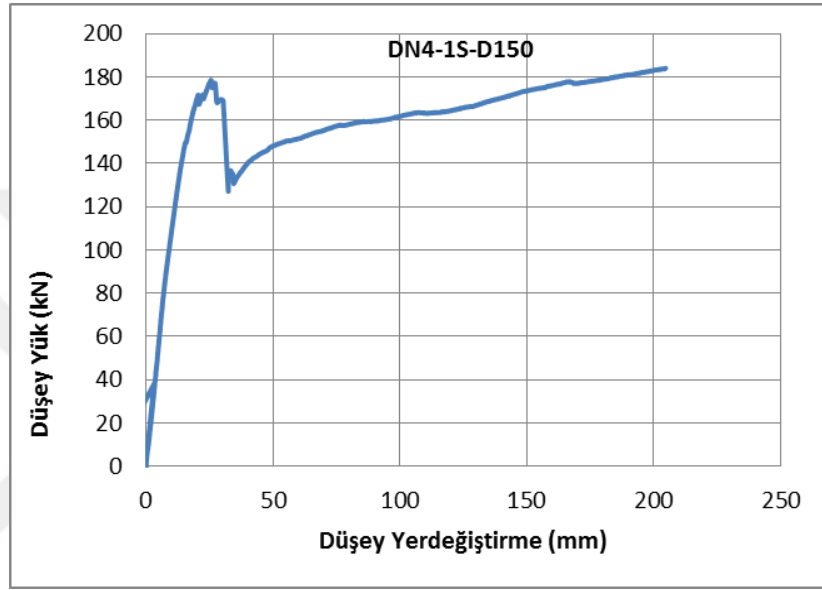
Şekil 3.47. DN4-1S-D150 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler



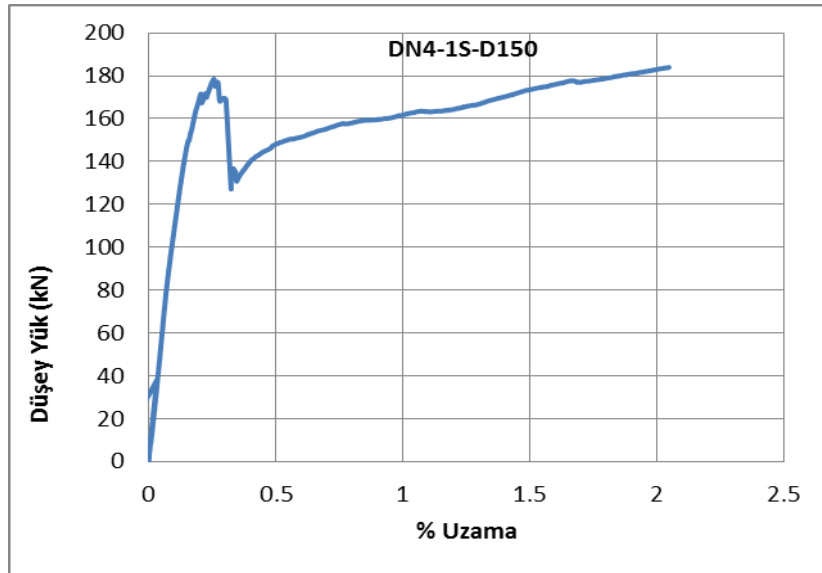
Şekil 3.48. DN4-1S-D150 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri

3.4.4.4.1. Numuneye ait grafikler

Numune 4 m açıklı düzenekte tekil yüklemeye maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş artırılmıştır. Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme, yük-şekildeğiştirme (alt flanş-üst flanş) ve kirişteki uzamadan elde edilen sonuçlar grafiklerle Şekil 3.49. ve Şekil 3.50.'de verilmiştir.



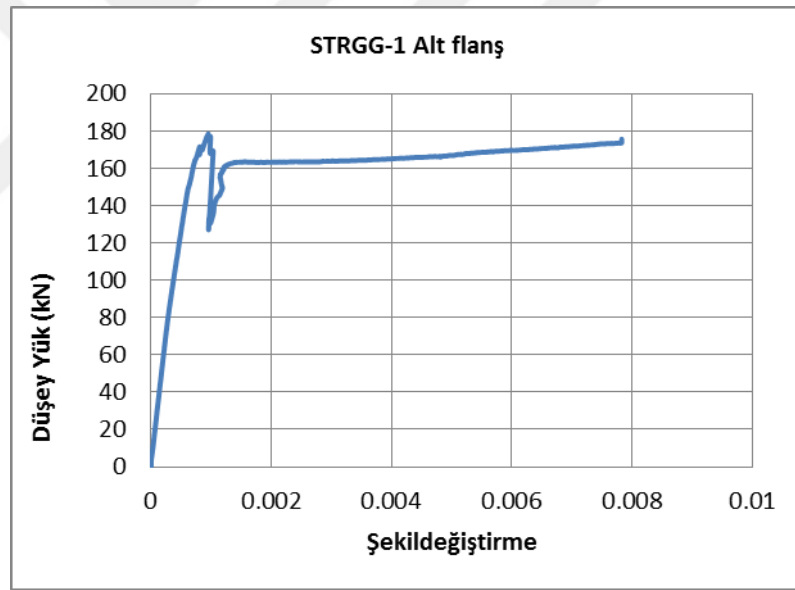
Şekil 3.49. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği



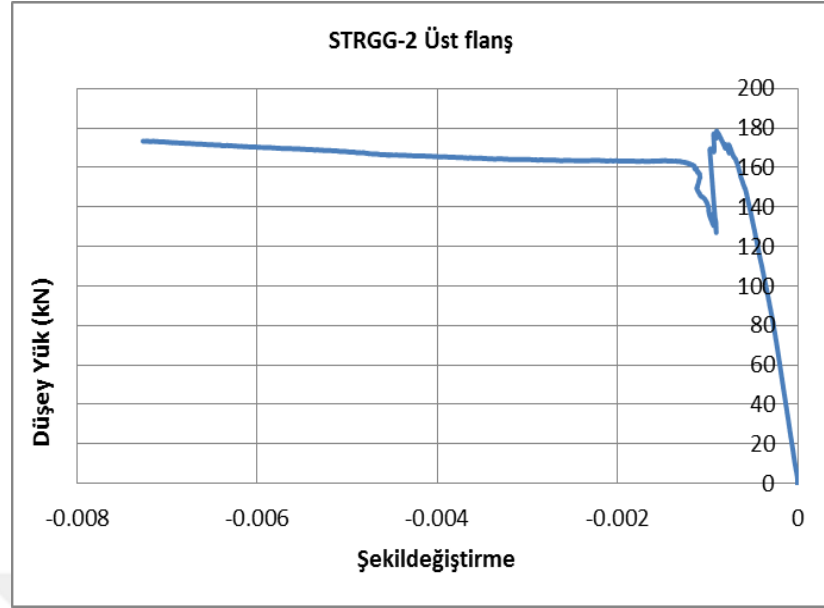
Şekil 3.50. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-%uzama grafiği

Deney numunesine tekil yük yüklenmeye başlanmış ve her 0.5 saniyede yük-yerdeğiştirme değerleri, uzama ve şekildeğiştirme değerleri cihazlardan okunmuştur. Yük yerdeğiştirme grafiğindende görüldüğü gibi 180 kN'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar artmış ve alınan kayıtlarından gözlemlendiği gibi kayma bağlantıları (başlıklı saplamalar) kopmamış ancak akmaya başlamıştır.

Deney sonunda yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kompozit kirişin tam orta noktasında tekil yükün uygulandığı ekseninde 15 cm döşeme plağında ön ve arka taraflarında çatlakların oluştuğu tespit edilmiş ancak başlıklı saplamaların kopmadığı ve kirişte deplasmanın fazla olduğu gözlemlenmiştir. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği yaklaşık olarak 2 mm'dir.



Şekil 3.51. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği



Şekil 3.52. DN4-1S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği

Bu deney numunesinde kirişin alt ve üst flanşındaki Strain Gauge değerleri Şekil 3.51. ve Şekil 3.52.'de okunmuştur. Deney numunesi devam ederken grafikten de görüldüğü gibi üst ve alt flanşta şekildeğiştirme yaptığı görülmüş ve aynı zaman kayma bağlantıların kopmadığı ve döşeme üst görünüşlerinde çatlama olmadığı gözlemlenmiştir.

3.4.4.5. DN5-2S- D120 deney numunesi

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlığı 12 cm ve trapez sac altından döşemenin üstüne kadar toplam kalınlık 14 cm'dir. Kayma bağlantısı elemanları 19 mm çapında çift sıra dizili başlıklı saplamalar kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneye ait resimler Şekil 3.53. ve döşemede meydana gelen çatlakların ön ve üst görünüşleri Şekil 3.54.'de verilmiştir.



Şekil 3.53. DN5-2S-D120 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler

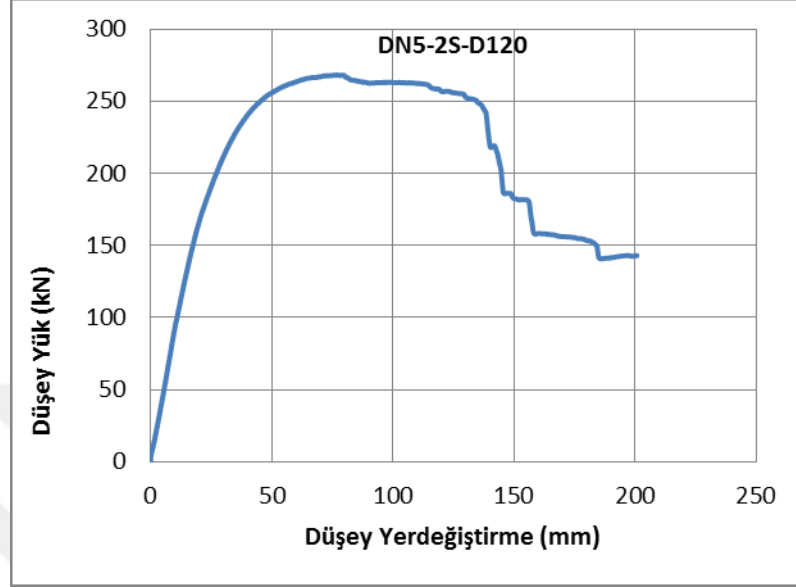


Şekil 3.54. DN5-2S-D120 numuneye ait ön ve üst çatlak görünüşleri

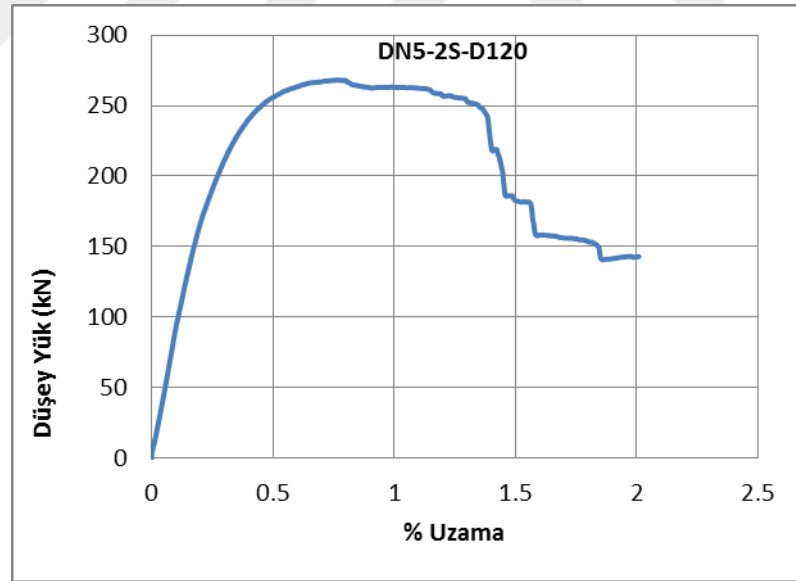
3.4.4.5.1. Numuneye ait grafikler

Numune 4 m açıklı düzenekte tekil yükleme maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş artırılmıştır. Deneyde elde edilen

yük-yerdeğiştirme, yük-şekildeğiştirme (alt flanş-üst flanş) ve kirişteki uzamadan elde edilen sonuçlar grafiklerle şekil 3.55. ve şekil 3.56.'da verilmiştir.



şekil 3.55. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği

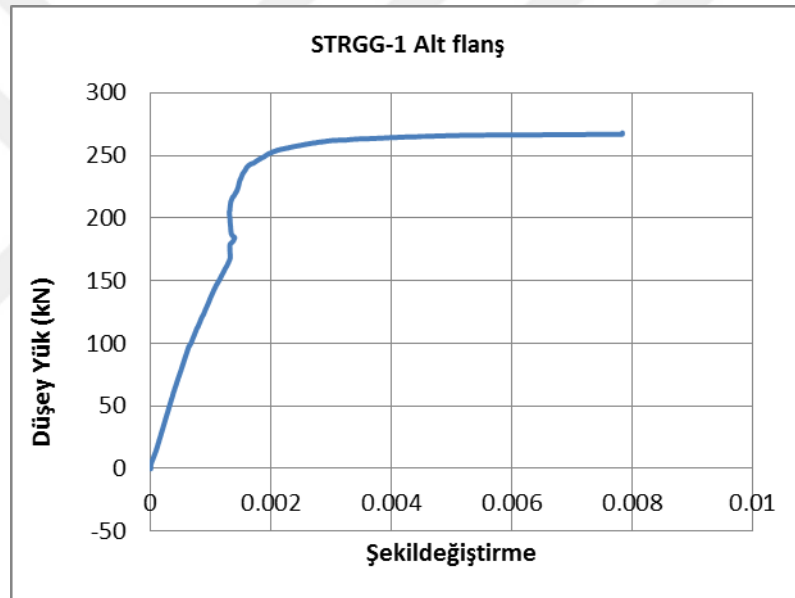


şekil 3.56. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-%uzama grafiği

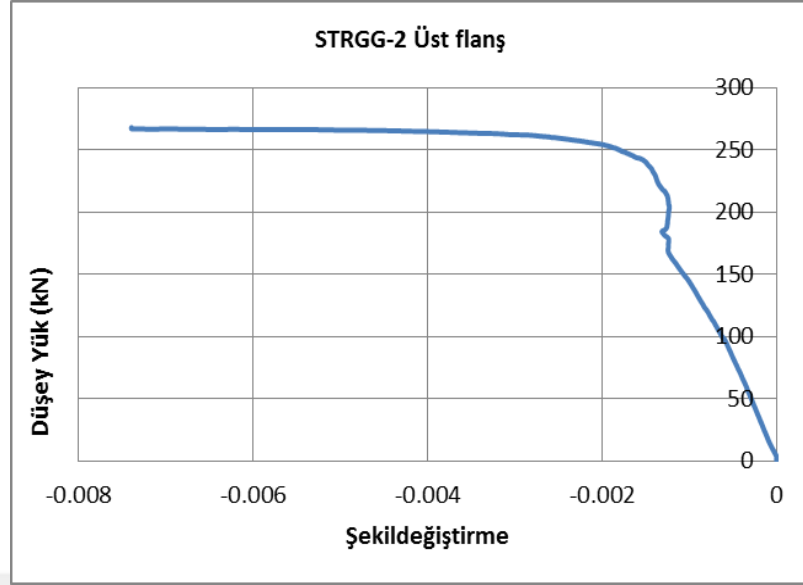
Deney numunesine tekil yük yüklenmeye başlanmış ve her 0.5 saniyede yük-yerdeğiştirme değerleri, uzama ve şekildeğiştirme değerleri cihazlardan okunmuştur. Yük yerdeğiştirme grafiğindende görüldüğü gibi 267 kN'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar artmış ve alınan kayıtlarından

gözlemlendiği gibi kayma bağlantıları (başlıklı saplamalar) kopmaya başlamış ve numune akmaya başlamıştır. Daha sonra kiriş yüklenmeye devam edilmiş ve $P=250$ kN'a ulaştığında kayma elemanları döşemeden kopmaya devam etmiştir.

Deney sonunda yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kompozit kirişin tam orta noktasında tekil yükün uygulandığı ekseninde 12 cm döşeme plağında ön ve arka taraflarında çatlakların oluştuğu tespit edilmiş ancak başlıklı saplamaların koptuğu ve kirişte deplasmanın fazla olduğu gözlemlenmiştir. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği yaklaşık olarak 2 mm'dir. Kayma bağlantılarının olduğu döşemenin üstünde çatlakların çok fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 3.57. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-şekil değiştirme grafiği



Şekil 3.58. DN5-2S-D120 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği

Bu deney numunesinde kirişin alt ve üst flanşındaki Strain Gauge değerleri Şekil 3.57. ve Şekil 3.58.'de okunmuştur. Deney numunesi devam ederken grafikten de görüldüğü gibi üst ve alt flanşa şekildeğiştirme yaptığı görülmüş ve aynı zaman kayma elemanlarının koptuğu gözlemlenmiştir.

3.4.4.6. DN6-2S- D150 deney numunesi

Enine ve boyuna doğrultuda gerçekleşen döşeme kalınlığı 15 cm ve trapez sac altından döşemenin üstüne kadar toplam kalınlık 17 cm'dir. Kayma bağlantısı elemanları 19 mm çapında çift sıra dizili başlıklı saplamalar kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneye ait resimler Şekil 3.59. ve döşemede meydana gelen çatlakların ön ve arka görünüşleri Şekil 3.60.'da verilmiştir.



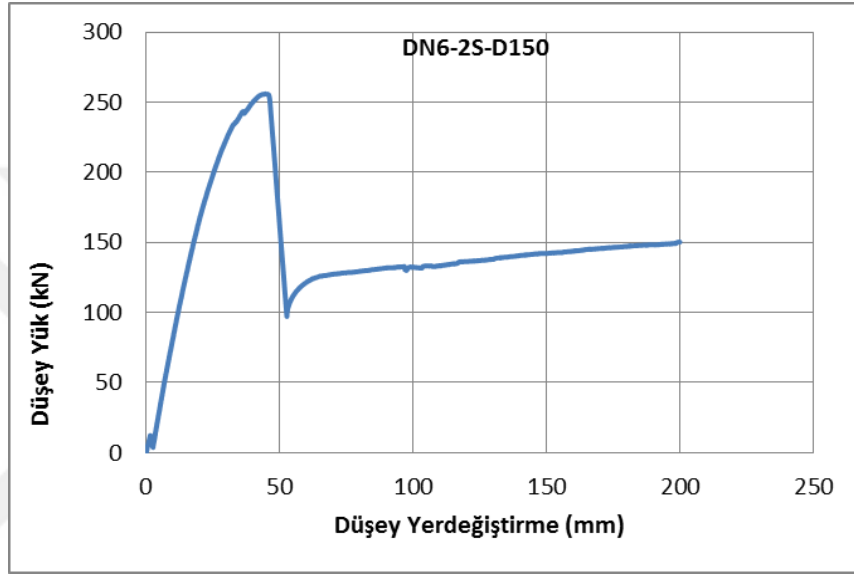
Şekil 3.59. DN6-2S-D150 numuneye ait öncesi ve sonrası resimler



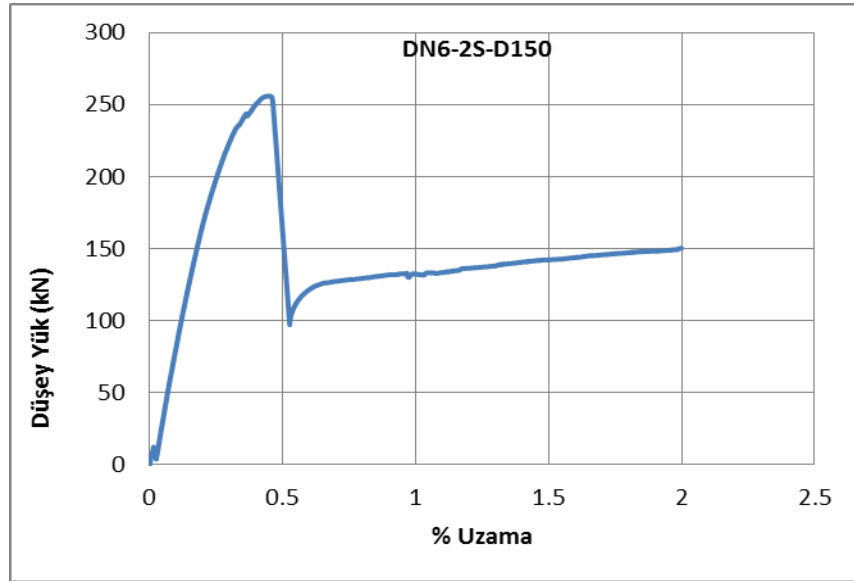
Şekil 3.60. DN6-2S-D150 numuneye ait ön ve arka çatlak görünüşleri

3.4.4.6.1. Numuneye ait grafikler

Numune 4 m açıklı düzenekte tekil yüklemeye maruz bırakılmıştır. Başlangıçtan göçme aşamasına kadar düşey yük yavaş yavaş artırılmıştır. Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme, yük-şekildeğiştirme (alt flanş-üst flanş) ve kirişteki uzamadan elde edilen sonuçlar grafiklerle Şekil 3.61. ve Şekil 3.62.'de verilmiştir.



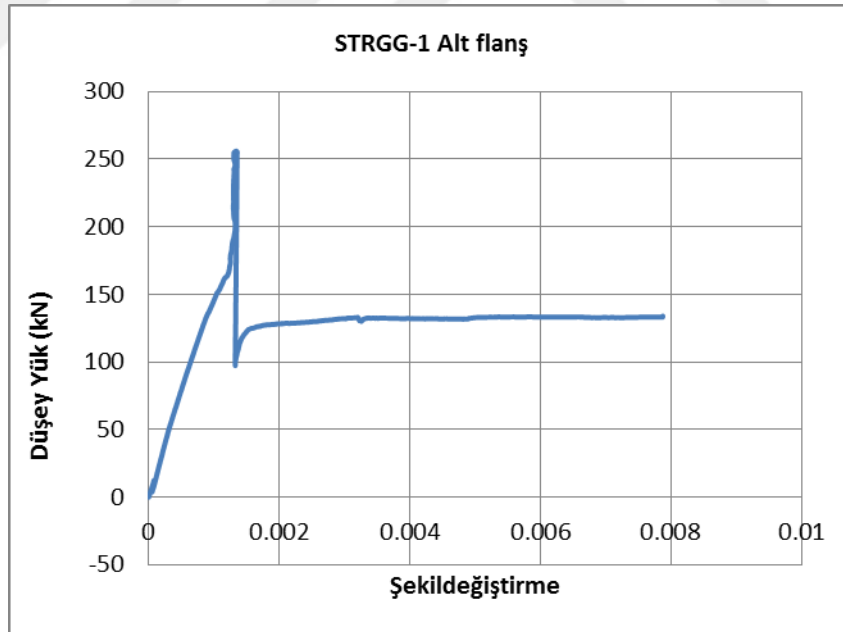
Şekil 3.61. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-yerdeğiştirme grafiği



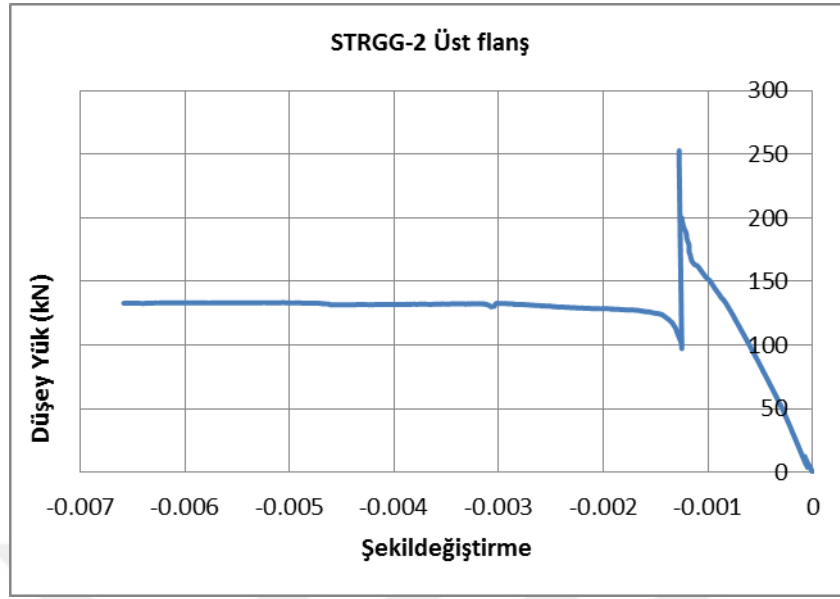
Şekil 3.62. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-%uzama grafiği

Deney numunesine tekil yük yüklenmeye başlanmış ve her 0.5 saniyede yük-yerdeğiştirme değerleri, uzama ve şekildeğiştirme değerleri cihazlardan okunmuştur. Yük yerdeğiştirme grafiğindende görüldüğü gibi 255 kN'dan sonra kompozit kirişte yükten dolayı meydana gelen deformasyonlar artmış ve alınan kayıtlarından gözlemlendiği gibi 15 cm'lik döşemede kayma bağlantıları (başlıklı saplamalar) kopmaya başlamıştır.

Deney sonunda yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kompozit kirişin tam orta noktasında tekil yükün uygulandığı ekseninde 15 cm döşeme plağında ön ve arka taraflarında çatlakların oluştuğu tespit edilmiş ancak başlıklı saplamaların çok erken koptuğu ve kirişte deplasmanın fazla olduğu gözlemlenmiştir. En büyük yük etkisinde oluşan çatlak genişliği yaklaşık olarak 2 mm'dir. Kayma bağlantılarının olduğu döşemenin üstünde çatlama olmamasının sebebi pas payının fazla olmasıdır.



Şekil 3.63. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği



Şekil 3.64. DN6-2S-D150 numunesine ait yük-şekildeğiştirme grafiği

Bu deney numunesinde kirişin alt ve üst flanşındaki Strain Gauge değerleri Şekil 3.63. ve Şekil 3.64.'de okunmuştur. Deney numunesi devam ederken grafikten de görüldüğü gibi üst ve alt flanşta şekildeğiştirme yaptığı görülmüş ve aynı zaman kayma elemanlarının koptuğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Kompozit Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisinin Elde Edilmesi

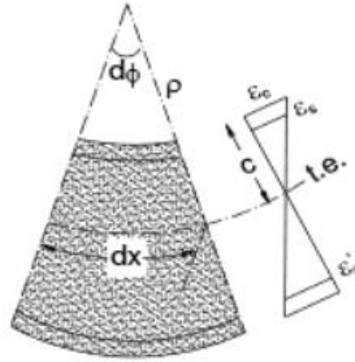
Betonarmeyi oluşturan iki malzemedен biri olan beton, doğrusal-elastik olmayan bir davranış sergiler. Çelik davranışının sünek olmasına karşın betonun davranışı oldukça gevrektrir. Bu iki malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan betonarmenin davranışı, doğrusal-elastik değildir. Bu davranış, hem çeliğin hem de betonun mekanik özelliklerinden etkilenmektedir.

Elemanın davranışının belirlenebilmesi için kesit davranışının bilinmesi ile mümkün olabilir. Eğilme etkisi altındaki kesitlerin davranışı, en sağlıklı biçimde moment-eğrilik ilişkisi incelenerek anlaşılabilir. Ayrıca kesitin rijitlik ve dayanımının nasıl değiştiği, kesit davranışının süneklilik durumu gibi olaylar yine moment-eğrilik ilişkisi üzerinden izlenebilir (Ersoy ve Özcebe, 1988).

Eğrilik birim dönme açısı olarak tanımlanır. Bir elastik eğri üzerindeki iki komşu nokta arasındaki açının, bu noktalar arasındaki mesafeye bölünmesi ile elde edilir. Şekil 4.1.'de eğilme ve eksenel yük altındaki bir elemana ait deformasyon şekli ve kesite ait birim deformasyon dağılımı gösterilmektedir. Eğrilik;

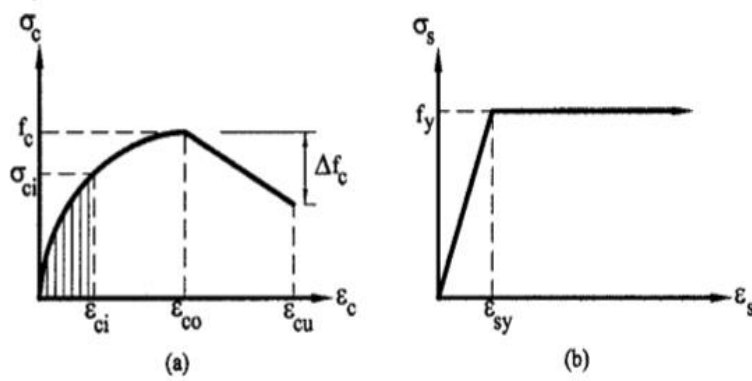
$$\phi = d\phi/dx = 1/\rho \quad (4.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır.



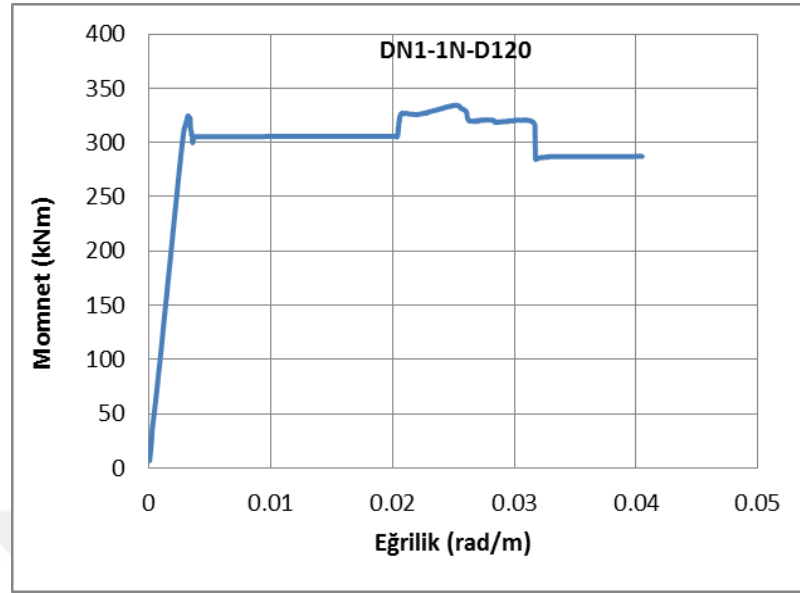
Şekil 4.1. Eğilme ve eksenel yük altında deforme olmuş eleman parçası (Çağlar vd,2013).

Beton ve çelik için varsayılan σ - ϵ eğrileri de Şekil 4.2. (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

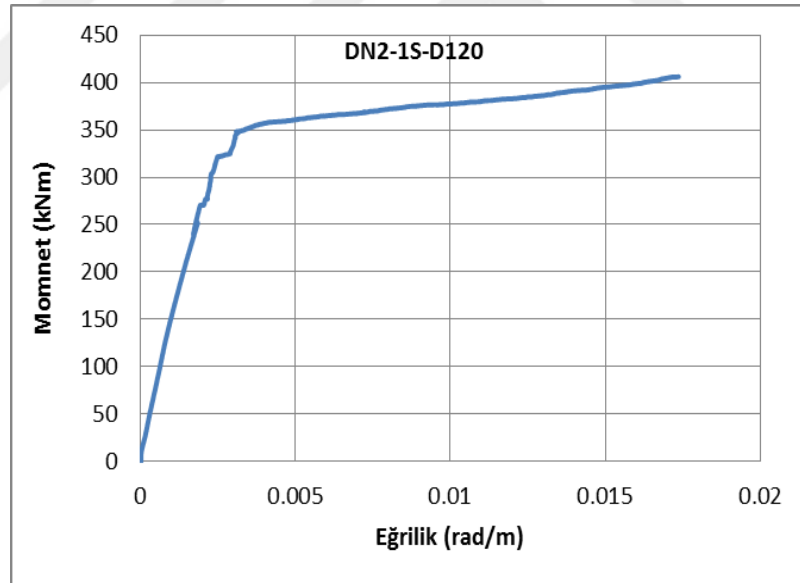


Şekil 4.2. Malzeme modelleri (Çağlar vd,2013).

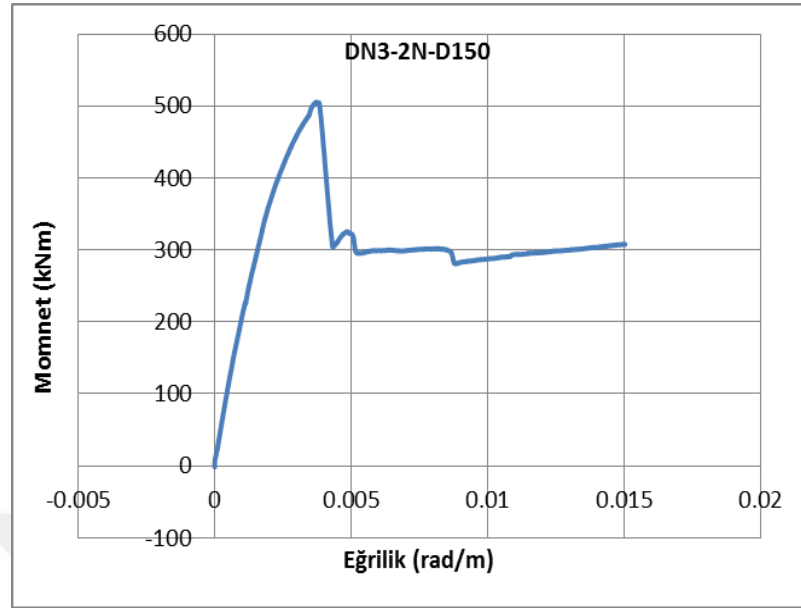
Eğilme momenti veya eğilmeye ek olarak eksenel kuvvetin etkisindeki betonarme bir kesitin davranışı, moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir. Bir betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisini elde etmenin en sağlıklı yolu deneydir. Eğilme momenti etkisindeki bir kompozit kesitte, kuramsal olarak oluşturulan moment eğrilik ilişkisi yardımı ile dayanım, rijitlik, rijitlik kaybı, kesit sünekliği gibi önemli yapısal büyüklükler elde edilebilmektedir. DN1-1N-D120, DN2-1S-D120, DN3-2N-D150, DN4-1S-D150, DN5-2S-D120 ve DN6-2S-D150 numuneleri için gerçekleşen moment eğrilik ilişkileri sırası ile Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verilmiştir.



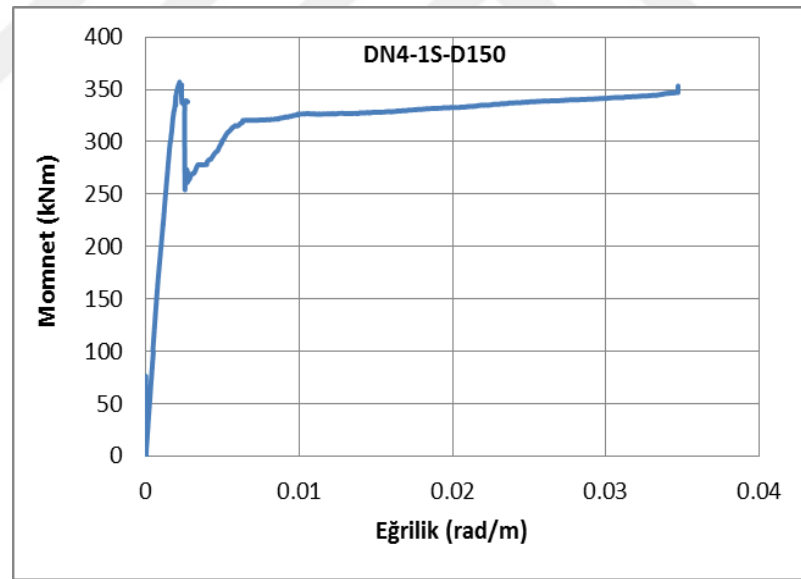
Şekil 4.3. DN1-1N-D120 numunesi için moment eğrilik ilişkisi



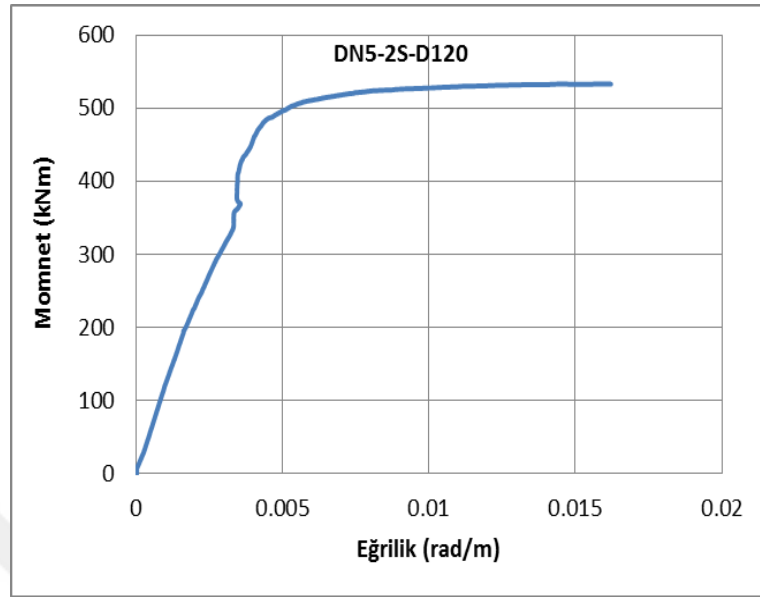
Şekil 4.4. DN2-1S-D120 numunesi için moment eğrilik ilişkisi



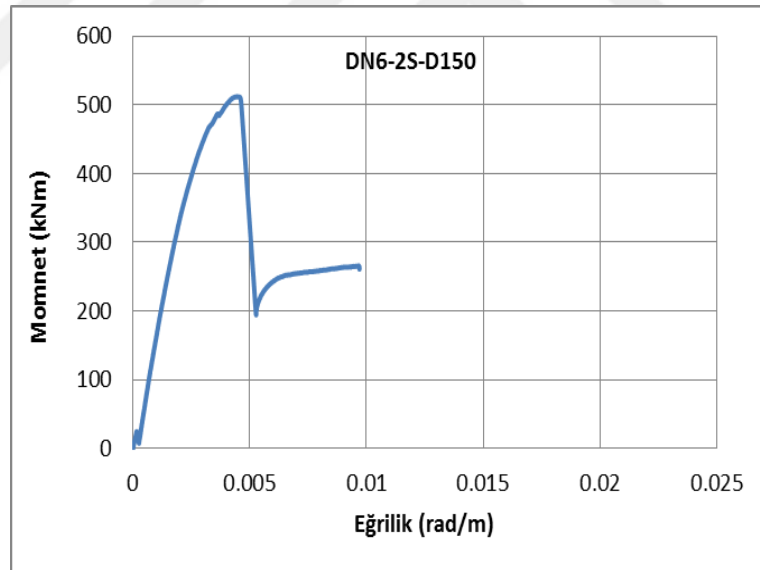
Şekil 4.5. DN3-2N-D150 numunesi için moment eğrilik ilişkisi



Şekil 4.6. DN4-1S-D150 numunesi için moment eğrilik ilişkisi



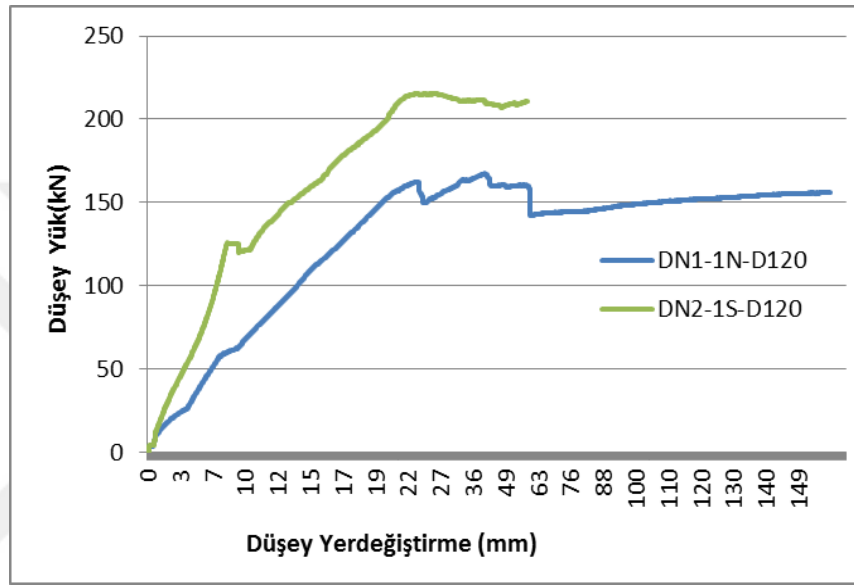
Şekil 4.7. DN5 -2S- D120 numunesi için moment eğrilik ilişkisi



Şekil 4.8. DN6-2S-D150 numunesi için moment eğrilik ilişkisi

4.2. Düşey Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Karşılaştırılması

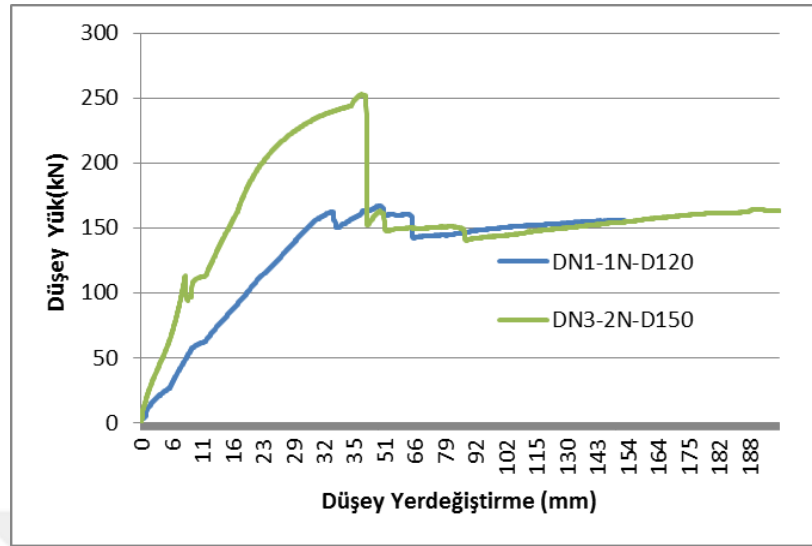
Deneyssel çalışmada incelenen 6 adet numuneye ait toplam düşey yük-açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkileri elde edilmiş ve deneyssel çalışma sonuçlar üst üste konularak karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.9., 4.10., 4.11., 4.12., 4.13. ve 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.9. DN1-DN2 deney sonuçlarının karşılaştırılması

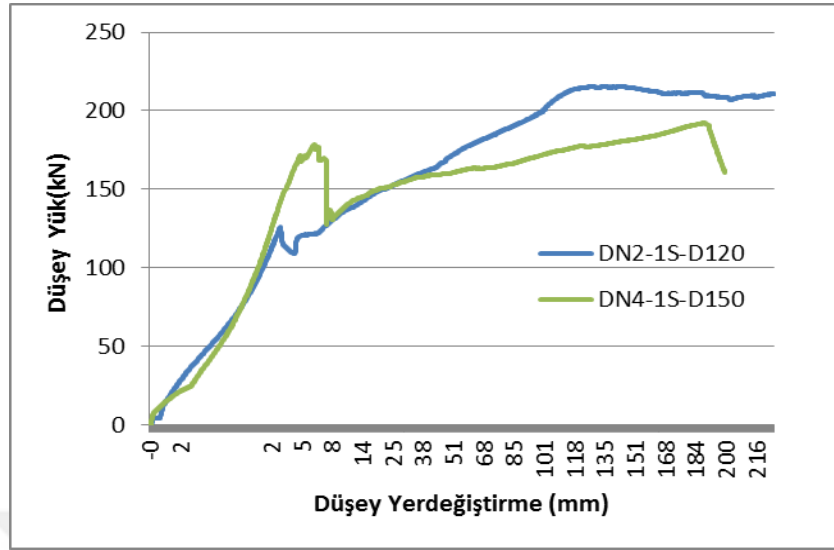
Deney karşılaştırma sonuçlarına göre;

- DN1-1N-D120, DN2-1S-D120 numunelerinde döşeme kalınlıkları aynı ve kayma bağlantıları farklıdır. Deney numunesinde başlıklı saplamalara bağlı olarak daha fazla düşey yük taşıdığı gözlemlenmiştir. DN1 numunesi max. $P = 163$ kN taşıırken, DN2 numunesi başlıklı saplamadan dolayı $P = 225$ kN yük taşıdığı gözlemlenmiştir.



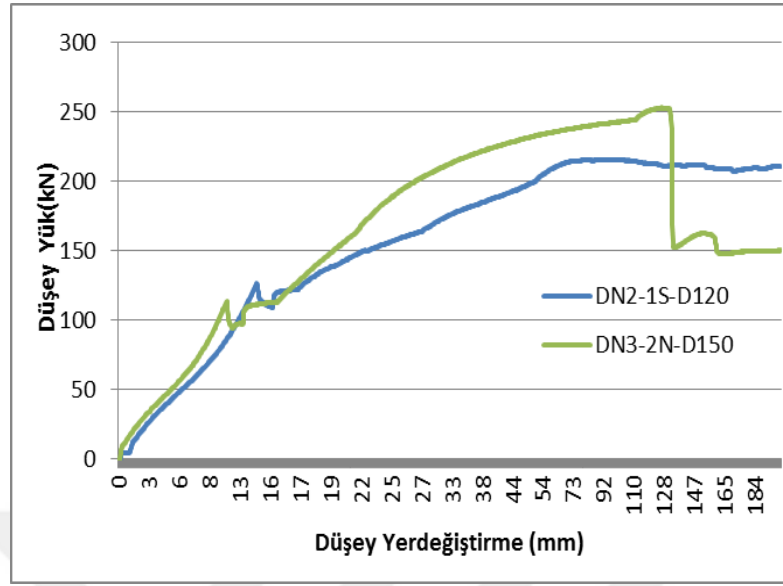
Şekil 4.10. DN1-DN3 deney sonuçlarının karşılaştırılması

- DN1-1N-D120, DN3-2N-D150 numunelerinde döşeme kalınlıkları farklı ve kayma bağlantıları tek ve çift sıralıdır. Deney numunesinde çift sıralı donatı çeliğin betonla çok iyi aderans sağladığı ve döşeme kalınlığı 15 cm olan numunenin daha fazla düşey yük taşıdığı gözlemlenmiştir. DN1 numunesi max. $P=167$ kN taşırken, DN3 numunesi max. $P=253$ kN yük taşıdığı gözlemlenmiştir. DN3 numunesi deney sırasında yük max. değere çıktıktan sonra kayma bağlantılarının betonarme plaktan hızlı bir şekilde kopması sonucu yük 253 kN'dan 160 kN'a kadar ani bir düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir.



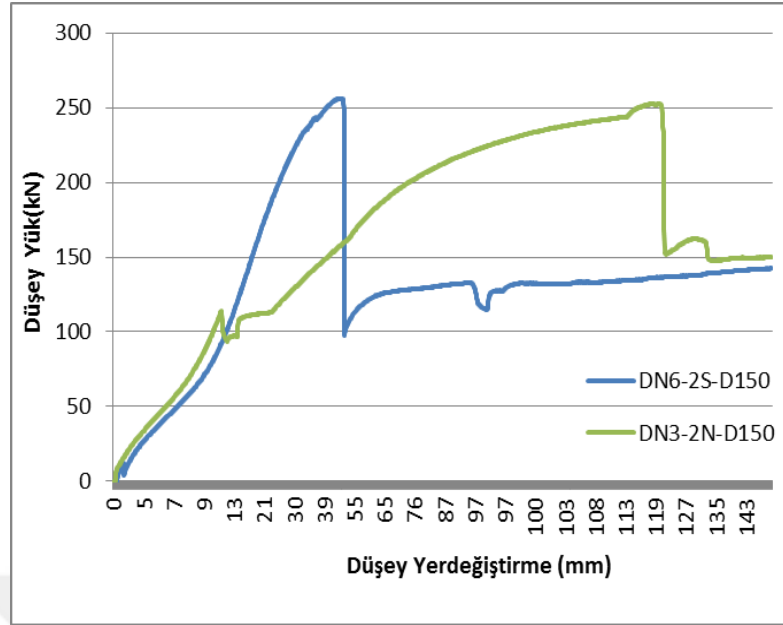
Şekil 4.11. DN2-DN4 deney sonuçlarının karşılaştırılması

- DN2-1S-D120, DN4-1S-D150 numunelerinde döşeme kalınlıkları farklı ve kayma bağlantıları aynıdır. Deney numunesinde döşeme kalınlığı ve başlıklı saplamalara bağlı olarak DN4 numunesi daha fazla düşey yük taşımasına rağmen DN2 numunesi akma bölgesinde daha fazla yük taşıdığı gözlemlenmiştir. DN2 numunesi max. $P = 225$ kN taşıırken, DN4 numunesi döşeme kalınlığından dolayı max. $P = 180$ kN yük taşıdığı gözlemlenmiştir.
- DN4 numunesinin deney sırasında yükü max. değere çıktıktan sonra kayma bağlantılarının betonarme plaktan hızlı bir şekilde kopması sonucu yük 180 kN'tan 140 kN'a kadar ani bir düşüşe geçmiş ve tekrar yavaş yavaş aktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12. DN2-DN3 deney sonuçlarının karşılaştırılması

- DN2-1S-D120, DN3-2N-D150 numunelerinde döşeme kalınlıkları ve kayma bağlantıları farklıdır. Deney numunesinde döşeme kalınlığı, tekli başlıklı saplama ve çift sıralı donatı çeliğine bağlı olarak DN3 numunesi daha fazla düşey yük taşıdığı gözlemlenmiştir. DN2 numunesi max. $P = 225$ kN taşırken, DN3 numunesi döşeme kalınlığından dolayı max. $P = 253$ kN'a kadar yük taşıdığı gözlemlenmiştir.
- DN3 numunesinin deney sırasında yükü max. değere çıktıktan sonra kayma bağlantılarının betonarme plaktan hızlı bir şekilde kopması sonucu yük 253 kN'tan 163 kN'a kadar ani bir düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. DN6-DN3 deney sonuçlarının karşılaştırılması

(DN: Deney no., S: Başlıklı saplama, N: Nervürlü Donatı D: Döşeme kalınlığı)

- DN6-2S-D150, DN3-2N-D150 numunelerinde döşeme kalınlıkları aynı ve kayma bağlantıları çift sıralıdır. DN6 başlıklı saplamadan ve DN3 ise donatı çeliğinden oluşmaktadır. Deney numunesi kayma bağlantıları farklı olmasına rağmen DN3 numunesi akma bölgesinde daha fazla deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. DN6 numunesi max. $P = 255$ kN taşıırken, DN3 numunesi max. $P = 253$ kN yük taşıdığı gözlemlenmiştir. DN6 ve DN3 numuneleri deney sırasında yük max. değere çıktıktan sonra kayma bağlantılarının betonarme plaktan hızlı bir şekilde kopması sonucun ani bir düşüşe geçtiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, kiriş ile beton arasındaki aderansın iyi sağlandığı kompozit döşeme elemanların yük yerdeğiştirme ilişkilerinin yaklaşık olarak elde edilebileceği gösterilmiştir. Elde edilen diyagramlarda genel olarak başlangıç rijitliği ve deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kompozit döşeme elemanlarda pozitif moment taşıma kapasitesi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan trapez formu sac elemanlar kullanılarak oluşturulmuş, benzer sac kalınlığı 1 mm olan ve 12 cm, 15 cm döşeme yüksekliğine sahip 6 adet 1.00mx4.00m açıklıklı basit kiriş kompozit döşeme numunesi düşey yükler etkisinde pozitif moment taşıma davranış hesap tahkikleri, kayma elemanları hesabı yapılmıştır.

Her bir numune için kompozit kirişlerde moment-eğrilik diyagramı, Yük-yerdeğiştirme (deplasman), en büyük yük-en büyük yerdeğiştirme, profilin alt ve üst flanşlarında yük-şekildeğiştirme donatı çeliğinin başlıklı saplamalara alternatif olarak aynı boyda kesilmiş donatı çeliğinin kullanılabilirliği deneysel ve analitik olarak yüklere göre önemli veriler elde edilmiş ve kaynaklamanın iyi yapılması halinde kompozit kirişlerde kullanılacağı deneyler sonucu görülmüştür. Yine de bunun için daha fazla deneysel çalışma yapılmalıdır.

Numunelere açıklığın ortasından tekil yükün etkisinde eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmada kompozit kirişlere ait moment-eğrilik ilişkileri ve Düşey yük-Düşey yerdeğiştirme eğrileri sonuçları karşılaştırılmıştır. Numunelerin üretiminden sonra değişik tarihlerde yapılan beton basınç deneyi sonuçlarına göre; ortalama küp basınç dayanımı 26,5 MPa olarak tayin edilmiştir. Kullanılan donatı için yapılan çekme deneylerinde de ortalama 455 MPa'lık akma dayanımına erişilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, numunelerin tasarımı için esas alınan yük ve sehim sınırlarının üzerine çıkmıştır.

Deney numunelerinin birbiriyle karşılaştırılmasında ortaya çıkan sonuçlar ve teorik taşıma yükleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney sonuçları ve teorik taşıma yüklerinin karşılaştırılması

Nu. No	Kayma Bağlantı Sayısı	DeneySEL Taşıma Yükleri(kN)	Max. Düşey Yerdeğiştirme (mm)	Teorik Taşıma Yükleri(kN)
DN1-1N-D120	1	167	165	220
DN2-1S-D120	1	210	205	220
DN3-2N-D150	2	251	201	255
DN4-1S-D150	1	215	203	255
DN5-2S-D120	2	268	202	220
DN6-2S-D150	2	280	208	255

Yapılan bu deneysel çalışma sonucu kompozit kirişlerin pozitif momentler bölgesinde taşıma güçlerinin, deneysel taşıma yüklerinin teorik taşıma yüklerinden çok az miktarda fazla çıkması bağıntılarda kullanılan α_a katsayıların 1'e eşit alınabileceğini göstermektedir.

Deney numunelerinin tamamına bakıldığı zaman kayma bağlantılarının çok önemli rol oynadıkları görülmektedir. DN2 ve DN5 numuneleri arasında karşılaştırma yapıldığında döşeme yükseklikleri aynı olmasına rağmen kayma elemanları farklı olduğundan başlıklı saplama sayısı çift olan numune yaklaşık olarak 50 kN'dan fazla yük taşıdığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak kayma bağlayıcısı olarak kullanılan başlıklı saplamaların kayma bağlayıcısı (stud) olan donatı çeliğine göre daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Bunun sebebi başlıklı saplamaların daha iyi kaynatılması ve en önemlisi ise betondan sıyrılmaması için başlıklı saplamalarda kafa çaplarının bulunmasıdır.

Bu çalışmanın vermiş olduğu bilgiler ışığında, aynı yükleme düzeneği ve ölçüm tekniği kullanarak, ileride yapılacak olan araştırmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

- Bundan sonra yapılacak kompozit kiriş deneylerinde farklı çap ve boylardaki kayma bağlayıcıları ve farklı beton dayanımları kullanılarak yapılmalıdır.
- Kompozit kiriş deneylerinde kayma bağlayıcılarının çapları değiştirilerek döşeme ve kirişlerin taşıyabileceği yükün kayma bağlayıcılarının çapı ile değişimi araştırılmalıdır.
- Donatı çeliğinin kompozit döşeme ve kompozit kirişlerde kayma bağlayıcısı olarak kullanılabilirliğini araştırılmalı ve daha fazla deneysel çalışma yapılmalıdır.
- Başlıklı saplamalarda kullanılan otomatik kaynak yöntemi donatı çeliği için de kullanılabilirliğinin deneysel çalışmalarla incelenmelidir.
- Yapılacak kompozit kiriş deneylerinde gerekirse farklı boyutlarda başlıklı saplamalar veya başka kayma bağlayıcıları kullanılarak karşılaştırmalar yapılabilir.
- Farklı döşeme yüksekliklerinde numuneler üretilerek yapılacak kompozit kiriş deney numune sayılarının artırılması ile daha kesin sonuçlara varılabilir.
- Kaynak işleri mutlaka itina ile yapılmalıdır.

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] Emre, S. 2010. Çelik Beton Karma Elemanlarının Sismik Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Daniels B.J.,Crisinel M.,1993-2.Composite Slab Behavior and Strength Analysis, Part 2: Comparisons with Test Results and Parametrik Analysis, J. Structural Engineering.
- [5] Rex C.D.,Easterling S.,2000.Behavior of modelling of reinforced composite slab in tension, J. Structural Enginlerin.
- [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 slab İth. 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] Yorgun C.,2005,“Çelik Saç Beton Kompozit Döşeme Sistemlerinin Uygulamalarına Yönelik Değerlendirmeler”, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 435: 60-64.
- [13] Yılmaz, S. 2008. Kompozit Döşeme Elemanlarda Pozitif Moment Taşıma Kapasitesinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14] Alander C. C.1998 “Shear Stud Capacity in Profiled Steel Decks”. Australia.
- [15] Abdullah R., 2004. “Experimental Evaluation and Analitical Modeling of Shear Bond on Composite Slabs”, Ph. D.Thesis Virginia Polytechni Institute and State Univ., Blacksburg.
- [16] Anonymous.1992.Design of composite steel and cocrete structures, ENV 1994-1-1. European Prestandard, Chapter 7 (Eurocode-4).
- [17] Ferrer M., Marimon F., Crisinel M., 2007. Designing cold-formed steel sheets for composite slabs: An experimentallay validated FEM approach to slip failure mechanics.
- [18] Yüksel,E.,Yıldırım,H.,Taşkın, K.,Saruhan,H.,"Alfapanel Trapez Formlu Döşeme Sacı ile Oluşturulan Betonarme Döşemelerin Deneyisel Olarak İncelenmesi ve Tasarım Tablolarının Oluşturulması Hakkında Teknik Rapor",İTÜ Döner Sermaye İşletmesi, Şubat 2008.
- [19] TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [20] TS 708,1996. Beton Çelik Çubukları,Türk Standartları Enstitüsü, Ankara TS 138, 1996. Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [21] Yüksel, E.1998.Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi, Doktora Tezi,İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] TS EN ISO 377:2013 Çelik ve çelik mamulleri- Mekanik deneyler için numunelerin ve deney parçalarının alınması ve hazırlanması.
- [23] http://www.cakirogludemirsac.com.tr/galvanizli_sac.php. Erişim Tarihi: 11.03.2017.
- [24] http://www.pinterest.com.tr/çelik_kiriş. Erişim Tarihi: 10.01.2017.

ÖZGEÇMİŞ

İsmet Kama, 15.02.1992'de Iğdır'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Iğdır'da tamamladı. 2010 yılında Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Şırnak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılından itibaren Adapazarı'nda bir çelik proje firmasında çalışmaya başladı, akabinde yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam etti. 2015-2017 yılları arasında Karma kirişlerin (Karma Döşeme+Çelik) pozitif momentler bölgesinde taşıma davranışlarının incelenmesi yüksek lisans tez araştırmasını tamamladı.