



**SONRADAN OLUŞTURULMUŞ BA KİRİŞLERİN TEKDÜZE YÜKLER
ALTINDAKİ DAVRANIŞ VE DAYANIMI**

Rohullah JAMAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

EYLÜL 2014

Rohullah JAMAL tarafından hazırlanan “SONRADAN OLUŞTURULMUŞ BA KİRİŞLERİN TEKDÜZE YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞ VE DAYANIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker KALKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Doç. Dr. Mehmet BARAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 18 / 09 / 2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Rohullah JAMAL

18 / 09 / 2014

SONRADAN OLUŞTURULMUŞ BA KİRİŞLERİN TEKDÜZE YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞ VE DAYANIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Rohullah JAMAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2014

ÖZET

Mimari kaygılarla kirişlerin tavanda çıkıntı oluşturması istenmediği durumlarda döşeme içinde gizli kiriş bırakılması gibi alternatif uygulamalara başvurulmaktadır. Ancak döşeme içindeki gizli kirişler döşemenin toplam kalınlığını değiştirmede için, bu eşdeğer kirişlerin oluşturulması dayanım ihtiyacını karşılasa da sehim problemlerinin ortaya çıkmasına engel olamamaktadır. Bu çalışmada, yapım aşamasında ortadan kaldırılan döşemenin altındaki betonarme kirişlerin yerine sonradan kiriş oluşturulması yöntemi araştırılmıştır. Döşeme altına sonradan kiriş oluşturulmasına, yapının kullanım amacının değişmesi veya yapının yeniden bölmelendirilmesi gibi nedenlerle de ihtiyaç duyulabilmektedir. Sonradan oluşturulmuş kiriş yönteminin etkinliği, sonradan oluşturulan kirişin döşeme ve kolon gibi diğer yapı elemanlarına olan bağlantılarının etkinliği ile yakından ilişkilidir. Kiriş-döşeme ve kiriş-kolon bağlantılarının yeterli olması durumunda sonradan oluşturulmuş kirişin davranışı, döşeme ve kolonlarla monolitik olarak dökülmüş kirişin davranışına yaklaşacak ve bu yöntem başarılı olacaktır. Mevcut çalışma, iki aşamalı bir araştırma projesinin ilk ayağını teşkil etmektedir. Projenin bu ilk aşamasında, sonradan oluşturulmuş betonarme kirişlerin statik düşey yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Projenin ikinci aşamasında ise, sonradan oluşturulmuş betonarme kirişlerin deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranışı araştırılacaktır. Mevcut çalışmada, birisi birdöküm referans numunesi olmak üzere toplam on altı adet ½ ölçekli deney elemanı test edilmiştir. Sonradan oluşturulmuş kirişe ek olarak, döşeme, kolonlar ve bu kolonlara saplanan düzlem dışı kiriş parçalarından oluşan deney elemanları aşağıdaki deney değişkenlerinin etkisi incelenecek şekilde tasarlanmıştır: Sonradan oluşturan betonarme kirişin boyuna donatı oranı (az, normal, çok). Kirişin kolonlara bağlanma yöntemi (mekanik bağlantı ve donatı ankrajı). Kirişlerdeki etriye tipi (tam etriye ve U-etriye) ve bu etriyelerin döşemeye bağlanma yöntemi (etriye ayaklarının döşemeye ankrajlanması ve etriye ayaklarının döşeme üstünde birbirine kaynaklanması). Kolonların yerleşimi (kolonun kuvvetli veya zayıf ekseninin düzlem kiriş kuvvetli eksenine paralel olması).

Bilim Kodu : 912.1.075
Anahtar Kelimeler : Betonarme kiriş, ankraj, kolon-kiriş birleşimi
Sayfa Adedi : 101
Danışman : Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ
İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. İlker KALKAN

THE BEHAVIOUR AND STRENGTH OF POST-FABRICATED RC BEAMS UNDER MONOTONIC LOADS

(M. Sc. Thesis)

Rohullah JAMAL

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2014

ABSTRACT

Different applications, including the construction of hidden beams in the slab, are implemented when the visibility of the beams underneath the slab is not desired due to the aesthetic concerns. Although construction of hidden beams in the slab fulfills the required strength, the service-load deflections remain a cause of concern since the hidden beams do not alter the overall depth of the slab. In the present study, postfabrication of reinforced concrete beams beneath the existing slab in lieu of the original beams, which are eliminated during construction, was investigated. The post-fabrication of beams beneath the existing slab might also be needed due to the changes in the intended use and repartitioning of a structure. The efficiency of this technique depends primarily on the efficiency of the connections between the post-fabricated beam and the columns and between the post-fabricated beam and the slab. The behavior of the post-fabricated beam approaches the behavior of a beam cast monolithically with the slab and the columns and the method proves to be successful if the beam-slab and beam-column connections are satisfactory. The present study is the first stage of an experimental program. In this stage, the behavior of post-fabricated reinforced concrete beams subjected to static vertical loading was investigated. In the second stage of the program, the behavior of post-fabricated reinforced concrete beams under reversed cyclic loading resembling earthquake loading will be investigated. In the present study, a total of sixteen half-scale test specimens, including a monolithic reference one, were tested. Each test specimen was composed of a slab, two columns and out-of-planar beams projecting from the columns in addition to the in-plane post-fabricated beam. The test specimens were designed to investigate the influence of the following test parameters: Reinforcement ratio of the post-fabricated beam (low, moderate, high). Connection of the post-fabricated beam to the columns (mechanical connection and anchorage reinforcement). Type of beam stirrups (full stirrups and U-stirrups) and connection of the stirrups to the slab (anchorage of the legs of the stirrups to the slab and welding of the stirrup legs over the slab). Orientation of the columns (strong or weak axis of the column parallel to the strong axis of the planar beam). The test results were evaluated based on different measures, including yielding load, ultimate load, ductility ratio, initial rigidity and modulus of toughness. The tests also indicated that the investigated beam-slab and beam-column connection details were successful and the post-fabricated beams behaved in close agreement with the monolithic one thanks to these connections. In the beam-column specimens with anchorage reinforcement, the cross-section of the anchor bars was needed to be increased to prevent shear failure of the post-fabricated beam due to debonding of the anchor bars.

Science Code : 912.1.075
Key Words : Reinforced concrete beam, anchorage, beam-column connection
Page Number : 101
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ
Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. İlker KALKAN

TEŞEKKÜR

Sıkıntıları olmasına rağmen, beni çalışmam boyunca teşvik eden, bana her zaman hayatın zorluklarına karşı duruşuyla güç veren, dua eden ve manevi olarak destekleyen anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Sıkıntıları olmasına rağmen, beni çalışmam boyunca teşvik eden, bana her zaman hayatın zorluklarına karşı duruşuyla güç veren, manevi ve maddi olarak destekleyen ve bu çalışma boyunca çocuklarımıza annelik ve babalık yaparak evdeki bütün problemleri yalnız başına çözen eşim Hanifa JAMAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında değerli katkılarından dolayı öncelikle çok değerli danışman hocamlarım Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ'a ve Yrd. Doç. Dr. İlker KALKAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Özellikle tezim boyunca bana yardım etmiş, beni yönlendirmiş ve adeta bir baba gibi bütün imkanlarını bana sunmuş olan değerli hocam Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ'a çok derin teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında her fırsatta yardımına koşan ve bana her zaman ağabeylik yapan değerli hocam Arş. Gör. Eray ÖZBEK 'e ve değerli yardım ve katkılarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Meryem BÖCEK, Arş. Gör. Murat AYHAN ve Uzman Faruk OGÜN hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	9
3.1. Deney Programı	9
3.2. Malzeme Özellik ve Dayanımları.....	18
3.3. Deney Düzeni.....	19
3.3.1. Ölçüm düzeni	22
3.4. Sonradan Oluşturulan Kirişlerin Diğer Elemanlara Kenetlenmesi	23
3.5. Deneyleler	26
3.5.1. LRH elemanı (Yalın eleman) deneyi	27
3.5.2. LMH elemanı deneyi	29
3.5.3. LMU elemanı deneyi	33
3.5.4. LAH elemanı deneyi.....	35
3.5.5. LAU elemanı deneyi.....	38
3.5.6. MRH elemanı (Yalın eleman) deneyi	41

	Sayfa
3.5.7. MMH elemanı deneyi.....	44
3.5.8. MMU elemanı deneyi.....	48
3.5.9. MAH elemanı deneyi	51
3.5.10. MAU elemanı deneyi	54
3.5.11. HRH elemanı (Yalın eleman) deneyi.....	56
3.5.12. HMM elemanı deneyi	59
3.5.13. HMU elemanı deneyi	63
3.5.14. HAH elemanı deneyi	66
3.5.15. HAU elemanı deneyi	69
3.5.16. HAHr elemanı deneyi.....	73
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	77
4.1. Genel	77
4.2. Taşıma Gücü	77
4.3. Süneklik.....	79
4.4. Enerji Tüketimi	81
4.5. Başlangıç Rijitliği	83
4.6. Dene Elemanları Arasında Karşılaştırma.....	84
4.6.1. Az donatılı elemanların karşılaştırılması	84
4.6.2. Normal donatılı elemanların karşılaştırılması	87
4.6.3. Çok donatılı elemanların karşılaştırılması	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneş elemanlarının özellikleri.....	10
Çizelge 3.2. Deneş elemanlarında kullanılan betonun karışım miktarları.....	18
Çizelge 3.3. Deneş elemanlarının silindir basınç dayanımları.....	19
Çizelge 4.1. Elemanların deneşsel ve hesaplanan akma ve maksimum yükleri.....	78
Çizelge 4.2. Deneş elemanlarının mutlak ve göreceli süneklik oranları	80
Çizelge 4.3. Deneş elemanlarının mutlak ve göreceli tokluk modülü değerleri.....	82
Çizelge 4.4. Deneş elemanlarının mutlak ve göreceli başlangıç rijitliği değerleri.....	84
Çizelge 4.5. Karşılaştırılan az donatılı elemanların özellikleri	85
Çizelge 4.6. Az donatılı elemanların yük, süneklik ve rijitlik ölçütleri değerleri.....	86
Çizelge 4.7. Karşılaştırılan normal donatılı elemanların özellikleri.....	87
Çizelge 4.8. Normal donatılı elemanların yük, süneklik ve rijitlik ölçütleri değerleri ...	89
Çizelge 4.9. Karşılaştırılan çok donatılı elemanların özellikleri	90
Çizelge 4.10. Çok donatılı elemanların yük, süneklik ve rijitlik ölçütleri değerleri.....	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kiriş eklenmiş eleman boyutları (Bütün boyutları mm cinsindedir).....	13
Şekil 3.2. Referans deney elemanları.....	13
Şekil 3.3. LAH ve LAU deney elemanları.....	14
Şekil 3.4. LMH ve LMU deney elemanları	14
Şekil 3.5. MAH ve MAU deney elemanları	15
Şekil 3.6. MMH ve MMU deney elemanları	15
Şekil 3.7. HAH ve HAU deney elemanları.....	16
Şekil 3.8. HMH ve HMU deney elemanları	16
Şekil 3.9. HAHr deney elemanı	17
Şekil 3.10. Deney düzeneği	21
Şekil 3.11. LRH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	29
Şekil 3.12. LRH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	29
Şekil 3.13. LMH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi.....	32
Şekil 3.14. LMH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	32
Şekil 3.15. LMU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi.....	35
Şekil 3.16. LMU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	35
Şekil 3.17. LAH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	38
Şekil 3.18. LAH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	38
Şekil 3.19. LAU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	41
Şekil 3.20. LAU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	41
Şekil 3.21. MRH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	44
Şekil 3.22. MRH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	44

Şekil	Sayfa
Şekil 3.23. MMH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	47
Şekil 3.24. MMH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	47
Şekil 3.25. MMU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	50
Şekil 3.26. MMU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	50
Şekil 3.27. MAH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	53
Şekil 3.28. MAH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	53
Şekil 3.29. MAU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	56
Şekil 3.30. MAU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	56
Şekil 3.31. HRH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	59
Şekil 3.32. HRH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	59
Şekil 3.33. HMH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	62
Şekil 3.34. HMH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	62
Şekil 3.35. HMU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	65
Şekil 3.36. HMU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	65
Şekil 3.37. HAH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi.....	69
Şekil 3.38. HAH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	69
Şekil 3.39. HAU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi.....	72
Şekil 3.40. HAU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni	72
Şekil 3.41. HAHr deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi	76
Şekil 3.42. HAHr deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni.....	76
Şekil 4.1. Az donatılı elemanların yük-sehim ilişkileri	85
Şekil 4.2. Az donatılı elemanların enerji-deplasman ilişkileri.....	85
Şekil 4.3. Normal donatılı elemanların yük-sehim ilişkileri.....	88
Şekil 4.4. Normal donatılı elemanların enerji-deplasman ilişkileri	88

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Çok donatılı elemanların yük-sehim ilişkileri	91
Şekil 4.6. Çok donatılı elemanların enerji-deplasman ilişkileri.....	91

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney düzeneği	20
Resim 3.2. Yükleme düzeneği	22
Resim 3.3. Birdöküm eleman kalıbı ve donatıları	24
Resim 3.4. Sonradan oluşturulmuş kirişli eleman kalıbı ve donatıları	24
Resim 3.5. Döşeme deliklerinin açılması	25
Resim 3.6. Etriye ve kolon bağlantı elemanlarının hazırlanması	25
Resim 3.7. Çok donatılı elemanlarda etriye kollarının kaynaklanması	26
Resim 3.8. Sonradan oluşturulmuş kirişin kalıbı	26
Resim 3.9. LRH deney elemanı	27
Resim 3.10. LRH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	28
Resim 3.11. LRH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	28
Resim 3.12. LMH deney elemanı	30
Resim 3.13. LMH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	31
Resim 3.14. LMH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	32
Resim 3.15. LMU deney elemanı	33
Resim 3.16. LMU deney elemanının deney sonrası hasar durumu	34
Resim 3.17. LMU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	34
Resim 3.18. LAH deney elemanı	36
Resim 3.19. LAH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	37
Resim 3.20. LAH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	37
Resim 3.21. LAU deney elemanı	39
Resim 3.22. LAU deney elemanının deney sonrası hasar durumu	40
Resim 3.23. LAU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	40

Resim	Sayfa
Resim 3.24. MRH deney elemanı	42
Resim 3.25. MRH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	43
Resim 3.26. MRH deney elemanının deney sonrası hasar durumu.....	43
Resim 3.27. MMH deney elemanı	45
Resim 3.28. MMH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	46
Resim 3.29. MMH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları.....	47
Resim 3.30. MMU deney elemanı.....	48
Resim 3.31. MMU deney elemanının deney sonrası hasar durumu.....	49
Resim 3.32. MMU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları.....	50
Resim 3.33. MAH deney elemanı.....	51
Resim 3.34. MAH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	52
Resim 3.35. MAH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	53
Resim 3.36. MAU deney elemanı	54
Resim 3.37. MAU deney elemanının deney sonrası hasar durumu	55
Resim 3.38. MAU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	55
Resim 3.39. HRH deney elemanı	57
Resim 3.40. HRH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	58
Resim 3.41. HRH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	58
Resim 3.42. HMH deney elemanı	60
Resim 3.43. HMH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	61
Resim 3.44. HMH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	62
Resim 3.45. HMU deney elemanı	63
Resim 3.46. HMU deney elemanının deney sonrası hasar durumu	64
Resim 3.47. HMU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	65

Resim	Sayfa
Resim 3.48. HAH deney elemanı.....	66
Resim 3.49. HAH deney elemanının deney sonrası hasar durumu	67
Resim 3.50. HAH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları.....	68
Resim 3.51. HAH elemanında meydana gelen kesme çatlakları.....	68
Resim 3.52. HAU deney elemanı	70
Resim 3.53. HAU deney elemanının deney sonrası hasar durumu.....	71
Resim 3.54. HAU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları.....	71
Resim 3.55. HAU elemanında meydana gelen kesme çatlakları.....	72
Resim 3.56. HAHr deney elemanı.....	73
Resim 3.57. HAHr deney elemanının deney sonrası hasar durumu	75
Resim 3.58. HAHr elemanında meydana gelen eğilme çatlakları	75

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

δ_y	En dış çekme donatısının akması anındaki deplasman.
δ_u	Maximum yüke ulaşıldıktan sonra yükün %15 azaldığı andaki deplasman.
P_{yd}	Deneyel akma yükü.
P_{yu}	Teorik akma yükü.
P_{ud}	Deneyel taşıma gücü.
ΔP	Elastik bölgede iki nokta arasındaki yük farkı.
$\Delta \delta$	Elastik bölgede iki nokta arasındaki sehim farkı.
\emptyset	Donatı çapı.

Kısaltmalar

Açıklamalar

LVDT	Elektronik deplasman ölçerler
-------------	-------------------------------

1. GİRİŞ

Konut türü yapılarda mimari kaygılarla, tavanda çıkıntı oluşmasının istenmediği durumlar oluşabilmektedir. Bu gibi durumlarda estetik açıdan yapılabilecek uygulamalar mevcuttur. Yapıların tavanlarından çıkıntı oluşturan elemanlardan birisi de kirişlerdir. Yapılarda genellikle her duvarın altına kiriş konur. Ayrıca bu duvarlar tarafından ayrılan döşemelerin açıklıkları çok büyük olduğu zaman döşemelerin küçültülmesi amacıyla ek kirişler de kullanılabilir. Bu ek kirişler, açıklığı büyük olan döşemelerdeki yükün taşıyıcı sisteme daha rahat aktarılmasını sağlar, deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcılar arasında iletimini kolaylaştırır ve büyük döşemelerde ortaya çıkabilecek büyük sehim değerlerinin sınırlandırılmasını sağlar. Bazı yapılarda döşemenin ortasından geçen bu ek kirişlerin çıkıntı oluşturmalarının engellenmesi amacıyla bu kirişler yapım aşamasında ortadan kaldırıldığı sıklıkla rastlanılan bir durumdur. Ancak, projede olan bu kirişlerin ortadan kaldırılması dayanım, yük aktarım ve kullanılabilirlik sorunları ortaya çıkarmaktadır.

Mevcut yapılarda yapılan gözlemler, döşeme ortasından geçen kirişlerin sıklıkla yapım aşamasında ortadan kaldırıldığını göstermektedir. Özellikle zemin kattan sonra konsol çıkmalar üzerine oturan binaların normal katlarında, mimari kaygılarla kirişlerin gözükmesi pek istenmez ve mühendislik bakımından kabul edilemez olsa da konsol kirişler geriye doğru devam ettirilmez. Bu şekilde geriye devam ettirilmeyen konsol kirişlere “bayrak kiriş” adı verilmektedir. Birçok durumda yerel yönetimler bu uygulamaya izin vermediği için konsol kirişlerin devamı olan döşeme altındaki iç kirişler projeye dahil edilir, fakat inşaat esnasında yerinde yapılmaz. Ancak yapım esnasında ortadan kaldırılan bu kirişler, iskan aşamasında yapının iskan alamamasına neden olmaktadır. Ankara'nın bazı semtlerinde bu yüzden iskan alamamış çok sayıda bina vardır. Diğer birçok kentte de durum benzerdir. Deprem açısından son derece sakıncalı olan böyle bir tasarım/suistimal sonunda konsollarda önemli deformasyon sorunları ortaya çıkmakta ve bazı durumlarda zımbalama sorunları oluşmaktadır. Bazı yerel yönetimler konsolların geriye doğru devam ettirilmemesine, yapılmak istenmeyen kirişin yerine döşeme içinde eşdeğer dayanımlı bir gizli kiriş yapılması koşulu ile izin vermektedir. Ancak bilindiği üzere döşeme içinde yer alan gizli kirişler, döşeme kalınlığını değiştirmemekte ve dolayısıyla döşemenin atalet momentine çok sınırlı katkılarda bulunmaktadır. Bu sebeple döşeme içerisine gizli kiriş yapılması, döşemenin deformasyon değerlerini istenilen ölçüde azaltmamaktadır. Gazi

Üniversitesi'nde yakın geçmişte yapılmış bir deneysel çalışmada [1], içerisinde gizli kiriş kullanılan döşemelerin hedeflenen dayanımlara tablalı kirişlere göre 8-10 kat daha büyük deformasyonlar yaptıktan sonra ulaşabildiği, hatta bazı durumlarda bu seviyedeki büyük deformasyonlardan sonra dahi hedeflenen dayanımlara ulaşamadığı görülmüştür. Yapılan bu deneyler, döşeme içerisinde gizli kiriş kullanımının sehim problemlerine cevap veremediği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Yapım aşamasında ortadan kaldırılan kirişlerin neden olacağı sorunların giderilmesi amacıyla döşemenin altına "sonradan oluşturulmuş" betonarme kirişlerin yapılması, en pratik ve akılcı yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, döşeme altına yapılan sonradan oluşturulmuş betonarme kirişlerin döşeme ve diğer taşıyıcı elemanlarla monolitik davranabilmesi için gerekli olan kiriş-kolon ve kiriş-döşeme bağlantı detayları araştırılmıştır. Bu amaçla, ½ ölçeğe sahip 16 adet deney elemanı üretilmiştir. Her deney elemanı, düzlemsel kiriş, bu kirişin üzerinde yer alan döşeme parçası, düzlemsel kirişin bağlandığı kolon parçaları ve bu kolonlara bağlanan düzlem dışı kirişlerden teşkil edilmiştir. Deney elemanları basit olarak mesnetlenmiş ve düzgün yayılı yük etkisini benzeştirecek şekilde iki noktalı yüklemeye maruz bırakılmıştır. Statik yükler altında test edilen bu deney elemanları, temel olarak üç deney değişkeninin etkisini araştırmak amacıyla tasarlanmıştır:

- Düzlem kirişin boyuna donatı oranı: Az, normal ve çok donatılı
- Sonradan oluşturulmuş düzlem kirişin kolonlara bağlantı yöntemi: Epoksiyle bağlanan ankraj donatısı ve mekanik olarak bağlanan gijonlar
- Sonradan oluşturulmuş kirişin etriye tipi: Tam etriye ve U-etriye
- Sonradan oluşturulmuş kiriş etriyesinin döşemeye bağlantı yöntemi: Döşeme üstünde etriye kollarının birbirine kaynaklanması ve döşeme kollarının döşemeye epoksiyle bağlanması
- Sonradan oluşturulmuş kirişin bağlandığı kolonların oryantasyonu: Kolon güçlü ekseninin veya zayıf ekseninin kiriş güçlü eksenine paralel olması

2. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Geçmişte sonradan oluşturulmuş ve yerinde dökülmüş betonarme kirişlerin davranışları ve bu kirişlerin diğer yapı elemanlarına bağlantı yöntemleriyle ilgili yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Mevcut çalışmalar, genellikle yerinde dökülmeyen hazır öndökümlü beton kirişlerin kolonlara bağlantı detayları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu bölümde geçmiş araştırmacılar tarafından araştırılmış farklı bağlantı detayları özet olarak anlatılacaktır.

French C. W., Amu O. ve Tarzikhan C. [2], önüretimli kısmi öngerilmeli kirişlerle önüretimli kolonların birleşimlerinde kullanılabilir dört farklı türde bağlantı detayını deneysel olarak araştırmışlardır. Deney elemanlarında, ardgermeli, bulonlu ve kaynaklı birleşimlerin yanı sıra kirişin üst kısmında donatı ankrajlanması ve beton dökülmesi ve alt kısmında ardgerme kablolarının kullanılması şeklinde oluşturulan kompozit birleşim de incelenmiştir. Bu dört birleşim içinde kompozit ve bulonlu birleşimlerin diğer iki birleşime göre daha umut verici sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmanın devamı niteliğindeki ikinci bir çalışmada French C. W., Hafner M. ve Jayashankar V. [3], dıştan bulonlu birleşimin yanısıra düz bağlantı kollu ve eğik bağlantı kollu gijonlu dış kolon-kiriş birleşimlerini incelemişler ve özellikle konik şekilli bağlantı koluyla bağlanmış gijonlu dış birleşimli kolon-kiriş numunesinin birdöküm elemana çok yakın bir performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Dolan C. W. ve Pessiki S. P. [4], basit ve moment aktarabilen önüretimli kiriş-kolon bağlantılarının performanslarının belirlenmesinde maddi imkanlar ve gelişmiş deney imkanları gerektiren prototip deneyleri yerine model deneylerinin kullanılabilirliğini göstermek amacıyla ¼ ölçeğe sahip dört adet model kiriş-kolon bağlantı elemanını test etmişlerdir. Bu model elemanların normalize edilmiş moment-dönme eğrilerinin ve dayanımlarının daha önce Amerikan Öndökümlü Önüretimli Beton Enstitüsü (PCI) tarafından yapılmış prototip deneylerden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmasıyla, model deneylerin farklı bağlantı detaylarının performansları hakkında sağlıklı fikirler verdiği görülmüştür.

Stone W. C., Cheok G. S. ve Stanton J. F. [5], önüretimli beton kiriş-kolon birleşimlerinde deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin sönmünebilmesi amacıyla yumuşak çelik profillerin ve aynı düğümlerde ihtiyaç duyulan kesme dayanımının sağlanabilmesi amacıyla ankrajlı ve ankrajsız öngerilme kablolarının kullanıldığı hibrit kiriş-kolon bağlantıları tasarlamışlar ve bu bağlantı detaylarına sahip on adet moment aktarabilen beton kiriş-kolon bağlantı numunesini test etmişlerdir. Bu kapsamda yapılan deneyler, hibrit bağlantılı sistemlerin % 1,5 kat yanal ötelenmelerine kadar birdöküm numunelerden daha fazla enerji sönmünebildiğini ve % 1,5 kat ötelenmesinden sonra ise hibrit bağlantılı sistemin sönmünelediği enerjinin birdöküm numunelerdeki yaklaşık %75'i oranında kaldığını göstermiştir. Ayrıca hibrit bağlantıda ortaya çıkan hasarın çok önemli boyutlara ulaşmadığı ve hibrit bağlantılı elemanların eğilme momenti kapasitelerinin birdöküm elemanlara yakın olduğu görülmüştür.

Cheok G. S., Stone W. C. ve Kunnath S. K. [6], yumuşak çelik profiller ve öngerilme kablolarından oluşan hibrit bağlantılara sahip betonarme çerçevelerin deprem performanslarını belirleyebilmek amacıyla kapsamlı bir analitik çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, dört, sekiz, on iki ve yirmi iki katlı tipik önüretimli betonarme çerçeveler Uluslararası Bina Yönetmeliği'nde [7] yer alan üç farklı zemin tipini yansıtan ve bu yönetmeliğin tasarım spektrumuna uygun olarak ölçeklenmiş yirmi dokuz farklı deprem hareketi altında analiz edilmiştir. Hibrit bağlantı bölgesinin inelastik histerik davranışının lineer olmayan analiz programına tam olarak tanımlanabilmesi amacıyla, bağlantı bölgesi için çok değişkenli bir model oluşturulmuştur. Bu modeli belirleyen rijitlik azalımı, dayanım azalımı, enerji tüketim kapasitesi, çevrimsel davranıştaki daralma gibi parametrelerin belirlenmesinde yine aynı araştırmacılar tarafından yapılmış [5] önceki deneylerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan statik itme analizleri ve lineer olmayan zaman tanım alanında analizler, hibrit kiriş-kolon bağlantılı çerçevelerin yanal ötelenme değerlerinin birdöküm çerçevelere göre daha iyi olduğunu ve hibrit bağlantılı çerçevelerin göçme şekillerinin yeterince sünek olduğunu göstermiştir.

Korkmaz H. H. ve Tankut T. [8], 1/2,5 ölçekli 6 adet bağlantı numunesini şiddetli deprem hareketini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test etmişlerdir. Monolitik numune haricindeki tüm numunelerde kiriş-kiriş tipi bağlantı kullanılmıştır. Önüretimli beton dökümü üzerine çalışan yerel bir üretici tarafından sunulan bir bağlantı detayının kullanıldığı numune haricindeki önüretimli numuneler, bu ilk numunenin deneyinde

yapılan gözlemlere ve elde edilen sonuçlara göre tasarlanıp detaylandırılmıştır. Yapılan deneyler, kirişin üst donatısının bindirme bölgesinin daha sık etriyelerle sarılmasının veya üst donatının bağlantı bölgesindeki levhaya kaynaklanmasının bağlantı numunesinin davranışına önemli katkılarda bulunduğunu göstermiştir.

Ertuş O., Özden Ş. ve Özturan T. [9-11], ½ ölçekli kolon-kiriş numunelerini deplasman kontrollü tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test etmişlerdir. Deney düzeneğinin oluşturulmasında ve deney numunelerinin yük çevrimlerinin belirlenmesinde Amerikan ACI T1.01 yönergesinden [12] faydalanılmıştır. Bu çalışmalarda test edilen numuneler aşağıda sıralanmıştır:

- Monolitik (birdöküm) numune;
- Önüretimli kirişte bulunan U şeklindeki ankraj donatılarının kolon ortasında bırakılan boşluk kısmına oturtulması ve bu boşluğun daha sonra lif katkılı betonla doldurulması ile oluşturulan bir ıslak birleşimli numune;
- Kolonun orta kısmından çıkan U şeklindeki ankraj donatıları ile önüretimli kirişten çıkan U şeklindeki ankraj donatılarının birbiri üstüne bindirilerek birleşim bölgesine lif katkılı beton doldurulması sonucu elde edilen ıslak birleşimli numune;
- Kolon gusesinin donatılarına kaynaklanmış olan bir çelik plakayla bu plakanın üzerine oturtulan ve önüretimli kirişin alt boyuna donatılarının kaynaklandığı bir çelik plakanın birbirine kaynaklanması ve önüretimli kirişin üst kısmında bırakılan U şeklindeki donatıların kolon ortasında bırakılan boşluk kısmına ankre edilmesi ve bu boşluk kısmına lifli beton dökülmesiyle elde edilen kompozit birleşimli numune;
- Önüretimli kirişin alt ve üstünde bırakılan kanallara yerleştirilen bulonların kiriş ve kolonların içerisinde bırakılan kutu profiller içerisinden geçirilerek kolonun serbest yüzüne bağlandığı ve belirli bir tork değeriyle sıkıştırıldığı bulonlu birleşimli numune;
- Bir önceki numunede kolon ve kirişlerin içerisine yerleştirilen kutu profillerin yüklenme esnasında kaymasını engellemek amacıyla profil yüzeyine donatı çubuklarının kaynaklandığı ve ayrıca kutu profillerin içerisine doldurulan harcın kaymasını engellemek amacıyla kutu profili boydan boya delip geçen vidaların kullanıldığı revize edilmiş bulonlu birleşimli numune.

Yapılan deneyler, bulonlu birleşimli numunenin kiriş içerişine yerleştirilen kutu profillerin kayması sebebiyle yetersiz performans gösterdiğini, buna karşın revize edilmiş bulonlu birleşimli numunenin diğer önüretimli kiriş numunelerine göre aynı kat ötelenmesi değerlerinde daha yüksek enerji tüketim değerlerine ulaştığını göstermiştir. Ancak revize edilmiş bulonlu birleşimli numune, monolitik numuneye göre aynı kat ötelenmesi değerleri için daha büyük rijitlik kayıpları yaşamıştır. Bulonlu birleşimli numuneler haricindeki diğer önüretimli kirişli numuneler, monolitik numuneye göre daha düşük rijitlik kayıpları yaşamıştır. Önüretimli numuneler arasında en yüksek akma yükü ve maksimum yük değerlerine ulaşan numune, gusenin de etkisiyle kompozit birleşimli numune olmuştur. Bu çalışmanın ikinci aşamasında Özden Ş. ve Ertaş O. [13], içerisinde farklı oranlarda yumuşak çelik donatı bulunduran önüretimli kirişlerden teşkil edilen ardgermeli hibrid kolon-kiriş birleşimlerini deneysel olarak araştırmışlar ve önüretimli kiriş içerişindeki donatı oranı arttıkça önüretimli bağlantı numunesinin taşıma gücünün monolitik elemana yaklaştığını göstermişlerdir.

Khoo J. H., Bing L. ve Yip W. K. [14], bağlantı elemanı kiriş açıklığı üzerinde kolon yüzünden uzakta yapılarak plastik masfallaşmanın birleşim bölgesi ve kolonlardan uzakta oluşması sağlanan betonarme çerçeveleri yarı durgun (quasi-static) tersinir tekrarlanır deprem yükleri altında test etmişlerdir. Daha önce Restrepo J. I., Park R. ve Buchanan A. H. [15,16] tarafından test edilmiş bağlantı detaylarından esinlenerek hazırlanan bu bağlantı elemanları, süneklik derecesi düşük olan çerçevelerin moment aktarabilen birleşimleri için tasarlanmıştır. Birdöküm deney elemanı haricindeki diğer iki deney elemanının bağlantı bölgeleri, kolonlarla beraber dökülmüş kiriş parçasının boyuna donatıları ve sonradan eklenen önüretimli kirişin boyuna donatılardan oluşturulan 90 ve 180 derecelik kancaların birbirleri üzerine bindirilmesi, bu bindirme donatılarının çevresine etriyelerin bağlanması ve bindirme bölgesine beton dökülmesiyle oluşturulmuştur. Yapılan deneyler, kiriş-kolon bağlantısı yerine kiriş-kiriş bağlantısı şeklinde oluşturulan bağlantı elemanlarının plastik mafsalların kolon yüzünden en az kiriş etkili derinliği kadar uzakta oluşmasını sağladığını göstermiştir. Plastik mafsalların kolonlar ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinden uzakta oluşması, çerçevelerin yük kapasitelerini % 2,5 kat ötelenme oranı değerlerine kadar korumalarını sağlamış ve deney elemanları, sünek davranarak önemli tokluk modülü değerlerine ulaşmıştır.

Li B., Kulkarni S. A. ve Leong C. L. [17], biri monolitik ve diğeri önüretimli kirişin kolonlara çelik profiller aracılığıyla bağlanmasıyla teşkil edilmiş üç adet olmak üzere toplam dört kolon-kiriş bağlantı numunesini yarı durgun (quasi-static) tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Önüretimli numunelerin bağlantı bölgelerinde farklı kesitli çelik köşebentler kullanılarak, bağlantı elemanlarının kesitlerinin kolon-kiriş bağlantısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneyler, bağlantı bölgelerinde çelik profillerin kullanılmasının bu bölgeleri güçlendirerek, elemanların 3,5 mertebesinde kat ötelenmesi süneklik oranlarına kadar ulaşmalarını sağladığını ve önüretimli elemanların dayanım ve süneklik değerlerinin monolitik elemana yakın olduğunu göstermiştir. Ayrıca çelik profillerin bağlantı bölgesinde plastik mafsallaşmaya izin vermediği ve bağlantı bölgesine sağladıkları sargılama etkisi sayesinde birleşim bölgesinde deformasyonları sınırlandırdıkları da gözlemlenmiştir.

Hawileh R. A., Rahman A. ve Tabatabai H. [18], hibrid birleşimli kolon-kiriş bağlantı numunelerinin davranış ve performanslarının daha iyi anlaşılabilmesi için bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişler ve bu modelden elde ettikleri sonuçları daha önce elde edilen deneysel sonuçlarla [19] kıyaslamışlardır. Yapılan analizler, başlangıç çevrimlerinde numerik tepeyük değerlerinin deneysel değerlerden küçük olduğunu ve ilerleyen çevrimlerde numerik değerlerin deneysel değerlere yetişerek bu değerleri aştığını göstermiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlarla uyumlu olarak, sonlu eleman analizlerinin de elemanın göçmesinin boyuna donatılardaki yüksek gerilmelerden kaynaklanacağını öngördüğü belirlenmiştir.

Vidjeapriya R. ve Jaya K. P. [20,21], 1/3 ölçekli birdöküm ve önüretimli kolon-kiriş bağlantı elemanlarını tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Test edilen deney elemanlarından birinde önüretimli kiriş, kolonla monolitik olarak dökülmüş kısa konsolun üzerine oturtularak kısa konsola yalnızca bir J-bulon vasıtasıyla bağlanmıştır. Diğer iki elemanda ise önüretimli kiriş, kolona ve kısa konsola bir köşebent ve bulonlar yardımıyla bağlanmıştır. Bu iki deney elemanının birinde köşebenti kolona ve kısa konsola bağlamak için birer bulon, diğeri ise ikişer bulon kullanılmıştır. Yapılan deneyler, önüretimli elemanların taşıma güçlerinin birdöküm elemanın altında kaldığını, J-bulonlu elemanın süneklik oranı ve tokluk modülü değerlerinin birdöküm elemanı aştığını ve köşebenti kolon ve konsola bağlayan bulon sayısının önüretimli elemanın sünekliğini arttırdığını

göstermiştir. Ayrıca, birdöküm elemanın aksine önüretimli elemanların kolon donatılarında yük etkisi altında çok sınırlı birim deformasyonların oluştuğu da belirlenmiştir.

Kurtoğlu, M. [22], farklı hibrid kiriş-kolon bağlantı detaylarının etkinliğinin araştırılması amacıyla, ikisi birdöküm olmak üzere toplam on dört adet beton kiriş-kolon bağlantı numunesini tersinir tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Önüretimli betonarme kirişlerin betonarme kolonlara bağlanmasında kullanılan bağlantı elemanları, çelik profillerden, bu profillerin kirişe daha iyi tutunmasını sağlayan ankraj çubuklarından ve bağlantı elemanını çevreleyen boyuna ve enine kiriş donatılarından teşkil edilmiştir. Kiriş-kolon bağlantı numunelerinin deneylerinden sonra, bu bağlantı elemanlarının kullanıldığı çok katlı çerçeveler üzerine sonlu eleman modelleri hazırlanarak bu modeller statik itme analizlerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel ve numerik çalışmalar, tasarlanan bağlantı elemanlarının önüretimli kirişlerin birdöküm kirişlere özdeş veya onlara yakın performanslar göstermesini sağladığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle denenen bağlantı detaylarından üç tanesinin, kirişte oluşan plastik mafsalların bağlantı bölgesi dışında oluşmasını ve bağlantı numunelerinin taşıma gücü, süneklik, enerji tüketimi ve başlangıç rijitliği değerlerinin birdöküm numunelere yakın olmasını sağladığı görülmüştür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Programı

Bu çalışma kapsamında, 16 adet ½ ölçekli deney elemanı üretilip test edilmiştir. Her deney elemanı, 125 veya 225 mm genişliğinde ve 250 mm yüksekliğinde bir düzlem kiriş, 75 mm kalınlığında ve 575 mm genişliğinde bir döşeme, düzlem kirişin bağlandığı 125x250 mm kesitinde kolonlar ve kolonlara saplanan 125 mm genişliğinde ve 250 mm yüksekliğinde düzlem dışı kirişlerden meydana gelmektedir. Deney elemanlarının toplam uzunlukları 3000 mm olarak seçilmiştir. Düzlem kirişin iki ucunda yer alan kolonlardan biri, kolon güçlü eksenini kiriş güçlü eksenine paralel olacak şekilde, diğeri ise kolon zayıf eksenini kiriş güçlü eksenine paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu sayede, sonradan oluşturulmuş düzlemsel kirişin kolona bağlanma yönteminin kolon yerleşiminden hangi ölçüde etkilendiğinin araştırılması hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında etkileri araştırılan parametreler aşağıda özetlenmektedir:

- Sonradan oluşturulmuş kirişin boyuna donatılarının kolona kenetlenme yöntemi: Mekanik ve ankrajlı (epoksi yardımıyla)
- Kiriş etriyelerinin döşemeye bağlanma yöntemi: U-etriye ve tam etriye
- Kiriş boyuna donatı oranı: Az, normal ve çok donatılı

Deney elemanlarının boyutları ve deney değişkenleri ile düzlemsel kirişlerinin basınç ve çekme donatıları Çizelge 3.1’de sunulmaktadır. Elemanların döşemelerinin alt ve üst donatıları, her iki doğrultuda da Ø5/80 mm olarak seçilmiştir. Elemanların tümünün düzlem dışı kirişlerinde 3Ø10 çekme donatısı ile 3Ø10 basınç donatısı ve kolonlarında 10Ø10 donatı kullanılmıştır. Ayrıca, düzlemsel ve düzlem dışı kirişler ile kolonlarda Ø6/75mm etriye kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman	Kesit ($b_w \times h$) (mmxmm)	Donatı Kenetleme	Etriye Tipi	Basınç Donatısı	Çekme Donatısı	Donatı Oranı
LRH	125x250	Sürekli	Tam Etr.	2Ø8	3Ø8	Az
LMH	225x250	Mekanik	Tam Etr.	-	3Ø8	Az
LMU	225x250	Mekanik	U-Etr.	-	3Ø8	Az
LAH	125x250	Ankraj	Tam Etr.	-	3Ø8	Az
LAU	125x250	Ankraj	U-Etr.	-	3Ø8	Az
MRH	125x250	Sürekli	Tam Etr.	2Ø10	4Ø10	Normal
MMH	225x250	Mekanik	Tam Etr.	-	4Ø10	Normal
MMU	225x250	Mekanik	U-Etr.	-	4Ø10	Normal
MAH	125x250	Ankraj	Tam Etr.	-	4Ø10	Normal
MAU	125x250	Ankraj	U-Etr.	-	4Ø10	Normal
HRH	125x250	Sürekli	Tam Etr.	2Ø12	4Ø12	Çok
HMH	225x280	Mekanik	Tam Etr.	2Ø12	4Ø12	Çok
HMU	225x250	Mekanik	U-Etr.	-	4Ø12	Çok
HAH	125x280	Ankraj	Tam Etr.	2Ø12	4Ø12	Çok
HAU	125x250	Ankraj	U-Etr.	-	4Ø12	Çok
HAH-2	125x250	Ankraj	Tam Etr.	-	4Ø12	Çok

HMH ve HAH elemanlarında döşeme üstünde kaynaklanan etriye kollarının açıkta kalmaması için mevcut döşemenin üstüne 30 mm kalınlığında ilave bir beton katmanı dökülmüştür. Bu sebeple, bu iki elemanda kiriş yüksekliği diğer elemanlardan farklı olarak 280 mm olarak verilmektedir (Çizelge 3.1).

Her deney elemanının isimlendirilmesinde birbirini takip eden üç büyük harf kullanılmıştır. Bu harflerden ilki, elemandaki boyuna donatı oranını niteleyen İngilizce kelimenin ilk harfidir. Buna göre, “L” (Lightly-reinforced), “M” (Moderately-reinforced) ve “H” (Heavily-reinforced) harfleri sırasıyla az, normal ve çok donatılı kirişleri belirtmektedir. Deney elemanı isminde yer alan ikinci büyük harf, kiriş donatılarının kolona kenetlenmesinde kullanılan yöntemi belirtmektedir. “R”, “M” ve “A” harfleri, sırasıyla referans (birdöküm) elemanı ve sonradan oluşturulan kirişi kolona mekanik olarak kenetlenen ve epoksi ile ankrajlanan elemanı belirtmektedir. Eleman isminde kullanılan son

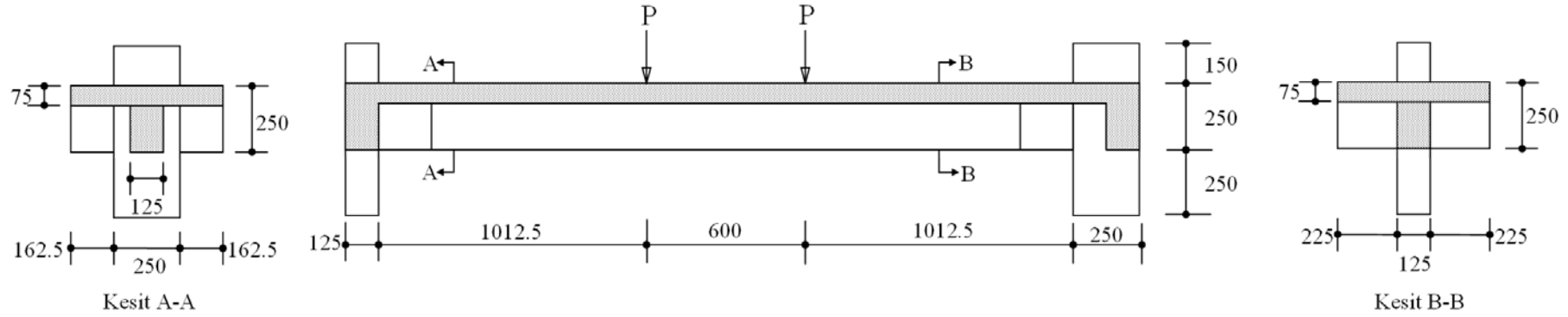
büyük harf ise düzlemsel kiriş etriyesinin şeklini göstermektedir. “H” ve “U” harfleri, sırasıyla tam etriye ve U-etriyeli kirişleri göstermektedir.

Az ve çok donatılı kirişler, sırasıyla TS500’de öngörülen minimum donatı oranına $(0,80f_{ctd}/f_{yd})$ ve maksimum donatı oranına $(\rho - \rho_l) \leq 0,85\rho_b$ ve $\rho \leq 0,002$ uygun miktarlarda donatılandırılmıştır. Normal donatılı kirişlerdeki donatı miktarı ise az ve çok donatılı kirişlerdeki donatı oranlarının ortalamasından belirlenmiştir. İncelenen deney parametrelerine göre, deney elemanları aşağıdaki gibi açıklanabilir:

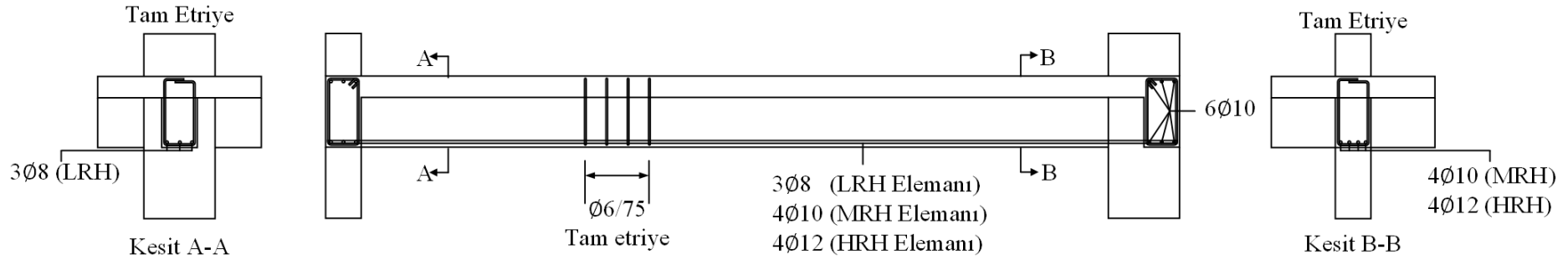
- LRH; Düzlem kirişi deney elemanının geri kalanıyla beraber dökülmüş, tam etriyeli ve az donatı oranına sahip referans eleman;
- LMH; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara bulonlar yardımıyla sabitlenen gijonlar kullanılan (mekanik kenetlenme), tam etriyeli ve az donatı oranına sahip deney elemanı;
- LMU; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara bulonlar yardımıyla sabitlenen gijonlar kullanılan (mekanik kenetlenme), U-etriyeli ve az donatı oranına sahip deney elemanı;
- LAH; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen donatı çubukları kullanılan (ankraj), tam etriyeli ve az donatı oranına sahip deney elemanı;
- LAU; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen donatı çubukları kullanılan (ankraj), U-etriyeli ve az donatı oranına sahip deney elemanı;
- MRH; Düzlem kirişi deney elemanının geri kalanıyla beraber dökülmüş, tam etriyeli ve normal donatı oranına sahip referans eleman;
- MMH; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara bulonlar yardımıyla sabitlenen gijonlar kullanılan (mekanik kenetlenme), tam etriyeli ve normal donatı oranına sahip deney elemanı;
- MMU; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara bulonlar yardımıyla sabitlenen gijonlar kullanılan (mekanik kenetlenme), U-etriyeli ve normal donatı oranına sahip deney elemanı;
- MAH; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen donatı çubukları kullanılan (ankraj), tam etriyeli ve normal donatı oranına sahip deney elemanı;

- MAU; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen donatı çubukları kullanılan (ankraj), U-etriyeli ve normal donatı oranına sahip deney elemanı;
- HRH; Düzlem kirişi deney elemanının geri kalanıyla beraber dökülmüş, tam etriyeli ve yüksek donatı oranına sahip referans eleman;
- HMH; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara bulonlar yardımıyla sabitlenen gijonlar kullanılan (mekanik kenetlenme), tam etriyeli ve yüksek donatı oranına sahip deney elemanı;
- HMU; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara bulonlar yardımıyla sabitlenen gijonlar kullanılan (mekanik kenetlenme), U-etriyeli ve yüksek donatı oranına sahip deney elemanı;
- HAH; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen donatı çubukları kullanılan (ankraj), tam etriyeli ve yüksek donatı oranına sahip deney elemanı;
- HAU; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen donatı çubukları kullanılan (ankraj), U-etriyeli ve yüksek donatı oranına sahip deney elemanı;
- HAH-2; Sonradan dökülen düzlemsel kirişinin kolonlara kenetlenmesi için, kolonlara epoksi yardımıyla sabitlenen iki ayaklı donatı çubukları kullanılan (ankraj), tam etriyeli ve yüksek donatı oranına sahip deney elemanı;

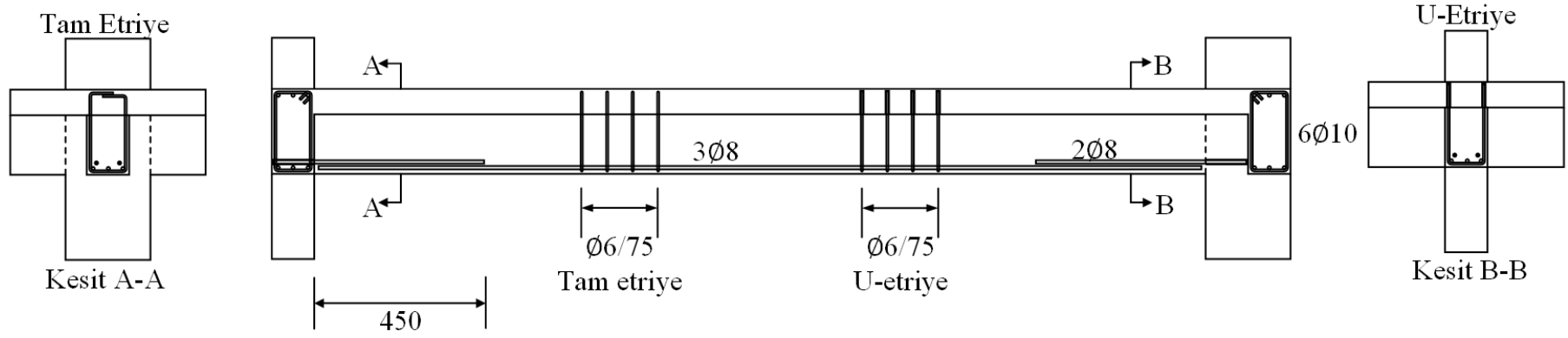
Sonradan oluşturulan kirişe sahip deney elemanlarının boyutları Şekil 3.1' de, bütün deney elemanlarının donatı ve güçlendirme detayları Şekil 3.2-3.9' da gösterilmektedir.



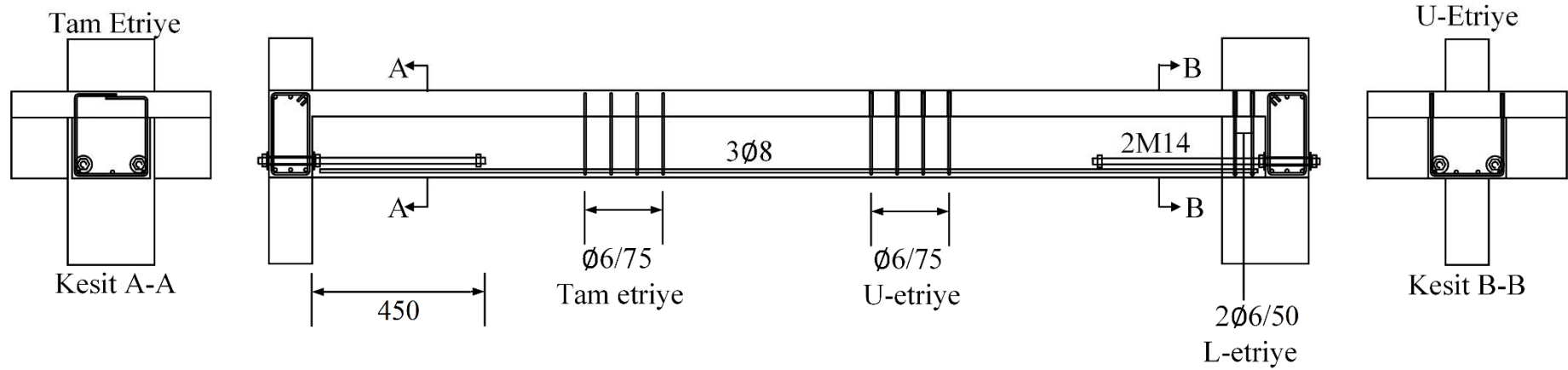
Şekil 3.1. Kiriş eklenmiş eleman boyutları (Bütün boyutlar mm cinsindedir)



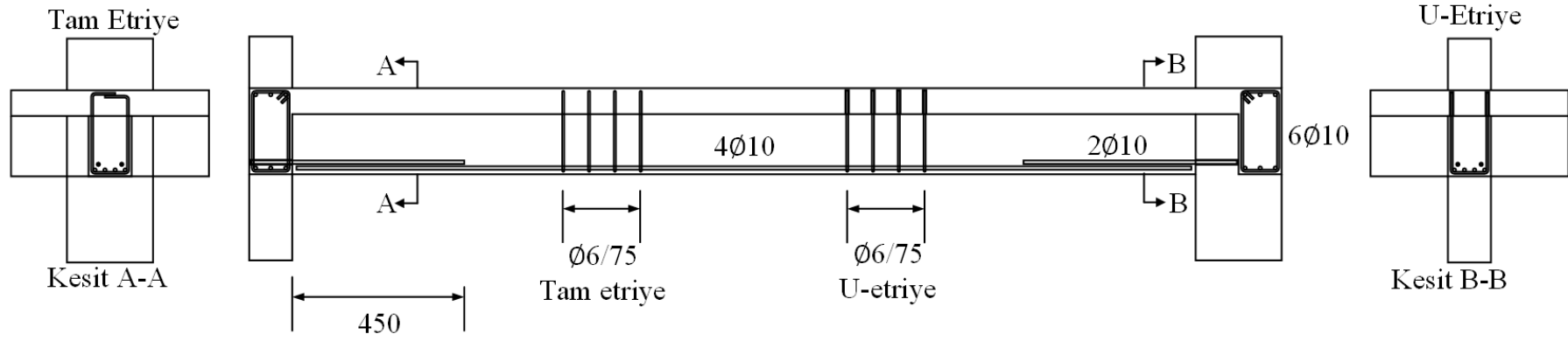
Şekil 3.2. Referans deney elemanları



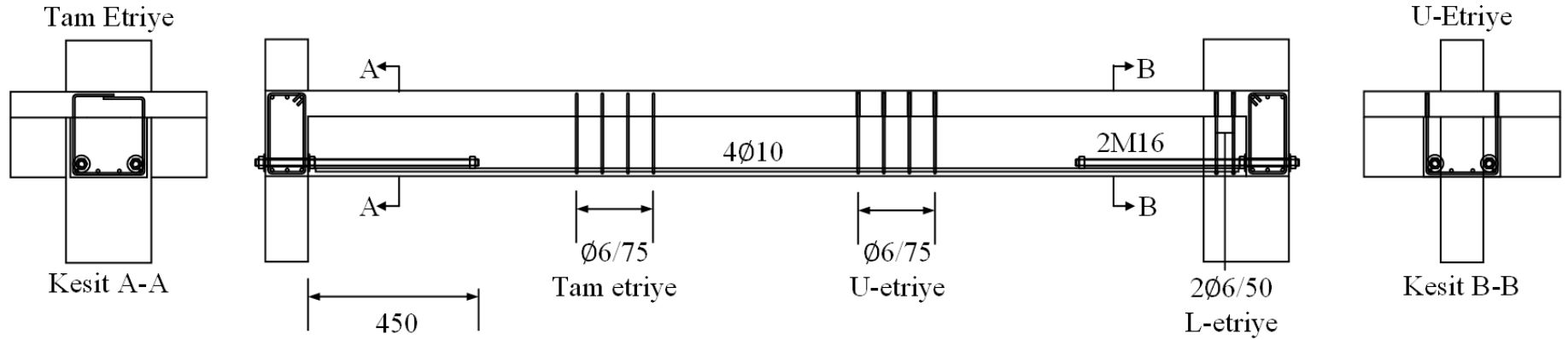
Şekil 3.3. LAH ve LAU deney elemanları



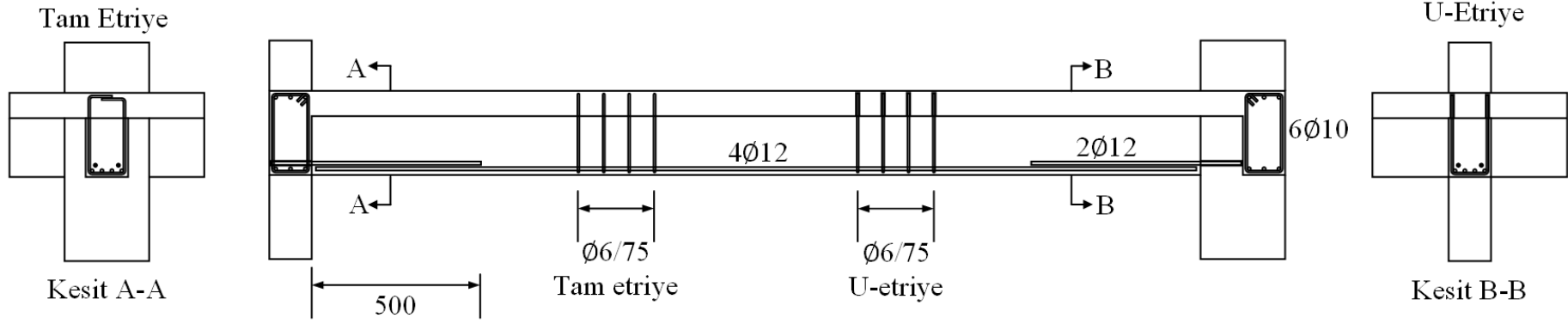
Şekil 3.4. LMH ve LMU deney elemanları



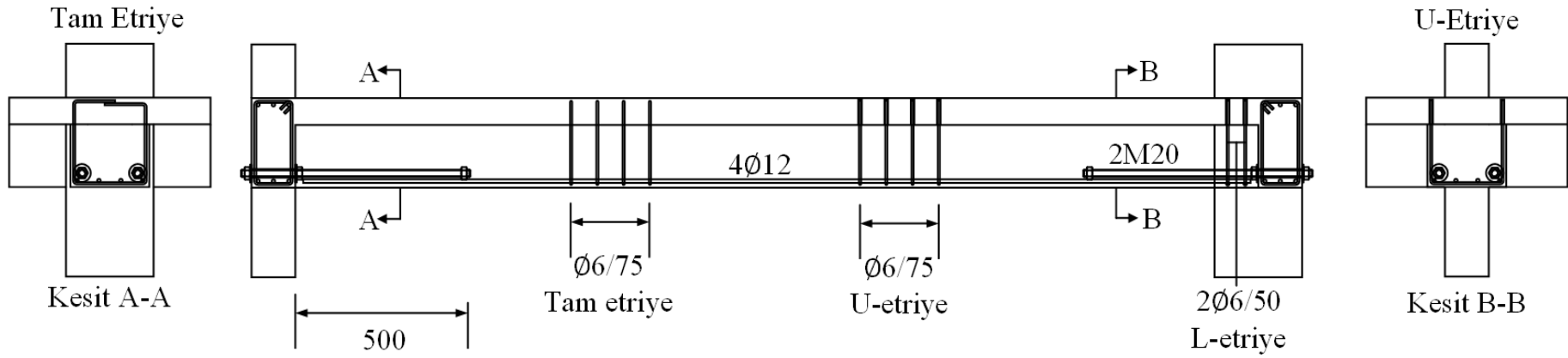
Şekil 3.5. MAH ve MAU deney elemanları



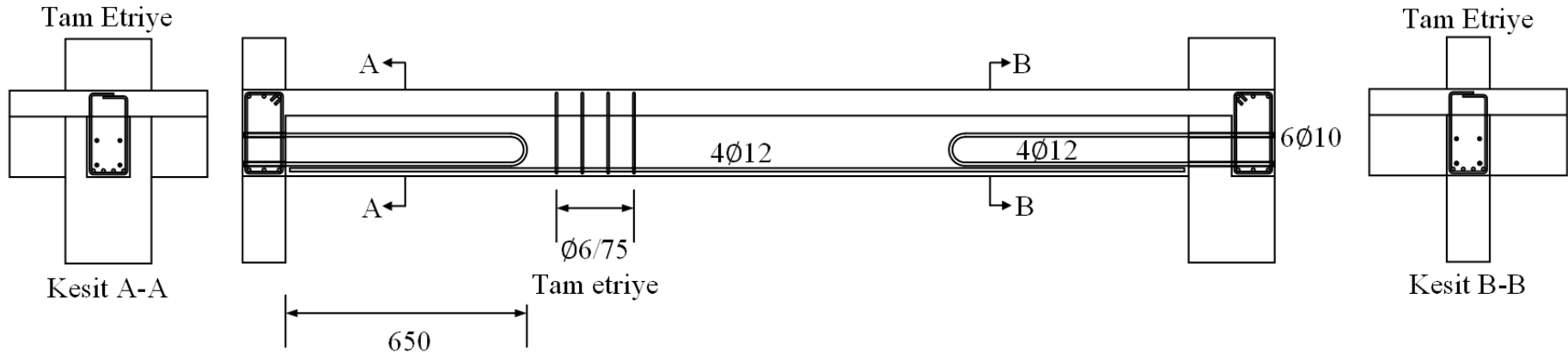
Şekil 3.6. MMH ve MMU deney elemanları



Şekil 3.7. HAH ve HAU deney elemanları



Şekil 3.8. HMH ve HMU deney elemanları



Şekil 3.9. HAHr deney elemanı

3.2. Malzeme Özellik ve Dayanımları

Deney sonucunda elde edilen verileri karşılaştırabilmek ve sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için, kirişlerin yapımında kullanılan beton ve donatıların aynı mekanik özellikleri göstermesi önemlidir. Bu sebeple, tüm deney elemanlarında aynı üreticiden ve aynı seriden alınmış donatı çubukları kullanılmıştır. Düzlemsel ve düzlem dışı kirişler ile kolonlarda kullanılan Ø8, Ø10 ve Ø12 boyuna donatı çubukları ile Ø6 etriyeler ve döşemelerde kullanılan Ø5 donatı çubuklarının tümü S420 kalitesindedir.

Deney elemanlarının tümü aynı mevsimde dökülerek ve aynı kür koşulları altında bekletilerek, mevsimsel farkların ve kür koşullarının elemanlarda farklı beton özellikleri ortaya çıkarmasının önüne geçilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan betonun karışım miktarları, Çizelge 3.2’de gösterilmektedir. Betonun karışımında akışkanlaştırıcı haricinde herhangi bir kimyasal kullanılmamıştır ve betonun su-çimento oranı 0,6 olarak seçilmiştir. Sonradan kiriş eklenmiş deney elemanlarında sonradan eklenen düzlem kirişi haricindeki kolonlar, düzlem dışı kirişler ve tabliyenin betonu birinci döküm olarak, sonradan dökülen düzlem kirişin betonu ise ikinci döküm olarak adlandırılmıştır. LRH, MRH ve HRH referans elemanlarının tüm kısımları ise birinci dökümde dökülmüştür. Her deney elemanının dökümü esnasında beton karışımından silindir numuneler alınmış ve birinci dökümden alınan silindir numuneler dökümden 28 gün sonra, ikinci dökümden alınan numuneler ise dökümden 20 gün sonra eksenel basınç yükü altında test edilerek kirişlerdeki beton dayanımları belirlenmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.2. Deney elemanlarında kullanılan betonun karışım miktarları

1 m ³ Yaş Beton	Malzeme Miktarı (kN)
Kum	8,45
Çakıl	8,45
Çimento	4,00
Su	2,40
Toplam	23,30

Çizelge 3.3. Deney elemanlarının silindir basınç dayanımları

Deney Elemanı	Birinci Döküm Ortalama Dayanımı (MPa)	İkinci Döküm Ortalama Dayanımı (MPa)
LRH	18,6	-
LMH	19,7	25,9
LMU	18,6	23,0
LAH	18,2	24,7
LAU	18,6	23,0
MRH	22,0	-
MMH	18,9	24,7
MMU	22,0	30,7
MAH	16,6	25,9
MAU	22,0	30,7
HRH	18,0	-
HMH	17,5	21,9
HMU	18,0	28,0
HAH	17,7	23,8
HAU	18,0	28,0
HAHr	17,7	23,8

Sonradan eklenen kirişi kolona ankrajlanan elemanlarda ankraj boyuna donatılarının kolona ankrajlanmasında ve U-etriyeli kirişlerde sonradan eklenen kiriş etriyelerinin tabliyeye ankrajlanmasında ÇEKOMASTİK firmasının ürettiği “345 EA çift komponentli Epoksi Akriyat Bazlı Kimyasal Dübel” kullanılmıştır. Bu malzeme, boşluklu tuğla ve dolgulu (beton) yapılar için uygundur. Bina güçlendirmeleri ve her türlü yük dayanımı gerektiren sabit montajlama işlemi için kullanılabilir.

3.3. Deney Düzeni

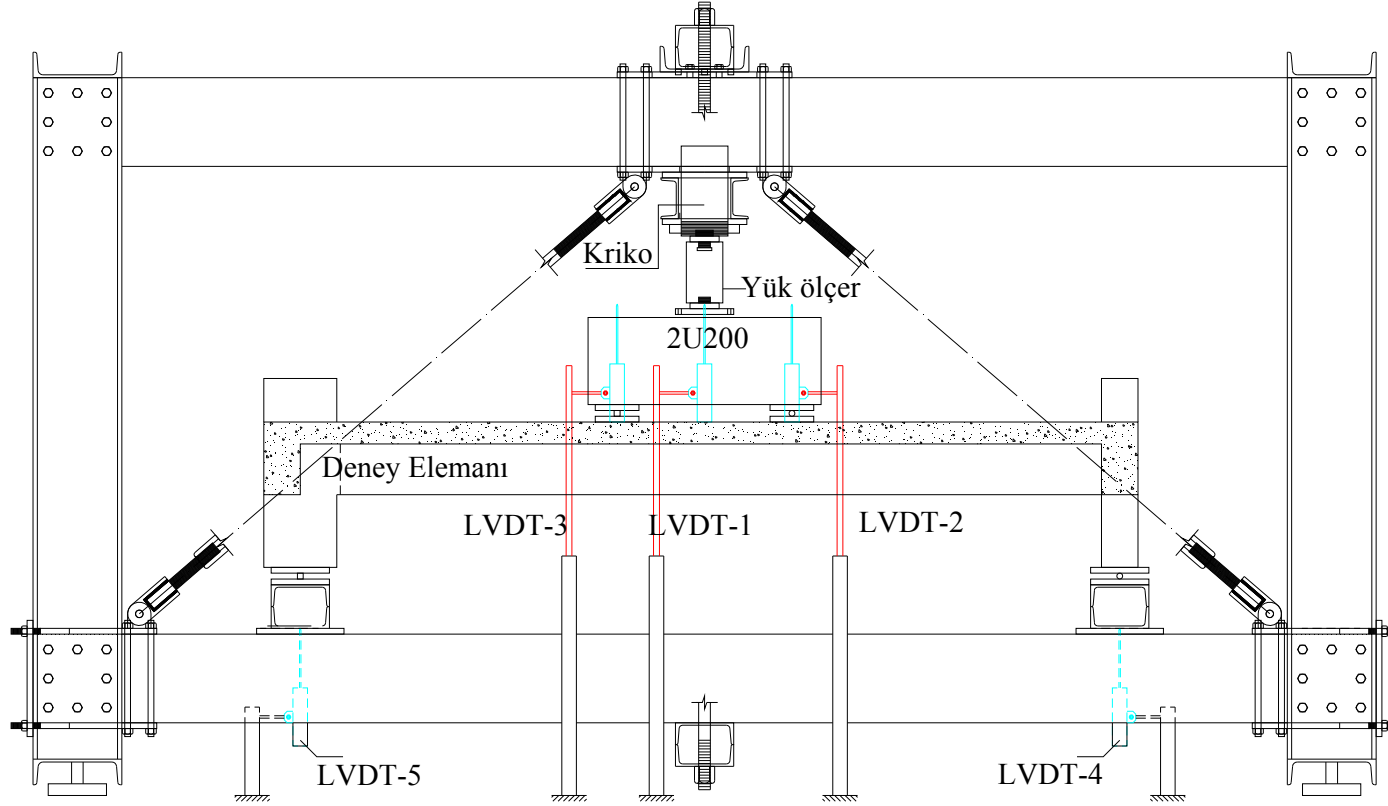
Deney elemanları Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı’nda hazırlanıp test edilmiştir. Deneylerde kullanılan yükleme çerçevesi 400 kN kapasiteli çelik bir çerçevedir. Deney kirişleri, basit mesnet şartlarına sahip olacak şekilde mesnetlenmiş ve iki noktalı yüklemeye (dört noktalı eğilme durumu) maruz bırakılmıştır (Resim 3.1). Herbir yük uygulama noktası, açıklık ortasından 300 mm uzaktadır (Şekil 3.1). Tekil yük noktaları arasındaki bu mesafe, kirişte ortaya çıkan eğilme

momenti diyagramı düzgün yayılı yükleme durumunda ortaya çıkan eğilme momenti diyagramına çok yakın olacak ve bu diyagramı kapsayacak şekilde seçilmiştir.

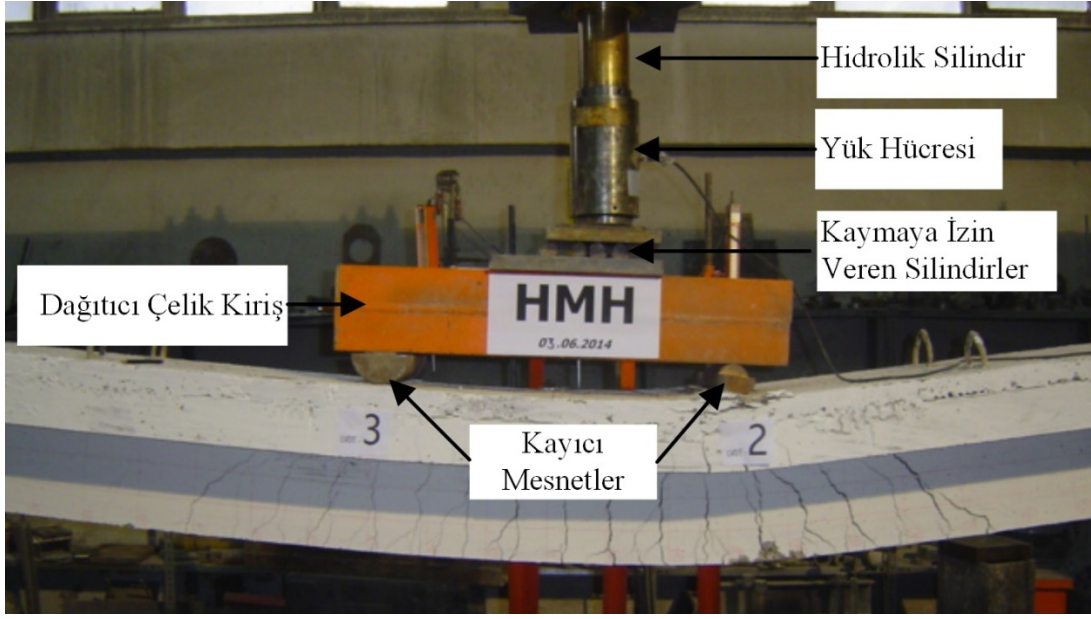


Resim 3.1. Deney düzeneği

Şekil 3.10'da gösterildiği gibi, yük hidrolik bir krikonun tarafından önce bir çelik kirişe uygulanmıştır. Bu yük dağıtıcı çelik kiriş, deney kirişlerine iki eşit tekil yük uygulanmasını sağlamıştır. Çelik kiriş, kayıcı mesnetler yardımıyla deney elemanının üzerine oturtularak yükleme mekanizmasının izostatik olması sağlanmıştır (Resim 3.2). Yük hücresi, hidrolik krikoyla çelik dağıtıcı kiriş arasına yerleştirilmiştir. Yük hücresi, çelik kiriş üzerine doğrudan oturtulmamış, yük hücresi ile dağıtıcı kiriş arasına kaymaya izin veren silindirler (Resim 3.2) yerleştirilmiştir. Bu silindirlerin kullanım amacı, deney elemanının boyuna eksenine yönündeki yerdeğiştirmelerin krikonun başlangıçtaki düşey yönelimini değiştirerek, krikoya zarar vermesini önlemektir. Son olarak, deney elemanının bir ucu kayıcı diğer ucu ise sabit mesnet üzerine oturtulmuştur.



Şekil 3.10. Deney düzeneği



Resim 3.2. Yükleme düzeneği

3.3.1. Ölçüm düzeni

Deneyler sırasında elemanların çeşitli noktalarındaki sehimleri belirlemek amacıyla 5 adet 0.01 mm hassasiyetli LVDT kullanılmıştır. Bu LVDTlere 1'den 5'e kadar numaralar verilmiştir. Şekil 3.10'da da gösterilen bu beş LVDT'nin kullanım amaçları ve özellikleri aşağıdaki gibidir:

LVDT1 (D-1): Deney elemanının açıklık ortasındaki sehimleri belirlemek amacıyla kullanılan 200 mm kapasiteli deplasman ölçerdir.

LVDT2 (D-2): Deney elemanının sağ yük uygulama noktasının altındaki sehimleri belirlemek amacıyla kullanılan 100 mm kapasiteli deplasman ölçerdir.

LVDT3 (D-3): Deney elemanının sol yük uygulama noktasının altındaki sehimleri belirlemek amacıyla kullanılan 100 mm kapasiteli deplasman ölçerdir.

LVDT4 (D-4): Deney elemanının sağ mesnetindeki oturumları belirlemek amacıyla kullanılan 50 mm kapasiteli deplasman ölçerdir.

LVDT5 (D-5): Deney elemanının sol mesnetindeki oturumları belirlemek amacıyla kullanılan 50 mm kapasiteli deplasman ölçerdir.

Deney elemanlarına uygulanan yüklerin ölçülmesinde 400 kN kapasiteli bir yük hücresi kullanılmıştır.

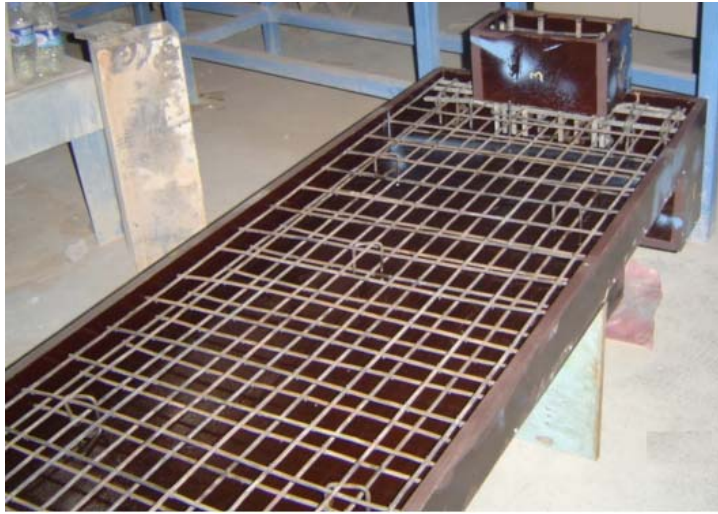
3.4. Sonradan Oluşturulan Kirişlerin Diğer Elemanlara Kenetlenmesi

Birdöküm ve sonradan oluşturulmuş kirişli elemanlarda tamamen kontrplaktan yapılmış kalıplar kullanılmıştır (Resim 3.3 ve Resim 3.4). Donatıların altına yumuşak çelikten yapılmış olan pas payı elemanları konularak kirişte zayıf bölgelerin oluşması engellenmiştir. Sonradan oluşturulmuş kirişli deney elemanlarında birinci beton dökümü esnasında dökülen döşeme, kolon ve düzlem dışı kirişlerin betonunun sertleşmesinden sonra, sonradan oluşturulan kirişin etriyelerinin döşeme içerisinden geçirilmesi için döşeme delikleri açılmıştır (Resim 3.5). Bu elemanlarda ayrıca gijonların veya ankraj donatılarının geçirilebilmesi için kolonlarda da delikler açılmış ve döşeme ve kolonlarda açılan tüm delikler iyice temizlenip tozdan arındırılmıştır. Kiriş etriyeleri döşemeye ankrajlanan U-etriyeli deney elemanlarında, etriye kolları döşeme deliklerinden geçirildikten sonra delikler epoksi ile doldurulmuştur (Resim 3.6). Tam etriyeli deney elemanlarında ise, döşeme kolları deliklerden geçirildikten sonra, bu kollar döşeme üstünde birbirlerine kaynaklanmıştır (Resim 3.7). Az ve normal donatılı LMH, LAH, MMH ve MAH elemanlarında kaynaklanan bu kollar, döşeme üstünde oluşturulan kanallara yerleştirilerek bu kanallar harç ile doldurulmuştur. Çok donatılı HMH, HAH elemanlarında ise, sonradan oluşturulan kirişin eğilme moment kapasitesini arttırabilmek için kaynaklanan bu kolların altına 2 adet Ø12 basınç donatısı yerleştirilmiş (Resim 3.7) ve döşemenin üstüne sonradan oluşturulan kirişin dökümü esnasında 30 mm kalınlığında ilave bir beton katmanı dökülmüştür.

Sonradan oluşturulmuş kirişli elemanlarda, kolon bağlantısını sağlayan gijonlar kolonlara açılmış deliklerden geçirilerek kolonun serbest yüzüne civatayla bağlanmıştır (Resim 3.6). Ankraj donatılı elemanlarda ise, ankraj donatıları kolonlardaki deliklere yerleştirilerek bu delikler epoksi ile doldurulmuştur. Son olarak, sonradan oluşturulmuş kiriş kalıpları elemana bağlanarak (Resim 3.8), ikinci beton dökümü yapılmıştır.



Resim 3.3. Birdöküm eleman kalıbı ve donatıları



Resim 3.4. Sonradan oluşturulmuş kirişli eleman kalıbı ve donatıları



Resim 3.5. Döşeme deliklerinin açılması



Resim 3.6. Etriye ve kolon bağlantı elemanlarının hazırlanması



Resim 3.7. Çok donatılı elemanlarda etriye kollarının kaynaklanması



Resim 3.8. Sonradan oluşturulmuş kirişin kalıbı

3.5. Deneyler

Bölüm 3.1’de anlatılan deney elemanlarının deney çerçevesine yerleşilmesinden sonra Şekil 3.10’da gösterilen deney düzeni, yükleme ve ölçüm aletlerinin bağlanmasıyla hazır hale getirilmiştir. Tüm ölçüm aletlerinin sıfırlanmasından sonra yüklemeye başlanmıştır. Deneyler esnasındaki yük artırım değerleri kirişin davranışına göre belirlenmiş ve deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri çizilerek elemanların davranışları düzenli olarak izlenmiştir. Deneyler esnasında, elemanlardaki çatlak gelişimleri takip edilmiş ve eleman üzerine işaretlenmiştir. Deney elemanlarının göçmesinden sonra, elemanlardaki nihai çatlak düzenleri çizilmiştir.

3.5.1. LRH elemanı (Yalın eleman) deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm olan ve 3Ø8 çekme ile 2Ø8 basınç donatısına sahip az donatılı düzlem kirişi, elemanın geri kalanıyla aynı anda dökülmüş deney elemanıdır (Resim 3.9).

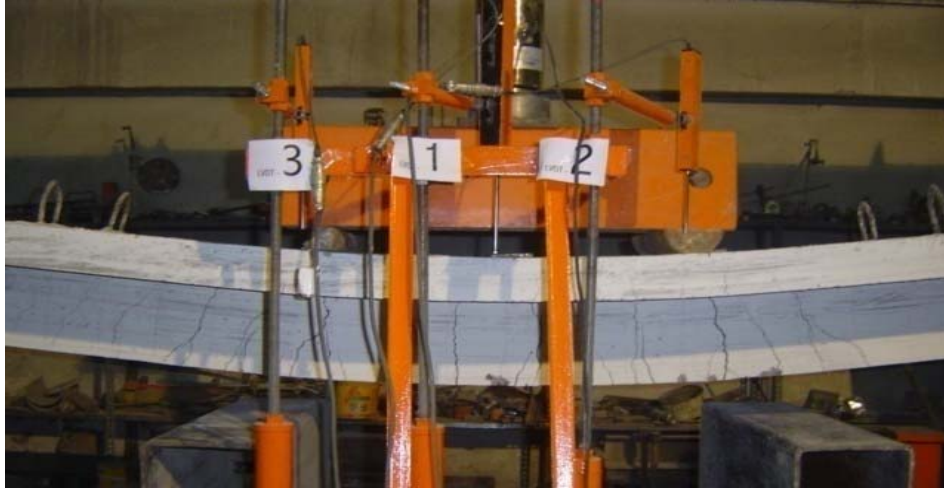


Resim 3.9. LRH deney elemanı

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 10 kN yük ve 3,66 mm sehim değerinde ilk eğilme çatlakları oluşmuştur.
- 14 kN yük ve 5,60 mm sehim değerine ulaşıldığında maksimum çatlak genişliği 0,3 mm olarak belirlenmiştir.
- 26 kN yük ve 11,50 mm sehim değerinde karakteristik çatlak genişliği 0,4 mm olarak ölçülmüştür. Deneyin bu aşamasına kadar düzlem kirişte oluşan çatlakların tümünün eğilme çatlağı olduğu ve bu eğilme çatlaklarının büyük kısmının sabit moment bölgesinde ortaya çıktığı görülmüştür.
- 29 kN yük ve 48,50 mm sehim değerinde karakteristik çatlak genişliği 1,5 mm olarak ölçülmüştür.
- 30 kN yük ve 55 mm sehim değerinde kirişte henüz bir kesme çatlağına rastlanmamış ve maksimum eğilme çatlak genişliği 2,0 mm olarak ölçülmüştür. Bu yük değerinde, tarafsız eksen derinliğinin 15 mm olduğu yani basınç bölgesinin tabliyenin içinde kaldığı belirlenmiştir.

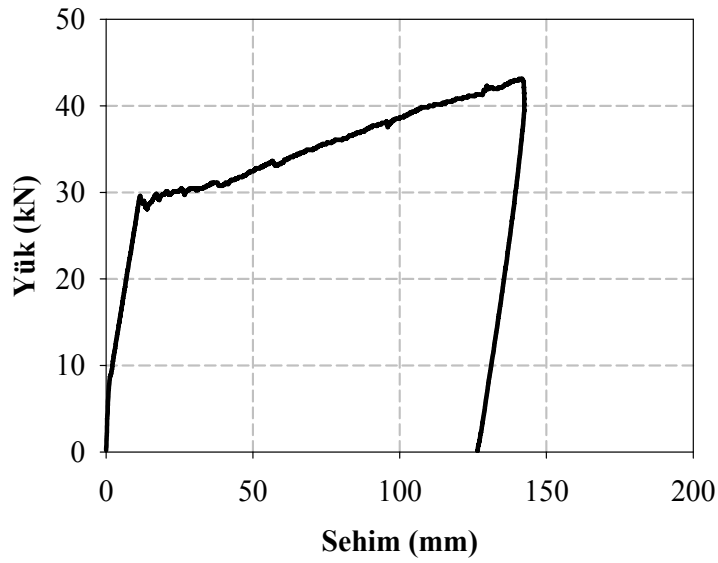
- 35 kN yük ve 100 mm sehim değerinde çatlaklar kökleşmiş durumdadır.
- 38 kN yük ve 124 mm sehim değerinde çatlakların genişliğinin 3,0-4,0 mm civarında olduğu ve çatlakların çoğunun sabit moment bölgesinde olduğu belirlenmiştir (Resim 3.10).
- 39,4 kN yük ve 142 mm sehim değerine ulaşıldığında LRH elemanı basınç yüzündeki betonun ezilmesi sonucu göçmüştür (Resim 3.11). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.11'de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



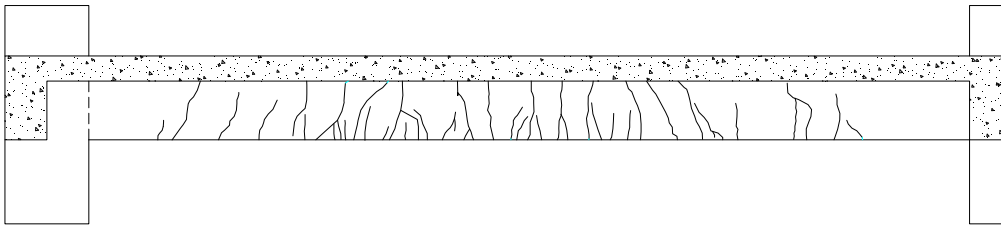
Resim 3.10. LRH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Resim 3.11. LRH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Şekil 3.11. LRH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi

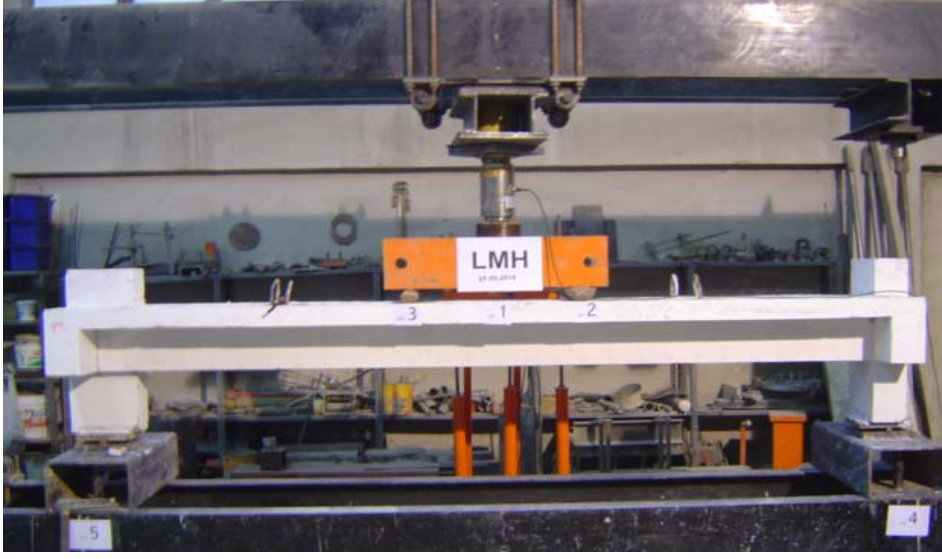


Şekil 3.12. LRH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.2. LMH elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 225 mm olan ve 3Ø8 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı 2 adet M14 gijon yardımıyla mekanik olarak yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.12).

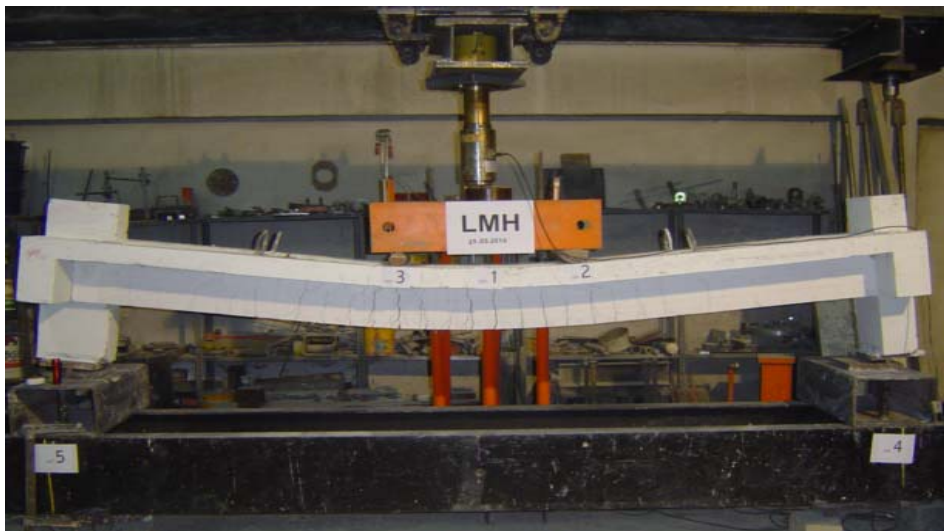


Resim 3.12. LMH deney elemanı

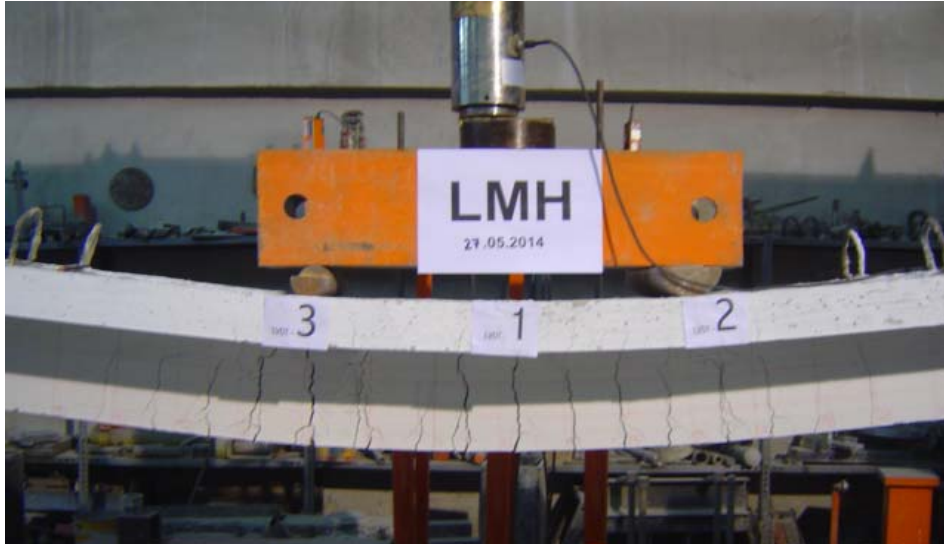
Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 5 kN yük ve 0,4 mm sehîm değeriinde elemanda henüz herhangi bir çatlak bulunmamaktadır.
- 10 kN yük ve 0,5 mm sehîm değeriinde sabit moment bölgesinde eğilme çatlakları oluşmaya başlamıştır ve maksimum çatlak genişliği yaklaşık olarak 0,3 mm olarak belirlenmiştir.
- 15 kN yük ve 3 mm sehîm değeriinde maksimum çatlak genişliği hala yaklaşık 0,3 mm kadardır.
- 22 kN yük ve 5,5 mm sehîm değeriinde tarafsız eksenin tabliyenin altına indiği belirlenmiştir.
- 30 kN yük ve 8,3 mm sehîm değeriinde karakteristik çatlak genişliğinin 0,5 mm olduğu ölçülmüştür. Çekme donatısı da aktığı için 13 ve 14 çizgileri arasındaki çatlaklar 0,7 mm genişliğe ulaşmıştır.
- 32 kN yük ve 12,5 mm sehîm değeriinde maksimum çatlak genişliği yaklaşık olarak 1,0 mm civarındadır. Bu ana kadar elemanda herhangi bir kesme çatlakğı ortaya çıkmamıştır.
- 32 kN yük ve 23 mm sehîm değeriinde maksimum çatlak genişliği 1,2 mm değerine çıkmıştır ve karakteristik çatlak genişliği yaklaşık 1 mm civarındadır. Bu yük değeriinde ara çatlakların tümü sabit moment bölgesindedir.

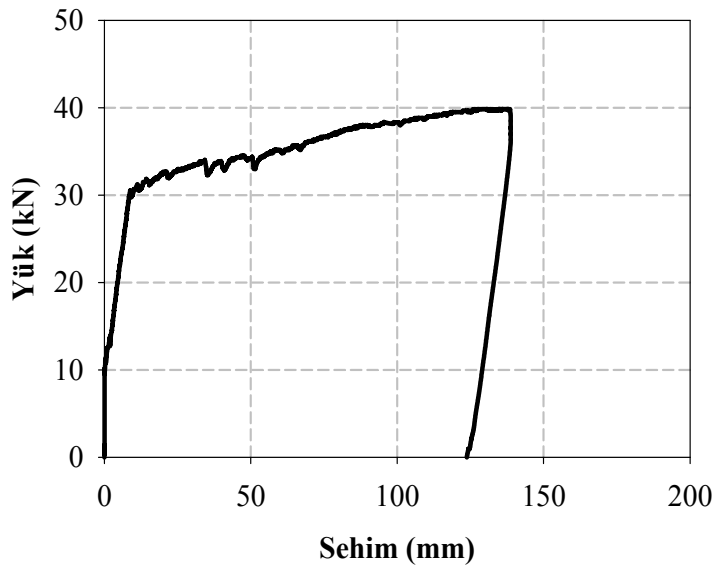
- 34 kN yük ve 31 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 1,4 mm olarak ölçülmüştür. Bu yük değerinde çatlaklar kökleşmeye başlamış durumdadır ve tarafsız eksen derinliği 30 mm olarak belirlenmiştir. Etriyelerde henüz hiçbir ayrılma ve betonda kabarma olmamıştır.
- 35 kN yük ve 45 mm sehim değerinde karakteristik çatlak genişliği 2 mm kadardır.
- 34 kN yük ve 53 mm sehim değerinde kiriş ve döşeme arasında henüz hiç bir ayrılma yoktur.
- 35 kN yük ve 55 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 2,5 mm ve karakteristik çatlak genişliği 2 mm olarak belirlenmiştir.
- 37 kN yük ve 76 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3 mm'dir. Sonradan eklenen kirişte bu ana kadar herhangi bir kesme çatlağı ortaya çıkmamıştır.
- 39 kN yük ve 100 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 4 mm, karakteristik çatlak genişliği 3 mm olarak ölçülmüştür. Artık çatlaklar iyice kökleşmiş durumdadır.
- 40 kN yük ve 125 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 5 mm, karakteristik çatlak genişliği 4 mm olarak ölçülmüştür.
- Eleman, 40 kN yük ve 138 mm sehim değerinde basınç yüzünde beton ezilmesi sonucu göçmeye ulaşmıştır (Resim 3.13 ve Resim 3.14). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.13'te ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



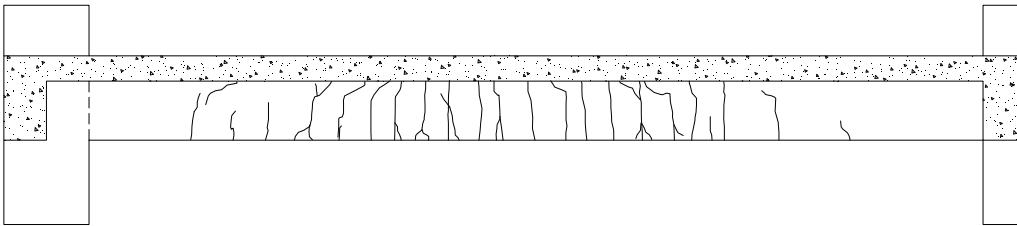
Resim 3.13. LMH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.14. LMH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.13. LMH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.14. LMH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.3. LMU elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 225 mm olan ve 3Ø8 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemeye epoksiyle ankrajlanan U-etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı 2 adet M14 gijon yardımıyla mekanik olarak yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.15).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 10 kN yük değerinde ilk eğilme çatlakları oluşmuştur.
- 24 kN yük ve 8 mm sehîm değerinde tipik çatlak genişliği 0,4 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 3.15. LMU deney elemanı

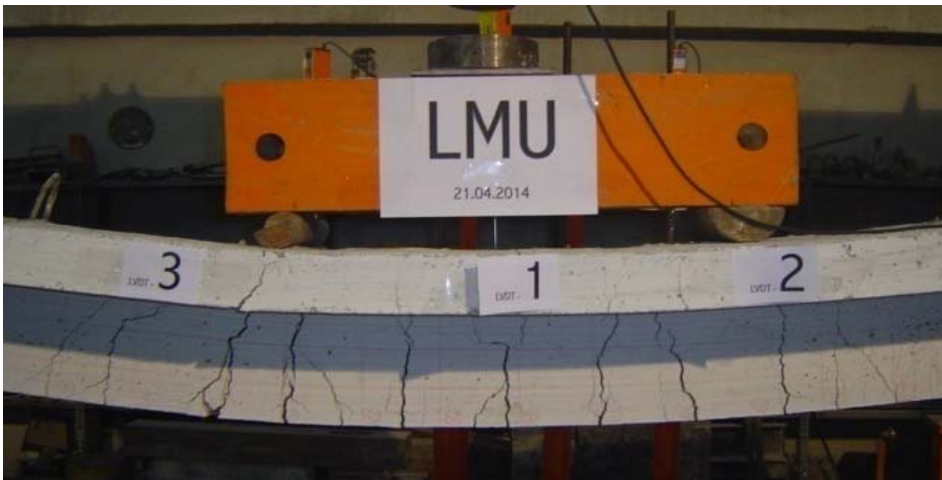
- 27 kN yük ve 13,5 mm sehîm değerinde tarafsız eksenin tabliyenin alt yüzüne ulaştığı görülmüştür.
- 27 kN yük ve 20 mm sehîm değerinde karakteristik çatlak genişliği 1,2 mm olarak ölçülmüştür.
- 30 kN yük ve 50 mm sehîm değerinde karakteristik çatlak genişliği 2 mm, maksimum çatlak genişliği 3 mm olarak ölçülmüştür. Düzlem kirişte bu aşamaya kadar oluşan ana çatlakların tamamı sabit moment bölgesindedir ve kesme çatlakların genişliği 0,2 mm değerinden küçük kalmıştır. Ayrıca, deneyin bu aşamasına kadar donatı bindirme

bölgelerinde ve sonradan oluşturan kirişin tabliye ve kolon bağlantılarında herhangi bir zayıflık etkisi görülmemiştir.

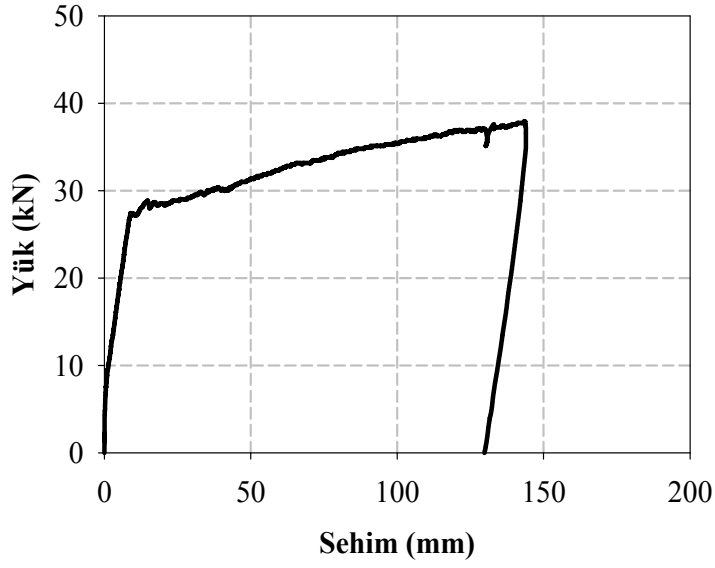
- 34 kN yük ve 101 mm sehim değerinde karakteristik çatlak genişliği 3,5 mm, maksimum çatlak genişliği 4 mm olarak ölçülmüştür.
- 36 kN yük ve 140 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 6 mm ve karakteristik çatlak genişliği 5 mm olarak belirlenmiştir. Henüz kiriş ile döşeme arasındaki bağlantılarda herhangi bir zayıflık ortaya çıkmamıştır. Bu yük değerinde kiriş sünek bir şekilde beton ezilmesi sonucu göçmüştür (Resim 3.16 ve Resim 3.17). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.15'te ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



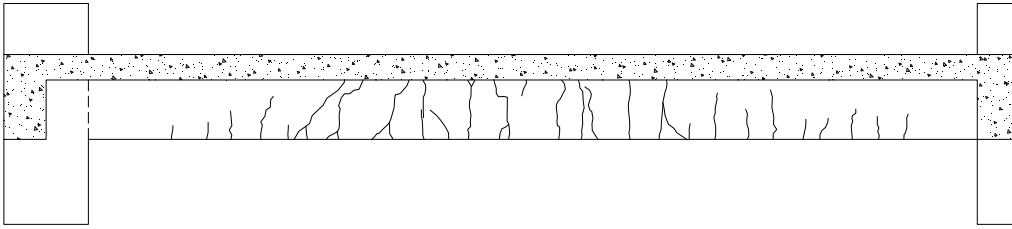
Resim 3.16. LMU deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.17. LMU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.15. LMU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.16. LMU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.4. LAH elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 3Ø8 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan 2 adet Ø8 donatı yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.18).



Resim 3.18. LAH deney elemanı

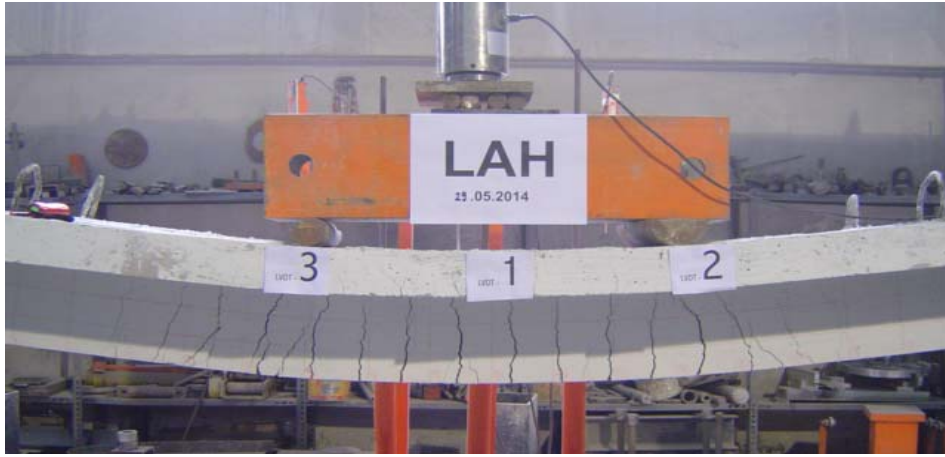
Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 11 kN yük ve 2,3 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde muhtelif çatlaklar oluşmuş durumdadır ve maksimum çatlak genişliği 0,2 mm kadardır.
- 19 kN yük ve 5,5 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 0,3 mm olarak ölçülmüştür.
- 28 kN yük ve 9,5 mm sehim değerinde çekme donatısı akmış durumdadır. Bu yük değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişliği değerleri sırasıyla 0,8 mm ve 0,3 mm olarak ölçülmüştür. Bu yük değerine kadar elemanda kesme çatlağı oluşmamıştır ve sadece eğilme çatlakları mevcuttur.
- 32 kN yük ve 32 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişliği değerleri sırasıyla 1,5 mm ve 1,0 mm olarak ölçülmüştür ve çatlaklar sabit moment bölgesindedir.
- 35 kN yük ve 66 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişliği değerleri sırasıyla 2,0 mm ve 1,5 mm olarak ölçülmüştür. Deneyin bu aşamasına kadar ankraj, etriye ve döşeme üst yüzünde herhangi bir zayıflama belirtisi yoktur.
- 38 kN yük ve 107 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3,0 mm ve karakteristik çatlak genişliği 2,0 mm olarak belirlenmiştir. Bu yük değerine kadar kesme kollarında herhangi bir çatlak oluşmamıştır ve ankrajlarda bir ayrılma ve zayıflık ortaya çıkmamıştır.

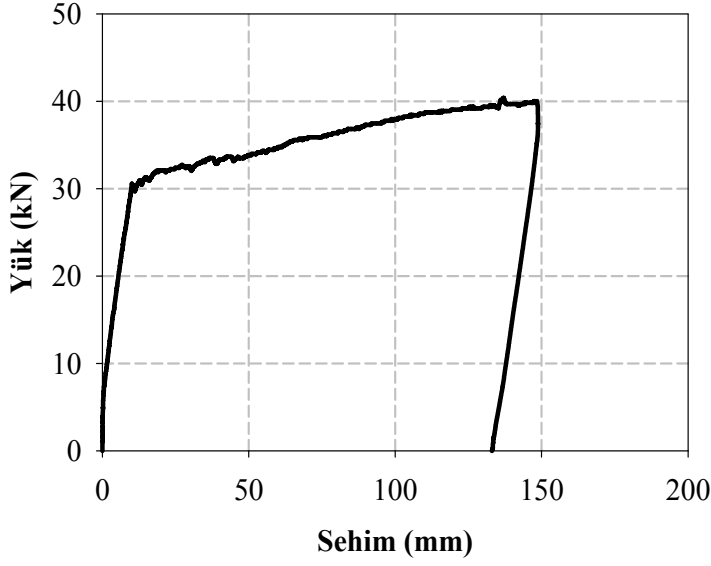
- 40 kN yük ve 148 mm sehîm değeriinde ankrajlarda, etriyelerde ve döşeme üst yüzünde herhangi bir ayrılma olmaksızın kiriş sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.19 ve Resim 3.20). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehîm eğrisi Şekil 3.17’de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



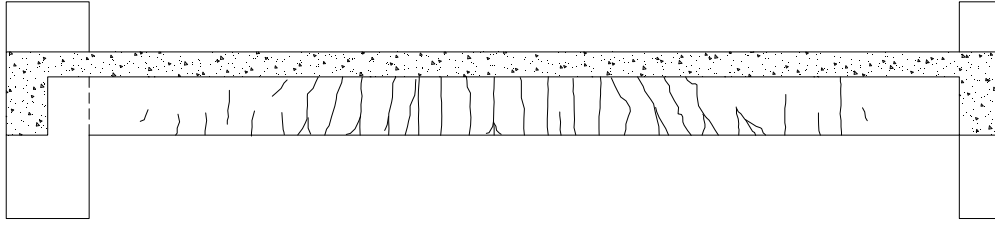
Resim 3.19. LAH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.20. LAH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.17. LAH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.18. LAH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.5. LAU elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 3Ø8 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemeye epoksi ile ankrajlanan U-etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan 2 adet Ø8 donatı yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.21).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 11 kN yük ve 2,5 mm sehim değerinde ilk eğilme çatlakları oluşmuş ve çatlakların genişliği 0,1 mm değerine ulaşmıştır.



Resim 3.21. LAU deney elemanı

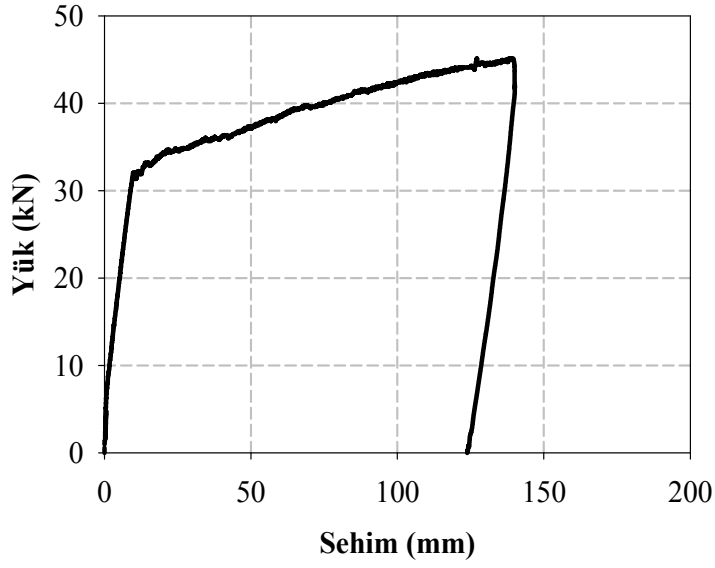
- 17 kN yük ve 4,8 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 0,3 mm olarak ölçülmüştür.
- 27 kN yük ve 8,5 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla yaklaşık 0,5 mm ve 0,4 mm kadardır.
- 30 kN yük ve 11,2 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği yaklaşık olarak 1,0 mm kadardır.
- 31 kN yük ve 13,4 mm sehim değerinde mevcut çatlakların sabit moment bölgesinde olduğu gözlemlenmiş, karakteristik çatlak genişliği 1,0 mm olarak ölçülmüştür. Düzlemsel kirişte bu yük değerine kadar herhangi bir kesme çatlağının oluşmadığı belirlenmiştir.
- 34 kN yük ve 34 mm sehim değerinde çatlakların maksimum genişliklerinin 2,0 ile 2,5 mm arasında olduğu görülmüştür.
- 34 kN yük ve 40 mm sehim değerinde eğilme çatlakları tabliyeye ulaşmıştır ve tarafsız eksen derinliği yaklaşık olarak 30 mm kadardır.
- 39 kN yük ve 83 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3,5 mm civarına ulaşmıştır.
- 39 kN yük ve 116 mm sehim değerinde boyuna donatılar ve etriyelerde herhangi bir ayrılma ve zayıflık belirtisi olmadığı gözlemlenmiştir.
- 40 kN yük ve 135 mm sehim değerinde kiriş sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.22 ve Resim 3.23). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.19'da ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



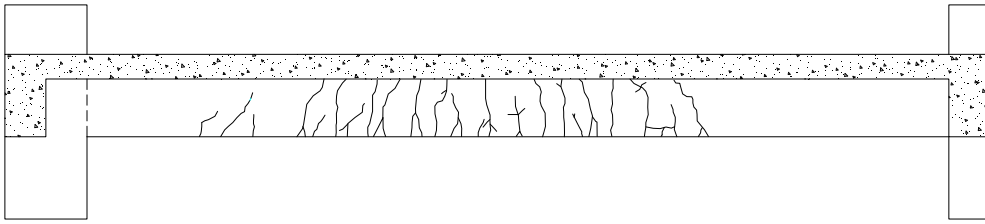
Resim 3.22. LAU deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.23. LAU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.19. LAU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.20. LAU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.6. MRH elemanı (Yalın eleman) deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm olan ve 4Ø10 çekme ile 2Ø10 basınç donatısına sahip normal donatılı düzlem kirişi, elemanın geri kalanıyla aynı anda dökülmüş deney elemanıdır (Resim 3.24).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 33 kN yük ve 6,1 mm sehim değerinde birçok eğilme çatlak oluşmuş durumdadır.

- 50 kN yük ve 10 mm sehim değerinde çatlak genişliği yaklaşık 0,1 mm kadardır. Mesnete yakın bölgelerde kesme çatlakları oluşmuştur.



Resim 3.24. MRH deney elemanı

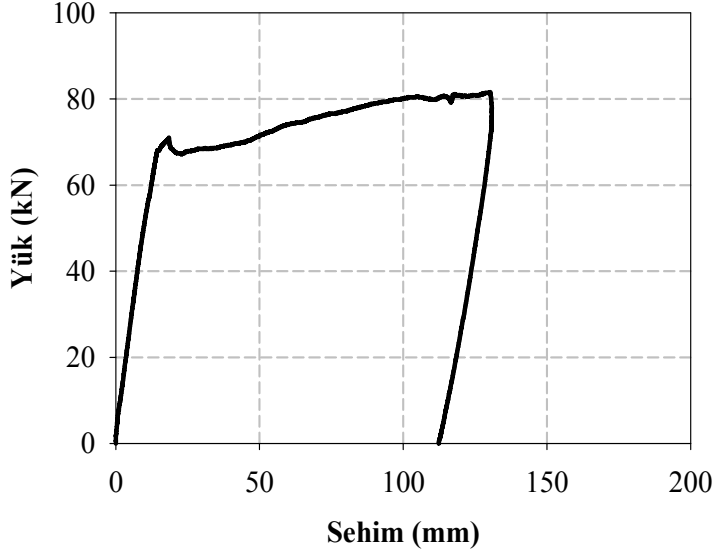
- 65 kN yük ve 14 mm sehim değerinde tarafsız eksen tabliye seviyesinin üstündedir ve sağ mesnede yaklaşık 700 mm uzakta 0,4 mm genişliği olan kesme çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir.
- 67,5 kN ve 40 mm sehim değerinde tarafsız eksen derinliği yaklaşık olarak tabliye kalınlığının yarısı kadardır.
- 69 kN ve 48,5 mm sehim değerinde yükte kısmi düşüşler yaşansa da tabliyede herhangi bir çatlak ortaya çıkmamıştır.
- 70 kN yük ve 51,9 mm sehim değerinde kirişte genişliği yaklaşık 2,0 mm olan 5-6 adet eğilme çatlağı bulunduğu saptanmıştır.
- 77,5 kN yük ve 95 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3,0-4,0 mm arasındadır ve çatlakların tümü sabit moment bölgesindedir.
- 79 kN yük ve 110 mm sehim değerinde kiriş sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.25 ve Resim 3.26). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.21’de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.22’de gösterilmektedir.



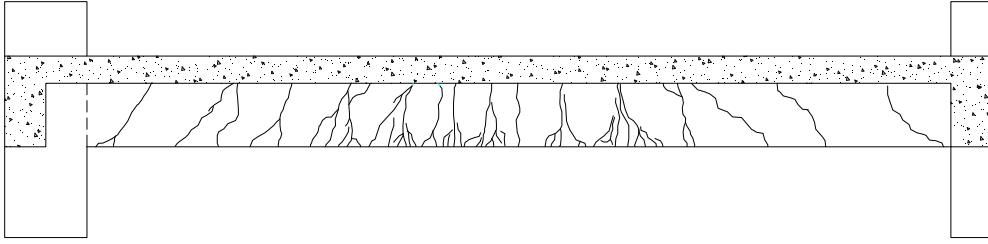
Resim 3.25. MRH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.26. MRH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.21. MRH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.22. MRH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.7. MMH elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 225 mm olan ve 4Ø10 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı 2 adet M16 gijon yardımıyla mekanik olarak yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.27).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 15 kN yük ve 1,8 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde genişlikleri 0,1 mm'den küçük ilk eğilme çatlakları ortaya çıkmıştır.



Resim 3.27. MMH deney elemanı

- 20 kN yük ve 4 mm sehim değerinde sabit moment bölgesindeki eğilme çatlaklarının genişlikleri 0,15 mm kadardır.
- 30 kN yük ve 6 mm sehim değerinde sabit moment bölgesindeki eğilme çatlaklarının maksimum genişliği 0,3 mm olarak ölçülmüştür. Bu çatlaklar tabliyenin alt yüzüne kadar ulaşmış durumdadır.
- 35 kN yük ve 7,5 mm sehim değerinde kesme kollarında henüz bir çatlak olmadığı gözlemlenmiştir.
- 45 kN yük ve 9,5 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla 0,4 ve 0,3 mm olarak ölçülmüştür.
- 50 kN yük ve 11 mm sehim değerinde elemanda henüz bir kesme çatlak yoktur.
- 56 kN yük ve 13 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla 0,4 ve 0,35 mm olarak ölçülmüştür.
- 62 kN yük ve 14,5 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 0,5 mm kadardır.
- 63 kN yük ve 15,5 mm sehim değerinde çekme donatısı akmış durumdadır ve tarafsız eksen derinliği 50 mm kadardır, yani basınç bölgesi tabliyenin içindedir.
- 66 kN yük ve 24 mm sehim değerinde kesme kolunda döşeme alt yüzünde bir ayrılma gözlemlenmiş ve kirişte küçük kesme çatlaklarının yanı sıra aderans çatlakları da ortaya çıkmıştır.
- 67 kN yük ve 41 mm sehim değerinde elemanda henüz herhangi bir zayıflama yoktur. Maksimum çatlak genişliği 1,2 mm ve karakteristik çatlak genişliği 1,0 mm olarak ölçülmüştür. Çatlakların büyük kısmı sabit moment bölgesindedir.

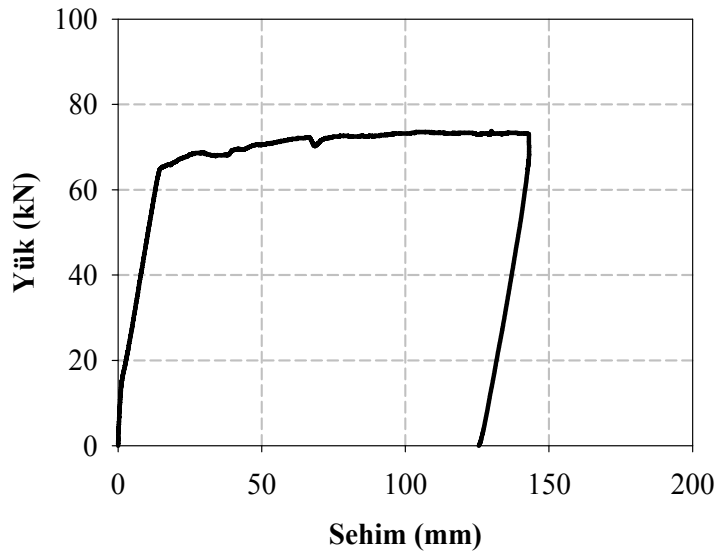
- 70 kN yük ve 63 mm sehim değerinde döşeme altındaki ayrılmalar belirginleşmiştir, ancak döşeme üst yüzünde herhangi bir kabarma yoktur. Maksimum ve karakteristik çatlak genişliği değerleri 2,0 mm olarak ölçülmüştür. Kesme kollarında ortaya çıkan kesme çatlakları sınırlı kalmıştır ve bu çatlakların genişliği 0,3 mm olarak ölçülmüştür.
- 72 kN yük ve 93 mm sehim değerinde tarafsız eksen derinliği 20 mm kadardır.
- 72 kN yük ve 105 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3 mm'dir. Döşeme alt yüzündeki ayrılma durmuş ve döşeme üst yüzünde herhangi bir kabarma ortaya çıkmamıştır.
- 72 kN yük ve 116 mm sehim değerinde mekanik ankrajlarda herhangi bir zayıflama yoktur.
- 72 kN yük ve 143 mm sehim değerinde sol yük noktası altında beton ezilmeye başlamıştır (Resim 3.28 ve Resim 3.29). Eleman göçmeye ulaşıncaya kadar döşemenin üstünde herhangi bir beton kabarması ve etriyelerde kopma olmamıştır. Sol ve sağ kesme kollarındaki kesme çatlakları genişlikleri sırasıyla 0,3 ve 0,4 mm mertebesinde kalmıştır. Yani elemanlarda eğilme davranışı baskın hale geldikten sonra kesme çatlaklarının genişlemesi çok sınırlı kalmıştır. Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.23'de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.24'de gösterilmektedir.



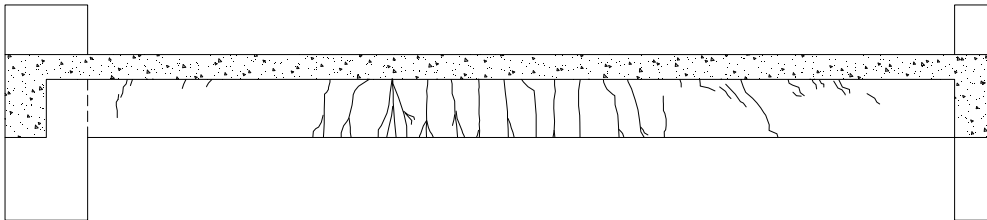
Resim 3.28. MMH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.29. MMH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.23. MMH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.24. MMH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

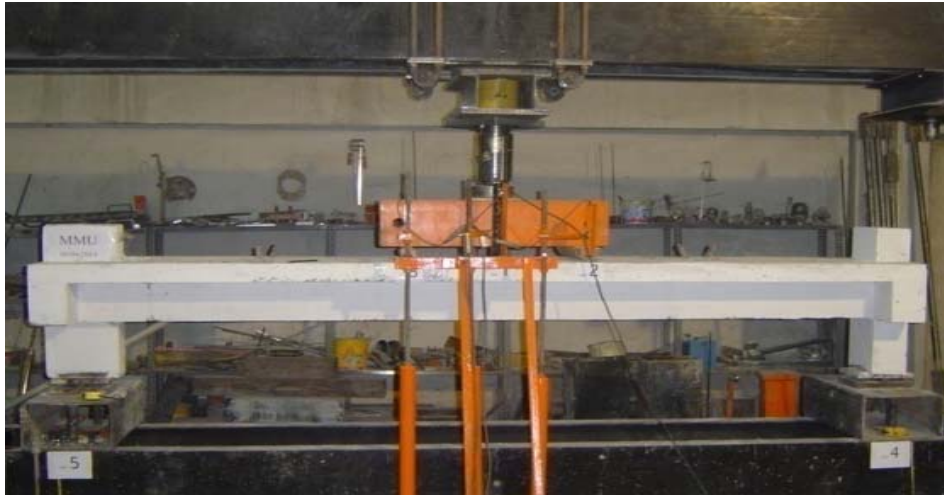
3.5.8. MMU elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 225 mm olan ve 4Ø10 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemeye epoksiyle ankrajlanan U-etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı 2 adet M16 gijon yardımıyla mekanik olarak yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.30).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

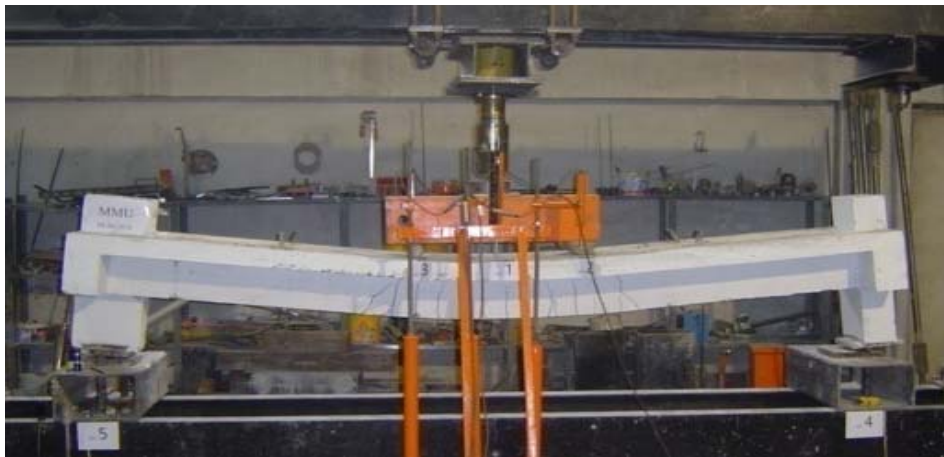
- 23 kN ve 4 mm sehîm değeriinde ilk eğilme çatlaklar oluşmuş ve bu çatlakların toplam uzunlukları 140-150 mm'ye ulaşmıştır.



Resim 3.30. MMU deney elemanı

- 35 kN yük ve 6 mm sehîm değeriinde sabit moment bölgesinde ortaya çıkan eğilme çatlaklarının genişliği yaklaşık 0,3 mm kadardır.
- 45 kN yük ve 7 mm sehîm değeriinde kirişin uzunluğu boyunca eğilme çatlakları ortaya çıkmıştır.
- 50 kN yük ve 8 mm sehîm değeriinde sol mesnede yakın bir bölgede bir kesme çatlağı oluşmuştur.
- 78 kN yük ve 14 mm sehîm değeriinde tarafsız eksen tabliye seviyesinin altındadır.
- 83 kN yük ve 20 mm sehîm değeriinde maksimum çatlak genişliği yaklaşık 1,2 mm kadardır ve bu aşamaya kadar gijonlarda herhangi bir problem ortaya çıkmamıştır.

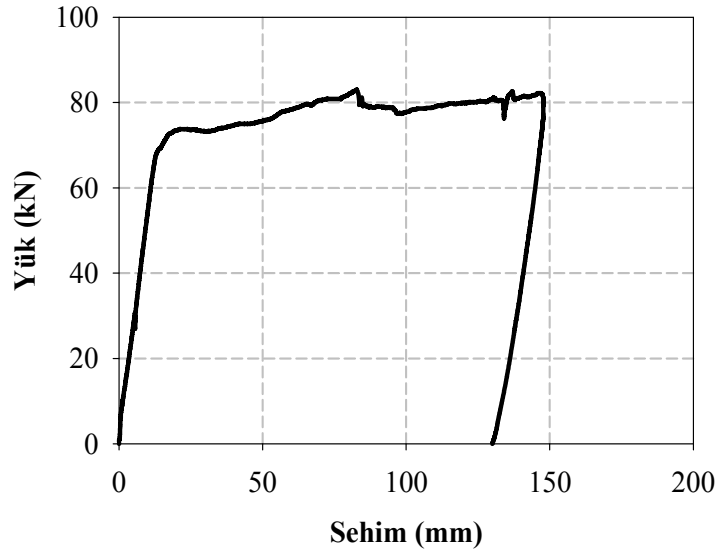
- 85 kN yük ve 47 mm sehim değerinde ankrajlarda ve gijonlarda herhangi bir zayıflama ortaya çıkmamıştır, kenetlenme problemleriyle karşılaşılmamıştır.
- 86 kN yük ve 53 mm sehim değerinde çatlakların genişliği 2,0 mm civarındadır ve kirişteki ana çatlaklar sabit moment bölgesindedir. İki yük uygulama noktası arasında yaklaşık 100 mm aralıklı ve 2,0 mm genişliğinde 9-10 adet çatlak bulunmaktadır.
- 92 kN yük ve 80 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği yaklaşık 3,0 mm kadardır. Bu yük değerinde hareketli mesnette ani bir kayma meydana geldiği için yükte sınırlı bir kayıp ortaya çıksa da daha sonra yük eski değerine çıkmıştır.
- 89 kN yük ve 95 mm sehim değerinde bindirme boylarında ve mekanik kenetlenmelerde henüz bir problem ortaya çıkmamış ve MMU elemanı referans elemandan daha iyi bir performans göstermiştir. Sağ mesnete yakın bir bölgede ortaya çıkan kesme çatlaklarının genişlikleri 0,5 mm civarında kalmıştır.
- 92 kN yük ve 149 mm sehim değerinde eleman sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.31 ve Resim 3.32). Deney elemanı, monolitik elemana (MRH) yakın bir performans göstermiştir. Kenetlenmelerde ve bindirmelerde hiçbir problem ortaya çıkmamış ve maksimum çatlak genişliği 4,0-5,0 mm civarında kalmıştır. Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.25'te ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



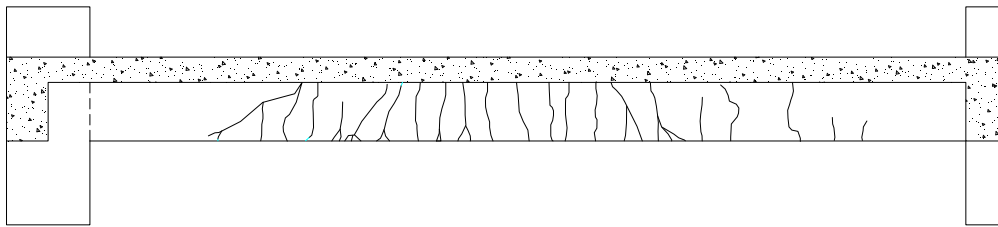
Resim 3.31. MMU deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.32. MMU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.25. MMU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.26. MMU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.9. MAH elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 4Ø10 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan 2 adet Ø10 donatı yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.33).

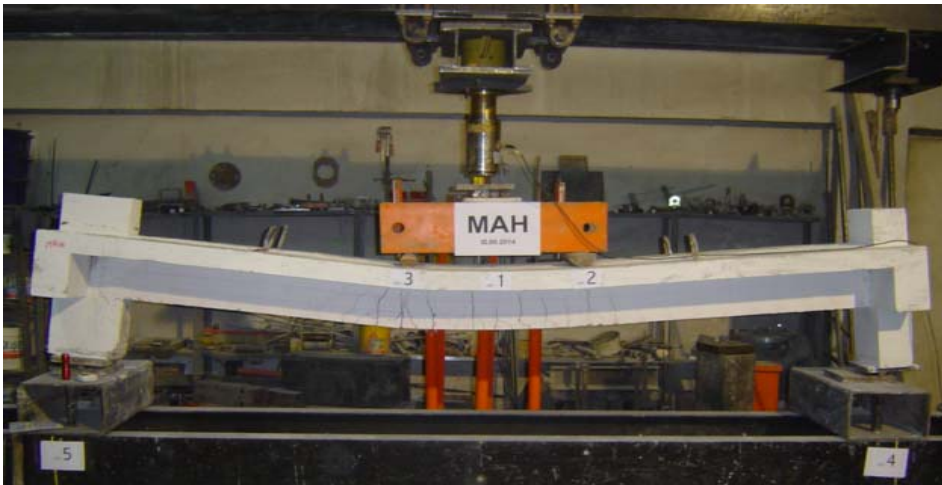


Resim 3.33. MAH deney elemanı

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 12 kN yük ve 2 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde ilk eğilme çatlakları oluşmuş ve maksimum çatlak genişliği 0,15 mm değerine ulaşmıştır.
- 35 kN yük ve 6 mm sehim değerinde tarafsız eksen tabliye seviyesinin altındadır.
- 40 kN yük ve 8 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla 0,30 ve 0,25 mm kadardır.
- 55 kN yük ve 12 mm sehim değerinde sol kolda bazı aderans çatlakları oluşmuştur.
- 62 kN yük ve 16 mm sehim değerinde boyuna donatı akmıştır.
- 65 kN yük ve 25 mm sehim değerinde sağ ve sol ankarajlar hala sağlam durumdadır ve sol kesme bölgesinde genişliği 0,5 mm olan bir kesme çatlağı yaklaşık 60 derecelik bir açıyla tabliyeye doğru ilerlemiştir.

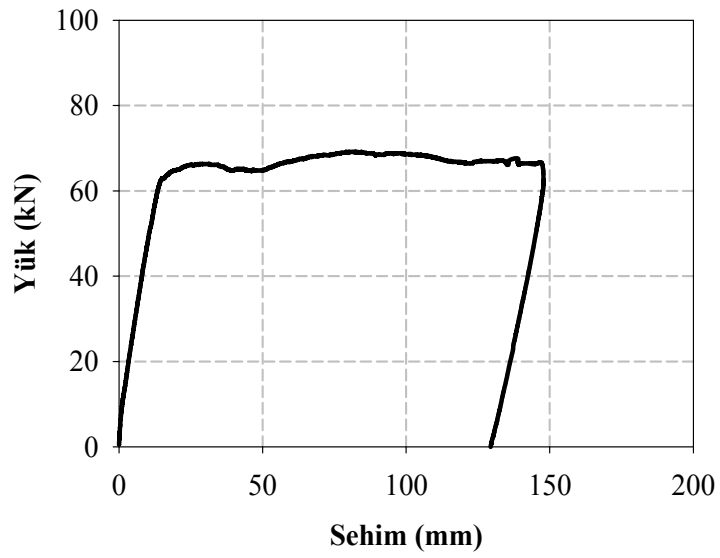
- 64 kN yük ve 40 mm sehim değerinde maksimum eğilme çatlak genişliği 3,0 mm ve maksimum kesme çatlak genişliği 0,4 mm kadardır. Deneyin bu aşamasına kadar tabliye betonunda herhangi bir kabarma ve etriyelerde herhangi bir sıyrılma gerçekleşmemiştir.
- 67 kN yük ve 62 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3,0 mm ve karakteristik çatlak genişliği 2,0 mm kadardır ve çatlaklar kökleşmiş durumdadır.
- 68 kN yük ve 70 mm sehim değerinde henüz ankrajlarda herhangi bir sıyrılma yoktur.
- 68 kN yük ve 90 mm sehim değerinde sağ ve sol ankrajlar ile etriyelerde bir sıyrılma ve döşeme üstündeki betonda herhangi bir kabarma olmamıştır ve tarafsız eksen derinliği yaklaşık 20 mm kadardır.
- 67 kN yük ve 115 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 4,0 mm ve karakteristik çatlak genişliği 3,0 mm olarak ölçülmüştür. Sol kesme kolundaki maksimum kesme çatlak genişliği yaklaşık 0,6 mm olarak belirlenmiştir.
- 67 kN yük ve 130 mm sehim değerinde sağ kesme kolu göreceli olarak sol koldan daha az çatlamış durumdadır.
- 67 kN yük ve 148 mm sehim değerinde maksimum eğilme çatlak genişliği 6,0 mm, karakteristik eğilme çatlak genişliği 5,0 mm ve maksimum kesme çatlak genişliği 0,6 mm olarak ölçülmüştür. Bu yük ve sehim değerinde betonda hiçbir kabarma, etriye ve ankrajlarda hiçbir sıyrılma olmadan eleman sünek bir biçimde beton ezilmesi sonucu göçmüştür (Resim 3.34 ve Resim 3.35). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.27’de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.28’de gösterilmektedir.



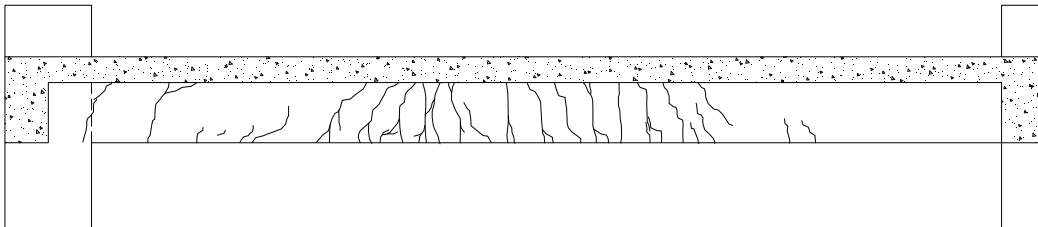
Resim 3.34. MAH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.35. MAH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.27. MAH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.28. MAH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.10. MAU elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 4Ø10 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemeye epoksi ile ankrajlanan U-etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan 2 adet Ø10 donatı yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.36).



Resim 3.36. MAU deney elemanı

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 19 kN yük ve 4 mm sehim değerinde eğilme ve kesme çatlakları oluşmuş durumdadır.
- 29 kN yük ve 6 mm sehim değerinde çatlak genişliği 0,1 mm civarındadır.
- 57 kN yük ve 14 mm sehim değerinde tarafsız eksen henüz tabliye seviyesinin üstüne çıkmamıştır.
- 75 kN yük ve 24 mm sehim değerinde tarafsız eksen tabliyenin orta yüksekliğine kadar ulaşmıştır.
- 71 kN yük ve 30 mm sehim değerinde yük noktasının hemen solunda aderans çatlakları ortaya çıkmıştır.
- 74 kN yük ve 63 mm sehim değerinde ana eğilme çatlakları sabit moment bölgesindedir ve bu çatlakların genişliği 2,0 mm dolayındadır.
- 76 kN yük ve 66 mm sehim değerinde tarafsız eksen derinliği 30 mm kadardır.

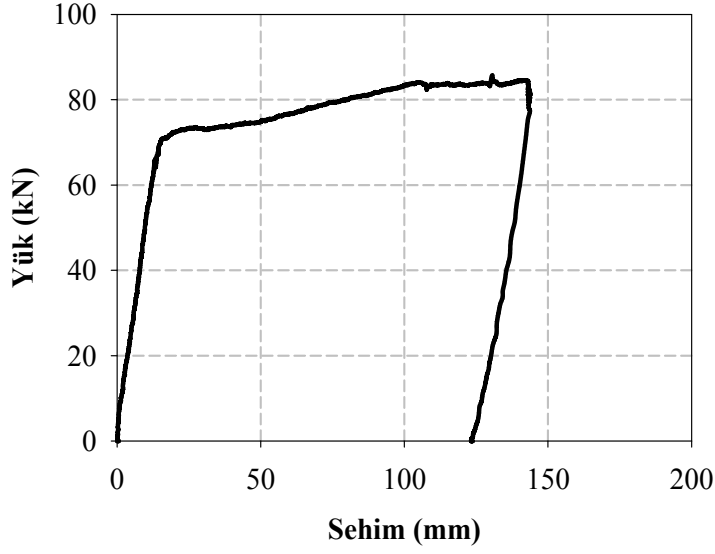
- 80 kN yük ve 90 mm sehim değerinde ankarajlarda herhangi bir ezilme ve döşeme ile sonradan oluşturulan kiriş arasında herhangi bir ayrılma yoktur. Sonradan eklenen kirişte genişlikleri yaklaşık 3,0 mm civarında olan 6 adet ana eğilme çatlakı bulunmaktadır.
- 82 kN yük ve 110 mm sehim değerinde kirişin sol kolunda yatayla yaklaşık 45 derece açı yapan bir kesme çatlakı oluşmuş ve bu çatlakın genişliği 0,5 mm civarına ulaşmıştır.
- Eleman, 83 kN yük ve 143 mm sehim değerinde sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.37 ve Resim 3.38). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.29'da ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.30'da gösterilmektedir.



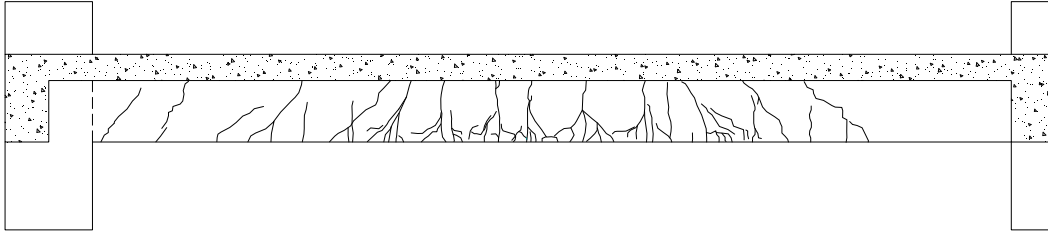
Resim 3.37. MAU deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.38. MAU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.29. MAU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.30. MAU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.11. HRH elemanı (Yalın eleman) deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm olan ve 4Ø12 çekme ile 2Ø12 basınç donatısına sahip çok donatılı düzlem kirişi, elemanın geri kalanıyla aynı anda dökülmüş deney elemanıdır (Resim 3.39).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 15 kN yük ve 3 mm sehim değerinde düzlemsel kirişin sol yarısında genişliği 0,2 mm olan ilk eğilme çatlakları ortaya çıkmıştır.

- 50 kN yük ve 10 mm sehim değerinde genişliği 0,3 mm olan ilk kesme çatlakları oluşmuştur.
- 60 kN yük ve 30 mm sehim değerinde yeni kesme çatlakları oluşmuş ve eğilme çatlakları tabliyeye ulaşmıştır.



Resim 3.39. HRH deney elemanı

- 75 kN yük ve 14 mm sehim değerinde sağ mesnede yakın bir bölgede yeni bir kesme çatlak ortaya çıkmıştır. Bu aşamada kirişteki kesme çatlaklarının genişliği 0,5 mm'ye ulaşmıştır.
- 92 kN yük ve 20 mm sehim değerinde çekme donatısı akmış durumdadır ve kesme çatlaklarının genişlikleri 0,5 mm'ye, sabit moment bölgesindeki eğilme çatlaklarının genişlikleri 0,6 mm'ye ulaşmıştır.
- 95 kN yük ve 28 mm sehim değerinde maksimum eğilme ve kesme çatlak genişlikleri sırasıyla 1,5 ve 0,6 mm olarak ölçülmüştür.
- 100 kN yük ve 26 mm sehim değerinde tarafsız eksen derinliği yaklaşık 40 mm olduğu için basınç bölgesi tabliyenin içindedir.
- 110 kN yük ve 82 mm sehim değerinde eğilme çatlaklarının genişliği 2,5 mm değerine ulaşmıştır. Kirişte sol yük uygulama noktasına yakın bir bölgede oluşan kesme çatlaklarının genişliği 3,0 mm civarına ulaşmış durumdadır. Deneyin bu aşamasında kirişte oluşan tüm çatlaklar eğilme bölgesine ilerleyip orda birleşmektedir.

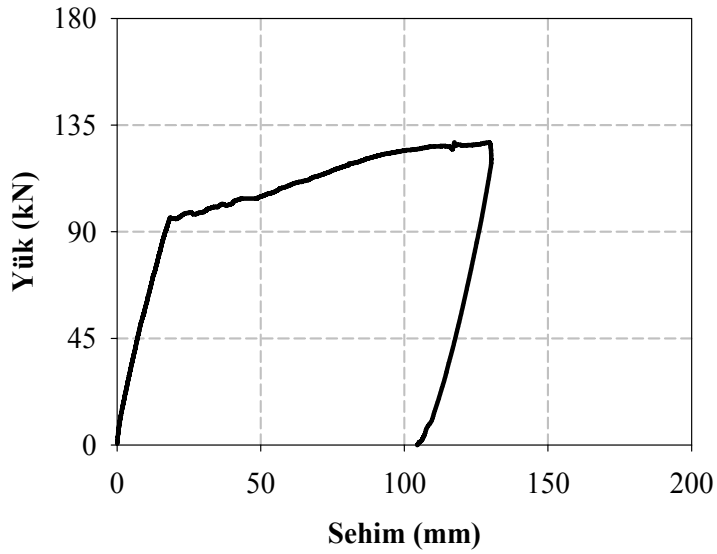
- 118 kN yük ve 110 mm sehim değerinde sol yük noktası altında betonda ezilme başlamıştır. Bu yük değerinde sağ yük uygulama noktası altında da beton ezilmesinin başlamak üzere olduğu gözlemlenmiştir.
- 118 kN yük ve 130 mm sehim değerinde maksimum eğilme ve kesme çatlak genişliği sırasıyla 3,5 ve 3,0 mm olarak belirlenmiştir.
- 119 kN yük ve 124 mm sehim değerinde sol yük uygulama noktası altındaki beton ezilmesi ilerlemiştir.
- 120 kN yük ve 130 mm sehim değerinde kiriş sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.40 ve Resim 3.41). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.31’de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.32’de gösterilmektedir.



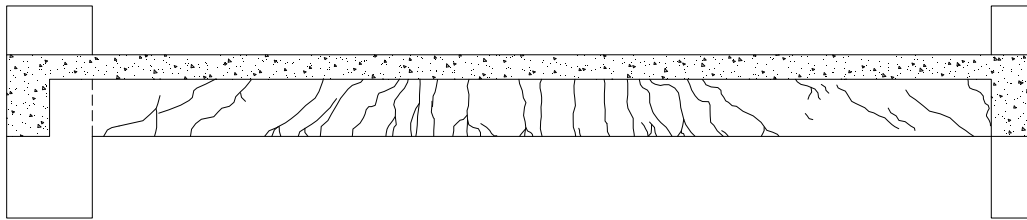
Resim 3.40. HRH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.41. HRH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.31. HRH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.32. HRH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.12. HMH elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 225 mm olan ve 4Ø12 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı 2 adet M20 gijon yardımıyla mekanik olarak yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.42).



Resim 3.42. HMH deney elemanı

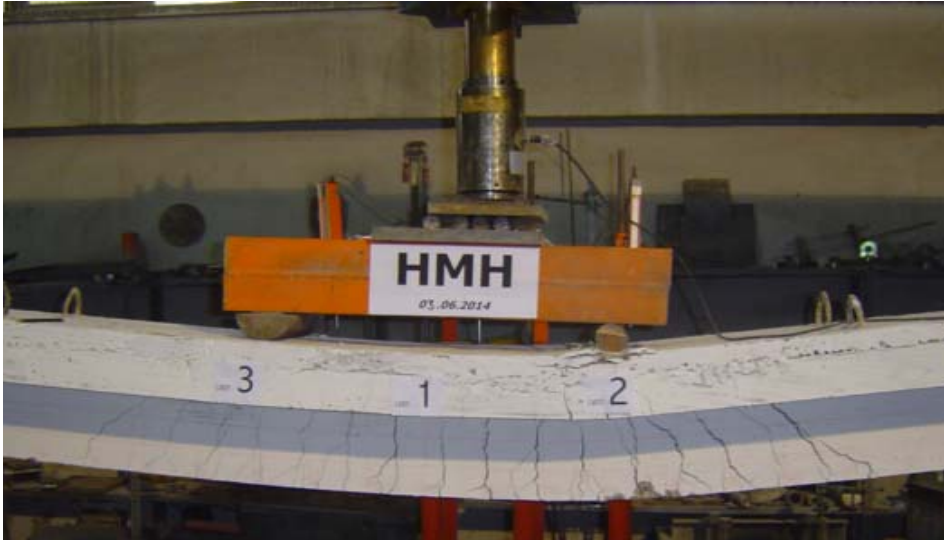
Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 19 kN yük ve 1 mm sehim değerinde eğilme bölgesinde ilk çatlaklar oluşmuş durumdadır. Bu aşamada maksimum çatlak genişliği 0,2 mm kadardır.
- 48 kN yük ve 5 mm sehim değerinde sağ ve sol kesme kollarında kesme çatlakları bulunmamaktadır. Maksimum ve karakteristik eğilme çatlak genişliği 0,4 ve 0,2 mm olarak ölçülmüştür.
- 95 kN yük ve 12 mm sehim değerinde sağ ve sol kesme açıklıklarında henüz kesme çatlakları bulunmamaktadır ve maksimum çatlak genişliği 0,4 mm kadardır.
- 109 kN yük ve 16 mm sehim değerinde çekme donatısı akmış durumdadır. Sağ ve sol kesme kollarında kesme çatlakları oluşmuştur ve sınırlı sayıda olan bu çatlakların genişlikleri 0,4 mm civarındadır.
- 118 kN yük ve 26 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik eğilme çatlak genişlikleri 1,4 ve 1,2 mm civarındadır. Eğilme çatlakları sabit moment bölgesinde yer almaktadır.
- 125 kN yük ve 50 mm sehim değerinde sağ ve sol kesme bölgelerindeki hasar oldukça sınırlıdır. Eğilme çatlaklarının maksimum ve karakteristik genişlik değerleri sırasıyla 2,5 ve 2,0 mm kadardır.
- 142 kN yük ve 72 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 2,5 mm olarak ölçülmüştür. Deneyin bu aşamasına kadar kesme kollarındaki hasar çok sınırlı seviyelerde kalmıştır.

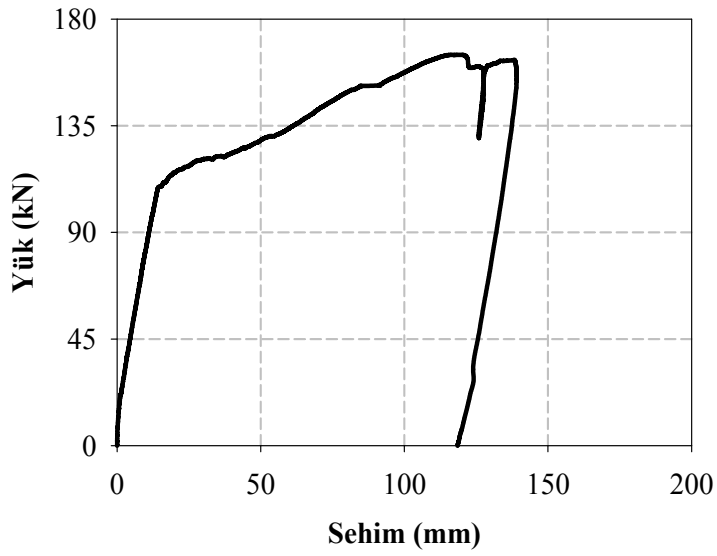
- 152 kN yük ve 92 mm sehim değerinde döşeme üstünde henüz hiçbir kabarma olmadığı tespit edilmiştir.
- 158 kN yük ve 103 mm sehim değerinde sağ yük uygulama noktasında beton ezilmesi başlamıştır.
- 164 kN yük ve 117 mm sehim değerinde sağ kesme bölgesinde yük uygulama noktası çevresindeki kesme çatlakları ilerlemeye ve genişlemeye devam etmektedir.
- 159 kN yük ve 140 mm sehim değerinde eleman taşıma gücüne ulaşmıştır. Bu yük değerine kadar sağ ve sol gijonlar ile etriyelerde herhangi bir sıyrılma olmamış, döşemede kabarmalar meydana gelmemiş ve eleman sağ yük uygulama noktası çevresindeki beton ezilmesi sonucu sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.43 ve Resim 3.44). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.33'te ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.34'te gösterilmektedir.
- Bu deneye kadar yapılan deneylerde, kirişin sağ mesneti ile yük dağıtıcı çelik kirişin deney elemanına oturduğu sol mesnet sabit, diğer mesnetler hareketli mesnet seçilmişti. Bu deneyde ise elemanın sol mesneti ile yük dağıtıcı kirişin sağ mesneti hareketli, diğer iki mesnet sabit seçilerek, mesnetlerin yerlerinin değiştirilmesinin eleman davranışında farklılık ortaya çıkarıp çıkarmadığı incelenmiştir.



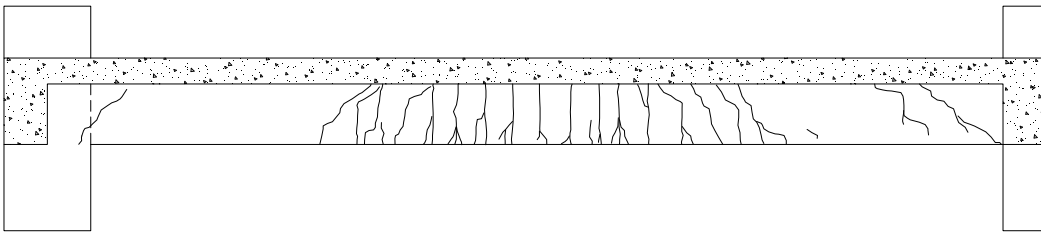
Resim 3.43. HMH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.44. HMH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.33. HMH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.34. HMH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.13. HMU elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 225 mm olan ve 4Ø12 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemeye epoksiyle ankrajlanan U-etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı 2 adet M20 gijon yardımıyla mekanik olarak yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.45).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 15 kN yük ve 1 mm sehim değerinde genişliği 0,1 mm olan eğilme çatlakları oluşmuştur.



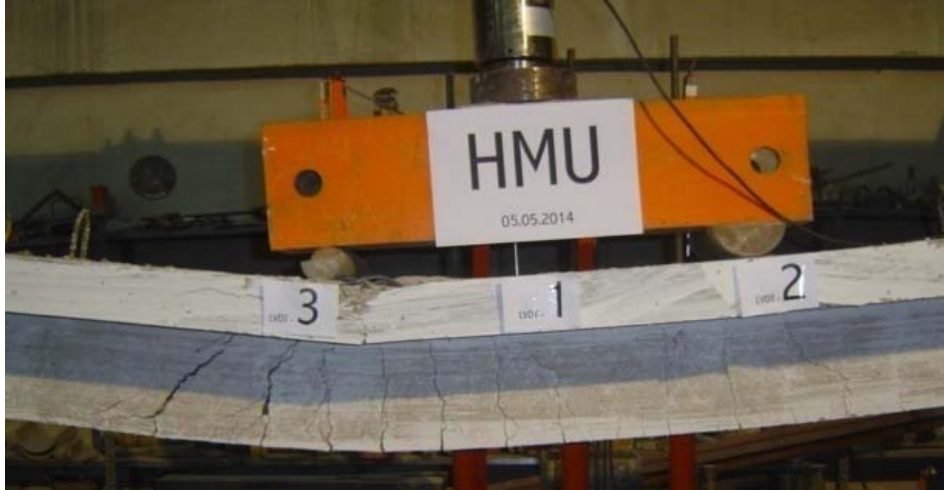
Resim 3.45. HMU deney elemanı

- 33 kN yük ve 4 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde maksimum çatlak genişliği 1,0 mm olarak belirlenmiştir.
- 50 kN yük ve 7 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde karakteristik çatlak 0,2 mm olarak ölçülmüştür.
- 55 kN yük ve 8 mm sehim değerinde deney elemanında kesme çatlağı bulunmamaktadır.
- 70 kN yük ve 11 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde maksimum eğilme çatlak genişliği 0,3 mm ve kesme çatlağı genişliği 0,1 mm olarak ölçülmüştür.
- 94 kN yük ve 19 mm sehim değerinde sabit moment bölgesindeki eğilme çatlaklarının genişliği 0,3-0,8 mm arasında, kesme çatlaklarının genişliği 0,4 mm'dir.

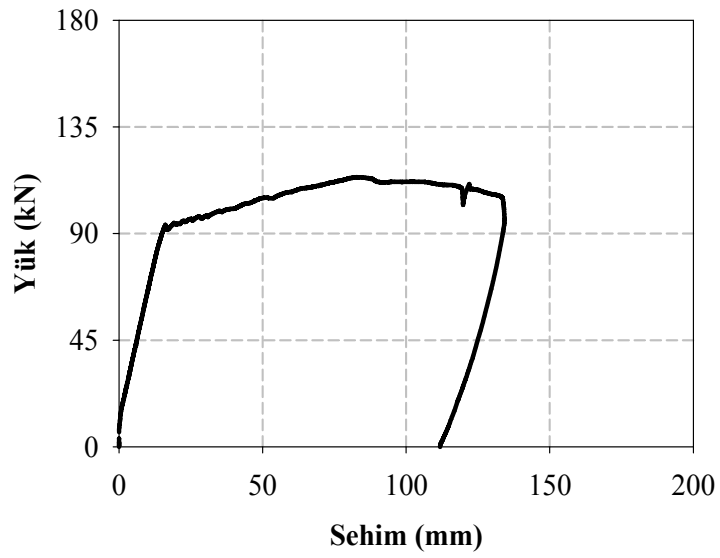
- 97 kN yük ve 28 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde maksimum çatlak genişliği 0,8 mm olarak belirlenmiştir.
- 100 kN yük ve 38 mm sehim değerinde sol kesme kolundaki kesme çatlak sayısı sınırlıdır ve sabit moment bölgesinde maksimum çatlak genişliği 1,0 mm ve tarafsız eksen derinliği 40 mm olarak belirlenmiştir.
- 107 kN yük ve 57 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde maksimum çatlak genişliği 1,2 mm ve tarafsız eksen derinliği 30 mm, sol kesme açıklığındaki kesme çatlak genişliği 0,35 mm olarak ölçülmüştür.
- 113 kN yük ve 85 mm sehim değerinde sol yük noktasının altında beton ezilmesi başlamıştır.
- 112,5 kN yük ve 94 mm sehim değerinde sol yük noktasındaki ezilme devam etmiştir. Deneyin bu aşamasına kadar etriyelerde ve mekanik ankrajlarda herhangi bir sorun ortaya çıkmamıştır. Sabit moment bölgesindeki eğilme çatlak genişliği 1,5 mm olarak ölçülmüştür.
- 110 kN yük ve 110 mm sehim değerinde döşeme donatıları burkulmuş durumdadır.
- 106 kN yük ve 135 mm sehim değerinde yük uygulama noktasının altındaki beton ezilmesi sonucu düzlemsel kiriş sünek bir biçimde göçmüştür (Resim 3.46 ve Resim 3.47). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.35'te ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



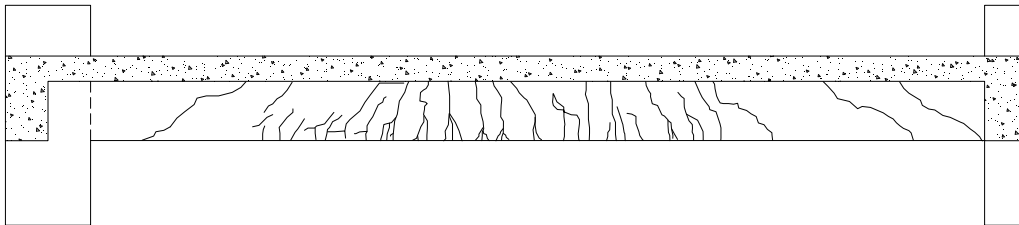
Resim 3.46. HMU deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.47. HMU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.35. HMU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.36. HMU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.14. HAH elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 4Ø12 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan 2 adet Ø12 donatı yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.48).



Resim 3.48. HAH deney elemanı

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 20 kN yük ve 2 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur.
- 62 kN yük ve 7,5 mm sehim değerinde sağ kesme kolunda sınırlı sayıda kesme çatlakları oluşmuştur.
- 67 kN yük ve 8 mm sehim değerinde sol kesme açıklığında 0,4 mm genişliği olan kesme çatlakları ortaya çıkmıştır.
- 75 kN yük ve 10 mm sehim değerinde sol kesme açıklığında kolon yüzünden başlayan ve yatayla 45 derecelik bir açı yapan bir kesme çatlakları ortaya çıkmıştır. Bu aşamaya kadar ankrajlarda herhangi bir sorun yoktur.

- 110 kN yük ve 17,5 mm sehim değerinde çekme donatısı akmıştır. Sağ kesme kolunda 4 adet kesme çatlak bulunmaktadır ve bu çatlakların maksimum genişliği 1,0 mm kadardır.
- 115 kN yük ve 30 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde maksimum çatlak genişliği 1,2 mm ve karakteristik çatlak genişliği 1,0 mm olarak ölçülmüştür. Sağ kesme açıklığında maksimum kesme çatlak genişliği 1,0 mm, sol kesme açıklığında ise 0,9 mm olarak belirlenmiştir.
- 120 kN yük ve 45 mm sehim değerinde sağ ve sol ankrajlarda henüz bir sorun ortaya çıkmamıştır.
- 122 kN yük ve 47 mm sehim değerinde sol ankrajda sıyrılma başlamıştır.
- 125 kN yük ve 58 mm sehim değerinde ankraj donatılarının kenetlenme boyu yetersiz kaldığı için eleman kesmeden göçmüştür (Resim 3.49-3.51). Ankraj donatısının kenetlenme bölgesinde yaklaşık 35 mm genişliği olan bir kesme çatlak ortaya çıkmış ve bu bölgedeki beton ezilmiştir.
- 70 kN yük ve 105 mm sehim değerinde kenetlenme bölgesinde genişliği 30 mm olan büyük bir kırık bulunmaktadır ve bu sebeple bu bölgedeki beton ezilmiştir.
- 4.5 kN yük ve 128 mm sehim değerinde eleman mesnetlerden kaymıştır. Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.37'de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.38'de gösterilmektedir.



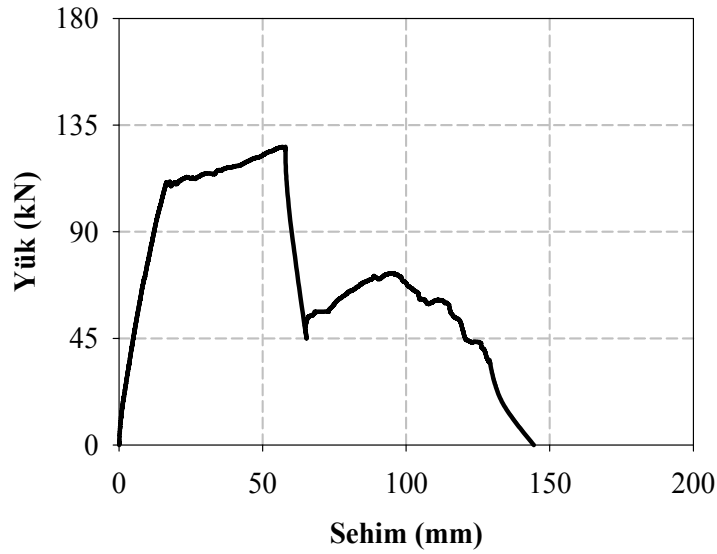
Resim 3.49. HAH deney elemanının deney sonrası hasar durumu



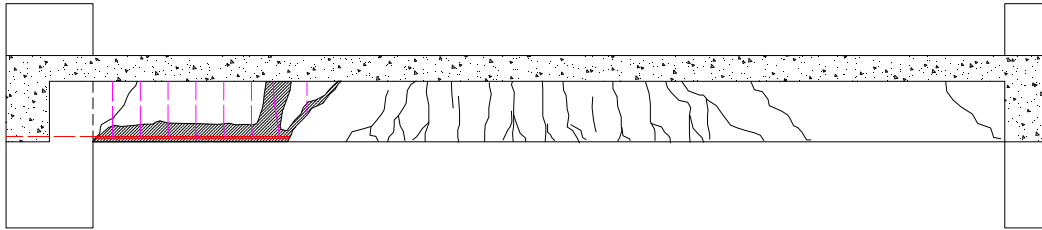
Resim 3.50. HAH elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Resim 3.51. HAH elemanında meydana gelen kesme çatlakları



Şekil 3.37. HAH deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.38. HAH deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.15. HAU elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 4Ø12 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemeye epoksi ile ankrajlanan U-etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan 2 adet Ø12 donatı yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.52).

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 20 kN yük ve 2,3 mm sehim değerinde kirişin sol yarısında genişlikleri 0,1 mm'den küçük olan ilk eğilme çatlakları ortaya çıkmıştır.



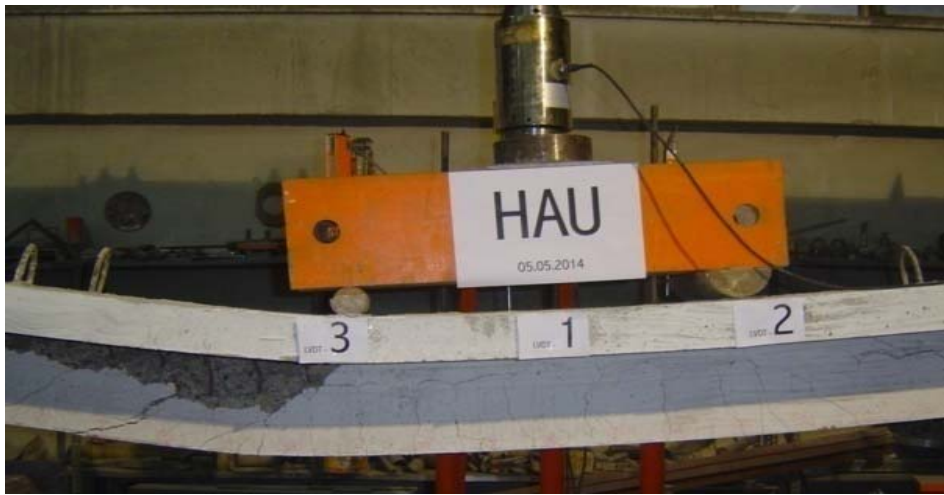
Resim 3.52. HAU deney elemanı

- 40 kN yük ve 5,7 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 0,1 mm olarak ölçülmüştür. Deneyin bu aşamasına kadar kirişte kesme çatlak bulunmamaktadır.
- 52 kN yük ve 8 mm sehim değerinde sabit moment bölgesinde eğilme çatlakları bulunmaktadır.
- 70 kN yük ve 12 mm sehim değerinde sağ mesnede 100 mm uzaklıkta bir kesme çatlak oluşmuş ve bu çatlak genişliği 0,6 mm değerine ulaşmıştır.
- 88 kN yük ve 17 mm sehim değerinde sağ kesme açıklığındaki kesme çatlak genişliği 0,9 mm değerine ulaşmıştır.
- 95 kN yük ve 20 mm sehim değerinde sol kesme kolunda da sağ kesme kolu gibi bir kesme çatlak ortaya çıkmış ve bu çatlak genişliği 0,4 mm değerine ulaşmıştır.
- 97 kN yük ve 26 mm sehim değerinde sabit moment bölgesindeki eğilme, sol kesme kolundaki kesme ve sağ kesme kolundaki kesme çatlaklarının genişlikleri sırasıyla 1,0; 1,3; ve 1,8 mm olarak belirlenmiştir.
- 102 kN yük ve 42 mm sehim değerinde karakteristik eğilme çatlak genişliği 1,0 mm kadardır.
- 105 kN yük ve 56 mm sehim değerinde tarafsız eksen derinliği 30 mm dolayındadır.
- 110 kN yük ve 69 mm sehim değerinde sağ kesme çatlak genişliği 1,5 mm değerine ulaşmıştır ve bu anda yükte ani bir düşüş ortaya çıkmıştır.

- 85 kN yük ve 80 mm sehîm değeriinde deney elemanı kesmeden göçmüştür (Resim 3.53-3.54). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehîm eğrisi Şekil 3.39'da ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.40'ta gösterilmektedir. Sol mesnetten 200 mm kadar uzakta oluşan bir kesme çatlakđ yaklaşık 45 derecelik bir açıyla tabliyeye ulaşmış ve bu kesme çatlakđının çevresinde beton ezilmesi başlamıştı. Sol mesnet bölgesinde yer alan ankraj donatıları epoksi ile sağlanan kenetlenme yeterli olmadığı için eleman kesmeden göçmüştür.



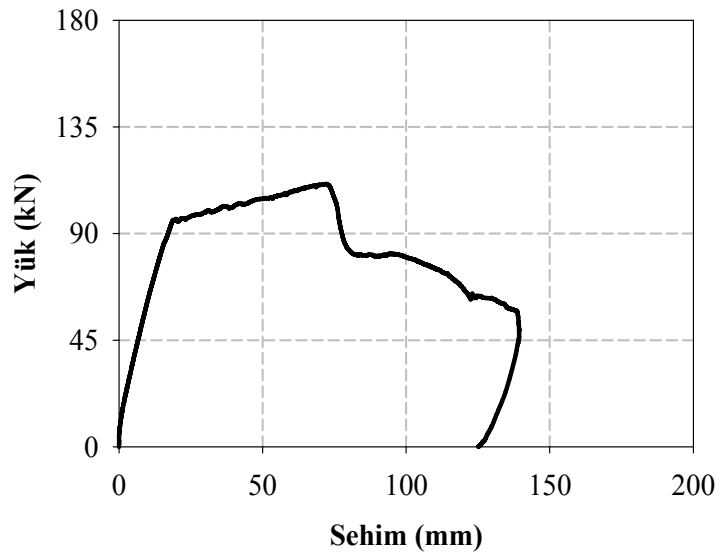
Resim 3.53. HAU deney elemanının deney sonrası hasar durumu



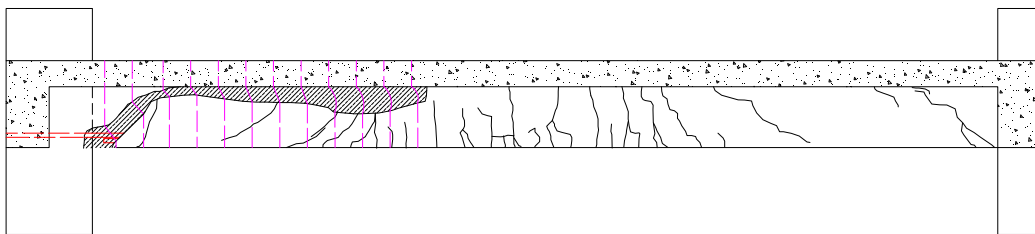
Resim 3.54. HAU elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Resim 3.55. HAU elemanında meydana gelen kesme çatlakları



Şekil 3.39. HAU deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.40. HAU deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

3.5.16. HAHR elemanı deneyi

Açıklama

Döşeme kalınlığı 75 mm, düzlem kiriş genişliği 125 mm olan ve 4Ø12 çekme donatılı sonradan oluşturulan kirişinin döşemeye bağlantısı, döşemenin üstünde kalan ayakları birbirine kaynaklanmış tam etriyeler yardımıyla ve kolona bağlantısı, kolona eposiyle ankrajlanan U şeklindeki 2 adet Ø12 donatı (4Ø12 kesme alanı) yardımıyla yapılmış deney elemanıdır (Resim 3.56).



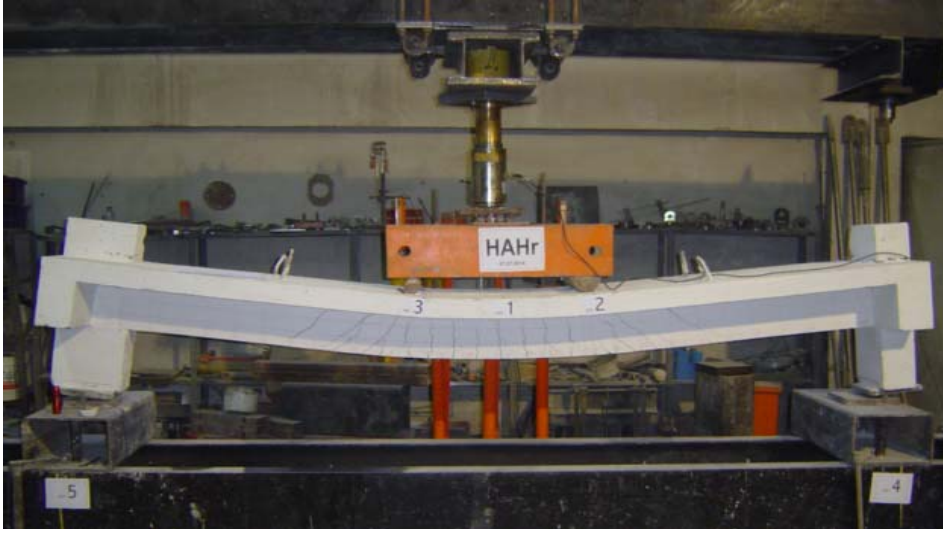
Resim 3.56. HAHR deney elemanı

Deney aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

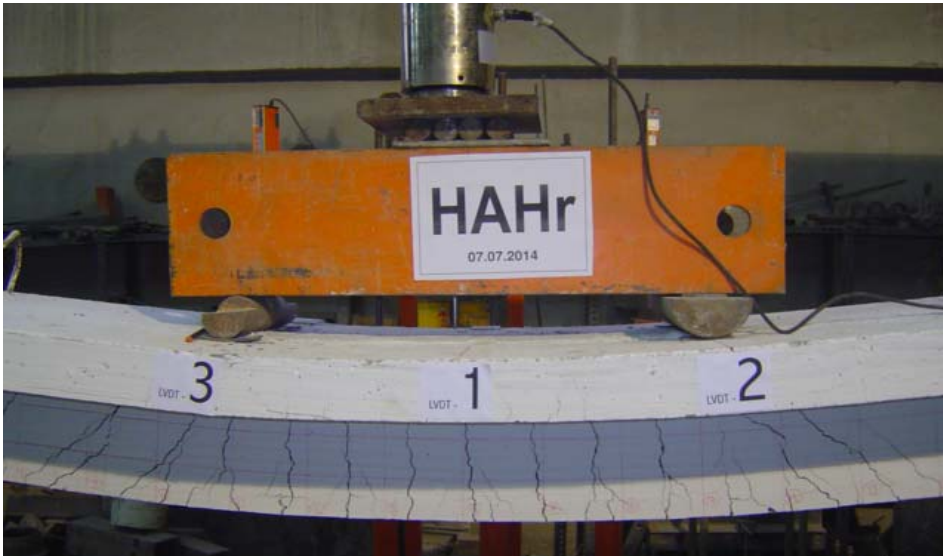
- 15 kN yük ve 2 mm sehım değerinde sabit moment bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuş durumdadır ve maksimum çatlak genişliği 0,1 mm'den daha küçüktür.
- 30 kN yük ve 6,5 mm sehım değerinde kesme kollarında dahi eğilme çatlakları oluşmuş olmasına rağmen henüz kesme çatlakları oluşmamıştır. Maksimum çatlak genişliği 0,2 mm olarak ölçülmüştür.
- 54 kN yük ve 9,4 mm sehım değerinde eğilme bölgesinde maksimum çatlak genişliği 0,3 mm olarak ölçülmüştür.

- 58 kN yük ve 10,2 mm sehim değerinde kesme kollarında henüz kesme çatlak bulunmamaktadır.
- 62 kN yük ve 11 mm sehim değerinde kesme bölgesinde genişliği 0,5 mm olan bir kesme çatlak tespit edilmiştir. Bu yük ve sehim değerinde maksimum eğilme çatlak genişliği 0,4 mm olarak ölçülmüştür.
- 68 kN yük ve 12 mm sehim değerinde sol ve sağ kesme açıklıklarındaki kesme çatlak genişlikleri sırasıyla 0,5 ve 0,6 mm olarak ölçülmüştür.
- 80 kN yük ve 16 mm sehim değerinde maksimum kesme ve eğilme çatlak genişlikleri sırasıyla 0,8 ve 0,4 mm olarak belirlenmiştir. Sol kesme kolundaki kesme çatlak genişliği hala 0,5 mm kadardır.
- 93 kN yük ve 21 mm sehim değerinde eleman akmış ve eğilme çatlak genişliği 1,0 mm değerine ulaşmıştır.
- 93 kN yük ve 23 mm sehim değerinde kirişte üç büyük çatlak bulunmaktadır. Bu çatlaklardan eğilme çatlaklarının genişliği 1,5 mm ve diğer iki kesme çatlaklarının genişlikleri 1,2 ve 1,0 mm olarak ölçülmüştür.
- 98 kN yük ve 41 mm sehim değerinde eğilme bölgesinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla 1,5 ve 1,0 mm kadardır.
- 100 kN yük ve 48 mm sehim değerinde kesme çatlakları sınırlı kalmış durumdadır.
- 105 kN yük ve 60 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla 2,0 ve 1,5 mm kadardır. Kesme kollarındaki çatlaklar sınırlıdır.
- 110 kN yük ve 85 mm sehim değerinde maksimum ve karakteristik çatlak genişlikleri sırasıyla 2,5 ve 2,0 mm kadardır. Deneyin bu aşamasına kadar sol ve sağ ankrajlarda bir sıyrılma belirtisi ortaya çıkmamıştır.
- 115 kN yük ve 102 mm sehim değerinde maksimum çatlak genişliği 3,0 mm, karakteristik çatlak genişliği 2,5 mm olarak belirlenmiştir. Deneyin bu aşamasına kadar kirişle döşeme arasında herhangi bir ayrılma olmamış ve sol ile sağ kesme kollarındaki çatlak genişlikleri 1,5 ve 2,0 mm değerlerine ulaşmıştır.
- 117 kN yük ve 117 mm sehim değerinde sol yük uygulama noktası altında beton ezilmesi başlamış durumdadır.

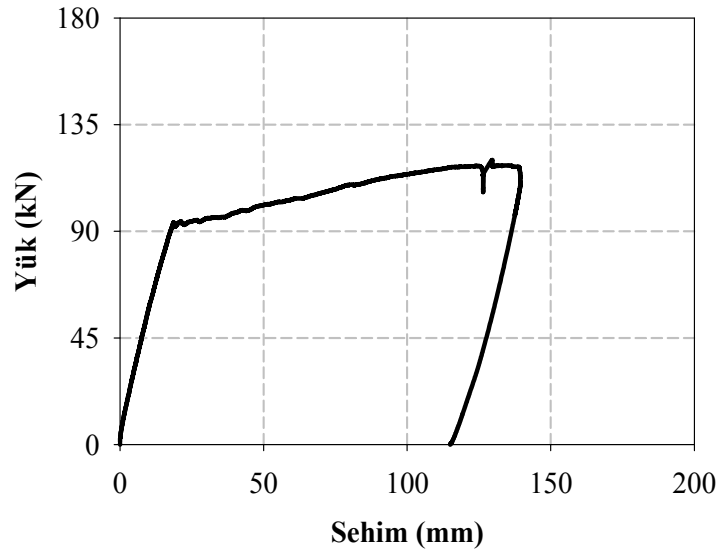
- 117 kN yük ve 127 mm sehim değerinde ankraj donatılarının uç kısımlarından başlayan kesme çatlakları kesme bölgesi boyunca ilerlese de U şeklindeki ankraj donatıları bu çatlakların sınırlı kalmasını sağlayarak elemanın kesmeden göçmesini engellemiştir. Sonuç olarak deney elemanı 117 kN yük ve 140 mm sehim değerinde sünek bir biçimde beton ezilmesi sonucu göçmeye ulaşmıştır (Resim 3.57 ve Resim 3.58). Bu elemanın açıklık ortasına ait yük-sehim eğrisi Şekil 3.41’de ve deney sonundaki çatlak düzeni Şekil 3.42’de gösterilmektedir.



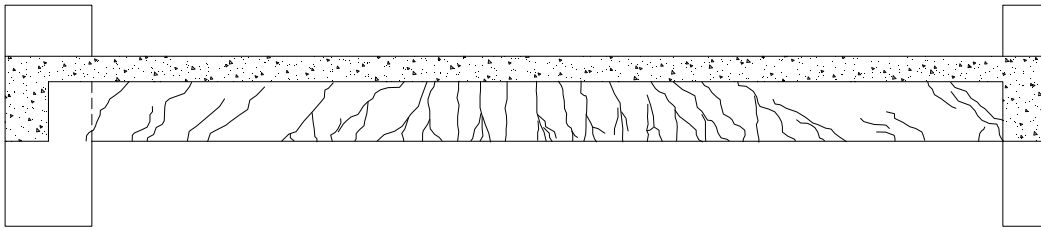
Resim 3.57. HAHR deney elemanının deney sonrası hasar durumu



Resim 3.58. HAHR elemanında meydana gelen eğilme çatlakları



Şekil 3.41. HAHR deney elemanının açıklık ortası yük-sehim eğrisi



Şekil 3.42. HAHR deney elemanının deney sonundaki çatlak düzeni

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Genel

Bu bölümde, 3. bölümde anlatılan sistem ve yöntemlerle gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen bilgiler, taşıma güçlerine, süneklik oranlarına, enerji tüketme kapasitelerine ve eğilme rijitliklerine göre değerlendirilerek uygun olanlar arasında karşılaştırmalar yapılacaktır. Karşılaştırmalar çizelgeler ve grafiklerle ifade edilecektir.

4.2. Taşıma Gücü

Deney elemanlarının deneysel (P_{yd}) ve teorik (P_{yh}) akma yükleri ile deneysel taşıma güçleri (P_{ud}), Çizelge 4.1'de sunulmaktadır. Ayrıca her deney elemanının deneysel akma yükünün referans elemanın deneysel akma yüküne oranı (göreceli deneysel akma yükü oranı), deneysel taşıma gücünün deneysel akma yüküne oranı (P_{ud} / P_{yd}) ve deneysel akma yükünün hesaplanan akma yüküne oranı (P_{yd} / P_{yh}) da çizelgede verilmektedir. Deneysel taşıma gücü (P_{ud}), deney elemanının deney esnasında ulaştığı en büyük değeri; deneysel akma yükü (P_{yd}) ise yük-sehim eğrisinin eğiminde ani ve önemli bir düşüşün yaşandığı ilk yük değeri olarak belirlenmiştir.

Çizelgedeki göreceli akma yükü değerleri incelendiğinde, sonradan kiriş eklenen bütün deney elemanların referans elemanlara yakın veya bu elemanların üstünde akma yükü değerlerine ulaştıkları görülmektedir. Sonradan eklenen kirişinin etriye ayakları döşeme üstünde birbirlerine kaynaklandıktan sonra döşeme üzerine 30 mm kalınlığında yeni bir beton katmanı döküldüğü için toplam kiriş yüksekliği 280 mm'ye çıkan HMH ve HAH elemanları haricindeki elemanların deneysel akma yükleri referans elemanların akma yüklerinin 0,94 ile 1,05 katı arasında değişmektedir. Elde edilen bu deneysel akma yükü değerleri, sonradan kiriş ekleme yöntemiyle elde edilen elemanların monolitik elemanlara yakın davrandığının bir göstergesidir. HMH ve HAH kirişlerinin akma yükleri kiriş yüksekliğine (280 mm) bölünüp referans kirişlerin yüksekliği (250 mm) ile çarpıldığında, HMH ve HAH elemanlarının akma yüklerinin de referans HRH elemanının akma yükünün 1,04 katı kadar olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Elemanların deneysel ve hesaplanan akma ve maksimum yükleri

Eleman	P_{yd} (kN)	P_{yh} (kN)	P_{ud} (kN)	P_{yd} / P_{yh}	P_{ud} / P_{yd}	Göreceli Deneysel Akma Yüğü Oranı
LRH	29,6	32,1	>39,7	0,93	>1,34	1,00
LMH	30,7	31,4	>39,8	0,98	>1,30	1,04
LMU	26,2	31,4	37,7	0,92	1,30	0,98
LAH	30,8	31,4	>39,8	0,98	>1,29	1,04
LAU	31,1	31,4	45,1	1,03	1,45	1,05
MRH	66,1	62,1	81,2	1,06	1,23	1,00
MMH	65,4	62,0	>73,3	1,05	>1,12	0,99
MMU	67,5	62,0	82,0	1,09	1,21	1,02
MAH	62,1	62,0	>64,5	1,00	>1,04	0,94
MAU	69,4	62,0	82,7	1,12	1,19	1,05
HRH	95,1	97,2	127,5	0,98	1,34	1,00
HMH	111,2	111,4	>162,5	1,00	>1,46	1,17
HMU	93,2	97,0	105,5	0,96	1,13	0,98
HAH	110,2	111,4	126,6	0,99	1,15	1,16
HAU	95,4	97,0	111,0	0,98	1,16	1,00
HAHr	92,4	97,0	>117,2 4	0,95	>1,27	0,97

Deney elemanlarının deneysel akma yüklerinin hesaplanan akma yükleri ile yakın bir uyum içinde olduğu da görülmektedir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde, bütün deney elemanlarının kendi teorik akma yüklerinin % 92'si ile % 112'si arasında değişen yük değerlerinde aktıkları sonucuna ulaşılmaktadır. Ankraj donatısının kenetlenme problemleri sonucu yeterince süneklik göstermeden erken göçen HAH ve HAU elemanları dahi teorik akma yüklerine ulaşmış ve referans HRH elemanının akma yüküne çok yakın veya bu yük değerinin üstünde yük değerlerinde akmıştır. Buna göre, ankraj donatısının kenetlenme problemleri eleman akmaya ulaşınca kadar ortaya çıkmamakta ve daha ileriki deney aşamalarında elemanların kesme sonucu göçmesine neden olmaktadır.

Sonradan kiriş eklenen deney elemanlarının deneysel taşıma gücü değerlerinin, deneysel akma yüklerinin 1,05 katı ile 1,46 katı arasında değiştiği görülmektedir. Özellikle az donatılı deney elemanlarının P_{ud}/P_{yd} oranları, referans LRH elemanının P_{ud}/P_{yd} oranına (1,35) yakın veya bu oranın üstündedir. Normal donatılı ve çok donatılı elemanlarda ise kiriş ekleme yöntemiyle elde edilen elemanların P_{ud}/P_{yd} oranları, önemli derecede değişiklik göstermekte ve bazen referans elemanın P_{ud}/P_{yd} oranının önemli ölçüde altına düşmektedir. MMH, MAH, HMU, HAH ve HAU elemanlarında bu oran, referans elemanın önemli derecede altındadır. HAH ve HAU elemanlarının ankraj donatısı kenetlenme problemleri sebebiyle erken göçmesinin bu oranın düşük olmasında neden olduğu düşünülmektedir. Buna göre, az donatılı kiriş eklenen elemanlar monolitik kirişlere yakın taşıma güçlerine ulaşabilmekte ve donatı oranı yükseldikçe taşıma güçleri monolitik elemanın genellikle altında kalmaktadır.

4.3. Süneklik

Deney elemanlarının tümü hedeflenen teorik dayanımlara ulaşmıştır. Ancak deney elemanlarının davranış ve performanslarının değerlendirilmesinde elemanların ulaştıkları en büyük yük değerleri kadar, bu yük değerlerinin ne kadar süre korunduğu yani elemanların ne kadar sünek davrandığı da önem taşımaktadır. Süneklik, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneği olduğu için süneklik oranı ulaşılan dayanımın ne kadar korunduğunun iyi bir göstergesi olacaktır. Bu oranın genellikle 4-5'ten daha küçük olması istenmez. Bu çalışmada süneklik oranı, eleman en büyük yük değerine ulaştıktan sonra % 15 dayanım kaybettiği andaki sehim değerinin akma anındaki sehim değerine oranı olarak tanımlanmıştır. Çizelge 4.2'de her deney elemanının % 15 dayanım kaybettiği andaki (δ_u) ve akma anındaki (δ_y) deformasyon değerleriyle bu iki değer oranı olan mutlak süneklik oranı (δ_u/δ_y) verilmektedir. Ayrıca, her deney elemanının mutlak süneklik oranının referans elemanın mutlak süneklik oranına bölünmesiyle elde edilen göreceli süneklik oranı da çizelgede sunulmaktadır.

Çizelge 4.2. Deney elemanlarının mutlak ve göreceli süneklik oranları

Eleman	δ_u (mm)	δ_y (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Göreceli Süneklik Oranı
LRH	>142,46	11,52	>12,37	1,00
LMH	>137,90	10,70	>12,88	1,04
LMU	>142,33	8,26	>17,23	1,39
LAH	>148,08	12,57	>11,78	0,95
LAU	>139,37	9,40	>14,82	1,19
MRH	>127,80	13,86	>9,22	1,00
MMH	>143,00	15,56	>9,19	0,99
MMU	>147,30	12,80	>11,51	1,25
MAH	>147,78	14,38	>10,27	1,11
MAU	>143,30	14,70	>9,75	1,05
HRH	>128,80	18,23	>7,06	1,00
HMH	>138,60	16,49	>8,40	1,19
HMU	134,00	16,01	8,36	1,18
HAH	57,00	16,00	3,56	0,50
HAU	72,00	18,70	3,85	0,54
HAHr	>138,98	18,23	>7,62	1,07

Çizelge 4.2’de bazı elemanların sünekliği büyüktür işareti ile gösterilmiştir. Bu işaret, deney çerçevesinin kapasitesinin sınırlarından dolayı deney elemanının ulaşabileceği en büyük sehim değerlerine kadar devam edilmeyerek deneyin erken sonlandırıldığını ve elemanın gerçek süneklik oranı değerinin çizelgede verilen değerden daha büyük olduğunu göstermektedir.

Çizelgede verilen değerler, ankraj donatısının kenetlenme boyunun yeterli olmaması sebebiyle kesmeden göçen HAH ve HAU elemanları haricinde bütün deney elemanlarının kendi referans elemanına yakın veya referans elemanından daha büyük süneklik değerlerine ulaştığını göstermektedir. Kesmeden göçen elemanlar haricindeki sonradan kiriş eklenen elemanların süneklik oranları, referans elemanların süneklik oranlarının 0,95 ile 1,39 katı arasında değişmektedir. Kesmeden göçen HAH ve HAU elemanlarının süneklik oranlarının, referans eleman HRH elemanının süneklik oranının yaklaşık % 50’si

mertebesinde olduğu görülmektedir. Deney elemanları arasında en yüksek göreceli süneklik oranının (1,39) LMU elemanına, kesmeden göçen elemanlar haricinde en düşük göreceli süneklik oranının da (0,95) LAH elemanına ait olduğu görülmektedir. Buna göre, ankraj donatısının sıyrılması engellendiğinde sonradan oluşturulan kiriş, birdöküm kirişin % 95 ile % 140 arasında değişen oranlarda süneklik göstermekte, yani sonradan kiriş ekleme yöntemi elemanların gerekli deformasyonları yapabilmesine imkan tanımaktadır.

4.4. Enerji Tüketimi

Bir betonarme taşıyıcı sistem, dış yükler altında elastik davrandığında kalıcı deformasyonlar yapmaz, yani dış yükler tarafından kendisine verilen deprem enerjisini aynen geri iletir. Böyle bir durum, ancak deprem etkisinin küçük olduğu zamanlarda veya yapının özellikle elastik bölgede kalacak şekilde tasarlanması ile mümkün olabilir. Yapının deprem esnasında tamamen elastik bölgede kalacak şekilde davranması, çok rijit bir taşıyıcı sisteme sahip olması ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin çok rijit olarak tasarlanması ise genellikle ekonomik değildir. Ekonomik bir sistem tasarımı için taşıyıcı sistemin büyük yükler altında üzerindeki enerjinin bir kısmını başka enerjilere dönüştürebilmesi istenir. Enerjinin dönüştürülebilir kısmına tüketilen enerji denir. Betonarme taşıyıcılar, bazı kurallara uyularak yapıldığında elasto-plastik bir davranış gösterirler. Elasto-plastik davranan yapılar, deprem esnasında üzerine gelen enerjinin bir kısmını deformasyon enerjisine dönüştürerek tüketir. Dönüştürülen enerji, sistemin yaptığı plastik deformasyonlar ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, taşıyıcı sistem elemanlarının enerji tüketebilme kapasiteleri oldukça önemlidir.

Bir elemanın yük-sehim eğrisinde elastik bölge geçildikten sonra herhangi bir sehim değerindeki toplam enerji, tüketilen enerji ile geri iletebilen enerjinin toplamına eşittir. Bir elemanın elastik limitler içinde yani kalıcı deformasyonlara uğramadan alabildiği enerjiye (geri iletebilen enerji) rezilyans modülü, göçene kadar alabildiği tüm enerjiye de (geri iletebilen enerji + tüketilen enerji) tokluk modülü adı verilir. Rezilyans modülü, yük-deformasyon eğrisinin akma sınırına kadar olan kısmının altında kalan alandan, tokluk modülü ise yük-deformasyon eğrisi altında kalan tüm alandan elde edilir. Betonarme elemanların büyük bir kısmında akma noktasının kesin olarak belirlenmesi zor olduğundan rezilyans modülünün doğru bir şekilde hesaplanması kolay değildir. Ayrıca, yapısal sistemin deprem tasarımındaki temel hedeflerden biri de, yapının kalıcı deformasyonlara

uğramaması değil, deprem esnasında göçmeden ayakta kalmasıdır. Bu iki sebeple, mevcut çalışmada elemanlar arasındaki enerji kıyaslamalarında geri iletilen enerji olan rezilyans modülü ve plastik bölgeyi ifade eden tüketilen enerji değerleri yerine geri iletilen ve tüketilen enerjilerin toplamı olan tokluk modülü değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.3'te elemanların yük-sehim eğrilerinin altında kalan alanlardan elde edilen toplam enerji miktarları yani mutlak tokluk modülleri joule cinsinden verilmiştir. Ayrıca çizelgede her elemanın mutlak tokluk modülünün referans elemanın tokluk modülüne oranı olan göreceli tokluk oranları da sunulmaktadır. Bu çizelgedeki değerler incelendiğinde, kesmeden göçen HAH ve HAU elemanları haricindeki bütün deney elemanlarının toplam enerji miktarlarının referans elemana çok yakın veya referans elemandan fazla olduğu görülmektedir. Ankraj donatısındaki kenetlenme problemleri sebebiyle erken göçen HAH ve HAU elemanlarının tokluk modülü değerleri, referans HRH elemanının tokluk modülünden yaklaşık % 15 ile 25 arasında düşüktür. Kolon ankraj donatısı kesit alanı HAH elemanının iki katı olan HAHr elemanının tokluk modülü, HRH elemanına çok yakındır. Buna göre, ankraj donatısı sıyrılması engellendiğinde sonradan eklenen kirişi kolonlara mekanik veya ankraj donatısı vasıtasıyla bağlanan deney elemanları, monolitik elemanlara çok yakın veya bu elemanların ötesinde enerjiyi dönüştürme kapasitesine sahiptirler denebilir.

Çizelge 4.3. Deney elemanlarının mutlak ve göreceli tokluk modülü değerleri

Eleman	Tokluk Modülü (kJ)	Göreceli Tokluk Modülü
LRH	>4,89	1,00
LMH	>4,88	0,99
LMU	>4,65	0,95
LAH	>5,19	1,06
LAU	>5,35	1,09
MRH	>9,29	1,00
MMH	>9,73	1,05
MMU	>10,98	1,18
MAH	>9,45	1,02
MAU	>10,77	1,16
HRH	>13,74	1,00
HMH	>18,72	1,36
HMU	13,49	0,98
HAH	10,55	0,77
HAU	11,65	0,85
HAHr	>13,98	1,02

4.5. Başlangıç Rijitliği

Eğilme rijitliği, moment-eğrilik grafiğinin çıkış kolunun eğiminden hesaplanır. Deney elemanlarının rijitliklerinin kıyaslanmasında moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen eğilme rijitliğinin kullanılması çeşitli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bilindiği üzere, eğrilik değeri belirlenirken deney elemanının belirli bir bölgesinden ölçüm alınır. Ancak eğrilik ölçümünün alınacağı bu bölgenin uzunluğuna doğru olarak karar vermek neredeyse olanaksızdır. Çünkü ölçüm alınan bölgenin eğriliği, o bölgede ortaya çıkan çatlakların sayısı ile ilişkilidir. Dolayısıyla elemanın eğriliği ölçüm alınan bölgenin uzunluğuna göre değişmektedir. Bu nedenle, mevcut çalışmada eğilme rijitliği yerine yine eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olan yük-sehim grafiğinin elastik kısmının eğimi kullanılmıştır. Yük ve sehim, moment ile eğrilik birer fonksiyonu olduğu için elemanların rijitliklerinin kıyaslanmasında moment-eğrilik grafiğinin eğimi yerine yük-sehim grafiğinin eğiminin kullanılması herhangi bir sakınca yaratmamaktadır.

Çizelge 4.4'te deney elemanlarının yük-sehim eğrilerinden elde edilen mutlak rijitlik değerleri ile her deney elemanının mutlak rijitlik değerinin referans elemanın rijitlik değerine oranı olan göreceli rijitlik değerleri sunulmaktadır. Bu çizelgede ayrıca mutlak rijitlik değerinin hesaplanmasında kullanılan elastik bölgedeki iki nokta arasındaki yük (ΔP) ve sehim farkları ($\Delta \delta$) da sunulmaktadır. Bu çizelgeye göre sonradan oluşturulmuş kirişler, referans eleman rijitlik değerlerinin % 85'i ile % 135'i arasında değişen rijitlik değerlerine sahiptir. Ankraj donatısı sıyrılması sonucu göçen HAH ve HAU elemanlarının rijitlik değerlerinin dahi HRH referans elemanının başlangıç rijitliği değerinin üstünde olduğu görülmektedir. Bu deney sonuçları, sonradan eklenen kirişin kolonlara mekanik veya ankrajlı olarak ve döşemeye ankrajlı veya kaynaklı etriyeler vasıtasıyla bağlanması sonucu elde edilen bağlantı numunelerinin birdöküm numuneler kadar ve hatta bu numunelerin ötesinde rijitliklere sahip olabildiklerini göstermektedir. Ayrıca, ankraj donatı alanının yetersiz olması durumunda dahi sonradan eklenen kiriş, yük-sehim eğrisinin elastik bölgesinde diğer yapı elemanlarıyla monolitik olarak dökülen kiriş kadar rijit davranabilmekte, fakat kayda değer plastik deformasyonlar göstermeden erken göçmektedir.

4.6. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

4.6.1. Az donatılı elemanların karşılaştırılması

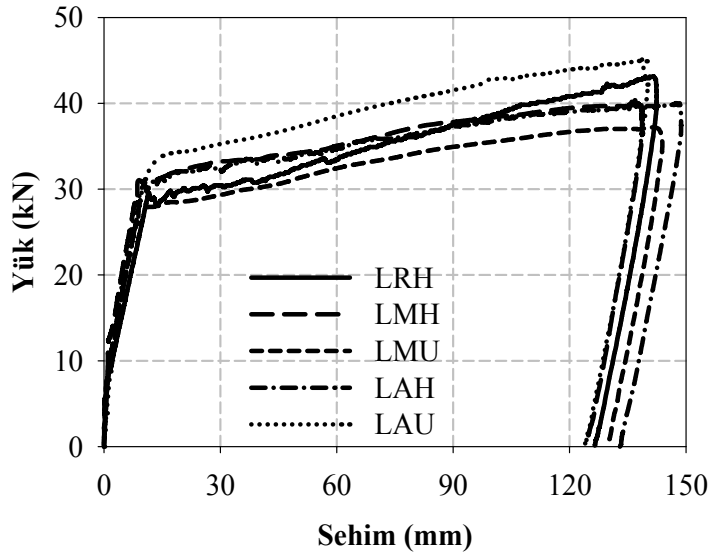
Bu bölümde, sonradan eklenmiş kirişinin donatı oranı az olan deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.5). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.1’de, enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.2’de ve deney sonuçları Çizelge 4.6’da verilmektedir.

Çizelge 4.4. Deney elemanlarının mutlak ve göreceli başlangıç rijitliği değerleri

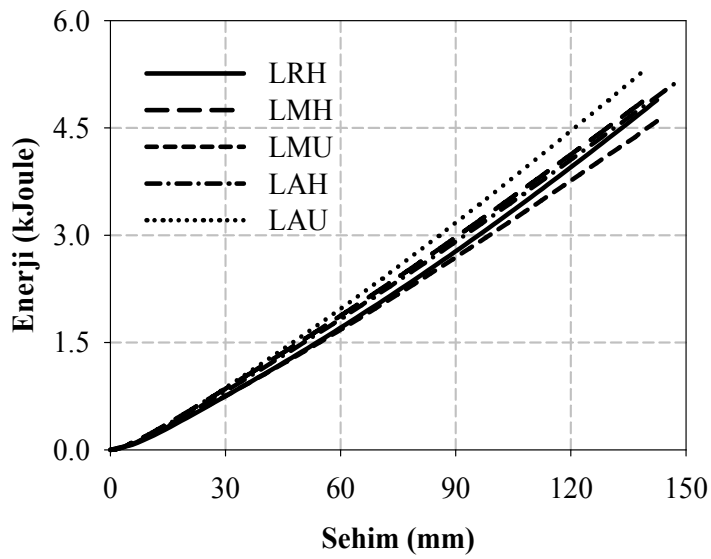
Eleman	ΔP (kN)	$\Delta \delta$ (mm)	Mutlak Rijitlik $\Delta P / \Delta \delta$ (kN/mm)	Göreceli Rijitlik
LRH	18,77	8,27	2,27	1,00
LMH	13,90	5,36	2,59	1,14
LMU	17,98	7,23	2,48	1,09
LAH	18,01	7,48	2,41	1,06
LAU	21,89	7,74	2,82	1,24
MRH	92,00	20,00	4,60	1,00
MMH	34,13	8,66	3,94	0,86
MMU	65,00	12,80	5,08	1,10
MAH	90,00	20,00	4,50	0,98
MAU	53,24	11,31	4,71	1,02
HRH	56,01	11,46	4,88	1,00
HMH	53,20	8,00	6,65	1,36
HMU	68,01	12,86	5,28	1,08
HAH	52,00	8,00	6,50	1,33
HAU	56,05	11,10	5,05	1,03
HAHr	172,00	35,50	4,84	0,99

Çizelge 4.5. Karşılaştırılan az donatılı elemanların özellikleri

Eleman	Donatı kenetleme	Etriye tipi
LRH	-	Tam Etriye
LMH	Mekanik	Tam Etriye
LMU	Mekanik	U Etriye
LAH	Ankraj	Tam Etriye
LAU	Ankraj	U Etriye



Şekil 4.1. Az donatılı elemanların yük-sehim ilişkileri



Şekil 4.2. Az donatılı elemanların enerji-deplasman ilişkileri

Çizelge 4.6. Az donatılı elemanların yük, süneklik ve rijitlik ölçütleri değerleri

Eleman	Taşıma Gücü-Akma Yüğü Oranı	Göreceli Akma Yüğü	Göreceli Süneklik Oranı	Göreceli Tokluk Modülü	Göreceli Rijitlik
LRH	1,34	1,00	1,00	1,00	1,00
LMH	1,30	1,04	1,04	0,99	1,14
LMU	1,30	0,98	1,39	0,95	1,09
LAH	1,29	1,04	0,95	1,06	1,05
LAU	1,45	1,05	1,19	1,09	1,24

Az donatılı deney elemanlarının sonuçları karşılaştırıldığında aşağıdaki çıkarımlara ulaşılabilir:

- Sonradan eklenen az donatılı kirişlerin taşıma güçleri, kirişlerin akma yüklerinin % 30 ile % 45 arasında değişen oranlarda üzerindedir. LAU elemanı haricindeki deney elemanlarının taşıma gücü değerleri birbirlerine çok yakındır.
- Sonradan eklenen az donatılı kirişlerin akma yükleri, monolitik kirişin akma yükünün 0,98 ile 1,05 katı arasında değişmektedir. Buna göre, bütün sonradan eklenen kirişler monolitik kirişe yakın veya monolitik kirişin ötesinde akma yükü değerlerine ulaşmışlardır. Sonradan eklenen kirişlerin akma yükleri arasında önemli farklar bulunmamaktadır. Buna göre, sonradan eklenen az donatılı kirişlerin kolona ve döşemeye olan bağlantı detayları, akma yükünü sınırlı ölçüde etkilemektedir.
- Sonradan eklenen az donatılı kirişlerin süneklik değerleri referans kirişin 0,95 ile 1,39 katı arasında, tokluk modülü değerleri ise referans kirişin 0,95 ile 1,09 katı arasında değişmektedir. Sonradan eklenen az donatılı kirişlerin tokluk modülü değerleri arasındaki farklar sınırlıdır, yani kolona ve döşemeye yapılan bağlantı şekilleri, sonradan eklenen kirişin toplam enerji değerlerini sınırlı ölçüde etkilemektedir. Göreceli süneklik değerleri incelendiğinde ise, döşemeye U-etriyelerin ayaklarının epoksi ile yapıştırılması yoluyla bağlanan sonradan eklenen kirişlerin tam etriyeli sonradan eklenen kirişlere göre daha sünek davrandığı görülmektedir.
- Sonradan eklenen az donatılı kirişlerin başlangıç rijitliği değerleri, referans kirişin başlangıç rijitliği değerinin 1,05 ile 1,25 katı arasında değişmektedir. Buna göre, bu çalışma kapsamında incelenen kolon ve döşeme bağlantı yöntemleri, sonradan eklenen az donatılı kirişlerin monolitik eleman kadar rijit davranmasını sağlamıştır.

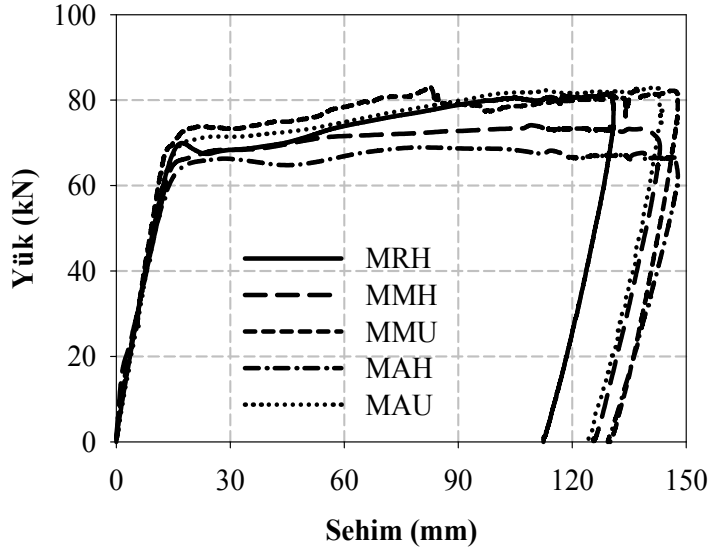
- Şekil 4.1 ve 4.2 incelendiğinde, sonradan eklenen az donatılı kirişlerin yük-sehim ve enerji-sehim eğrilerinin monolitik elemana çok yakın olduğu görülmektedir. Buna göre, bütün sonradan eklenen kirişler göçmeye ulaşmıncaya kadar referans elemana yakın miktarlarda enerji dönüştürmektedir. Sonradan eklenen kirişler arasında en yüksek ve en düşük enerji dönüştürme hızları sırasıyla LAU ve LMU elemanlarına aittir.

4.6.2. Normal donatılı elemanların karşılaştırılması

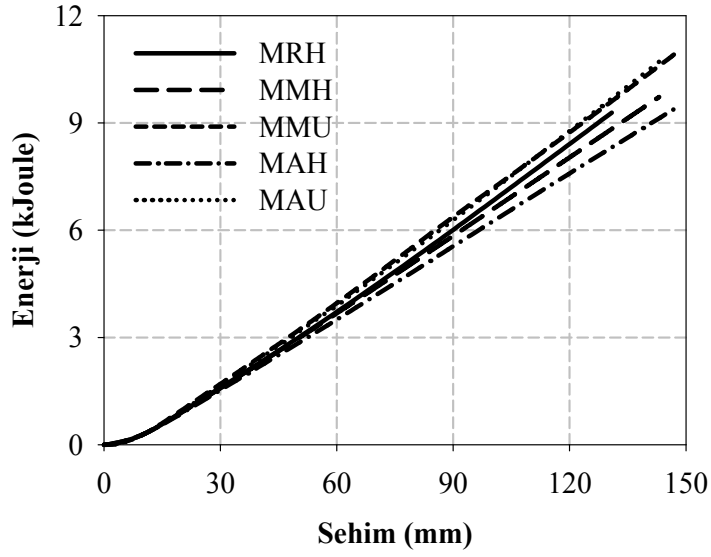
Bu bölümde, sonradan eklenmiş kirişinin donatı oranı normal olan deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.7). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.3'te, enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.4'te ve deney sonuçları Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Karşılaştırılan normal donatılı elemanların özellikleri

Eleman	Donatı kenetleme	Etriye tipi
MRH	-	Tam Etriye
MMH	Mekanik	Tam Etriye
MMU	Mekanik	U Etriye
MAH	Ankraj	Tam Etriye
MAU	Ankraj	U Etriye



Şekil 4.3. Normal donatılı elemanların yük-sehim ilişkileri



Şekil 4.4. Normal donatılı elemanların enerji-deplasman ilişkileri

Çizelge 4.8. Normal donatılı elemanların yük, süneklik ve rijitlik ölçütleri değerleri

Eleman	Taşıma Gücü-Akma Yüğü Oranı	Göreceli Akma Yüğü	Göreceli Süneklik Oranı	Göreceli Tokluk Modülü	Göreceli Rijitlik
MRH	1,23	1,00	1,00	1,00	1,00
MMH	>1,12	0,99	0,99	1,05	0,86
MMU	1,21	1,02	1,25	1,18	1,10
MAH	>1,04	0,94	1,11	1,02	0,98
MAU	1,19	1,05	1,05	1,16	1,03

Normal donatılı deney elemanlarının sonuçları karşılaştırıldığında aşağıdaki çıkarımlara ulaşılabilir:

- Sonradan eklenen normal donatılı kirişlerin taşıma güçleri, kirişlerin akma yüklerinin % 5 ile % 20 arasında değişen oranlarda üzerindedir. Bu elemanlar arasında, etriyeleri döşemeye epoksi yardımıyla bağlanan MMU ve MAU elemanlarının taşıma güçleri, akma yüklerinin yaklaşık % 20 üzerindedir.
- Sonradan eklenen normal donatılı kirişlerin akma yükleri, monolitik kirişin akma yükünün 0,94 ile 1,05 katı arasında değişmektedir. Buna göre, bütün sonradan eklenen kirişler monolitik kirişe yakın veya monolitik kirişin ötesinde akma yükü değerlerine ulaşmışlardır. Sonradan eklenen kirişlerin akma yükleri arasında önemli farklar bulunmamaktadır. Buna göre, sonradan eklenen orta donatılı kirişlerin kolona ve döşemeye olan bağlantı detayları, akma yükünü sınırlı ölçüde etkilemektedir.
- Sonradan eklenen normal donatılı kirişlerin süneklik değerleri referans kirişin 0,99 ile 1,25 katı arasında, tokluk modülü değerleri ise referans kirişin 1,02 ile 1,18 katı arasında değişmektedir. Göreceli tokluk modülü değerleri incelendiğinde, döşemeye U-etriyelerin ayaklarının epoksi ile yapıştırılması yoluyla bağlanan MMU ve MAU kirişlerinin tam etriyeli sonradan eklenen kirişlere (MMH ve MAH) göre daha sünek davrandığı görülmektedir.
- Sonradan eklenen normal donatılı kirişlerin başlangıç rijitliği değerleri, referans kirişin başlangıç rijitliği değerinin 0,86 ile 1,10 katı arasında değişmektedir. Buna göre, sonradan eklenen normal donatılı kirişler monolitik kirişe yakın rijitlik değerlerine sahiptirler.

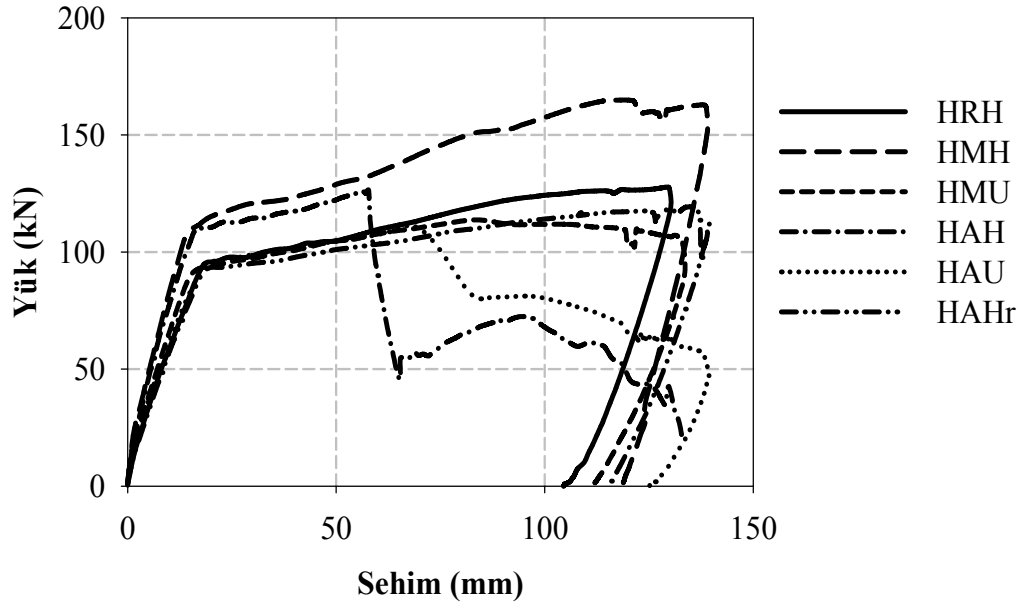
- Şekil 4.3 ve 4.4 incelendiğinde, sonradan eklenen normal donatılı kirişlerin yük-sehim ve enerji-sehim eğrilerinin monolitik elemana çok yakın olduğu görülmektedir. Sonradan eklenen normal donatılı kirişler, monolitik kirişe göre daha büyük deformasyonlardan sonra göçmeye ulaşmıştır. Şekil 4.3 ve 4.4, etriye ayakları döşemeye epoksi yardımıyla ankrajlanan MMU ve MAU kirişlerinin aynı deformasyon değerleri altında diğer sonradan eklenen kirişler ve monolitik kirişe kıyasla daha büyük miktarlarda enerji dönüştürdüklerini ve daha büyük yükler taşıyabildiklerini göstermektedir.

4.6.3. Çok donatılı elemanların karşılaştırılması

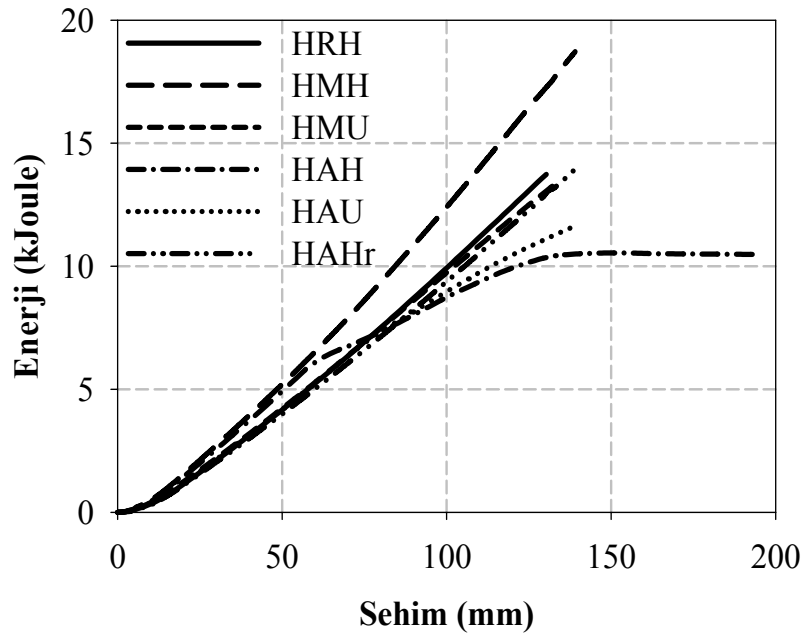
Bu bölümde, sonradan eklenmiş kirişinin donatı oranı yüksek olan deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.9). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.5'te, enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.6'da ve deney sonuçları Çizelge 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Karşılaştırılan çok donatılı elemanların özellikleri

Eleman	Donatı kenetleme	Etriye tipi
HRH	-	Tam Etriye
HMH	Mekanik	Tam Etriye
HMU	Mekanik	U Etriye
HAH	Ankraj	Tam Etriye
HAU	Ankraj	U Etriye
HAHr	Ankraj	Tam Etriye



Şekil 4.5. Çok donatılı elemanların yük-sehim ilişkileri



Şekil 4.6. Çok donatılı elemanların enerji-deplasman ilişkileri

Çizelge 4.10. Çok donatılı elemanların yük, süneklik ve rijitlik ölçütleri değerleri

Eleman	Taşıma Gücü-Akma Yüğü Oranı	Göreceli Akma Yüğü	Göreceli Süneklik Oranı	Göreceli Tokluk Modülü	Göreceli Rijitlik
HRH	1,34	1,00	1,00	1,00	1,00
HMH	>1,46	1,17	1,19	1,36	1,36
HMU	1,13	0,98	1,18	0,98	1,08
HAH	1,15	1,16	0,50	0,77	1,33
HAU	1,16	1,00	0,54	0,85	1,03
HAHr	>1,27	0,97	1,07	1,02	0,99

Çok donatılı deney elemanlarının sonuçları karşılaştırıldığında aşağıdaki çıkarımlara ulaşılabilir:

- Sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin taşıma güçleri, kirişlerin akma yüklerinin % 13 ile % 46 arasında değişen oranlarda üzerindedir. Bu elemanlar arasında en yüksek taşıma gücü, HMH elemanına aittir.
- Sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin akma yükleri, monolitik kirişin akma yükünün 0,97 ile 1,17 katı arasında değişmektedir. Döşeme üstünde birbirlerine kaynaklanan etriye ayaklarının altına ilave basınç donatısı konduktan sonra ilave beton katmanı dökülerek toplam kiriş yüksekliği 250 mm'den 280 mm'ye çıkarılan HMH ve HAH elemanları haricindeki bütün deney elemanlarının akma yükleri referans elemanın akma yüküne çok yakındır. Buna göre, bütün sonradan eklenen kirişler monolitik kirişe yakın veya monolitik kirişin ötesinde akma yükü değerlerine ulaşmışlardır. Sonradan eklenen kirişlerin akma yükleri arasında önemli farklar bulunmamaktadır. Buna göre, sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin kolona ve döşemeye olan bağlantı detayları, akma yükünü sınırlı ölçüde etkilemektedir.
- Ankraj donatısındaki kenetlenme problemleri dolayısıyla kesmeden göçen HAH ve HAU elemanları haricindeki sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin süneklik değerleri referans kirişin 1,07 ile 1,19 katı arasında, tokluk modülü değerleri ise referans kirişin 0,98 ile 1,36 katı arasında değişmektedir. Kesmeden göçen HAH ve HAU elemanlarının süneklik değerleri, referans kirişin 0,50 ile 0,54 katı arasında, tokluk modülü değerleri ise referans kirişin 0,77 ile 0,85 katı arasında değişmektedir.

Buna göre, çok donatılı sonradan eklenen kirişlerin kolonlara ankraj donatısı yardımıyla bağlanması kirişte kenetlenme problemleri ortaya çıkarabilmekte ve bu kenetlenme problemleri, sonradan eklenen kirişin monolitik kirişe göre yaklaşık % 50 daha düşük süneklik oranı ve yaklaşık % 15-25 arasında daha düşük toplam enerji kapasitesi göstererek erken göçmesine neden olmaktadır. Bu kenetlenme problemlerinin engellenmesi durumunda (HAHr elemanı), sonradan eklenen kiriş monolitik kirişe yakın ve hatta monolitik kirişin ötesinde süneklik ve tokluk modülü değerlerine sahip olmaktadır (Çizelge 4.10).

- Sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin başlangıç rijitliği değerleri, referans kirişin başlangıç rijitliği değerinin 0,99 ile 1,36 katı arasında değişmektedir. Katman ekleme sebebiyle toplam kiriş yüksekliği 30 mm kadar artan HMH ve HAH elemanları haricindeki sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin başlangıç rijitliği değerlerinin birdöküm kirişe çok yakın olması, incelenen kolon ve döşeme bağlantı yöntemlerinin sonradan eklenen kirişin monolitik kiriş kadar rijit davranmasını sağladığını göstermektedir.
- Şekil 4.5 ve 4.6 incelendiğinde, kesmeden göçen sonradan eklenen kirişlerin ankraj donatısında sıyrılma ortaya çıkana kadar diğer mekanik bağlantılı sonradan eklenen kirişler ve monolitik kirişe yakın davrandıkları, kenetlenme problemleri başladıktan sonra ise enerji dönüştürme kapasitesinde önemli kayıplar meydana gelerek ve yük kapasitesinde ani azalmalar ortaya çıkarak göçmeye ulaştıkları görülmektedir. Ayrıca katman ekleme sebebiyle toplam kiriş yüksekliği diğer kirişlerden fazla olan HMH ve HAH kirişlerinin yük taşıma ve enerji dönüştürme kapasiteleri, kiriş göçmeye ulaşınca kadar diğer sonradan eklenen kirişler ve referans kirişin ötesindedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kirişlerin tavanda çıkıntı oluşturması istenmediği durumlarda ortadan kaldırılan betonarme kirişler, döşemelerde sehim ve zımbalama sorunları ile yapısal sistemde deprem kuvvetlerinin aktarımında düzensizlikler ortaya çıkarmaktadır. Proje aşamasında ortadan kaldırılan kirişlerin yerine döşeme altına sonradan kiriş oluşturulması, bu yapısal sorunların çözümünde en etkili alternatiflerden biri niteliğindedir. Ayrıca yapının kullanım amacının değişmesi ve yapının yeniden bölmelendirilmesi gibi durumlarda da döşeme altına sonradan kiriş oluşturulması uygulamalarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Geçmişte yerinde dökülmeyen öndökümlü kirişlerin kolonlara bağlantı detaylarıyla ilgili çalışmalar yapılmış olsa da, yerinde dökülen sonradan oluşturulmuş betonarme kirişlerin davranışlarıyla ilgili çalışmalara rastlanmamıştır. Mevcut çalışmada, sonradan oluşturulan betonarme kirişlerin performans ve davranışlarının diğer yapı elemanlarıyla monolitik olarak dökülmüş betonarme kirişlere yaklaştırılabilmesi için başvurulabilecek kiriş-kolon ve kiriş-döşeme bağlantı detayları incelemiştir. Bu amaçla, ½ ölçekli üç farklı donatı oranına sahip on altı adet betonarme deney kirişi tekdüze statik yükler altında test edilmiştir. Kirişin donatı oranının yanı sıra, kirişin kolonlara bağlantı detayı (mekanik veya ankraj donatılı), kirişin döşemeye bağlantı detayı (kiriş etriyelerinin döşemeye ankrajlanması veya etriye ayaklarının döşeme üstünde birbirlerine kaynaklanması) ve kolonun yerleşimi (kolon güçlü veya zayıf ekseninin kiriş güçlü eksenine paralel olması), deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Her deney elemanı, düzlemsel bir kiriş, bu kirişin bağlandığı kolonlar ile döşeme ve kolonlara bağlantılı düzlem dışı kirişlerden teşkil edilmiştir. Deney elemanlarının beton ve donatı dayanımları, malzeme deneyleri yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler yardımıyla ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yapılan deneyler, sonradan eklenen kirişlerin akma yüklerinin referans kirişlerin akma yüklerinin 0,94 ile 1,17 katı arasında değiştiğini göstermektedir. Kiriş etriye ayaklarının döşeme üstünde birbirlerine kaynaklandığı çok donatılı HMH ve HAH elemanlarında kiriş yüksekliği, döşeme üzerine yeni bir betonarme katman eklenmesi sebebiyle 250 mm'den 280 mm'ye çıkarılmıştır. HMH ve HAH elemanlarının akma yüklerinin referans elemanın akma yüküne oranları (1,17 ve 1,16), kiriş yüksekliğinde ortaya çıkan bu artışı da yansıtmaktadır. HMH ve HAH kirişlerinin akma yükleri kiriş yüksekliğine (280 mm) bölünüp referans kirişlerin yüksekliği (250 mm) ile

çarpıldığında, HMH ve HAH elemanlarının akma yüklerinin de referans HRH elemanının akma yükünün yaklaşık 1,04 katı kadar olduğu görülmektedir. Buna göre, sonradan eklenen kirişlerin akma yükleri referans kirişlerin akma yüklerinin 0,94 ile 1,04 katı arasında değişmektedir. Bütün sonradan eklenen kirişler, referans kirişlere yakın veya onların ötesinde akma yükü değerlerine ulaşmıştır.

- Ankraj donatısının yetersiz kenetlenme boyu sebebiyle kesmeden göçen HAH ve HAU elemanları haricinde bütün deney elemanları, referans elemanlara yakın veya bu elemanların ötesinde süneklik oranlarına ulaşmışlardır. HAH ve HAU elemanları haricindeki deney elemanlarının süneklik oranları, referans elemanların süneklik oranlarının 0,95 ile 1,39 katı arasında değişmektedir. Kesmeden göçen HAH ve HAU elemanlarının süneklik oranları, referans HRH elemanının süneklik oranının yaklaşık % 50'si mertebesindedir. U ankraj donatısı kullanılarak ankraj donatı alanı HAH ve HAU elemanlarının iki katına çıkarılan HAHr elemanı, kesme göçmesine uğramamış ve süneklik oranı referans elemanının 1,07 katına ulaşmıştır.
- Kesmeden göçen HAH ve HAU elemanları haricindeki bütün sonradan eklenen kirişler, referans kirişlere yakın veya referans kirişlerin ötesinde tokluk modülü değerlerine ulaşmışlardır. HAH ve HAU elemanı haricindeki deney elemanlarının tokluk modülü değerlerinin referans elemanların 0,95 ile 1,36 katı arasında olduğu belirlenmiştir. Ankraj donatısındaki kenetlenme problemleri sebebiyle erken göçen HAH ve HAU elemanlarının tokluk modülü değerleri, referans HRH elemanının tokluk modülünden yaklaşık % 15 ile 25 arasında düşüktür. Ankraj donatısı miktarı HAH ve HAU elemanlarının iki katı olan HAHr elemanının tokluk modülü değeri, referans elemanın 1,02 katıdır. Buna göre, sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin toplam enerji miktarları, ankraj donatısının kenetlenme boyu artırılarak referans kiriş seviyesine çıkarılabilmektedir.
- Kesmeden göçen deney elemanları dahil bütün sonradan eklenen kirişler, monolitik kirişlere yakın veya bu kirişlerin ötesinde başlangıç rijitliği değerlerine ulaşmışlardır. Bu çalışmada test edilen sonradan eklenen kirişlerin rijitlik değerleri, monolitik kirişlerin rijitlik değerlerinin % 85'i ile % 135'i arasında değişmektedir. Buna göre, test edilen bağlantı detayları sonradan eklenen kirişlerin monolitik kiriş davranışına yaklaşmasını sağlamıştır.
- Donatı oranı yüksek olan sonradan oluşturulmuş etonarme kirişlerin monolitik kirişlere benzer davranış gösterebilmeleri için ankraj donatılarının kenetlenme boylarının yeterli olması gerektiği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında yapılan

deneyler, ankraj donatılarının kenetlenme boylarının yeterli olmaması sonucu kesme göçmesine uğrayın çok donatılı sonradan oluşturulmuş kirişlerin süneklik oranlarının ve tokluk modüllerinin monolitik kirişlere göre sırasıyla % 50 ve % 15-25 dolayında düşük olduğunu göstermiştir. Ankraj donatısındaki sıyrılma problemleri sebebiyle erken göçen sonradan oluşturulmuş kirişlerin akma yükleri ve başlangıç rijitliği değerlerinin birdöküm kirişlere yakın olduğu, ancak sonradan oluşturulmuş kirişlerin önemli deformasyonlar göstermeden erken göçtüğü belirlenmiştir.

- Ankraj donatısındaki kenetlenme problemleriyle erken göçen sonradan eklenen çok donatılı kirişlerin enerji dönüştürme miktarları ve yük kapasiteleri, ankraj donatısında sıyrılma başladıktan sonra önemli derecede azalmaktadır. Kolonlara mekanik olarak bağlanan veya ankraj donatısında sıyrılma problemleri ortaya çıkmayan sonradan eklenen kirişler, göçme meydana gelinceye kadar monolitik elemanlara yakın veya monolitik elemanların ötesinde enerji dönüştürme kapasitelerine ve hızlarına sahiptirler.
- Sonradan oluşturulmuş normal donatılı kirişlerde etriye ayaklarının döşemeye epoksi yardımıyla ankrajlanmasının kirişin akma yükünü ve enerji dönüştürebilme kapasitesini genel olarak arttırdığı görülmüştür.
- Sonradan eklenen kirişin donatı oranı azaldıkça, kirişin kolonlara ve döşemeye bağlantı çeşidinin davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin azaldığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler, sonradan eklenen az donatılı deney elemanlarının dayanım, süneklik ve rijitlik ölçütlerinin birbirlerine daha yakın olduğunu ve donatı oranı arttıkça kiriş-kolon ve kiriş-döşeme bağlantı detaylarının kiriş davranışı üzerindeki etkisi ve deney sonuçları arasındaki farklılıkların arttığını göstermektedir.
- Genel olarak bu çalışmada uygulanan yöntemin oldukça başarılı olduğu söylenebilir. Ancak, bu yöntem sadece düşey yükler söz konusu olduğunda uygulanabilmektedir. İlgili hesaplamalar monolitik kirişte olduğu gibi yapılabilir. Ancak, özellikle ankraj donatılı kirişlerde işçilik kalitesinin çok iyi olması gerekmektedir ve ankrajların iyi yapılmaması durumunda elde edilecek sonuçlar, yöntemin başarısını oldukça olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Ayrıca, bu çalışmada önerilen yöntem sadece düşey yükler altında test edilmiş olduğundan deprem bölgelerinde uygulanması henüz uygun değildir. Bu nedenle tersinir-tekrarlanır yükler uygulanarak yöntemin başarısının araştırılmasına devam edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Mohammed K. A. B., (2011). "Döşeme İçindeki Gizli Kirişlerin Davranış ve Dayanımı", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1-10.
2. French, C. W., Amu, O. ve Tarzikhani, C., (1989). "Connections between Precast Elements-Failure outside Connection Region", **ASCE J. Struct. Eng.**, 115:316-340.
3. French, C. W., Hafner, M. ve Jayashankar, V., (1989). "Connections between Precast Elements-Failure within Connection Region", **ASCE J. Struct. Eng.**, 115:3171-3192.
4. Dolan, C. W. ve Pessiki, S. P., (1989). "Model Testing of Precast Concrete Connections", **PCI J.**, 34:84-403.
5. Stone, W. C., Cheok, G. S. ve Stanton, J. F., (1995). "Performance of Hybrid Moment-Resisting Precast Beam-Column Concrete Connections Subjected to Cyclic Loading", **ACI Struct. J.**, 91:229-249.
6. Cheok, G. S., Stone, W. C. ve Kunnath, S. K., (1998). "Seismic Response of Precast Concrete Frames with Hybrid Connections", **ACI Struct. J.**, 95:527-539.
7. ICC IBC 2012, "International Building Code", **International Code Council**, Country Club Hills, Illinois, U.S.A., 653.
8. Korkmaz, H. H. ve Tankut, T., (2005). "Performance of a Precast Concrete Beam-to-Beam Connection Subject to Reversed Cyclic Loading", **Eng. Struct.**, 27:1392-1407.
9. Ertaş, O., (2005). "Ductile Beam-Column Connections In Precast Concrete Moment Resisting Frames", PhD Thesis, **Boğaziçi University**, Istanbul, Turkey, 192.
10. Ertaş, O., Özden, Ş. ve Özturan T., (2006). "Ductile Connections in Precast Concrete Moment Resisting Frames", **PCI J.**, 51:66-76.
11. Ertaş, O. ve Özden, Ş., (2007). "Shotcrete Retrofit for Unreinforced Brick Masonry", **Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul, Türkiye, 627-638.
12. ACI T1.1-01, (2006). "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing", **American Concrete Institute**, Farmington Hills, Michigan, U.S.A., 4-10.
13. Ozden, Ş. ve Ertaş, O., (2007). "Behavior of Unbonded, Post-tensioned, Precast Concrete Connections with Different Percentages of Mild Steel Reinforcement", **PCI J.**, 52:32-44.
14. Khoo, J. H., Li, B. ve Yip, W. K., (2006). "Tests on Precast Concrete Frames with Connections Constructed Away from Column Faces", **ACI Struct. J.**, 103:18-27.
15. Restrepo, J. I., Park, R., ve Buchanan, A. H., (1993). "Seismic Behavior of Connections between Precast Concrete Beams", **Research Report 93-3**, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 385.

16. Restrepo, J. I., Park, R. ve Buchanan, A. H., (1995). “Design of Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete Perimeter Frames of Buildings”, *PCI J.*, 40:68-81.
17. Li, B., Kulkarni, S. A. ve Leong, C. L., (2009). “Seismic Performance of Precast Hybrid-Steel Concrete Connections”, *J. Earthq. Eng.*, 13:667-689.
18. Hawileh, R. A., Rahman, A. ve Tabatabai, H., (2010). “Nonlinear Finite Element Analysis and Modeling of a Precast Hybrid Beam–Column Connection Subjected to Cyclic Loads”, *Appl. Math. Modelling*, 34:2562–2583.
19. Cheok G. S. ve Stone W. C., (1994). “Performance of 1/3 Scale Model Precast Concrete Beam–Column Connections Subjected to Cyclic Inelastic Loads”, *Report No. NISTIR 5436*, NIST, Gaithersburg, MD, U.S.A., 59.
20. Vidjeapriya, R. ve Jaya, K. P., (2012). “Experimental Study on Two Simple Mechanical Precast Beam-Column Connections Under Reverse Cyclic Loading”, *J. Perform. Constr. Facil.*, 27:402-414.
21. Vidjeapriya, R. ve Jaya, K. P., (2012). “ Behavior of Precast Beam-Column Mechanical Connections Cyclic Loading”, *Asian J. Civ. Eng. (Building and Housing)*, 13:233-245.
22. Kurtoglu, M., (2013). “Development of Steel-Concrete Hybrid Connections for Precast Concrete Moment-Resisting Frames”, M.Sc. Thesis, *Atılım University*, Ankara, Turkey, 165.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : JAMAL, Rohullah
Uyruğu : Afganistan
Doğum tarihi ve yeri : 06.11.1982, Gazni
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (553) 283 66 52
Faks :
e-mail : jamal.rohullah@gmail.com



Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kabil Politeknik Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Şemsularifin Lisesi	2000

Yabancı Dil

İngilizce, Farsça, Peştunca, Rusça

Hobiler

Volebol oynamak, Ders çalışmak.



GAZİ GELECEKTİR..