



**DÖŞEMESİZ BA MERDİVENLERİN
EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Yüksel KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2020

Yüksel KAYA tarafından hazırlanan “DÖŞEMESİZ BA MERDİVENLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. A. Samet ARSLAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 23.01.2020

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
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.

Yüksel KAYA

23.01.2020

DÖŞEMESİZ BA MERDİVENLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Yüksel KAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Döşemesiz merdivenler estetik görünümüleriyle mimarları cezbetmekte ve bu nedenle özellikle iç mekân tasarımının ön planda olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Ancak bu tür merdivenlerin betonarme tasarımı ve donatı detaylandırılması bazı analitik ve sezgisel yaklaşımlara dayanmaktadır. Bununla birlikte, analitik yöntemlerin kapsamlı deneysel araştırmalarla desteklenmediği görülmüştür. Bu çalışmada, döşemesiz merdivenlerin davranışı deneysel olarak incelenmiş, sonuçlar birbiriyle ve mevcut analitik yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Araştırma, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında deneysel olarak yürütülmüştür. Döşemesiz merdivenlerin tasarımında en sık kullanılan 4 farklı donatı düzenlemesi ve 3 farklı basamak/riht kalınlığı deney parametreleri olarak ele alınarak toplam 12 adet 2/3 ölçekli deney elemanı üretilmiştir. Üretilen deney elemanları düzgün yayılı yükü benzeştirmesi amacıyla tek kaynaktan beslenen 4 adet krikonun eş zamanlı yüklemesi ile test edilmiştir. Sonuçlar deney elemanlarının riht kalınlığının davranış üzerinde etkili olmadığını göstermiştir. Buna karşın basamak kalınlığının davranışı önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, deney elemanlarında düzlem donatı kullanılması ile dayanımın 1,5 kat arttığı ve deney elemanlarında aderans kaybı olmadığı tespit edilmiştir. Döşemesiz merdivenlerle ilgili yapılan analitik çalışmada, düzlem donatı kullanılarak oluşturulan deney elemanlarına ait deneysel yük-deplasman sonuçları ile ACI-318'in deplasman kontrollü yaklaşımının uyumlu olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91102
Anahtar Kelimeler : Merdiven, Döşemesiz Merdiven, Betonarme, Katlanmış plak, Akordiyon
Sayfa Adedi : 179
Danışman : Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

ANALYSIS OF THE BENDING BEHAVIOR OF SLABLESS REINFORCED STAIRS

(M. Sc. Thesis)

Yüksel KAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

ABSTRACT

Slabless reinforced concrete stairs appeal to architects with their aesthetic appearance and are therefore preferred especially when the interior design is at the forefront. Analysis and design of such stairs are based on some analytical methods. However, these analytical methods were not supported by extensive experimental research. In this study, the behavior of slabless stairs has been experimentally examined, the results have been compared with each other and also with the existing analytical methods. The research carried out experimentally in Gazi University Engineering Faculty Civil Engineering Department Structural Mechanics Laboratory. 4 different reinforcement arrangements and 3 different steps/dock thicknesses have been used as test parameters, which were used most frequently in the design of the slabless stairs. The experimental elements produced were tested by simultaneous loading of 4 jacks fed from a single source in order to simulate uniformly distributed load. The results showed that the riser thickness of the experimental element was not effective on behavior. However, it has been shown that the tread thickness of experimental element significantly affects the behavior. At the same time, it has been observed that the strength increases 1,5 times and there is no loss of adherence in the experimental elements with the use of auxiliary straight bars in the experimental elements. In the analytical study on slabless stairs, it was observed that the experimental load-displacement results of the experimental elements created using auxiliary straight bars are compatible with the displacement approach of ACI-318.

Science Code : 91102

Key Words : Staircases, Slabless Staircases, Reinforced Concrete, Folded slab, Accordion

Page Number : 179

Supervisor : Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Bu tez, eğitim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, teşvik eden ve hayatın zorluklarına karşı güçlü durmayı öğreten annem Fatma KAYA ve babam Memet KAYA'ya adanmıştır. Her kararında arkamda duran kıymetli eşim Seyran KAYA'ya ve aileme teşekkür ederim.

Bu araştırmayı planlayan ve gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve ailemdeki birinden farklı görmediğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ'a teşekkür ederim. Deney düzeneğimde kullanılan parçaları hazırlayan Yüksel Kaya Makine'ye ve deney elemanlarının üretilmesi için gerekli olan beton bileşenlerini veren BAŞTAŞ Hazır Beton firmasından Genel Müdürü Mesut ALTIOK ve Kalite Kontrol Müdürü Engin YILMAZ'a ayrıca çok teşekkür ederim. Araştırmamda önemli katkıları olan Dr. Eray ÖZBEK, Arş. Gör. Meryem BÖCEK ve Arş. Gör. Hüseyin KALKAN ile Faruk OGÜN ve Aydın GÖKÇE'ye çok teşekkür ederim.

Bu tezi oluşturmamda katkısı olan ve adını sayamadığım herkese çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. MERDİVENLER	3
2.1. Genel Bilgiler	3
2.2. Merdiveni Oluşturan Bölümler.....	3
2.3. Merdivenlerin Sınıflandırılması	4
2.4. Merdivenlere Etki Eden Yükler.....	6
2.5. Merdivenlerin Geometrik Boyutları	7
2.5.1. Basamak yüksekliği (s)	7
2.5.2. Basamak genişliği (a)	7
2.5.3. Merdiven genişliği (b)	8
2.5.4. Merdiven eğimi (α)	8
2.5.5. Sahanlık genişliği (b_p)	9
2.5.6. Kova genişliği ve korkuluk yüksekliği.....	10
2.5.7. Baş yüksekliği (H)	10
2.5.8. Basamak ve rıht boyutları arasındaki bağıntı	11

	Sayfa
2.6. Merdivenlerin Tasarımı.....	12
2.6.1. Mimari tasarım.....	12
2.6.2. Statik tasarım	12
3. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	13
4. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR	17
4.1. Kıvrımlı Sistem Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	17
4.2. Helisel Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	20
4.3. Taşıyıcı Basamaklı Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	22
4.4. Döşemesiz Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	23
4.4.1. Saenz ve Martin Metodu	24
4.4.2. Saenz ve Martin Metodu'nun geliştirilmesi	26
4.4.3 Cusens Yöntemi	28
4.4.4 Modifiye geleneksel yöntem.....	30
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	33
5.1. Deney Programı	33
5.2. Malzeme Özellikleri ve Dayanımları.....	40
5.2.1 Beton	40
5.2.2. Donatı Çeliği.....	46
5.3. Deney Elemanlarının Hazırlanışı.....	47
5.4. Deney Düzenegi.....	63
5.4.1. Deney çerçevesi	63
5.4.2. Yükleme düzeneği.....	63
5.4.3. Ölçüm düzeni.....	68
5.4.4. Deney Prosedürü.....	71

	Sayfa
6. DENEYSEL SÜREÇ	73
6.1. t-100/100 Deneyi	74
6.2. t-100/80 Deneyi	80
6.3. t-80/100 Deneyi	86
6.4. T-100/100 Deneyi	92
6.5. T-100/80 Deneyi	97
6.6. T-80/100 Deneyi	102
6.7. C-100/100 Deneyi	107
6.8. C-100/80 Deneyi	112
6.9. C-80/100 Deneyi	117
6.10. Z-100/100 Deneyi	122
6.11. Z-100/80 Deneyi	128
7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	135
7.1. Genel	135
7.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler	139
7.2.1. Dayanım	139
7.2.2. Süneklik	142
7.2.3. Enerji dönüştürme	144
7.2.4. Rijitlik	148
7.3. Tip T ve Tip C Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma	150
7.4. Geleneksel Yöntemlerle Karşılaştırma	153
8. ANALİTİK YAKLAŞIM	155
8.1. ACI-318'e Göre Deplasman Kontrolü	155
8.2. Deney Elemanları Üzerinde Analitik Çalışma	160

	Sayfa
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	167
9.1. Sonuçlar.....	167
9.2. Öneriler	171
KAYNAKLAR	173
ÖZGEÇMİŞ	179

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Basamak yüksekliği	7
Çizelge 2.2. Basamak genişliği	8
Çizelge 2.3. Merdiven kolu genişliği	9
Çizelge 2.4. Baş yüksekliği	10
Çizelge 5.1. Deney elemanlarının özellikleri	39
Çizelge 5.2. Beton karışım oran ve miktarları.....	40
Çizelge 5.3. 7 günlük beton kırım sonuçları.....	41
Çizelge 5.4. 28 günlük beton kırım sonuçları.....	41
Çizelge 5.5. Deney günü beton kırım sonuçları	41
Çizelge 5.6. TS 206-1'e göre slump (çökme) ve yayılma sınıfları.....	43
Çizelge 5.7. Agrega gradasyon hesaplaması	44
Çizelge 5.8. TS 13515 şartlarının uygulanışı	46
Çizelge 5.9. Beton basınç dayanımı deney sonuçları ile tespit kriterleri.....	46
Çizelge 5.10. Donatı çeliği test numunelerinin sonuçları	47
Çizelge 7.1. Deney elemanlarına ait kesitlerin teorik moment kapasiteleri.....	138
Çizelge 7.2. Deney elemanlarına ait dayanım değerleri	141
Çizelge 7.3. Deney elemanlarında kullanılan donatı çelik ağırlıkları ve oranları.....	142
Çizelge 7.4. Deney elemanlarına ait süneklik terimleri ve oranları	143
Çizelge 7.5. Deney elemanlarına ait enerji dönüştürme kapasiteleri ve oranları.....	147
Çizelge 7.6. Deney elemanlarına ait rijitlik değerleri ve oranları.....	150
Çizelge 7.7. Tip T ve Tip C performans özeti.....	151
Çizelge 7.8. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırma.....	154
Çizelge 8.1. Analitik yaklaşımda kullanılan değerler	160

Çizelge	Sayfa
Çizelge 8.2. Analitik ve deneysel rijitliklerin karşılaştırması.....	161
Çizelge 8.3. TS 500 deplasman sınır şartının karşılaştırması.....	165

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Merdiven planından geometrik ifadelerin gösterimi	4
Şekil 2.2 Merdiven açılarına göre kullanım alanları.....	9
Şekil 2.3. Baş yüksekliği, H	11
Şekil 3.1. Basamak/rıht boyutları.....	13
Şekil 3.2. Döşemesiz merdivenler için önerilen donatı düzenleri	14
Şekil 3.3. Donatı düzeni tipleri	16
Şekil 4.1. Farklı analitik yaklaşımlar	18
Şekil 4.2. Kıvrım noktasındaki pozitif moment yükü için detay.....	20
Şekil 4.3. Sahanlıklı helisel merdivenin planı	22
Şekil 4.4. Döşemesiz merdivenin perspektif görünüşü ve kesiti.....	23
Şekil 4.5. k 'nın n 'ye bağlı değişimi	27
Şekil 4.6. Önerilen donatı düzeni.....	29
Şekil 4.7. Döşemesiz merdivenin moment hesap grafiği.....	30
Şekil 5.1. Donatı düzenleme detayları	38
Şekil 5.2. Basamak/rıht kalınlığı.....	39
Şekil 5.3. Deneyde kullanılan kalıbın plan ve profili.....	48
Şekil 5.4. t-100/100 deney elemanına ait donatı planı	51
Şekil 5.5. t-80/100 deney elemanına ait donatı planı	52
Şekil 5.6. t-100/80 deney elemanına ait donatı planı	53
Şekil 5.7. T-100/100 deney elemanına ait donatı planı.....	54
Şekil 5.8. T-80/100 deney elemanına ait donatı planı.....	55
Şekil 5.9. T-100/80 deney elemanına ait donatı planı.....	56
Şekil 5.10. Z-100/100 deney elemanına ait donatı planı.....	57

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. Z-80/100 deney elemanına ait donatı planı.....	58
Şekil 5.12. Z-100/80 deney elemanına ait donatı planı.....	59
Şekil 5.13. C-100/100 deney elemanına ait donatı planı.....	60
Şekil 5.14. C-80/100 deney elemanına ait donatı planı.....	61
Şekil 5.15. C-100/80 deney elemanına ait donatı planı.....	62
Şekil 5.16. Deney düzeneği	64
Şekil 5.17. 5 kN kapasiteli hidrolik krikö.....	65
Şekil 5.18. Hareketli mesnete ait detay çizimler	66
Şekil 5.19. Sabit mesnete ait detay çizimler	67
Şekil 5.20. 50 kN kapasiteli yük hücresi.....	68
Şekil 5.21. Gerinim ölçerlerin konumlandırılması	69
Şekil 5.22. Wheatstone köprü devresi.....	69
Şekil 5.23. Yükleme programı akış şeması	72
Şekil 6.1. t-100/100 deney elemanı çatlak haritası	77
Şekil 6.2. t-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	78
Şekil 6.3. t-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	78
Şekil 6.4. t-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi.....	79
Şekil 6.5. t-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi...	79
Şekil 6.6. t-100/80 deney elemanı çatlak haritası	83
Şekil 6.7. t-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	84
Şekil 6.8. t-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	84
Şekil 6.9. t-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi.....	85
Şekil 6.10. t-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi...	85
Şekil 6.11. t-80/100 deney elemanı çatlak haritası	89

Şekil	Sayfa
Şekil 6.12. t-80/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	90
Şekil 6.13. t-80/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	90
Şekil 6.14. t-80/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi	91
Şekil 6.15. t-80/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi...	91
Şekil 6.16. T-100/100 deney elemanı çatlak haritası	95
Şekil 6.17. T-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	95
Şekil 6.18. T-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	96
Şekil 6.19. T-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi	96
Şekil 6.20. T-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi	97
Şekil 6.21. T-100/80 deney elemanı çatlak haritası	100
Şekil 6.22. T-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	100
Şekil 6.23. T-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	101
Şekil 6.24. T-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi	101
Şekil 6.25. T-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi .	102
Şekil 6.26. T-80/100 deney elemanı çatlak haritası	105
Şekil 6.27. T-80/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	105
Şekil 6.28. T-80/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	106
Şekil 6.29. T-80/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi	106
Şekil 6.30. T-80/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi .	107
Şekil 6.31. C-100/100 deney elemanı çatlak haritası	110
Şekil 6.32. C-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası	110
Şekil 6.33. C-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları	111
Şekil 6.34. C-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi	111
Şekil 6.35. C-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi	112

Şekil	Sayfa
Şekil 6.36. C-100/80 deney elemanı çatlak haritası.....	115
Şekil 6.37. C-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası.....	115
Şekil 6.38. C-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları.....	116
Şekil 6.39. C-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi.....	116
Şekil 6.40. C-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi .	117
Şekil 6.41. C-80/100 deney elemanı çatlak haritası.....	120
Şekil 6.42. C-80/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası.....	120
Şekil 6.43. C-80/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları.....	121
Şekil 6.44. C-80/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi.....	121
Şekil 6.45. C-80/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi .	122
Şekil 6.46. Z-100/100 deney elemanı çatlak haritası.....	126
Şekil 6.47. Z-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası.....	126
Şekil 6.48. Z-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları.....	127
Şekil 6.49. Z-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi.....	127
Şekil 6.50. Z-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi	128
Şekil 6.51. Z-100/80 deney elemanı çatlak haritası.....	132
Şekil 6.52. Z-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası.....	132
Şekil 6.53. Z-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları.....	133
Şekil 6.54. Z-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi.....	133
Şekil 6.55. Z-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi-deplasman ilişkisi .	134
Şekil 7.1. Deney düzeneği yükleme sistemi.....	136
Şekil 7.2. Eğilme elemanı taşıma gücü hesabı	137
Şekil 7.3. Donatı düzenine göre yük-deplasman eğrileri	138
Şekil 7.4. Basamak/rıht kalınlığına göre yük-deplasman eğrileri.....	139

Şekil	Sayfa
Şekil 7.5. t-100/100 deney elemanına ait dayanımın tespiti.....	140
Şekil 7.6. T-100/100 deney elemanında dönüştürülen enerjinin hesaplanması.....	145
Şekil 7.7. Donatı tipine göre deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri	146
Şekil 7.8. Basamak/rıht kalınlığına göre deney elemanları enerji dönüştürme kapasiteleri.....	147
Şekil 7.9. T-100/100 deney elemanına ait rijitlik değerlerinin belirlenmesi.....	149
Şekil 7.10. Basamak/rıht kalınlıklarına göre kıyaslama.....	152
Şekil 8.1. Çatlamış kesit atalet momenti dönüşümü	156
Şekil 8.2. Deney düzeneği yükleme düzeni.....	159
Şekil 8.3. Deney elemanına ait mesnet arası mesafeler	159
Şekil 8.4. Tip t deney elemanlarının analitik ve deneysel yük-deplasman eğrileri	161
Şekil 8.5. Tip T ve Tip C deney elemanlarının analitik ve deneysel yük-deplasman eğrileri.....	162
Şekil 8.6. TS 500 standardı deplasman şartının incelenmesi	164

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Tip t deney elemanına ait modül	34
Resim 5.2. Tip t deney elemanının yan görünüşü.....	34
Resim 5.3. Tip T donatı düzenine ait donatılar.....	35
Resim 5.4. Tip T deney elemanının yan görünüşü	35
Resim 5.5. Tip Z donatı düzenine ait donatılar.....	36
Resim 5.6. Tip Z deney elemanının yan görünüşü	36
Resim 5.7. Tip C donatı düzenine ait donatılar	37
Resim 5.8. Tip C deney elemanının yan görünüşü	37
Resim 5.9. Yayılma deneyinin yapılması.....	42
Resim 5.10. Çökme deneyinin yapılması.....	42
Resim 5.11. Rıht tahtasının mesafesini net ayarlamak için kullanılan basit parçalar....	50
Resim 5.12. Hareketli ve sabit mesnetler	65
Resim 5.13. Yük hücresinin hazırlanışı.....	70
Resim 5.14. Deney elemanı eksen takımının gösterilişi	71
Resim 6.1. t-100/100 deney elemanı.....	74
Resim 6.2. a) t-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1 ve 2 ise çatlaklara ait yakın görünüşler.....	75
Resim 6.3. t-100/100 deney elemanı deney sonrası çatlak incelemesi	76
Resim 6.4. t-100/80 deney elemanı.....	80
Resim 6.5. a) t-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın açılmış görünüşü, 1b) çatlağa ait yakın görünüş.....	81
Resim 6.6. t-100/80 deney elemanı göçme sonrası çatlak incelemesi	82
Resim 6.7. t-80/100 deney elemanı.....	86

Resim	Sayfa
Resim 6.8. a) t-80/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın arka yüz görünüşü.....	87
Resim 6.9. t-80/100 deney elemanı göçme sonrası çatlak incelemesi	88
Resim 6.10. T-100/100 deney elemanı.....	92
Resim 6.11. a) T-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1 ve 2 çatlak görünüşü	93
Resim 6.12. T-100/100 deney elemanı göçme sonrası çatlak incelemesi.....	94
Resim 6.13. T-100/80 deney elemanı.....	98
Resim 6.14. a) T-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın alt yüz görünüşü	99
Resim 6.15. T-80/100 deney elemanı.....	103
Resim 6.16. a) T-80/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın alt yüz görünüşü	104
Resim 6.17. C-100/100 deney elemanı	108
Resim 6.18. a) C-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın alt yüz görünüşü	109
Resim 6.19. C-100/80 deney elemanı	113
Resim 6.20. a) C-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın alt yüz görünüşü	114
Resim 6.21. C-80/100 deney elemanı	118
Resim 6.22. a) C-80/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın alt yüz görünüşü	119
Resim 6.23. Z-100/100 deney elemanı.....	123
Resim 6.24. a) Z-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın arka yüz görünüşü.....	124
Resim 6.25. Z-100/100 deney elemanı deney sonrası çatlak incelemesi.....	125
Resim 6.26. Z-100/80 deney elemanı.....	129
Resim 6.27. a) Z-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a) çatlağın ön yüz görünüşü, 1b) çatlağın arka yüz görünüşü.....	130

Resim**Sayfa**

Resim 6.28. Deney sonrası Z-100/80 deney elemanında çatlak incelemesi.....	131
--	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a	Dikdörtgen kesitin beton basınç bloğu yüksekliği
$A_{s,(h)}$	Basamak plağı çekme donatı alanı
$A'_{s,(h)}$	Basamak plağı basınç donatı alanı
$A_{s,(v)}$	Rıht plağı çekme donatı alanı
$A'_{s,(v)}$	Rıht plağı basınç donatı alanı
B	Basınç bloğu genişliğinin dönüştürülmüş çekme donatısına oranı
d_i	i 'ince noktadaki deplasman
d_{i+1}	$i+1$ 'ince noktadaki deplasman
E_c	Beton elastisite modülü
E_s	Donatı elastisite modülü
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ci}	Beton numunelerinin herhangi tek deney sonucu
f_{su}	Donatı çeliği çekme dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliği akma dayanımı
f_r	Beton kırılma modülü
$f_{(150 \times 300)}$	Standart silindir numune basınç dayanımı
I_{cr}	Çatlamış kesitin betona çevrilmiş atalet momenti
I_e	Etkili atalet momenti
I_g	Donatının ihmal edildiği brüt kesit atalet momenti
K_{in}	Başlangıç rijitliği
$K_{0,7Py}$	Akma yükünün %70'indeki rijitlik
K_{Py}	Akma yükündeki rijitlik
L_1	Mesnetler arası düz mesafe (Hipotenüs uzunluğu)
L_2	Mesnetler arası iz düşüm mesafesi
M_a	Malzeme katsayısı uygulanmamış servis yükünün oluşturduğu maksimum moment

Simgeler**Açıklamalar**

M_{cr}	Çatlama momenti;
M_{rh}	Basamak plağının moment kapasitesi
M_{rv}	Rıht plağının moment kapasitesi
n	Donatı ve betonun elastisite modül oranı
P_i	i'ince noktadaki yük
P_{i+1}	i+1'ince noktadaki yük
P_{mak}	Maksimum yük
P_u	Deney elemanlarının taşıyabildiği en büyük yük
P_T	Deney elemanına etki eden toplam yük
r	Dönüştürülmüş basınç donatı alanının dönüştürülmüş çekme donatı alanına oranı
s	Rıht yüksekliği
t_h	Basamak kalınlığı
t_v	Rıht kalınlığı
y_t	Brüt kesitin merkez eksenine olan uzaklığı
δ	Deplasman miktarı
ρ_h	Basamak plağındaki çekme donatı oranı
ρ_v	Rıht plağındaki çekme donatı oranı
σ	TS 13515'e göre standart sapma
ε	Birim şekil değiştirme
ΔL	Birim elemanın uzunluğundaki değişim

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CHS	Dairesel içi boş kesit
GRG	Genel indirgenmiş gradyan
kN	Kilonewton
LVDT	Elektronik deplasman ölçer
N	Newton
Yük H.	Yük hücresi

1. GİRİŞ

Döşemesiz merdivenler, adından da anlaşılacağı üzere, dış yüklerden kaynaklanan gerilmeleri ortogonal bir yapı formunda olan basamaklar ve rıhtlar ile taşınmakta olup katlanmış plak uygulamalarından biridir. Döşemesiz merdivenler, ortogonal veya akordiyon merdivenler olarak da bilinmektedir [1].

Merdivenler, farklı yükseklikte bulunan düzlemler arasındaki bağlantıyı, insanların inip çıkmasını ve insanların taşınabileceği her tür malzeme ve eşyanın iletimini sağlayan en önemli düşey sirkülasyon araçlarıdır [2]. Döşemesiz merdiven, düşey sirkülasyon araçları arasında en sıra dışı mimari olanaklara sahip olandır. İnce ve katlanmış görünümlü formları ile birçok mimar ve mühendisin ilgi odağında olup modern ticari ve konut türü binalarda uygulamalarına rastlanmaktadır.

Yapıların en önemli elemanlarından olan merdivenlerin projelendirilmesi sırasında, bu elemanların tasarımı ve mühendislik hesapları konusunda meslektaşlarımız zorlanmaktadır. Meslektaşlarımızın bu konuda yaşadığı zorluğun ana nedeni ise mühendislik eğitimi veren neredeyse bütün okullarımızda bu konuya hiç değinilmiyor olmasıdır [3].

Eğimli bir şekilde düzenlenen merdiven kol plakları ile bu kollara yatay olarak bağlanan sahanlık plaklarının birleşiminden oluşan uzay taşıyıcı sistemli geleneksel merdivenler, mesnetlenme durumlarına göre ya plak ya da plak levha olarak çalışmaktadır. Merdiven basamakları, genellikle eğimli merdiven kol plağı ile birlikte çalışmayacak şekilde tasarlandığı için hesaplara dahil edilmemektedir [4]. Bu nedenle, geleneksel merdivenlerin tasarımı genel olarak merdiven dışlarından bağımsız olan döşemenin her türlü yükü taşıyacağı varsayımı ile yapılmaktadır. Bu tür döşemelerin donatı yerleşimleri normal döşemeler ile benzer olup döşemede oluşan çekme gerilmelerini alan düz bir şekilde yerleştirilirler. Buna karşın, döşemesiz merdivenlerde yükler; basamak ve rıht plakları ile taşınmaktadır. Bu tip merdivenlerin donatılarının yerleşimi sıra dışı olup merdivenin davranışını büyük oranda etkilediği düşünülmektedir.

Döşemesiz merdivenlerin, geleneksel merdivenlere göre tek avantajı estetik görünüşüdür. Özellikle kalıp ve donatı işçiliklerinin zorluğu en önemli dezavantajları arasında olup bu yönüyle ekonomik bir uygulama değildir. Döşemesiz merdiven, yapının estetik yönünü güçlendirir ancak, esas olması gereken, davranışı söz konusu olduğunda, çeşitli hesap yöntemlerinde dikkate değer bir ilgi gösterilmemiştir. Döşemesiz merdivenlerin betonarme tasarımı ve donatı detaylandırılması deneysel çalışmalarla desteklenmemiş bazı analitik ve sezgisel yaklaşımlara dayanmaktadır. Bu nedenle, döşemesiz merdiven davranışının deneysel olarak incelenmesine ve sonuçların mevcut analitik yöntemlerle karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Böylece izin verilen sehim sınırları içinde eğilme dayanımlarına ulaşması beklenen döşemesiz merdivenlerin bu konuda ne kadar başarılı olduğu da ortaya konabilecektir.

2. MERDİVENLER

2.1. Genel Bilgiler

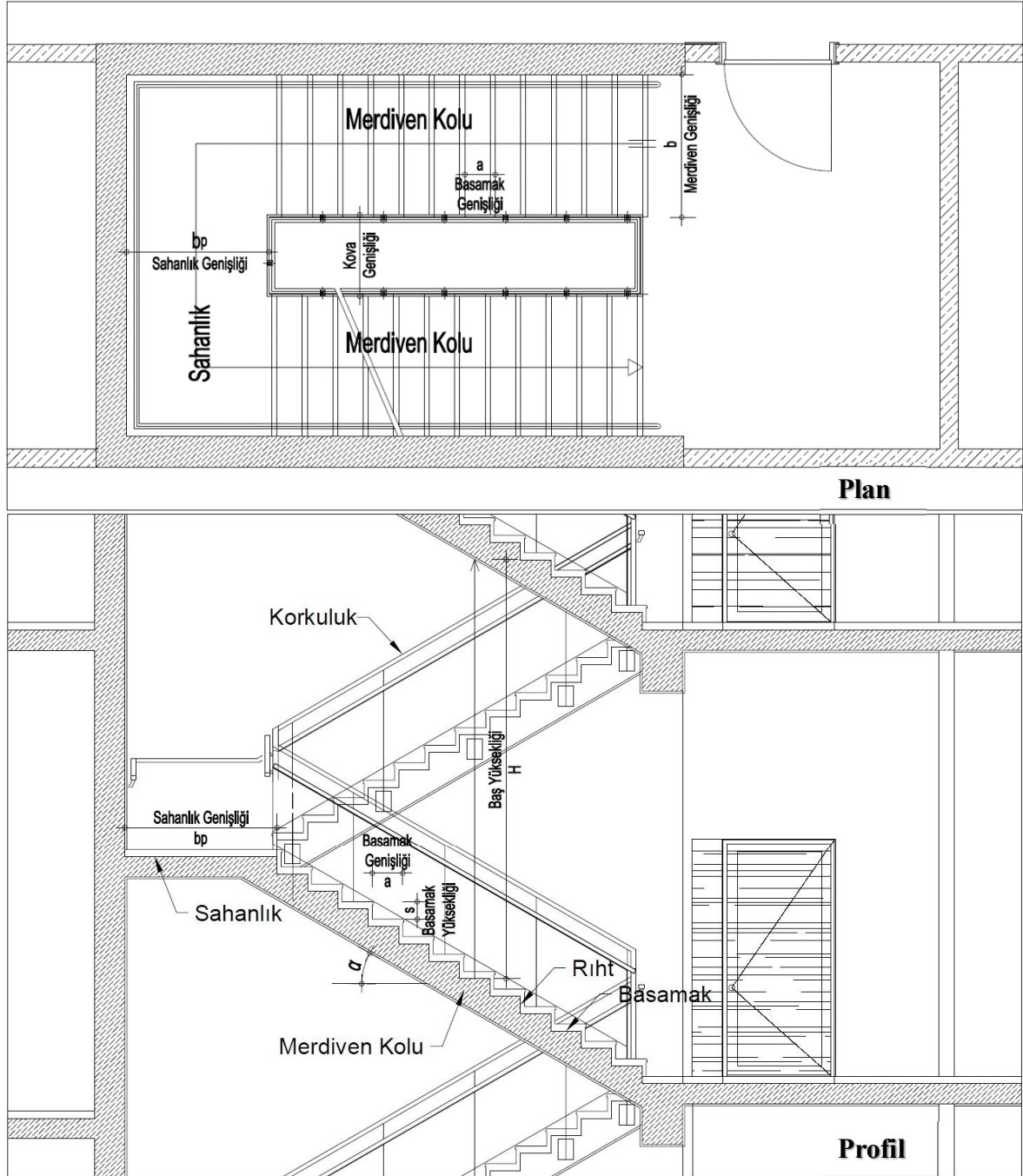
Bir yere çıkmaya veya bir yerden inmeye yarayan basamaklar dizisine merdiven denilmektedir. Merdivenler, basamaklardan meydana gelen eğik basamak kolu, yatay merdiven sahanlığı ve inip çıkılması esnasında güvenliği sağlayan korkuluk olmak üzere üç farklı bölümden oluşur. Kendine özgü bir geometrisi ve temel yapım kuralları bulunan merdivenler, insan vücudunun hareket formuyla da ilişkilidir. Günümüze kadar neredeyse hiçbir değişikliğe uğramamasının temel sebebi de budur. Ancak, zamanla gelişen teknolojinin de etkisi ile merdiven yapımında kullanılan malzeme türü artmıştır. İlk merdiven uygulama örnekleri taş ve ahşap malzemelerle başlamış olup günümüzde doğal ve yapay taş, ahşap, beton, betonarme, çelik ve karma malzemeler ile uygulanmaktadır [2]. Son yıllarda en sık rastlanılan uygulama, betonarme malzeme ile inşa edilen merdiven türüdür.

2.2. Merdiveni Oluşturan Bölümler

Merdiven yapısı,

1. Üzerinde basamakların bulunduğu eğimli merdiven kolu,
2. Merdiven kolları arasında bulunan yatay merdiven sahanlığı,
3. Merdivende inip-çıkma güvenliğini sağlayan merdiven korkuluğu

olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Merdiven kolu ve sahanlık taşıyıcı ana elemanlardır. Korkuluk ise, sirkülasyon güvenliğini sağlamakla birlikte mekana görsellik katan tali bir bölüm gibidir. Sahanlıklar veya katlar arasında inşa edilmiş olan basamaklar dizisi merdiven kolunu oluşturur [4]. Merdivenin konumlandırıldığı bölüme merdiven boşluğu, merdiven kolları arasında bırakılan boşluğa ise merdiven kovası denilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Geleneksel merdiven detayı

2.3. Merdivenlerin Sınıflandırılması

Merdivenlerin sınıflandırılması için çok farklı bir bakış açısı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmada, genel olarak merdivenlerin altı başlık altında sınıflandırıldığı söylenebilir. Şöyle ki;

1. Kullanım yerlerine göre;
 - a) Dış (harici) merdivenler,
 - b) İç (dahili) merdivenler.
2. Yapıldıkları malzemeye göre;
 - a) Taş merdivenler,
 - b) Tuğla merdivenler,
 - c) Beton merdivenler,
 - d) Betonarme merdivenler,
 - Parça basamaklı betonarme merdivenler,
 - Yekpare betonarme merdivenler,
 - e) Ahşap merdivenler,
 - f) Metal merdivenler,
 - g) Karma merdivenler.
3. Geometrik biçimine göre;
 - a) Sahanlık bulunup, bulunmamasına göre;
 - Sahanlıksız merdivenler,
 - Sahanlıklı merdivenler.
 - b) Plandaki kol biçimlerine göre;
 - Düz kollu merdivenler,
 - Dönel (helisel) kollu merdivenler.
 - c) Kol sayısına göre;
 - Tek kollu merdivenler,
 - İki kollu merdivenler,
 - Üç ve daha fazla sayıda kollu merdivenler.
4. Merdivenleri taşıyıcı sistemlerine göre;
 - a) Taşıyıcı basamaklı merdivenler,
 - b) Kıvrımlı sistemli merdivenler,
 - c) Çevre mesnetli helisel merdivenler,
 - d) Uzak tanıyıcı sistemli merdivenler.
5. Konstrüksiyonlarına göre;
 - a) Tek mesnetli (konsol kiriş veya plak),
 - b) Çift mesnetli (basit kiriş, tek doğrultulu plak),
 - c) Yüzeysel mesnetli (yer döşemesi).
6. Merdiven kolu eğim açılarına göre;

- a) Yatık eğimli 20-25° veya % 36-46,
- b) Normal eğimli 25-36° veya % 46-72,
- c) Dik eğimli 36-45° veya % 72-100

olarak sınıflandırılabilir [2, 5].

2.4. Merdivenlere Etki Eden Yükler

Merdivenler de diğer taşıyıcı unsurlar gibi çeşitli dış yüklere maruz kalmakta olup üzerlerine etki eden yükleri güvenle taşıyabilecek biçimde tasarlanmaları ve boyutlandırılmaları öncelikli koşuldur. Merdivenler üzerindeki kesit tesirleri az olan deprem yükleri, mesnet çökmeleri, rötre ve ısı değişimleri sonucunda oluşan kuvvetler genellikle hesaplarda dikkate alınmayabilir [2].

Basamak, taşıyıcı plak, parapet duvar, kaplama ve sıva ağırlıkları ise sabit yükler olarak sayılabilir. Bazı durumlarda da merdiven kolunun ağırlığı diğer yüklere kıyasla çok küçük olduğundan analizlerde göz ardı edilebilir [2].

Düşey hareketli yükler ise, yapıların kullanım amaçlarına göre TS 498 standardında verilmiştir. TS 498 standardına göre;

- a. Konut merdivenlerinde 3,5 kN/m²,
- b. Umuma açık yapılar, bürü, okul, hastane vb. yapılardaki merdivenlerde 5,0 kN/m²,
- c. Oturma yeri sabit olmayan tribün, anfi vb. yapılardaki merdivenlerde 7,5 kN/m²

olarak belirlenmiştir. Merdiven basamaklarında verilen hareketli yük değerlerinin kullanılabilmesi için, yükün düzgün yayılı şekle dönüşmesini sağlayan bir taşıyıcı sistem oluşturulmalıdır. Örneğin, her basamağın rıhta bağlantısı olmalı veya sahanlıkta oluşturulan kirişe oturmalı veyahut merdiven boşluğu çevresinde bulunan duvarlara ankastre bağlanmalıdır [6].

2.5. Merdivenlerin Geometrik Boyutları

2.5.1. Basamak yüksekliği (s)

Basamağın düşey kesiminin yüksekliği basamak yüksekliği olarak adlandırılır ve uluslararası literatürde 's' simgesi ile ifade edilir (Şekil 2.1). Merdivenin kullanıldığı yerlere göre sınır değerler Çizelge 2.1'de verilmiştir [2].

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne göre asansörü olmayan binalarda basamak yüksekliği 16 cm'den, asansörlü binalarda 18 cm'den fazla olmayacağı belirtilmiştir. Ancak, son kattaki bağımsız bölümlerle irtibatlı çatı arası piyeslerine çıkan iç merdivenlerde bu şart aranmamaktadır [7]. Kaçış merdiveninde ise basamak yüksekliği 17,5 cm'den fazla olmamalıdır [8].

Çizelge 2.1. Basamak yüksekliği [2]

Merdivenin bulunduğu yapı	Basamak yüksekliği, s (cm)	
	Maks.	Normal
Çatı ve bodrum katı merdivenleri	21	20
Apartman ve sosyal konutlarda	19	18
Okul ve resmi daire binalarında	18	17
Hastane sinema tiyatro ve genel yapılarda	17	16
Dinsel yapılar ve anıtlarda	16	15
Bahçe merdivenleri	15	14

2.5.2. Basamak genişliği (a)

Basamağın yatay kesiminin genişliği basamak genişliği olarak adlandırılır ve uluslararası literatürde 'a' simgesi ile ifade edilir (Şekil 2.1). Merdivenin kullanıldığı yerlere göre sınır değerler Çizelge 2.2'de verilmiştir [2].

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne göre, basamak genişliği $2s+a = 60$ ila 64 formülüne göre hesaplanmakta olup bu genişlik en az 0,27 metre olmalıdır. Balansmanlı (dengelenmiş) merdivenlerde ise basamak genişliği en dar kenarda 0,10 metre, basamak ortasında 0,27 metreden de az olmamalıdır. Ancak, son kattaki bağımsız bölümlerle irtibatlı çatı arası

piyeslerine çıkan iç merdivenlerde bu şart aranmamaktadır [7]. Kaçış merdiveninde ise basamak genişliği 0,25 metreden daha az olmamalıdır [8].

Çizelge 2.2. Basamak genişliği [2]

Merdivenin bulunduğu yapı	Basamak genişliği, a (cm)	
	Min.	Normal
Çatı ve bodrum katı merdivenleri	22	24
Apartman ve sosyal konutlarda	24	27
Okul ve resmi daire binalarında	27	29
Hastane sinema tiyatro ve genel yapılarda	29	30
Dinsel yapılar ve anıtlarda	30	32
Bahçe merdivenleri	32	34

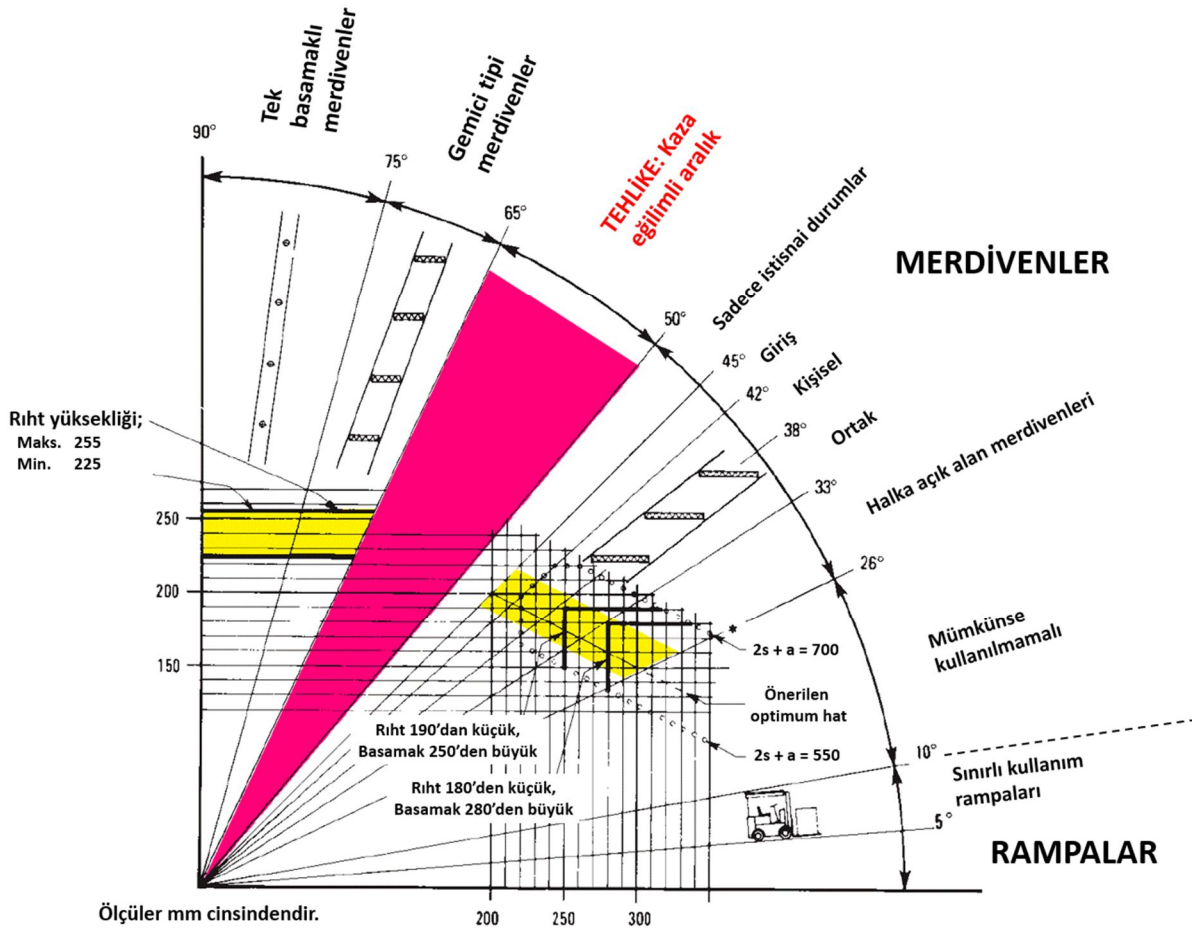
2.5.3. Merdiven genişliği (b)

Merdiven kolunun çıkış yönüne dik doğrultudaki net genişliğine merdiven genişliği denilmektedir ve uluslararası literatürde “b” simgesi ile ifade edilir (Şekil 2.1). Merdiven genişliği için uygun değerler Çizelge 2.3’de verilmiştir [2].

Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği’nde, ortak alanlardaki merdiven kolu genişliği 1,20 metreden, diğer yapılarda 1,50 metreden, konutlarda bağımsız bölüm içindeki merdivenlerde ise 1,00 metreden daha az olamayacağı ifade edilmektedir. Çatıya ve bodrum katlarına ulaşan ortak merdivenler ile servis merdivenlerinde dahi bu ölçülere uyulmalıdır [7].

2.5.4. Merdiven eğimi (α)

Merdiven kesitinde basamakların tepe noktalarının birleşimi ile oluşan doğrunun eğimine merdiven eğimi denilmektedir (Şekil 2.1). Kısaca basamak yüksekliğinin genişliğine oranıdır. Bu oran, üç katlı ve daha az katlı olan küçük yapılarda en fazla 4/5, diğer yapılarda ise 2/3 oranına eşit olması gerekmektedir. Bazı merdiven türleri için açılış değerleri Şekil 2.2’de verilmiştir [2].



Şekil 2.2. Merdiven açılarına göre kullanım alanları

Çizelge 2.3. Merdiven Kolu Genişliği [2]

Merdivenin bulunduğu yapı	Merdiven genişliği, b (cm)	
	Min.	Normal
1) Bodrum, çatı arası ve asma katlarda	70	90
2) İki katlı konut merdivenleri	90	100
3) Her katında tek daire bulunan 2'den fazla katlı yapılarda	100	120
4) Her katında birden fazla daire bulunan 2'den fazla katlı yapılarda	120	140
5) Okul, hastane, tiyatro merdivenleri	120	150
6) Sinema toplantı salonu merdivenleri	220	250

2.5.5. Sahanlık genişliği (b_p)

Sahanlığın çıkış yönüne dik doğrultudaki genişliğine sahanlık genişliği denilmekte ve uluslararası literatürde “ b_p ” simgesi ile ifade edilmektedir [2]. Planlı Alanlar İmar

Yönetmeliği'nde, sahanlık genişliği, merdiven kolu genişliği ile aynı sınır şartlara sahiptir ve merdiven kolunun genişliğinden daha küçük yapılamamaktadır. Merdiven planındaki gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir.

2.5.6. Kova genişliği ve korkuluk yüksekliği

Merdiven kovası, iki veya daha fazla merdiven kolu arasında oluşturulan boşluk olup genişliği tipik olarak 20-25 cm olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Gösterişli ve tasarımın ön planda olduğu yapılardaki merdivenlerde bu genişlik 50 cm veya daha fazla olabilmektedir [2].

Planlı alanlar İmar Yönetmeliği'ne göre merdiven korkuluklarının yüksekliği en az 110 cm yüksekliğinde olmalıdır.

2.5.7. Baş yüksekliği (H)

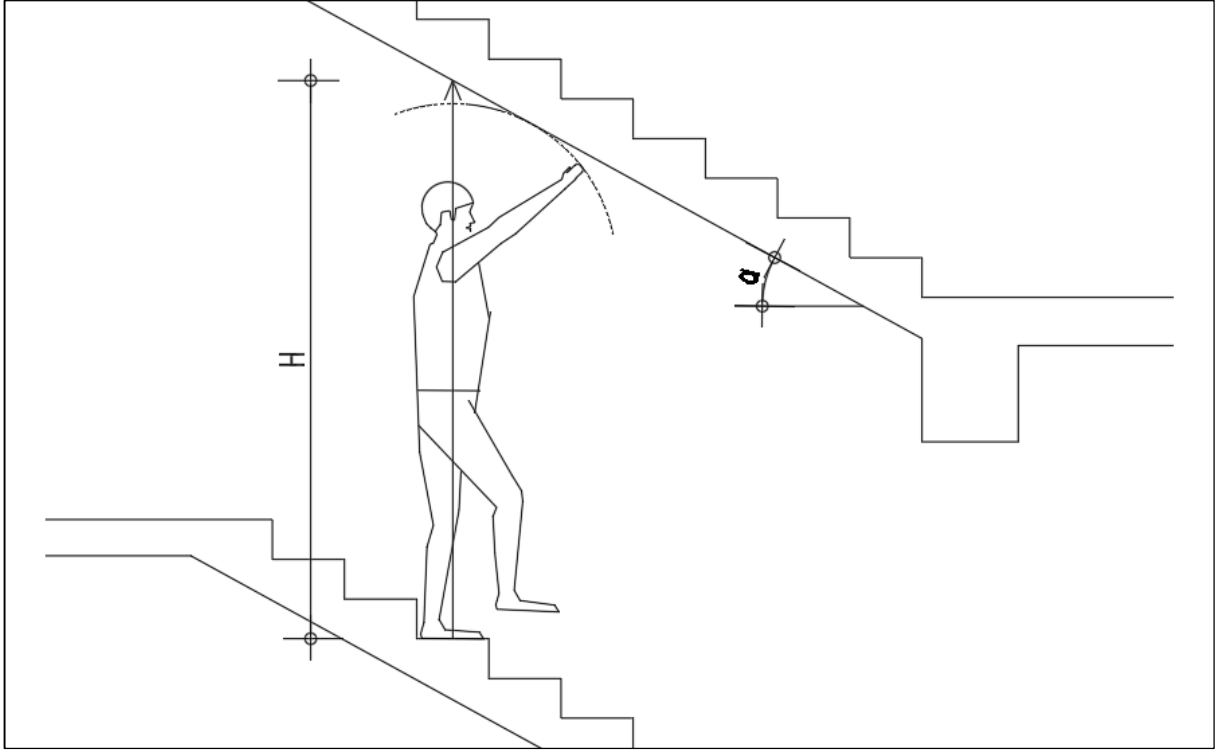
Baş yüksekliği, çıkış hattı üzerindeki basamak köşelerinin birleşimi ile oluşan eğim çizgisi ile aynı düşey ekseninde bulunan tavan eğim çizgisi arasındaki düşey uzaklık olarak tanımlanır [9]. Baş yüksekliği mesafesi Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, insan boyu ve merdiven açısına bağlı olmaktadır. Kolun vücuda mesnetlendiği yükseklik ortalama olarak 140 cm, kolun uzunluğu ise 70 cm kabul edildiğinde, baş yüksekliği mesafesi aşağıdaki denklemden bulunabilir [9].

$$H = 140 + 70 / \cos \alpha \quad (2.1)$$

Baş yüksekliği için uygun değerler Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Baş yüksekliği [2, 8]

Merdiven eğim oranı	Baş Yüksekliği, H	
	Min.	Normal
1) Normal ve yatık eğimli merdivenlerde	200	220
2) Dik eğimli merdivenlerde	220	240
3) Kaçış merdivenlerinde	210	-
4) Dairesel merdivenlerde	250	-



Şekil 2.3. Baş yüksekliği, H

2.5.8. Basamak ve rıht boyutları arasındaki bağıntı

Rıht, bir merdivenin eğimli kolundaki dikey eleman olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle merdivenleri çıkarken iki basamak arasında bağlantıyı sağlayan yükseltilerdir. Merdivenler iniş-çıkış rahatlığı ve güvenliği sağlayabilmesi için ideal boyutlarında olmaları gerekir. Merdivenin eğimi, basamak ve rıht boyutları, adım uzunluğu gibi değerler bu konuda çok önemlidir. Basamak ve rıht boyutları arasında;

- a) Eğim ilişkisi; $\tan \alpha = s/a$,
- b) Adım uzunluğu ilişkisi; $2s + a = 63 \text{ cm}$,
- c) Rahatlık ilişkisi; $a - s = 12 \text{ cm}$,
- ç) Güvenlik ilişkisi; $s + a = 46 \text{ cm}$

bulunmaktadır [9]. Köseoğlu, yapılarda kullanılacak basamak genişliğinin ve yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılan adım uzunluğu ilişkisinde aşağıdaki verilen uygunluk denkleminin kullanılmasını önermektedir. Bu denklem;

$$2s + a = 62 - 64 \text{ cm} \quad (2.2)$$

şeklinde olup denklemin sağ tarafı normal eğimli ($\alpha = 30^\circ$) merdivenlerde 63 cm, dik merdivenlerde 64 cm ve az eğimli merdivenlerde ise 62 cm alınacağı belirtilmiştir [2]. Ancak, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği [7]'ne göre bu denklem;

$$2s+a= 60 - 64 \quad (2.3)$$

olarak verilmiştir.

2.6. Merdivenlerin Tasarımı

2.6.1. Mimari tasarım

Bu aşamada, projenin mimarı, merdivenin mimari fonksiyonlarını düşünerek gerekli olan merdiven boyutlarını Bölüm 2.5.'de verilen şartlar altında belirler. Daha sonra bu boyutlara göre merdivene ait çizimleri tamamlar. Buna ilave olarak, projede dönel merdiven kullanılması halinde, merdiven basamaklarında dengeleme yapılması da gerekecektir [2].

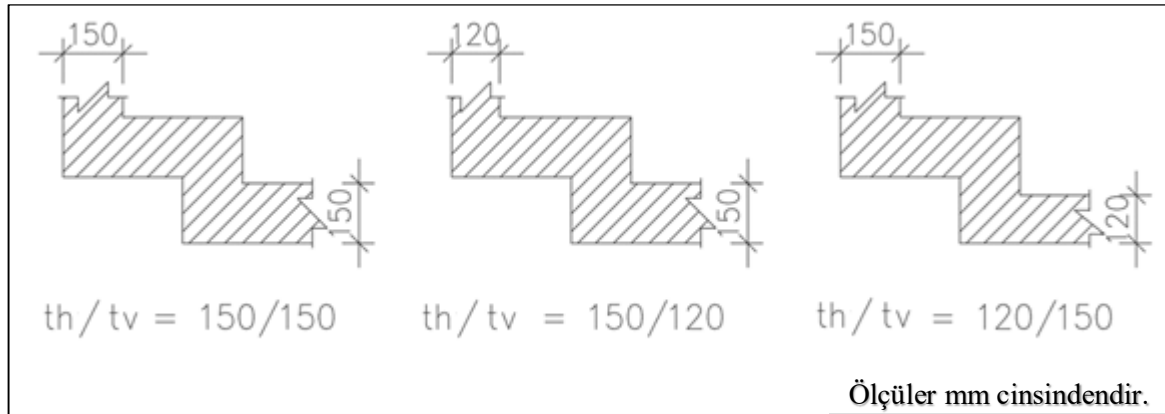
2.6.2. Statik tasarım

Merdiven için en uygun taşıyıcı sistemine karar verilmesi için mimari projeden geometrik ön boyutlar ve merdivenin konumu esas alınır. Taşıyıcı sistem belirlendikten sonra ilgili yönetmeliklere göre merdivenin taşıyıcı sistemine etki edecek olan Bölüm 2.4.'de verilen yükler belirlenir. Daha sonra, taşıyıcı sisteme etki edecek bu yükler altında taşıyıcı sistemin statik hesapları yapılır. Statik hesaplardan elde edilen kesit tesirleri, dağılımları ve kritik değerleri ile merdiven kesitlerinin nihai boyutlandırılması yapılır. Tasarım detaylarına göre merdivene ait teknik çizimler yapılarak bu aşama tamamlanmış olur [2].

3. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Döşemesiz betonarme merdivenler ile ilgili bazı akademik çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu merdivenlerin betonarme tasarımı ve donatı detaylandırılması deneysel çalışmalarla desteklenmemiş bazı analitik ve sezgisel yaklaşımlara dayanmaktadır. Bu nedenle, döşemesiz merdiven davranışının deneysel olarak incelenmesine ve sonuçların mevcut analitik yöntemlerle karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Böylece izin verilen sehim sınırları içinde eğilme dayanımlarına ulaşması beklenen döşemesiz merdivenlerin bu konuda ne kadar başarılı olduğu ortaya konabilecektir.

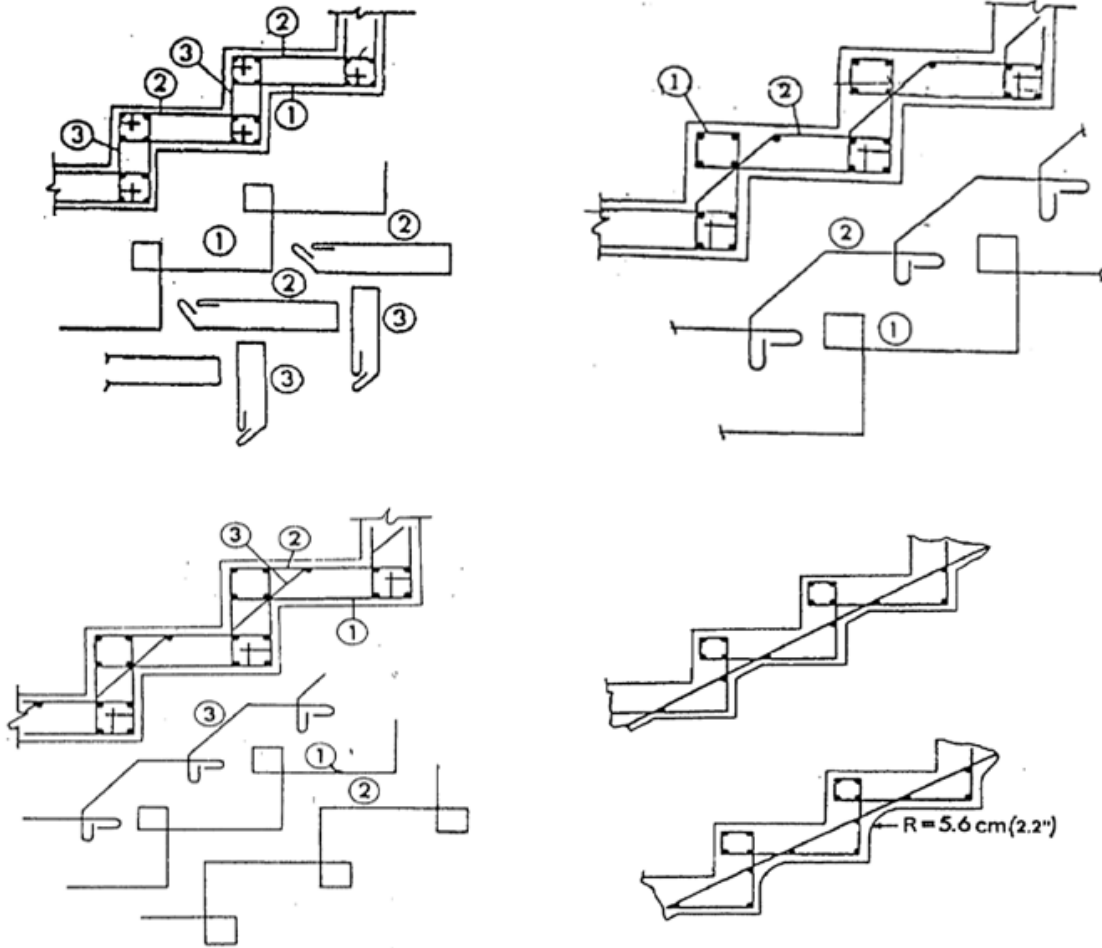
Döşemesiz merdivenlerde, mimari gerekçeler ile basamak ve rıht kalınlığı bazı durumlarda aynı bazı durumlarda ise farklı kalınlıklarda tasarlanabilmektedir. Plak kalınlığının aynı veya farklı olması merdiven kolunun ataletini etkileyeceği, buna bağlı olarak statik tasarımda hem kapasitenin hem de deplasmanın değişeceği düşünülmektedir. Bu amaçla, 1/1 ölçekli basamak/rıht kalınlıkları 150 mm / 150 mm, 150 mm / 120 mm ve 120 mm / 150 mm olmak üzere 3 farklı basamak/rıht kalınlığı parametre olarak alınmıştır (Şekil 3.1). Döşeme kalınlıkları TS 500 [10] standardının tek doğrultuda çalışan döşemeler için sınır şartı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Basamak/rıht boyutları

Döşemesiz merdivenlerle ilgili geçmişteki çalışmalar ve uygulama projeleri incelenmiş, farklı donatı düzenlerinin önerildiği ve uygulandığı görülmüştür. Sharma [1], yaptığı çalışmanın neticesinde dört farklı donatı düzenlemesi önermiştir (Şekil 3.2). Bu donatı düzenlerinin sahada uygulanması çok mümkün olmamaktadır. Bu nedenle çalışmada daha

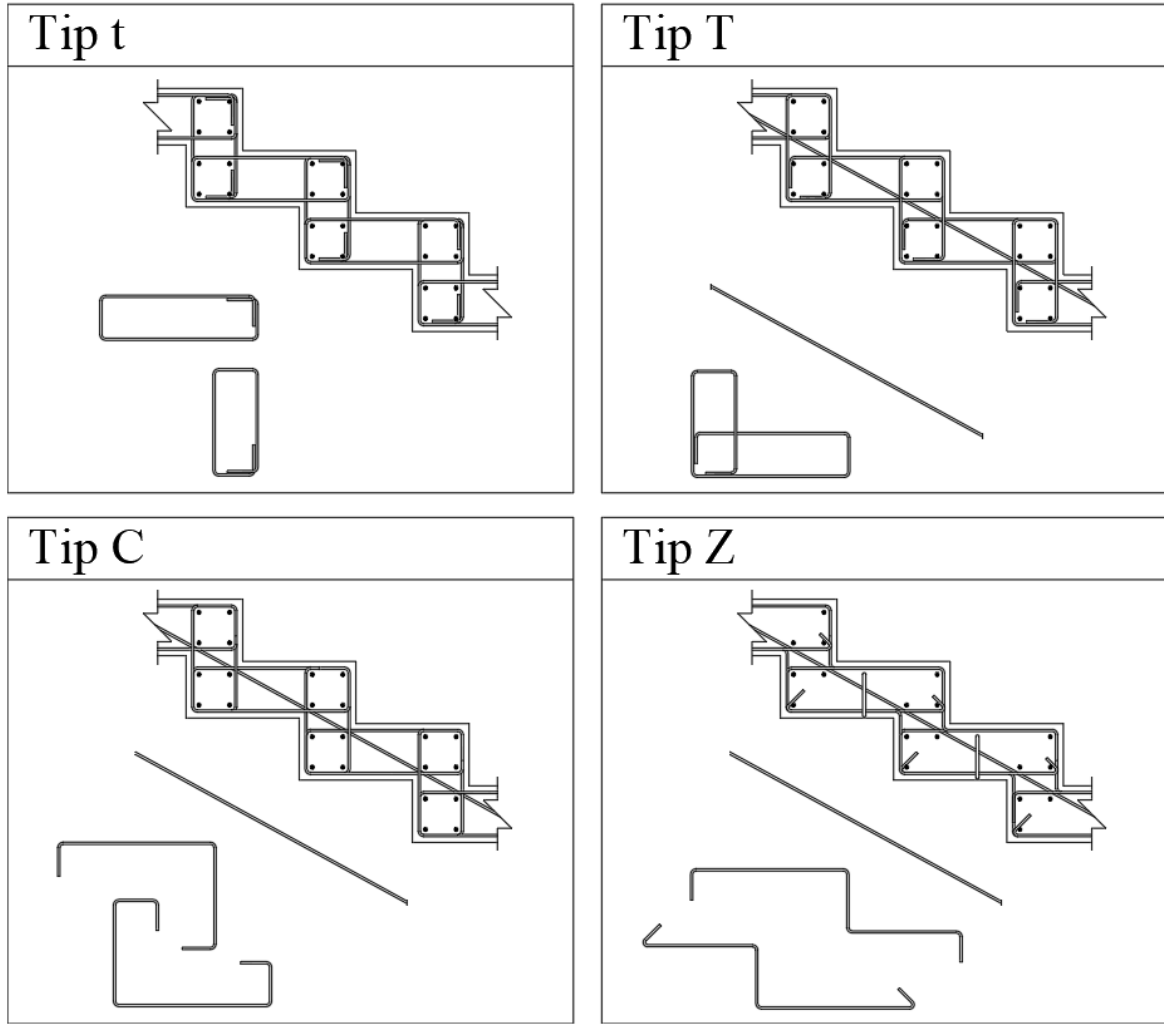
çok uygulamaya yönelik olan donatı düzenleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla, döşemesiz merdivenlerin tasarımında en sık kullanılan, Tip t, Tip T, Tip C ve Tip Z olmak üzere 4 farklı donatı düzenlemesi parametre olarak alınmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Döşemesiz merdivenler için önerilen donatı düzenleri [1]

Bu çalışma kapsamında, 4 farklı donatı düzenlemesi ve 3 farklı basamak/rıht kalınlığı temel alınarak toplamda 12 adet 2/3 ölçekli deney elemanı hazırlanmış ve düzgün yayılı yükü benzeştiren bir şekilde yüklenecek deney elemanlarının basit eğilme etkisi altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Deney sonuçları hem kendi aralarında hem de geleneksel analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışmanın bir diğer amacı ise tek kaynaktan beslenen 4 adet krikonun eş zamanlı olarak aynı yükü deney elemanlarına iletme durumunun incelenmesidir.



Şekil 3.3. Donatı düzeni tipleri

4. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Betonarme yapılarda kullanılmakta olan merdivenlerle ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olsa da her geçen gün artmakta ve davranışları daha iyi anlaşılmaktadır. Her yeni araştırma, daha önce yapılmış çalışmaları ya desteklemiş ya da eksikliklerini ve bu eksikliklerin gerekçelerini belirtmiştir.

Merdivenler konusunda yapılmış olan çalışmalar dört ana başlık altında değerlendirilmiş olup bunlar;

1. Kıvrımlı sistem merdivenler ile ilgili yapılmış çalışmalar,
2. Helisel merdivenler ile ilgili yapılmış çalışmalar,
3. Taşıyıcı basamaklı merdivenler ile ilgili yapılmış çalışmalar,
4. Döşemesiz merdivenler ile ilgili yapılmış çalışmalar.

Aşağıda merdivenlerle ilgili yapılmış çalışmalar yukarıda verilen 4 ana başlık altında özetlenmiştir.

4.1. Kıvrımlı Sistem Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Merdiven kolları ve sahanlık döşemeleri tarafından oluşturulan statik olarak belirsiz uzay yapısının analizi için ilk analitik yöntem Fuchssteiner tarafından geliştirilmiştir. Merdiven kolları ve sahanlık döşemelerinin uzay yapısını, doğrusal çubuk elemanlarından oluşan bir uzay çerçevesi ile değiştirmiştir. İdealleştirmesinde, uzay çerçevesi, sahanlığı temsil eden yarım daire biçimli bir yay kirişi ile birleşen iki eğimli konsoldan oluşmuştur (Şekil 4.1).

Sauter [11], Fuchssteiner ile aynı iskelet formunu kullanmış ancak analizi, zemin seviyelerinde basit destekler içerecek şekilde geliştirmiştir. Eğilme momentlerini taban seviyelerinde ve sahanlık ortasında iki bilinmeyen olarak değerlendirmiştir (Şekil 4.1).

Cusens ve Kuang [12, 13], yaptıkları test sonuçlarının rehberliğinde, doğrusal çubuk elemanlarından oluşan modifiye bir iskelet çerçevesi kullanarak merdivenleri analiz etmişlerdir. Fuchssteiner'in yaklaşımı Cusens ve Kuang tarafından birleştirilmiş, yarım daire

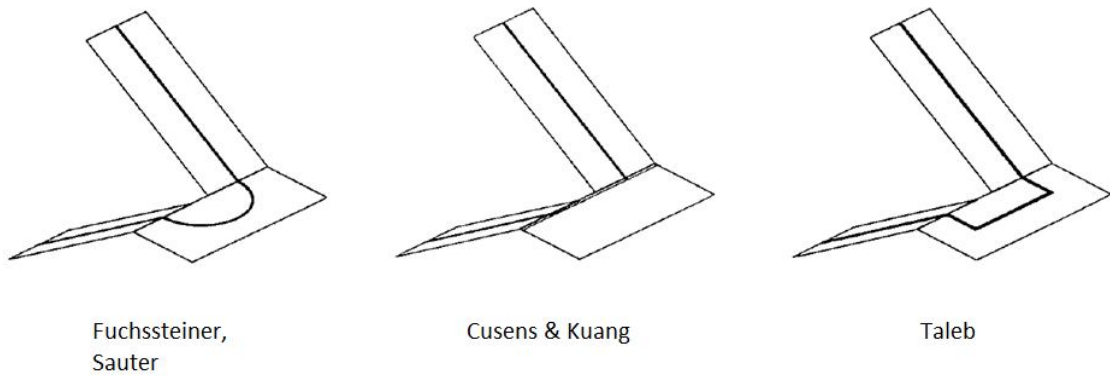
şeklindeki yay kirişinin, merdiven kolları ve sahanlığın kesişme çizgisine yakın düz bir çubukla değiştirilmesini sağlamıştır. (Şekil 4.1).

Gould [14], ara sahanlıktan merdiven kollarına iletilen burulma momentini esas alan bir uzay çerçevesi olduğunu düşünerek merdivenlerin bir analizini yapmıştır. Yani, sahanlıklar, merdiven kolları arasındaki sağlam bağlantıyı sağlar, böylece klasik moment dağıtım yöntemi veya Castigliano'nun enerji teoremi, sahanlığın etkileri ihmal edilerek kullanılabilmiştir.

Diğer taraftan, Talep [15], Şekil 4.1'de gösterilen çerçeveyi kullanarak desteklerden birine altı bilinmeyen getirmiştir. Tüm merdivenlerin minimum iş ve denge denklemleri prensibi kullanılarak bilinmeyenler elde edilmiştir.

Siev'in [16] yöntemi, statik olarak belirlenmiş bir yapı kavramı üzerine kurulmuştur. Eğilme momentleri deformasyondaki uyumluluk göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Liebenberg [17], makalesinde, serbest duran merdivenleri, birincil kuvvetler ve momentler için çözmek üzere bir uzay çerçeve olarak değerlendirmiştir. Daha sonra, merdiveni bu ana kuvvetler tarafından etkilenen bir döşeme yapısı olarak revize etmiş ve analizi tamamlamak için deplasman uyumluluğunu kullanmıştır.



Şekil 4.1. Farklı analitik yaklaşımlar [11]

Köseoğlu [2], ile Çıtıpıtıoğlu ve Kılıç [18], merdivenlerin boyutlandırma analizinde kullanılması için birim genişlikte bir eksen boyunca alınan bir bandın iki boyutlu analizinde uygulanabilir basit yaklaşımlar önermişlerdir. Bu çalışma ile merdiven çıkış hattına paralel

olan mesnet şartlarının davranışa etkisi incelenmiş ve yapılan analizden elde edilen sonuçların gerçekçi olduğu belirtilmiştir. Bu konuda, Ahmed ve diğerleri [19], Bangladesh Yapı İnşaatı Standartları'nda bulunan merdivenlerin incelenmesini konu alan çalışma yapmıştır.

Colotti ve Sara [20], yaptığı çalışmada, merdivenlerin yapıya etkisinin önemsenmediği durumların güvensiz olduğunu, kuvvet dağılımının rijit elemanlar arasında sorunlu olduğu durumlar için analitik model önermişlerdir. Benzer konuda, Kemal [21], çalışmasında herhangi bir bilgisayar yazılımı kullanarak, kendi seçtiği bir yapı sistemini hem merdivenli hem de merdivensiz durumlarını 2 ve 3 boyutlu olarak çözmüş, elde ettiği sonuçları değerlendirmiş, değerlendirmeleri sonucunda önerilerde bulunmuştur.

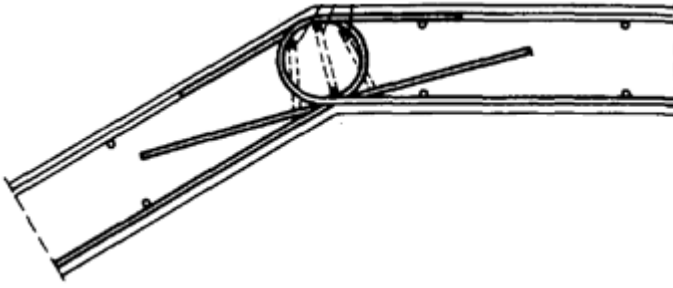
Anıl [22], çok katlı yapılar bulunan merdivenler üzerine yaptığı çalışmada, merdivenlerin yapıya mesnetlenme biçimleri, geometrik boyutları, kullanılan malzeme özellikleri, yapı kat sayısı, yapı ve merdiven elemanlarının rijitlik oranı ve bulundukları kat gibi durumların kesit tesirlerini değiştirdiğini göstermiştir.

Ahmed, I. [23] ve Amanat, K. M.[24], yaptıkları çalışmada geleneksel olarak yapılan çalışmalar ile sonlu elemanlar analiz yönteminden elde ettikleri sonuçları karşılaştırmış, elde ettikleri bulgular ile merdiven türlerinin tasarımları için bir dizi öneriler sunmuştur. Bununla birlikte, merdiven levhasının basit tek yönlü levha gibi davranmadığı, eğilme hareketi ile yük taşıdığı ve üç boyutlu plaka yapısı gibi davrandığı gösterilmiştir. Düzlem içi kuvvetlerin mevcut olduğu ancak önemsenecek seviyede olmadığına da vurgu yapılmıştır.

Saquip ve diğerleri [25] merdiven levhası üzerine yaptıkları araştırmada, merdiven plakalarının tasarım özelliklerini rasyonalize etmişlerdir. Merdiven plakalarının gerçek davranışına ilişkin olarak Ahmed [26] ve Zahedi [27] tarafından yapılan araştırmalar, merdiven levhalarının basit levhalarla aynı şekilde çalışmadığı gerçeğini göstermiştir. Bulguları, şüphesiz ekonomi açısından yapısal uygunluğun şu ana kadar büyüleyici olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, bulguları ve önerileri, büyük ölçüde, o dönemde mevcut olan bilgisayarın kapasitesi nedeniyle sınırlı olmuştur. Artık daha büyük bilgisayarların ve uygun sonlu eleman paketlerinin mevcudiyeti ile merdiven levhalarının davranışına dair kapsamlı bir çalışma garanti edilmektedir.

Baqi ve Mohammad [28], çalışmasında U-dönüslü merdivenler üzerinde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak 6 farklı mesnetlenme şeklini temel alan bir dizi analizler yapmıştır. Bu tip merdivenlerin davranışının hem destek tipine hem de merdiven kolu ve sahanlık genişliğine bağlı olduğu, mevcut standartların değişen destek koşulları ve geometriye göre levhaların davranışını tanımlamada yetersiz kaldığı belirtilmiştir.

Osteroth [29], kıvrımlı merdivenler konusunda hem deneysel hem de analitik çalışmalar ile bu merdiven türlerinin davranışını izah etmiştir. Çalışmasında kıvrım bölgesinde oluşan pozitif momentin karşılanması için Şekil 4.2’de verilen takviyeyi önermiştir. Ayrıca, elle hesaplama yapılmasını mümkün kılan pratik hesap tabloları da düzenlemiştir.



Şekil 4.2. Kıvrım noktasındaki pozitif moment yükü için detay [29]

4.2. Helisel Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Konu ile alakalı çalışmalar incelendiğinde, araştırmacılar tarafından kullanılan iki temel yaklaşım olduğu görülmüştür. İlk yaklaşımda Bergman [30], helikoidi yatay izdüşümüne indirip ve problemi sabit uçlu bir kavisli kiriş gibi çözerek en basit çözümü üretmiştir. Böylece yapı iki boyutlu bir yapı olarak idealleştirilmiştir. İkinci yaklaşımda ise Holmes [31], Young ve Scordelis [32], Scordelis [33] ve Morgan [34] helikoidi helezonik kiriş olarak kabul etmişlerdir. Bu yaklaşımda, helikoid orijinal yapıdaki ile aynı sertliğe sahip elastik çizgisine indirgenmiştir.

Helikoidal merdiven analizinin kesin bir analiz yönteminin geliştirilmesi çabaları, merdivenlerin sarmal bir kiriş olarak kabul edildiği Santathadaporn ve Cusens [35] çalışmaları ile zirveye ulaşmıştır. Çalışmada, geniş bir geometrik parametre yelpazesine sahip helisel merdivenleri için otuz altı tasarım çizelgesi sunulmuştur. Bu çalışmaya dayanarak, mevcut tasarım el kitaplarında Reynolds ve Steedman [36] tarafından

değiştirilmiş formda dört tasarım çizelgesi derlenmiştir. Fakat hem kavisli kiriş hem de helisel kiriş çözümü, helikoidin üç boyutlu özelliklerini ve onun yapısal verimliliğini hesaba katmamıştır.

Ahmad [37, 38], Ahmad ve diğerleri [39] merdiven levhalarının analizinde sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Amin ve Ahmad [40], kalın kabuk eleman kullanan sonlu elemanlar yaklaşımı kullanarak herhangi bir geometrik idealizasyon olmadan helisel merdiveni analiz etmiştir.

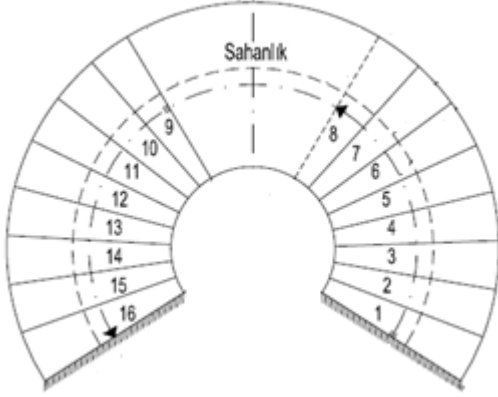
Ahmad ve diğerleri [41] ile Tabani ve Kumar [42] helisel merdivenlerle ilgili daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile ANSYS programı kullanarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmış, araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar ile uyum içinde olduğunu bulmuşlardır. En büyük sapmaların dış kenar boyunca olduğunu ve yarıçapın artması ile sapmanın daha da arttığını göstermişlerdir.

Wadud [43], çalışmalarında geniş bir parametre çeşitliği üzerinden helisel merdiven levhasını incelemiştir. Elde ettiği bulgulardan bazıları daha önceki çalışmalarla çelişmiş olsa da genel olarak benzer sonuçlar almıştır. Bununla birlikte, elde ettiği veriler ile abaklar oluşturmuş ve sınır değer kabulleri çerçevesinde hesaplamalar için kolaylık sağlamıştır.

Nuraloğlu [3], farklı kat sayılarında oluşturduğu modellerde merdiven olarak planlanan yerlere hem pratikte yapıldığı gibi merdiven yerlerine düz plak tanımlamış hem de helisel merdiven tanımlayarak bir çalışma yapmıştır. Merdivensiz modellerde yapının daha rijit davrandığını, deprem kuvvetlerinin merdivenin dikkate alınmadığı durumlarda çok daha fazla olduğu göstermiştir.

Köseoğlu [4], uzay çubuk sistem kabulüne göre hiperstatik sisteme sahip olan Şekil 4.3'deki helisel iki kol ortasında sahanlığa sahip merdiveni kuvvet yöntemine göre çözümlediği çalışmasında, aynı merdiveni SAP2000 statik analiz programında 32 eşit parçaya ayırarak uzay çubuk sistem olarak da çözmüştür. SAP2000 programında yapılan statik analizlerin sonuçlarından, y yönündeki eğilme momenti ve burulma momenti dışındaki tüm iç kuvvetlerin kesit tasarımında yeterli ve güvenli olduğu gösterilmiştir. Ancak elde edilen sonuçların fazla güvenli olması sebebiyle ekonomik olmayan sonuçların elde edileceğine de vurgu yapılmıştır. Y yönündeki eğilme momentindeki güvenli yönde çok büyük sapmanın

olduğu ve bu sapmanın büyük bölümünün de nedenine mantıklı bir açıklama yapılamadığına değinilmiştir.



Şekil 4.3. Sahanlıklı helisel merdivenin planı [32]

4.3. Taşıyıcı Basamaklı Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Maunder [44], çalışmasında, yapısal eylemlerin sınır analizleriyle keşfedilmesi, merdiven boşluğu ile basamaklara sağlanan burulma sınırlamasının yük kapasitesini değerlendirmede büyük öneme sahip olduğunu doğrulamıştır. Eşit yükler için denge durumu optimize edilmiştir. Excel elektronik tablosunda GRG algoritmasının kullanımı, nispeten basit doğrusal olmayan kısıtlamalar varsayarak duvar merdivenleri için limit analiz problemine çok uygun olduğu gösterilmiştir. Ancak geliştirilen bu çözümün sadece belli durumlar için geçerli olduğu ve sorunun türüne göre değişkenlik gösterebileceğine de vurgu yapılmıştır.

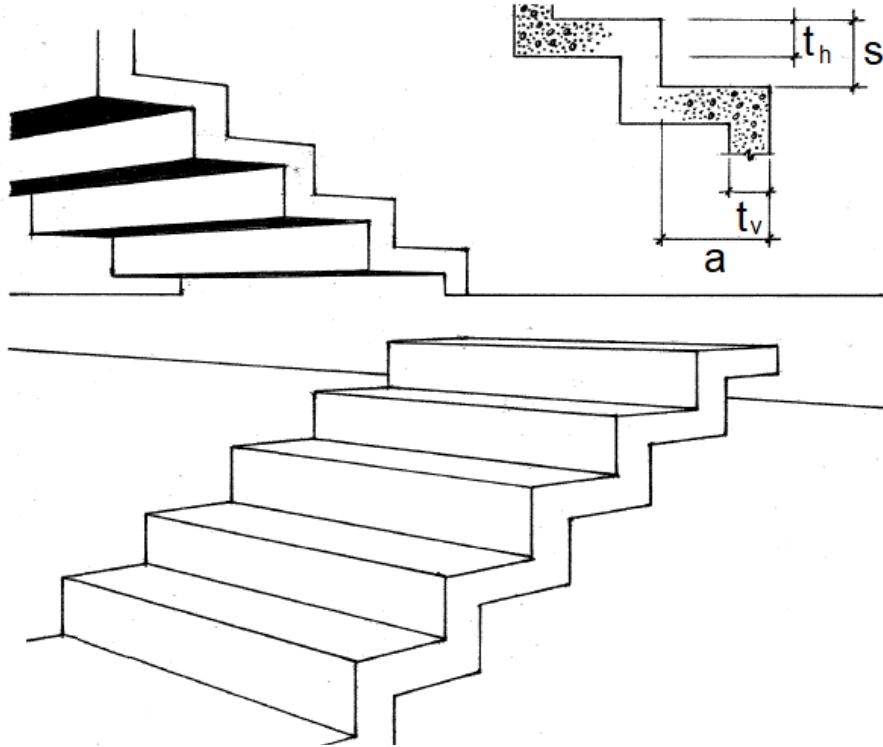
Maunder [45], yaptığı bir diğer çalışmasında destekleyici bir duvardan konsol gibi görünen ayrı taş parçalarından oluştuğu, ancak bel bölümleri boyunca birbirleriyle temas halinde olan konsol merdivenleri incelemiştir. Taşıyıcı basamaklı merdivenlerin yapısal incelemesi için Excel programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Excel'de Visual Basic programlama kullanarak veya Fortran90 gibi dilleri kullanarak bu yöntemin daha büyük problemler için daha fazla araştırılmasını sağlamıştır.

Baratta ve Corbi [46], yığma yapıların, betonarme yapılardan çok farklı bir davranışa sahip olduğunu, tek bir yapısal elemanın somut yapılardaki davranışını incelemek için yeterli olmayan oldukça karmaşık bir sisteme sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmasında, analizin

kolaylaştırılması ve daha sofistike hesaplama araçlarına başvurma vazgeçilmez olduğu, özellikle karmaşık ve hassas vakaların tanımlanmasının kolaylaştırılması amacıyla konsol merdiveninin basitleştirilmiş bir yaklaşık kontrolü için bazı hususlar açıklamıştır.

4.4. Döşemesiz Merdivenlerle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Döşemesiz merdivenler Şekil 4.4'te görüldüğü gibi katlanmış plak şekline meydana gelmektedir. Bu yapısal formu nedeniyle analizi çoğu durumda yavaş ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu merdiven sistemi statikçe belirsiz olup analizi için mevcut çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır.



Şekil 4.4. Döşemesiz merdivenin perspektif görünüşü ve kesiti

Döşemesiz merdivenler ile ilgili 1952 yılında Saenz [47] ortopoligonal kesitli elemanlar üzerine yaptığı çalışmada elde ettiği bulguları ve önerdiği analitik yöntemi bir kitapta yayınlamıştır. Bu çalışmadaki verileri inceleyen Deschappelles [48], sahanlıksız döşemesiz merdivenlerin sabit uç momenti için bir formül önermiştir. Daha sonra Saenz ve Martin [5] tarafından döşemesiz merdivenler üzerine analitik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada tek veya çift sayılı basamağa sahip merdivenleri kuvvet metoduna göre incelemişler ve

döşemesiz merdivenlerde oluşacak eğilme momentlerinin hesaplanması için öneride bulunmuşlardır.

Benjamin [49, 50], bu çalışmanın sonuçlarını sahanlıklı ve sahanlıksız merdivenler için geliştirmiştir. Ayrıca hesap kolaylığı sağlanabilmesi için hesap çizelgesi de oluşturmuştur.

Cusens [51], aksenal kısalmanın ihmal edilmesi ve sadece eğilmeye bağlı gerilme enerjisinin dikkate alındığında, döşemesiz merdivenler için açıklık ve sabit uç momentlerinin hesaplanması için öneride bulunmuştur. Yaptığı çalışma daha önceki çalışmalarla benzer olup yine basamak sayısına bağlı olarak hesaplanmıştır.

Dianu ve diğerleri [52] sütun analojisi ve moment dağıtım yöntemiyle analitik çözüm prosedürü oluşturmuşlardır. Konu ile ilgili çözümlerini tek ve çift basamaklı, sahanlıklı ve sahanlıksız, ara desteği olan ve olmayan gibi durumları göz önüne alarak sunmuşlardır. Ayrıca tasarım aşamalarını da tartışmışlardır.

Mevcut geleneksel analiz teknikleri, merdiveni düz bir yapı olarak kabul edip, merdivenin bükülmüş bölümünü ihmal etmiştir. Sharma [1], bu durumun daha büyük sabit uç momentleri oluşturduğunu ve yatayda oluşan baskının görmezden gelindiğini belirtmiştir. Bu çalışmada, her iki ucu mafsallı olan orta desteksiz bir merdiven durumunu, Castigliano Enerji Teoremi kullanılarak çözmüştür. Bu yöntem ile daha güvenilir gerilme sonuçlarının elde edileceğini belirtmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar analiz yöntemi ile elde ettiği sonuçları geleneksel yöntemlerle karşılaştırmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde, mevcut geleneksel analiz yöntemleri açıklanmıştır.

4.4.1. Saenz ve Martin Metodu

Saenz ve Martin [5], yaptıkları analizde, sahanlıkların başında rijit bir kirişin olması veya döşemenin uçlarında kalın bir kesit olması ihtimalinden dolayı merdivenlerin birleşim yerlerine ankastre bağlandığı kabulünü yapmışlardır. Bu çalışmada, betonarme merdivende kullanılacak malzemenin elastik sınırlar içerisinde olduğu varsayımı ile açıklık ortasındaki momentin aşağıda verilen genel ifade ile hesaplanabileceği belirtilmiştir.

$$M = PL_1 \frac{C_3 + \hat{K}C_4}{C_1 + \hat{k}C_2} \quad (4.1)$$

Burada, P her basamağın ucuna etki eden tekil yükü, L_1 basamak genişliğini, $\hat{k}$ ve $\hat{K}$ basamak/rıht boyutlarına bağlı Denklem 4.2’de verilen katsayıları, C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 ise basamak sayısına bağlı olarak hesaplanan katsayılardır. Basamak sayısı tek olan merdivenler için Denklem 4.3’deki, çift olanlar için Denklem 4.4’deki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\hat{K} = \frac{h_1}{L_1} x \frac{I_{L1}}{I_{h1}}; \quad \hat{K} = 1 + \hat{k}; \quad I_{L1} = \frac{L_1 t_h^3}{12}; \quad I_{h1} = \frac{t_v h_1^3}{12} \quad (4.2)$$

$$C_1 = \frac{2n+1}{2}; \quad C_2 = n; \quad C_3 = \frac{n(n+1)}{4}; \quad C_4 = \frac{n(n^2-1)}{6} \quad (4.3)$$

$$C_1 = n; \quad C_2 = \frac{2n-1}{2}; \quad C_3 = \frac{n^2}{4}; \quad C_4 = \frac{n(n-1)(n-2)}{6} + \frac{n(n-1)}{4} \quad (4.4)$$

Burada I_{L1} basamağın, I_{h1} ise rıhtın atalet momentini; $\hat{K}$ ve $\hat{k}$ basamak ve rıht boyutlarına bağlı rijitlikleri, t_h basamak kalınlığı, t_v rıht kalınlığı, L_1 basamak genişliği, h_1 rıht yüksekliği olarak ifade edilmiştir. Basamakların tek ve çift olmasına bağlı bir parametre olan n ise çift sayılı basamaklar için $a=2n+1$, tek sayılı basamaklar için $a=2n$ olarak ifade edilmiştir. Burada a basamak sayısıdır.

Döşemesiz merdivenin basit mesnetli olduğu durumda serbest orta açıklık momenti Denklem 4.6’ya göre hesaplanmıştır.

$$m_0 = 2 \left\{ \frac{n(n+1)}{4} PL_1 \right\} = 2C_3 PL_1 \quad (4.5)$$

Sabit mesnetlerde oluşacak moment ise aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$M_A = 2C_3 PL_1 - M \quad (4.6)$$

Benzer çalışma merdiven üzerinde düzgün yayılı olması durumu için de yapılmış olup simetrik döşemesiz merdivenler için ankastre momentinin aynı açıklık ve yüke sahip düz bir kirişin ankastre momentine eşit olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ankastre momenti için genelleştirilmiş bir formül de önerilmiş olup Denklem 4.7'deki bağıntıya göre hesaplanabileceği belirtilmiştir.

$$M = \frac{PnL_1(n^2 - 1)}{12n} \left[\frac{1 + \bar{K}}{1 + \frac{n-1}{n} \bar{K}} \right] = M^F K_B \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'deki parantez dışında kısım ankastre momenti olan M^F ve parantez içindeki n oranına bağlı olan K değerinden oluşmaktadır. K_B değerinin ' n ' değerine bağlı değişimi Şekil 4.5'de verilmiştir.

4.4.2. Saenz ve Martin Metodu'nun geliştirilmesi

Saenz ve Martin [5], Bölüm 4.4.1'de açıklandığı üzere, her iki ucu ankastre olan döşemesiz (ortogonal veya akordiyon) merdivenlerin elastik analizini sunmuşlardır. Benjamin [49], bu merdivenlerden sahanlıksız olanlar için ankastre mesnet momentini,

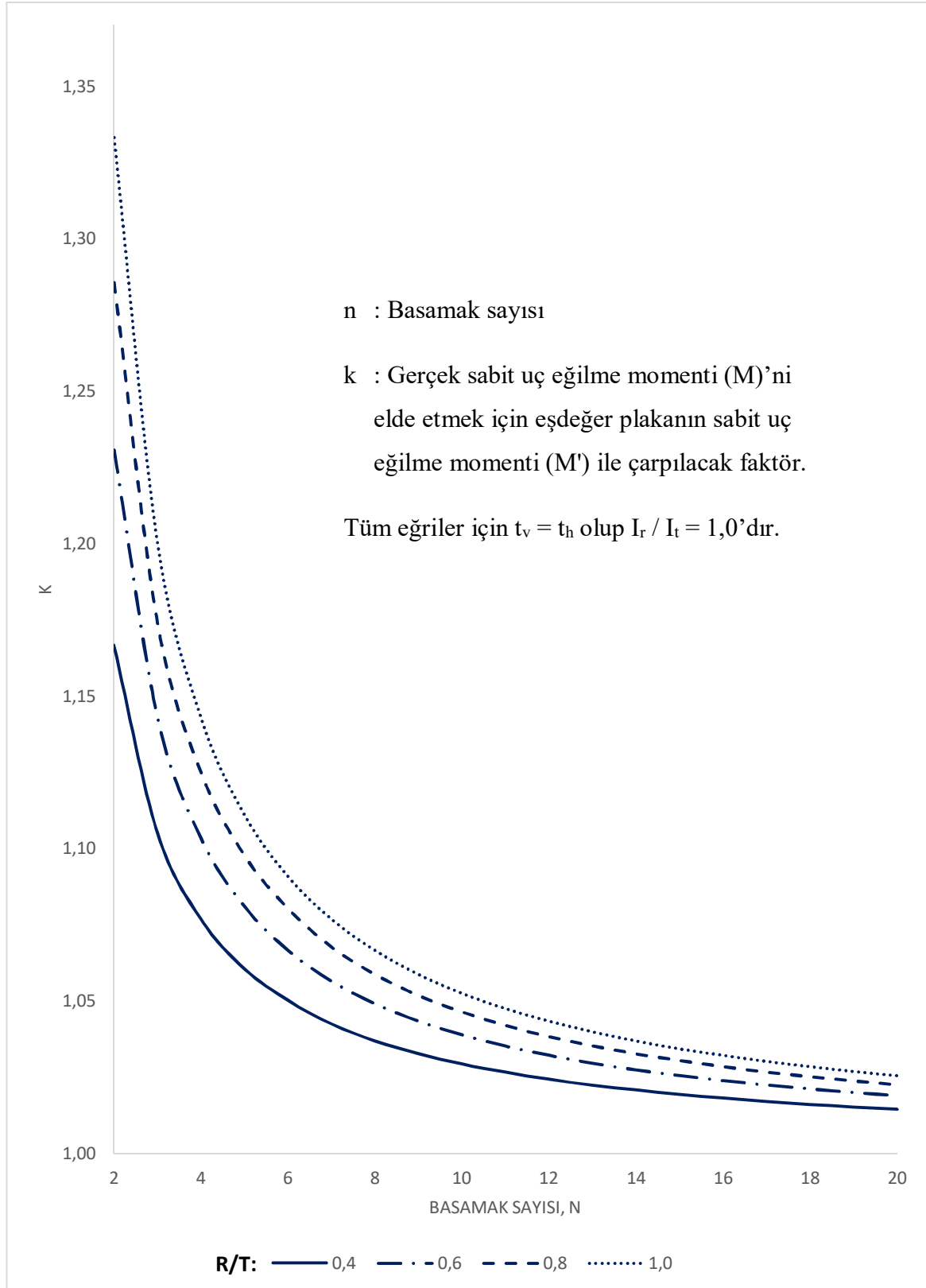
$$M = \frac{PnT(n^2 - 1)}{12n} \frac{\left[1 + \frac{R/T}{I_r/I_t} \right]}{\left[1 + \frac{n-1}{n} \frac{R/T}{I_r/I_t} \right]} \quad (4.8)$$

şeklinde ifade etmiştir. Burada, T basamak genişliği, R rıht yüksekliği, I_t ve I_r sırasıyla basamağın ve rıhtın atalet momentleri olarak ifade edilmiştir. Benjamin [50], ayrıca her iki uçta da eşit sahanlıklı merdivenler için sahanlık uzunluğunun basamak genişliğine bağlı bir tamsayısı olduğu varsayımıyla aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$M = \frac{PnT(n^2 - 1)}{12n} \frac{[1 + p - pA]}{\left[1 + \frac{n-1}{n} p - pB \right]} \quad (4.9)$$

$$p = \frac{R/T}{I_r/I_t}, \quad A = \frac{(2m)(m+1)(3n-2m-1)}{n(n^2-1)}, \quad B = \frac{2m}{n} \quad (4.10)$$

Burada, m sahanlık yeri sayısı, A ve B ise basamak ve sahanlık sayısına bağlı olarak hesaplanan katsayılardır.



Şekil 4.5. k 'nın n 'ye bağlı değişimi

Deschapelles [48] de aynı konuyu incelemiş ve merdivenlerde ankastre momentini hesaplamak için aşağıdaki formülü vermiştir.

$$FEM = \frac{PT}{12} \left(\frac{n(n^2 - 1)(1 + k_1)}{n + (n - 1)k_1} \right) \quad (4.11)$$

Burada, k_1 rıht yüksekliğinin basamak genişliğine oranı (R/T) olarak ifade edilmiştir.

Dianu ve diğerleri [51], sütun analojisi ve moment dağıtım yöntemiyle analitik çözüm prosedürü oluşturmuşlardır. Konu ile ilgili çözümlerini tek ve çift basamaklı, sahanlıklı veya sahanlıksız, ara desteği olan ve olmayan gibi durumları göz önüne alarak sunmuşlardır. Ayrıca tasarım aşamalarını ve donatı detaylarını da tartışmışlardır.

4.4.3. Cusens Yöntemi

Cusens [52], eksenel kısılmanın ihmal edilmesi ve sadece eğilmeye bağlı gerilme enerjisinin dikkate alındığında, döşemesiz merdivenler için açıklık ortasındaki momentin aşağıda verilen genel ifade ile hesaplanabileceğini belirtmiştir.

$$M_s = \frac{nl^2(k_{11} + k_0k_{12})}{j^2(k_{13} + k_0k_{14})} \quad (4.12)$$

Burada; k_0 basamağın atalet momentinin rıht atalet momentine oranı, j ise basamak ya da rıhtların sayısı olmaktadır. Eğer j tek ise;

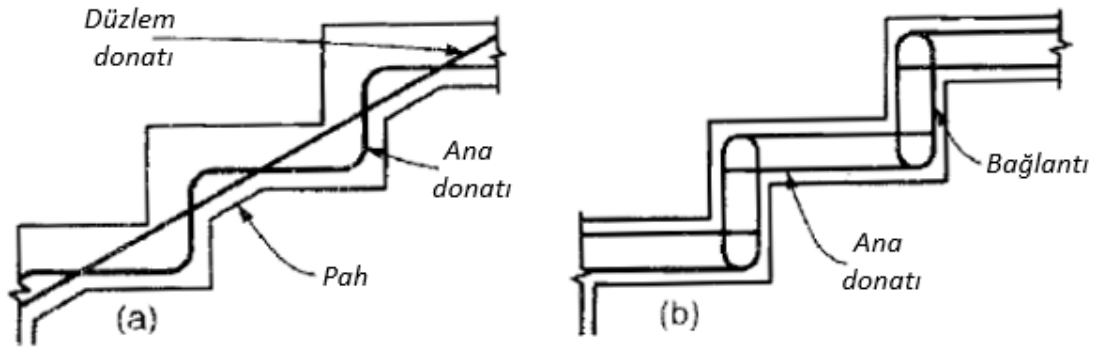
$$\begin{aligned} k_{11} &= \frac{1}{16}j^2 + \frac{1}{48}j(j-1)(j-2) \\ k_{11} &= \frac{1}{16}(j-1)^2 + \frac{1}{48}(j-1)(j-2)(j-3) \\ k_{11} &= \frac{1}{2}j \\ k_{11} &= \frac{1}{2}(j-1) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Eğer j çift ise;

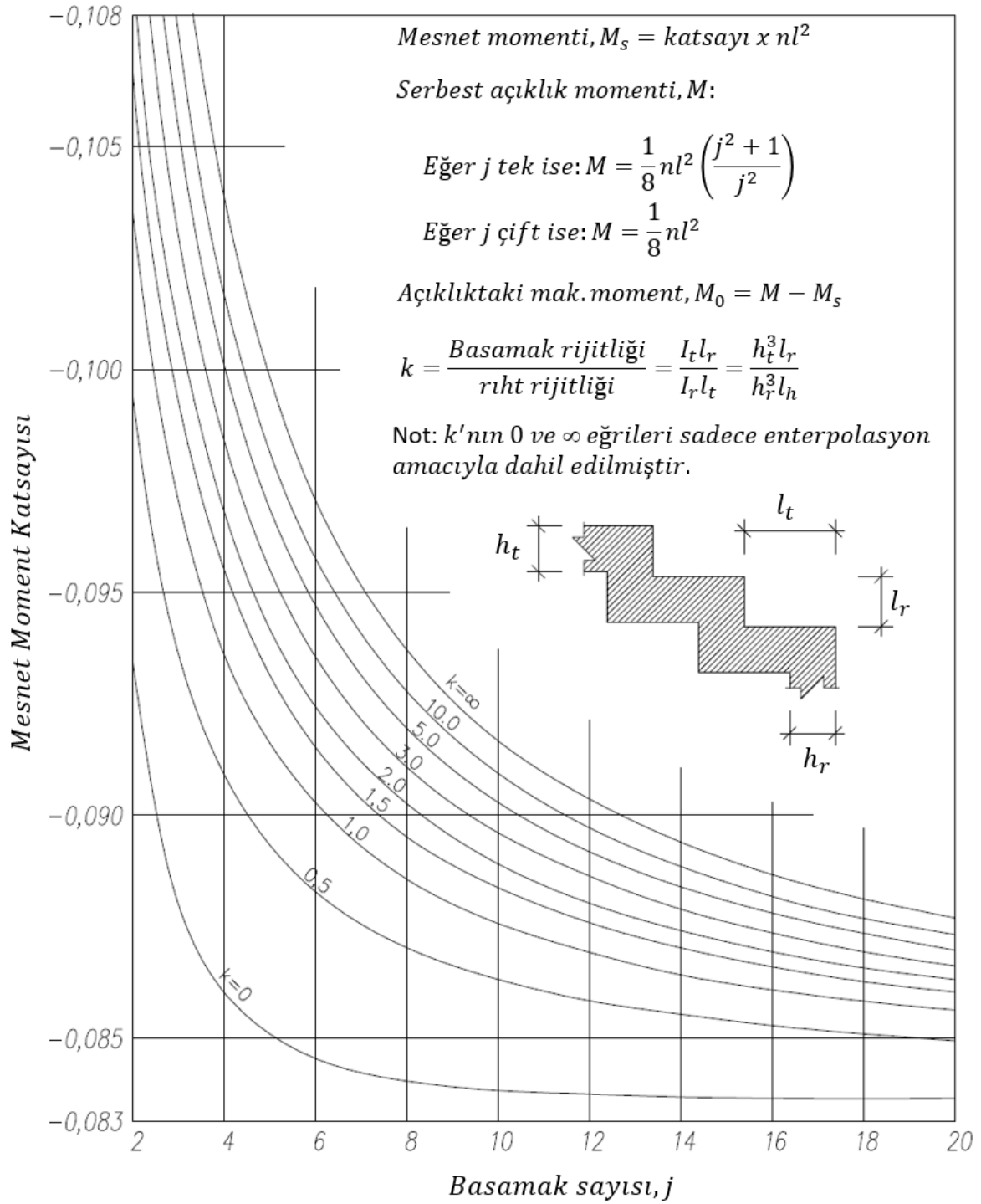
$$\begin{aligned}
k_{11} &= \frac{1}{48}j(j-1)(j-2) \\
k_{11} &= \frac{1}{48}(j-1)(j-2)(j-3) \\
k_{11} &= \frac{1}{2}(j-1) \\
k_{11} &= \frac{1}{2}(j-2)
\end{aligned} \tag{4.14}$$

Şekil 4.7’de verilen grafik çeşitli k_0 oranları ve basamak sayısı için destek-moment katsayılarını vermektedir. Merdiven için önerilen donatı düzeni ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

Merdiven şekli nedeniyle, girintili köşelerde gerilme yığılmaları meydana gelir ve gerçekte oluşacak gerilme hesaplananlardan daha büyük olacaktır. Böyle bir gerilmeye karşı koymak için Cusens [52], bu girintilere uygun pah verilmedikçe, bu bölgede teorik olarak hesaplanan donatının iki katının konulmasını önermiştir. Bu durumda, yapılacak ilavelerin teorik olarak hesaplanan donatı ağırlığının sadece %10’una denk geleceği belirtilmiştir.



Şekil 4.6. Önerilen donatı düzenleri [52]



Şekil 4.7. Döşemesiz merdivenin moment hesap grafiği [52]

4.4.4. Modifiye geleneksel yöntem

Sharma [1], membran etkisinden dolayı merdivenlerin baskıya maruz kaldığını görmüş ve bu nedenle sabit uç momentlerinin mevcut analiz teknikleri ile hesaplananlardan daha az olacağını belirtmiştir. Mevcut geleneksel analiz teknikleri, merdiveni düz bir yapı olarak

kabul edip, merdivenin bükülmüş bölümünü ihmal eder. Böylece daha büyük sabit uç momentleri oluşmuş ve yatayda oluşan baskı görmezden gelinmiştir. Sharma [1], her iki ucu mafsallı olan orta desteksiz bir merdiven durumunu Castigliano Enerji Teoremi kullanarak çözmüştür. Bu yöntem ile daha güvenilir gerilme sonuçlarının elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca döşemesiz merdivenler üzerine Geleneksel Analiz Yöntemi ile Sonlu Elemanlar Yöntemini karşılaştıran Sharma [1], elde ettiği sonuçların anlamlı derecede farklı olduğunu bulmuştur. Elde ettiği sonuçlar;

- a) Geleneksel Analiz Yönteminde yatay yer değiştirmelerin etkisi göz ardı edilmektedir. Sonlu Elemanlar Analizi ile elde edilen sonuçlara göre yatay yer değiştirmelerin etkili olduğu, Rıhtlar arasındaki yatay yer değiştirme nedeniyle davranışının da kiriş davranışından farklı olduğu belirtilmiştir.
- b) Geleneksel Analiz Yönteminde eksenel gerilmeler tamamen görmezden gelinmektedir. Eksenel gerilmelerin göz ardı edilemeyecek kadar önemli olduğu, eksenel itme olgusuna vurgu yapılmıştır.
- c) Geleneksel Analiz Yönteminde alt ve üst mesnetlerdeki tepkiler eşit alınmaktadır. Ancak Sonlu Elemanlar Yöntemine göre mesnet tepkilerinin farklı olduğu, farklılığın nedenini ise mesnetler arasındaki kot farkından kaynakladığı belirtilmiştir.

Bunlar dışında, döşemesiz merdivenin katlanmış bir kaplama/kabuk benzeri yapı olduğu ve bu gerçeğin göz önünde bulundurularak analiz edilmesi gerektiğine, görmezden gelinen eğimli kısımda membran etkisinin gerginlik oluşturduğu, geleneksel yöntemlerin uğraştırıcı ve zaman alıcı olduğu da belirtilmiştir. Bu nedenle döşemesiz merdivenlerin Solu Elemanlar Yöntemi ile çözülmesinin önemi ifade edilmiştir.

Bu tür merdivenlerin donatılandırılması ilginç ve tipiktir. Eğilme momentleri, merdivenlerin uzunluğu boyunca büyük ölçüde değişmekle birlikte, yine de pratikte, tüm basamakların aynı şekilde donatılandırılmasının daha ekonomik olduğuna karar verilmiştir. Bu tip merdivenler için sürekli donatı çubukları ve etriyelerin kullanıldığı ile sürekli donatı çubukları ve eğimli ilave çubukların kullanıldığı iki farklı donatı düzeni bulunuyor. Ayrıca, donatı sıklığını önlemek ve donatı oranını düşürmek için yeni bir donatı tasarımı önerilmektedir. Bu donatı tipi, diğer çubuklarla birbirine birleştirilen ve ayrıca donatı takviyesi görevi gören

dikdörtgen çerçevelerin oluşturulmasıyla sağlanıyor. Gerilme dağılımlarını en aza indirmek için merdivenin altında bulunan iç köşesinin yuvarlatılması veya pah kırması önerilmiştir. Bu bölgelerin çekme gerilmelerini almak için düz çubuklarla takviyesi en verimli ve uygun sistemin elde edilmesini mümkün kılacağı ifade edilmiştir (bkz. Şekil 3.2) [1].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Programı

Deneyde kullanılacak döşemesiz merdivenlerin boyutları ve sayıları laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Buna göre, döşemesiz merdivenlerin tasarımında en sık kullanılan dört farklı donatı düzenlemesi ve üç farklı basamak/rıht kalınlığı temel alınarak 2/3 ölçekli toplamda 12 adet deney elemanı hazırlanmıştır. Deney elemanlarında merdiven genişliği (b), basamak genişliği (a) ve rıht yüksekliği (s) ölçeklendirilmemiş boyutları olarak $b/a/s = 900 / 300 / 165$ mm seçilmiştir. Böylece prototipteki $2s + a = 630$ mm ($2 \times 165 + 300 = 630$ mm) ilkesine de uyulmuştur.

Merdivenin uç bölgelerinde 200 mm x 300 mm kesitinde kirişler oluşturulmuş ve her iki kiriş arasında 14 adet basamak yapılmıştır. Çizelge 5.1’de tüm deney elemanlarına ait özellikler verilmiş olup aşağıda verilen değişkenlerin döşemesiz merdiven dayanımına ve davranışına etkileri incelenecektir.

a) Donatı düzenlemesi: Betonarme tasarımında en çok kullanılan dört farklı donatı tipi esas alınmıştır (Şekil 5.1). Donatı düzenlemesinin dayanıma ve davranışa etkisinin incelenmesi amacıyla kritik kesitlerdeki eğilme dayanımları eşit olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Deney elemanlarından Tip T, Tip C ve Tip Z donatı düzenlemesine sahip olanlarda ilave olarak düz dağıtma (düzlem) donatısı da kullanılmıştır. Donatı düzeninin dayanıma ve davranışa etkileri benzer deney elemanları göz önünde bulundurularak grafikler üzerinden karşılaştırılmış, tartışılmıştır (Resim 5.1 – 5.8)

b) Basamak/rıht boyutlandırması: Şekil 5.2’deki boyutlarda üretilecek deney elemanlarında kullanılacak 3 farklı basamak/rıht kalınlığı belirlenmiştir. Betonarme kesit artışı hem dayanımı artırmakta hem de betonun daha rahat yerleşimini sağlamaktadır. Bu nedenle kesit değişimlerinin dayanıma ve davranışa etkileri benzer deney elemanları göz önünde bulundurularak grafikler üzerinden karşılaştırılmış, tartışılmıştır.



Resim 5.1. Tip t deney elemanına ait modül



Resim 5.2. Tip t deney elemanının yan görünüşü



Resim 5.3. Tip T donatı düzenine ait donatılar



Resim 5.4. Tip T deney elemanının yan görünüşü



Resim 5.5. Tip Z donatı düzenine ait donatılar



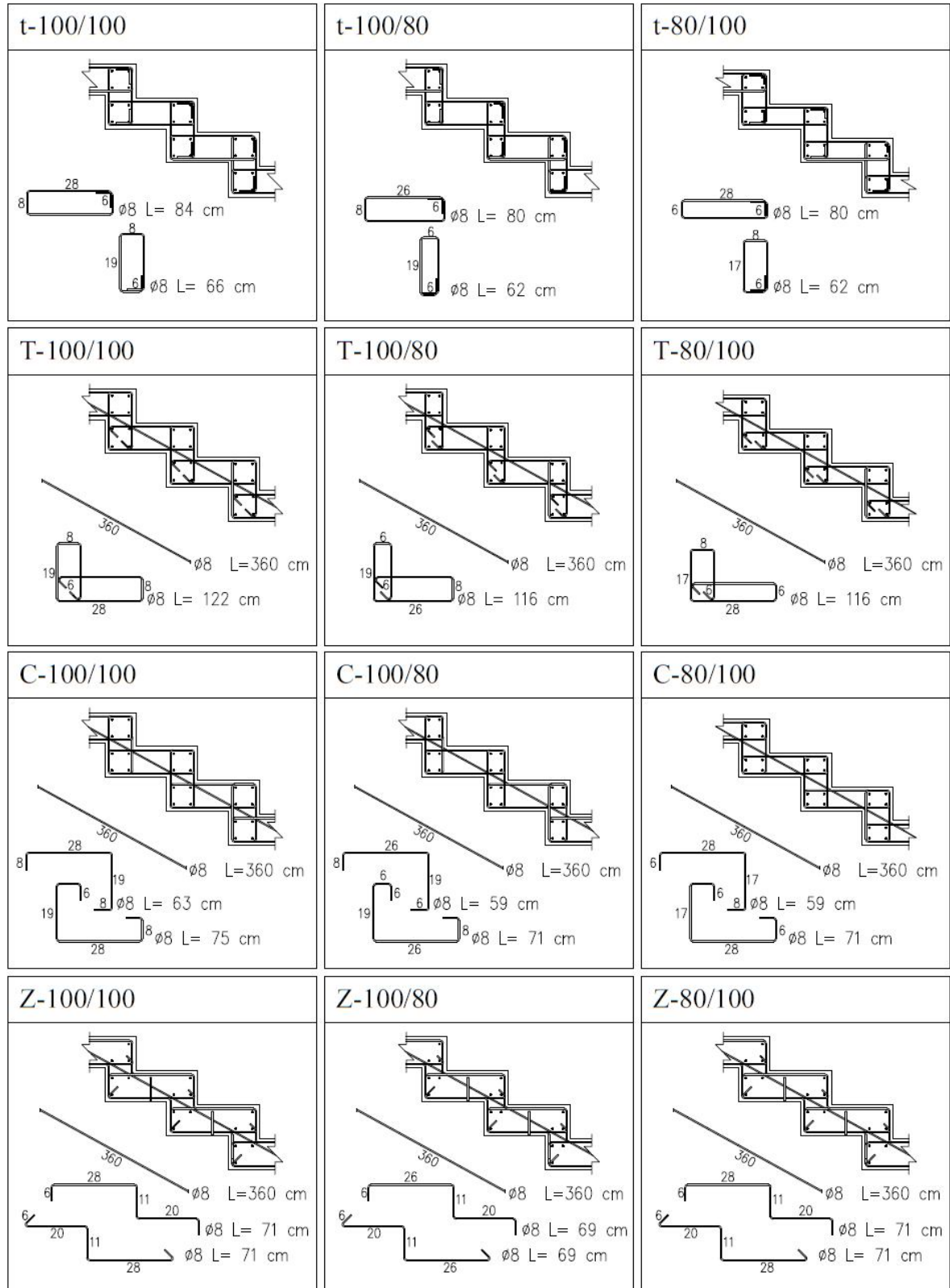
Resim 5.6. Tip Z deney elemanının yan görünüşü



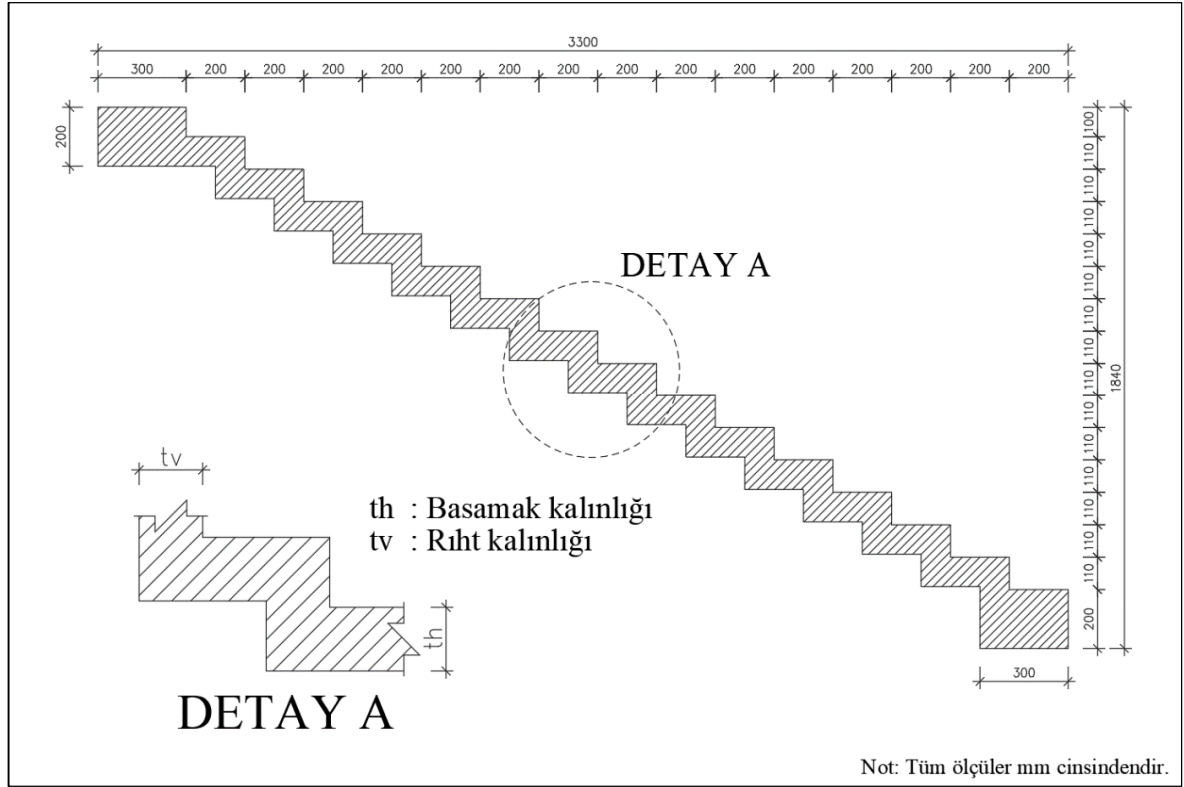
Resim 5.7. Tip C donatı düzenine ait donatılar



Resim 5.8. Tip C deney elemanının yan görünüşü



Şekil 5.1. Donatı düzenleme detayları



Şekil 5.2. Basamak/rıht kalınlığı

Çizelge 5.1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney Elemanı	Basamak Kalınlığı t_h (mm)	Rıht Kalınlığı, t_v (mm)	Basamak Çekme Donatı Alanı, $A_{s,(h)}$ (mm ²)	Rıht Çekme Donatı Alanı, $A_{s,(v)}$ (mm ²)	Basamak Çekme Donatı Oranı, ρ_h	Rıht Çekme Donatı Oranı, ρ_v
t-100/100	100	100	402,12	351,86	0,0076	0,0067
t-100/80	100	80	402,12	452,39	0,0076	0,0111
t-80/100	80	100	452,39	402,12	0,0111	0,0076
T-100/100	100	100	402,12	351,86	0,0076	0,0067
T-100/80	100	80	402,12	452,39	0,0076	0,0111
T-80/100	80	100	452,39	402,12	0,0111	0,0076
C-100/100	100	100	402,12	351,86	0,0076	0,0067
C-100/80	100	80	402,12	452,39	0,0076	0,0111
C-80/100	80	100	452,39	402,12	0,0111	0,0076
Z-100/100	100	100	703,72	351,86	0,0133	0,0067
Z-100/80	100	80	904,78	452,39	0,0171	0,0111
Z-80/100	80	100	804,25	402,12	0,0152	0,0076

5.2. Malzeme Özellikleri ve Dayanımları

Donatı düzenlemesinin ve plak kalınlığının davranışa etkisinin doğru tespit edilmesi amacıyla deney elemanlarının üretiminde kullanılan beton ve inşaat demirinin olabildiğince standart bir dayanımda olması sağlanmıştır. Kullanılan malzemeler ile ilgili miktarlar Çizelge 5.2’de verilmiş olup bu malzemelere ait bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Çizelge 5.2. Beton karışım oran ve miktarları

Malzeme Adı	Miktarı	Ağırlıkça Oran (%)
Çimento (CEM I 42,5 R)	4,00 kN/m ³	16,74
Kırma kum (0-4 mm)	10,54 kN/m ³	44,10
Kırmataş (4-11,2 mm)	7,50 kN/m ³	31,39
Su	1,82 kN/m ³	7,60
Katkı malzemesi	0,04 kN/m ³	0,17
Yaş beton birim ağırlığı	23,90 kN/m ³	100,00

5.2.1. Beton

Donatı düzenlemesinin ve plak kalınlığının davranışa etkisinin doğru tespit edilmesi amacıyla betonun olabildiğince standart bir dayanımda olması sağlanmıştır. Bunun için deney elemanlarının üretimi ve bakımı aynı şartlarda yapılmıştır. Deney elemanları, donatı düzenleri esas alınarak dört sefer beton döküm işlemi yapılmış olup her beton dökümünde 10 cm’lik küp numunelerden 9 adet alınmıştır. Bu numunelerden rastgele seçilen 3 adet numune 7 günlük, rastgele seçilen diğer 3 numune 28 günlük ve kalan 3 numune de deney gününde test edilerek beton dayanımı denetim altında tutulmuştur. Test sonuçları Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’de özetlenmiştir.

Donatı yoğunluğu ve deney elemanlarına ait kesitlerin dar olduğu (8-10 cm) göz önünde bulundurulduğunda, betonu yerleştirmede sorun yaşamamak için betonun olabildiğince kendiliğinden yayılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, beton karışım oranların TS 206 [53]’e göre çökme sınıfı S5, yayılma sınıfı F4 olacak şekilde belirlenmiştir. Karışım oranlarına ve karıştırma süresine göre hazırlanan beton üzerinde çökme ve yayılma deneyleri yapılmıştır (Resim 5.9 ve 5.10). Çökme miktarı 230 mm, yayılma miktarı ise 490 mm olup beton karışım tasarımının uygun olduğu belirlenmiştir (bkz. Çizelge 5.6.).



Resim 5.9. Yayılma deneyinin yapılması (maksimum yayılma 490 mm)



Resim 5.10. Çökme deneyinin yapılması (maksimum çökme 230 mm)

Çizelge 5.6. TS 206-1'e göre slump (çökme) ve yayılma sınıfları

Slump (Çökme) Sınıfları		Yayılma Sınıfları	
Sınıf	Slump (Çökme) (mm)	Sınıf	Yayılma Çapı (mm)
S1	10 – 40	F1	≤ 340
S2	50 – 90	F2	350 – 410
S3	100 – 150	F3	420 – 480
S4	160 – 210	F4	490 – 550
S5	≥ 220	F5	560 – 620
		F6	≥ 630

Çimento

Çimentonun ana hammaddeleri kalker ve kil olmaktadır. Çimento, mineral parçalarını (kum, çakıl, briket, tuğla vs.) yapıştırmak için kullanılan bir bağlayıcı malzeme olup bağlayıcılık özelliğini yerine getirebilmesi için yeterli miktarda karma suyuna ihtiyaç duyar. Su/çimento oranı, çimento hamurunun mukavemetini belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Beton üretiminde kullanılan çimento tip ve uygunluk kriterleri TS EN 197 serilerinde bulur [54].

Bu çalışma kapsamında her 125 dm³ beton üretimi için 0,5 kN CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır.

Agrega

Agrega, betonun ana iskelet yapısını oluşturan kum, çakıl, kırmataş vb. malzemelerin genel adıdır. Agregaların sınıflandırması tane boyutlarına göre yapılmakta olup ince (kum, kırma kum vb.) ve kaba (çakıl, kırmataş vb.) agregalar olmak üzere ikiye ayrılır. Agregalar, beton karışımı içinde hacimsel olarak %60-75 civarında hacmi doldurmaktadır. Bu nedenle önemli bir bileşendir. Agregaların temiz olmasına özen gösterilmeli, kirli (kil, silt, mil, toz vb.) agreganın kullanılması aderansı olumsuz etkilemekle birlikte karışım için gerekli su ihtiyacını da artırmaktadır. Beton karışımında kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620'ye uygun olarak seçilmelidir [54].

Bu çalışma kapsamında her 125 dm³ beton üretimi için 1,32 kN 0-4 mm kırma kum ve 0,94 kN 4-11,2 kırmataş agregası kullanılmış olup agreganın gradasyonu Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Agrega gradasyon hesaplaması

AGREGA GRADASYON HESAPLAMASI						
Elek Ebadı	Elekten Geçen Malzeme (%)			Doğal Kum	Kırma Kum	Karışım
	4-11,2	11,2-22,4	0-4			
31,5	100,0		100,0			100,0
22,4	100,0		100,0			100,0
20	100,0		100,0			100,0
16	100,0		100,0			100,0
11,2	98,5		100,0			99,4
8	80,8		100,0			92,1
5,6	41,8		99,6			75,9
4	14,6		98,1			63,9
2	1,2		65,3			39,0
1			38,0			22,4
0,5			27,0			15,9
0,25			20,1			11,9
0,125			12,4			7,3
0,063			11,4			6,7
Miktar (%)	41		59			100
İncelik Modülü	4,7		3,4			4,4

Su

Beton karma suyu, çimento hidratasyonunu sağlamakla birlikte betonun işlenebilirliği için önemli bir bileşendir. Çünkü, su miktarı taze ve sertleşmiş betona ait tüm özelliklere etki etmesidir. Betonda kullanılacak karma suyu TS EN 1008'e uygun olmalıdır [55]. Bu çalışma kapsamında her 125 dm³ beton üretimi için 0,23 kN karışım suyu kullanılmıştır. Karışım suyu, içme suyu şebekesinden temin edilmiştir.

Katkı malzemesi

Katkı malzemesi, betonun mevcut özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, üretim sırasında veya dökümden hemen önce beton karışımına az miktarda ilave edilen bileşendir. Katkı maddeleri, kimyasal ve mineral katkıları olmak üzere iki çeşittir [54].

Çalışmada, kimyasal katkılardan olan Nanoment HP polikarboksilat esaslı, yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu kimyasal, aynı kıvama sahip kontrol betonuna göre daha az karışım suyu kullanılarak daha yüksek dayanımda beton üretimine olanak sağlamaktadır. Aynı su/bağlayıcı oranında uygun dozajda kullanımı, kontrol betonuna kıyasla daha yüksek işlenebilirlik elde edilmesini sağlamaktadır [56].

Bu çalışma kapsamında her 125 dm³ beton üretimi için çimento ağırlığının %1'i (500 N x 0,01 = 5 N) oranında süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır.

Beton kırım sonuçlarının değerlendirilmesi

Her beton dökümünde 10 cm'lik küp numunelerden 9 adet, toplamda 36 adet test numunesi alınmıştır. Alınan test numuneleri Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda 7 günlük, 28 günlük ve deney yapılan günde test edilmiştir (Bkz. Çizelge 5.3, 5.4 ve 5.5). Küp numunelerinin (100x100x100) 7 günlük beton basınç dayanım ortalaması 47,63 MPa, 28 günlük beton basınç dayanım ortalaması 59,51 MPa, deney günü beton basınç dayanım ortalaması 65,39 MPa olmuştur. Beton üretiminde hedefimiz küp numunelerin 7 günlük test sonuçlarında en fazla 3,00 MPa değerinde standart sapma elde edilmesiydi. Küp numunelerinin 7 günlük test sonuçlarından elde edilen standart sapma 2,08 MPa olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 5.3).

TS 13515 [57] standardına göre, 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numune sonuçları, Denklem 5.1'deki şartın uygulanması halinde 150x150x150'lik kup numune sonucu olarak kullanılabilir. Beton basınç dayanımının bu şekilde tayin edilebilmesi için en az 3 adet numuneye ihtiyaç duyulmaktadır. Beton dökümü sırasında, 28 günlük beton basınç dayanımının tayin edilebilmesi için 12 adet numune alınış olup şart sağlanmıştır.

$$f_{k(150)} = 0,95 \times f_{k(100)} \quad (5.1)$$

TS 13515 standardına göre beton basınç dayanım kriterleri;

- Her bir test sonucu, $f_{ci} \geq 0,9 f_{ck}$,
- Yöntem A: İmalat başlangıcı, $f_{cm} \geq (f_{ck} + 1)$,
- Yöntem B: Sürekli imalat, $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48\sigma$; $\sigma \geq 2,0 \text{ N/mm}^2$

şartlarını sağlaması gerekmektedir. Çizelge 5.8'deki TS 13515 standardının ön gördüğü şartlar uygulanmış ve $f_c = 52,61 \text{ MPa}$ olarak bulunmuştur. Buradan elde edilen sonuca Denklem 5.1'deki düzeltme katsayısı uygulandığında, $f_{k(150)} = 49,98 \text{ MPa}$ olarak bulunur. Küp numunelere ait sonuçların silindir numune sonuçlarına çevrilmesinde boyut ve şekil katsayısı 0,85 kullanılmış olup $f_{(150 \times 300)} = 49,98 \times 0,85 = 42,48 \text{ MPa}$ bulunmuştur. Bu sonuç

ve Çizelge 5.9'daki şartlara göre değerlendirilmiş ve hesaplamalarda kullanılacak beton sınıfı C40/50 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. TS 13515 şartlarının uygulanışı

28 Günlük Test Sonuçları (MPa)	Min ($f_{ci} / 0,9$) (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart Sapma (MPa)	Yöntem A (MPa)	Yöntem B (MPa)
56,60					
58,30					
52,60					
63,80					
64,10					
50,30	55,89	59,51	4,66	54,51	52,61
60,30					
60,80					
63,20					
58,40					
59,90					
65,80					

Çizelge 5.9. Beton basınç dayanımı deney sonuçları ile tespit kriterleri [57]

Belirli hacimdeki betondan elde edilen deney sonucu adedi "n"	1. Kriter "n" adet deney sonucunun ortalaması (f_{cm}) N/mm ²	2. Kriter Herhangi tek deney sonucu (f_{ci}) N/mm ²
1	Uygulanmaz	$\geq f_{ck}$
2-4	$\geq f_{ck} + 1,0$	$\geq f_{ck} - 4,0$
≥ 5	$\geq f_{ck} + 2,0$	$\geq f_{ck} - 4,0$

5.2.2. Donatı çeliği

Betonarme yapılarda kayma ve çekme gerilmelerini karşılamak için beton içine özel şekillendirilmiş donatı çeliği konulur. Standart üretimleri 12 metre boyundadır. Betonda kullanılacak donatı çeliği TS 708 [58]'e uygun olmalıdır. Bu çalışma kapsamında S420 (BÇ III) sınıfı donatı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan demir 8 mm (Ø8) çapında olmaktadır. Deney elemanlarının tamamında aynı yerden temin edilen donatı çeliği kullanılmıştır. Donatı çeliğinden alınan numuneler laboratuvar ortamında test edilmiş olup gerilme – birim deformasyon eğrileri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Donatı çeliği test numunelerinin sonuçları

Donatı Çapı (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama Akma Dayanımı (MPa)
8	50,24	485,67	587,18	469,75
8	50,24	469,75	573,25	
8	50,24	453,82	569,27	

S420 donatı çeliğinin teknik özellikleri [58];

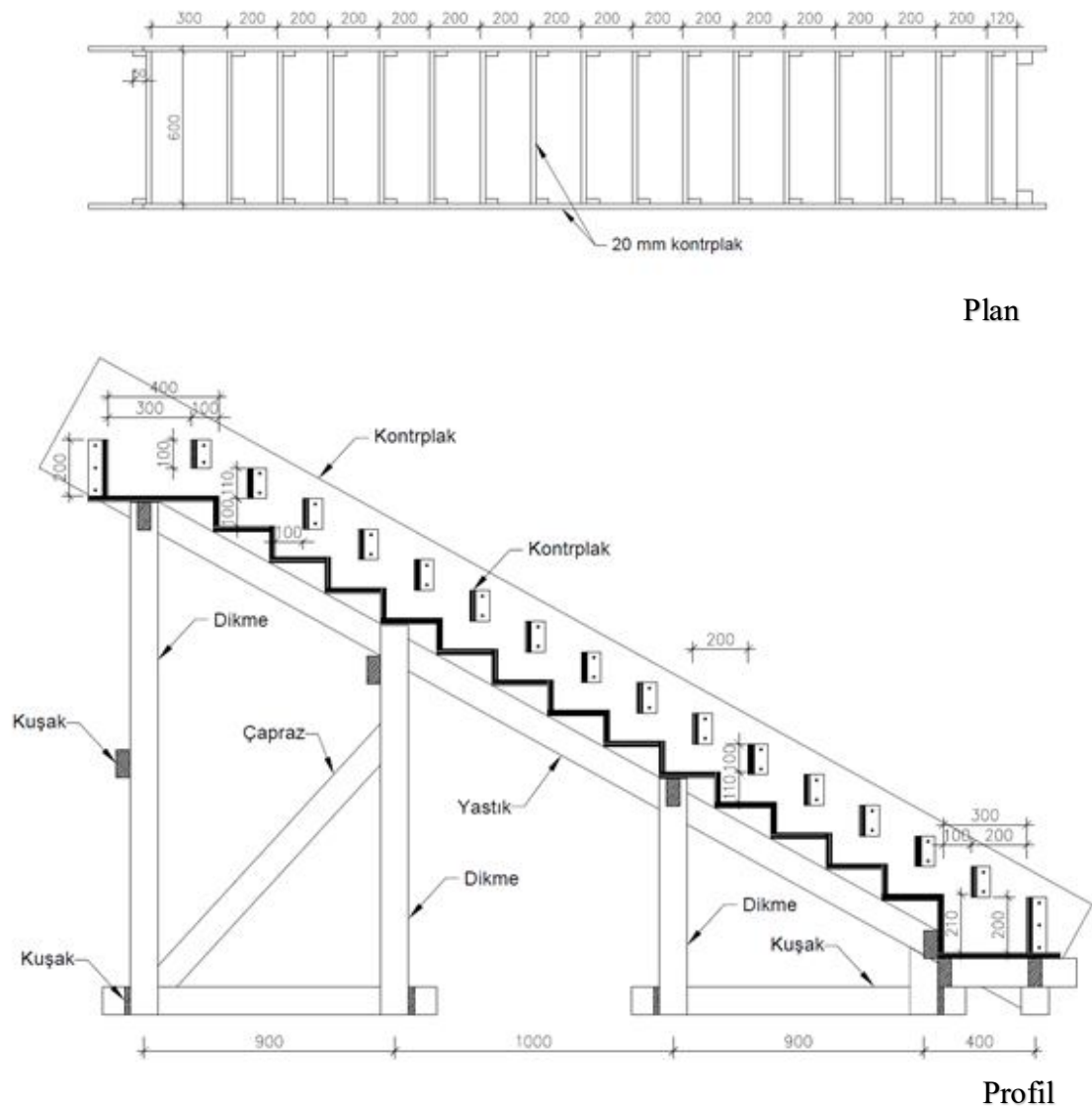
- Akma dayanımı (f_{yk}) ≥ 420 MPa
- Çekme dayanımı (f_{su}) ≥ 500 MPa
- Çekme dayanımı / Akma dayanımı (f_{su} / f_{yk}) $\geq 1,15$
- Deneysel akma dayanımı / karakteristik akma dayanımı ($f_{yk \text{ act}} / f_{yk}$) $\leq 1,30$
- Kopma birim uzaması (ϵ_{su}) $\geq \% 10$

5.3. Deney Elemanlarının Hazırlanışı

Deney elemanlarının ölçüleri belirlenmiş olup bu ölçülere göre kalıp hazırlanmıştır. Kalıp malzemesi olarak ahşap kullanılmıştır (Şekil 5.3). Tüm deney elemanları bu kalıplar kullanılarak üretilmiştir.

Deneyde kullanılacak döşemesiz merdivenler laboratuvar koşulları içerisinde test edileceği için bu elemanlarının boyutları ve adetleri bu koşullar göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Uygulamadaki döşemesiz merdivenleri iyi temsil etmesi için deney eleman ölçeği olabildiğince yüksek seçilmiş olup deney elemanları 2/3 ölçekli üretilmiştir.

Deneylerde kullanılan kalıbın genişliği 600 mm ve basamak genişliği 200 mm olmaktadır. Rıht için kullanılan parçaların kolay takılıp sökülebilmesini sağlamak amacıyla vida ile sabitlenmiştir. Ayrıca kalıbın da stabilitesine destek olması amacıyla bu şekil uygulanmasına karar verilmiştir. Buna ilave olarak, kalıp 3 farklı noktadan tel ile gerdirilerek kalıbın açılması engellenmiştir. Tüm kalıplar standart bir ölçüde hazırlanmış olup basamak ve rıht kalınlıkları rıht tahtasının konumlandırılması ile ayarlanmıştır.



Şekil 5.3. Deneyde kullanılan kalıbın plan ve profili

3 adet deney elemanının beton dökümü aynı anda yapılmış olup tüm deney numuneleri 4 dökümde tamamlanmıştır. Aynı donatı düzenine sahip olan deney elemanlarının beton dökümleri birlikte yapılmış olup basamak/rıht kalınlıkları farklı olan numuneler üretilmiştir. Dört farklı donatı düzeni bulunduğundan beton dökümü dört kez tekrar etmiştir.

Deney elemanlarının üretilmesi

Laboratuvar ortamında imalatların yapılabileceği en müsait yere tespit edilmiş olup kalıplar belirlenen bu yere taşınmıştır. İlk olarak Tip t donatı düzenine sahip olan deney elemanları ile üretimine başlanmıştır. Deney elemanlarına ait donatılar (bkz. Şekil 5.4-15) donatı

planlarına göre ölçülerinde kesilmiş ve bükümleri yapılmıştır. Kesimleri ve bükümleri tamamlanmış olan donatılar tezgâhta modüller şeklinde tel ile bağlanmıştır. Bu şekilde işçiliğin daha kolay yapıldığı görülmüş ve süre olarak yerinde bağlamaya göre neredeyse yarı yarıya fark etmiştir.

Tip t donatı düzenine sahip deney elemanlarının donatı yerleşimi en çok uğraştıran ve zaman alan uygulama olmuştur. Hem donatıların hazırlanması hem de bağlanması diğer donatı tiplerine göre daha zor olmaktadır. Sahada yapılan uygulamalarda ise en sık rastlanan donatı düzenidir.

Tip T donatı düzenine sahip deney elemanların donatıları, Tip t donatı düzenindeki iki parçanın tek seferde yapılması ile sağlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan donatılar hem hazırlık hem de bağlama aşamalarında süreyi önemli oranda azalttığı gözlemlenmiştir. Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanları, Tip t ve Tip T donatı düzenlerine sahip deney elemanlarından farklı olarak üretilmiş olup donatılar Z şeklinde ve betonun alt ve üst yüzünde kullanılmıştır. Basamak plağında donatılar üst üste geldiği için bu bölgede diğer donatı düzenlerindeki gibi eş donatı alanı sağlanamamıştır. Bu nedenle Tip Z deney elemanlarında kritik kesit rıht olmuştur. Tip C donatı düzenine sahip deney elemanları, Tip Z donatı düzeni gibi alt ve üst donatılar halinde hazırlanmış olup C şeklindedir.

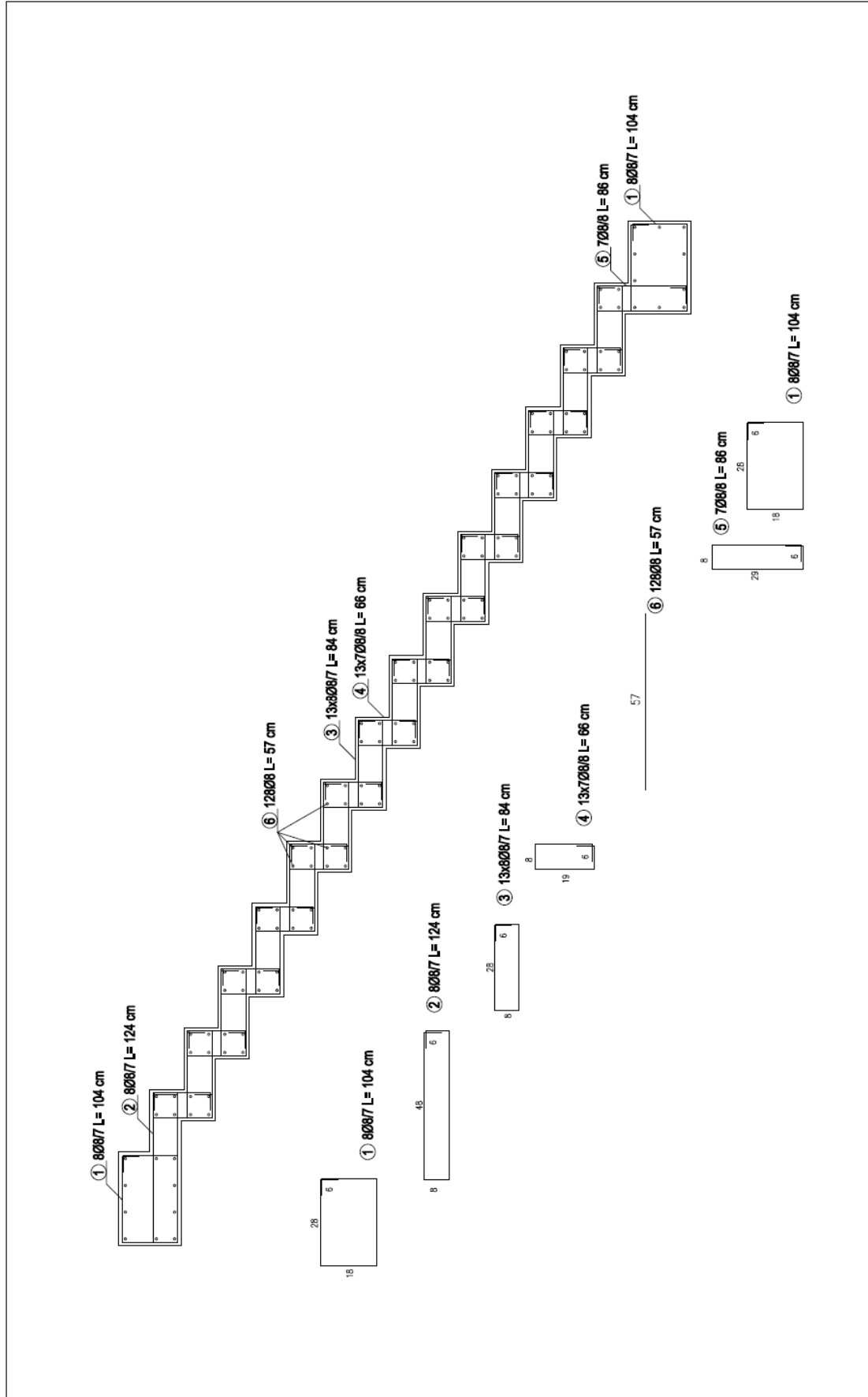
Tamamlanan modüller kalıba yerleştirilmeden önce kalıbın üzeri temizlenmiş ve yağlanmıştır. Hazırlanan modüller kalıp üzerine yukarıdan aşağıya gelecek şekilde yerleştirilmekte ve her modül birbirine bağlanmaktadır. Donatı bükümünün izin verdiği şartlar göz önüne alındığında, donatı ile kalıp arasına 8 mm paspayı mesafesi bırakılması uygun görülmüştür.

Donatıların yerleştirilmesinden sonra deney elemanlarının kalan kalıp işlerine başlanmıştır. Bu aşamada yan kalıplar ve rıht tahtalarının montajı yapılmıştır. Rıht tahtalarının doğru konumlandırılması için basit aparatlar yapılmış ve kalıp işçiliğini önemli ölçüde kolaylaştırdığı görüşmüştür (Resim 5.11).

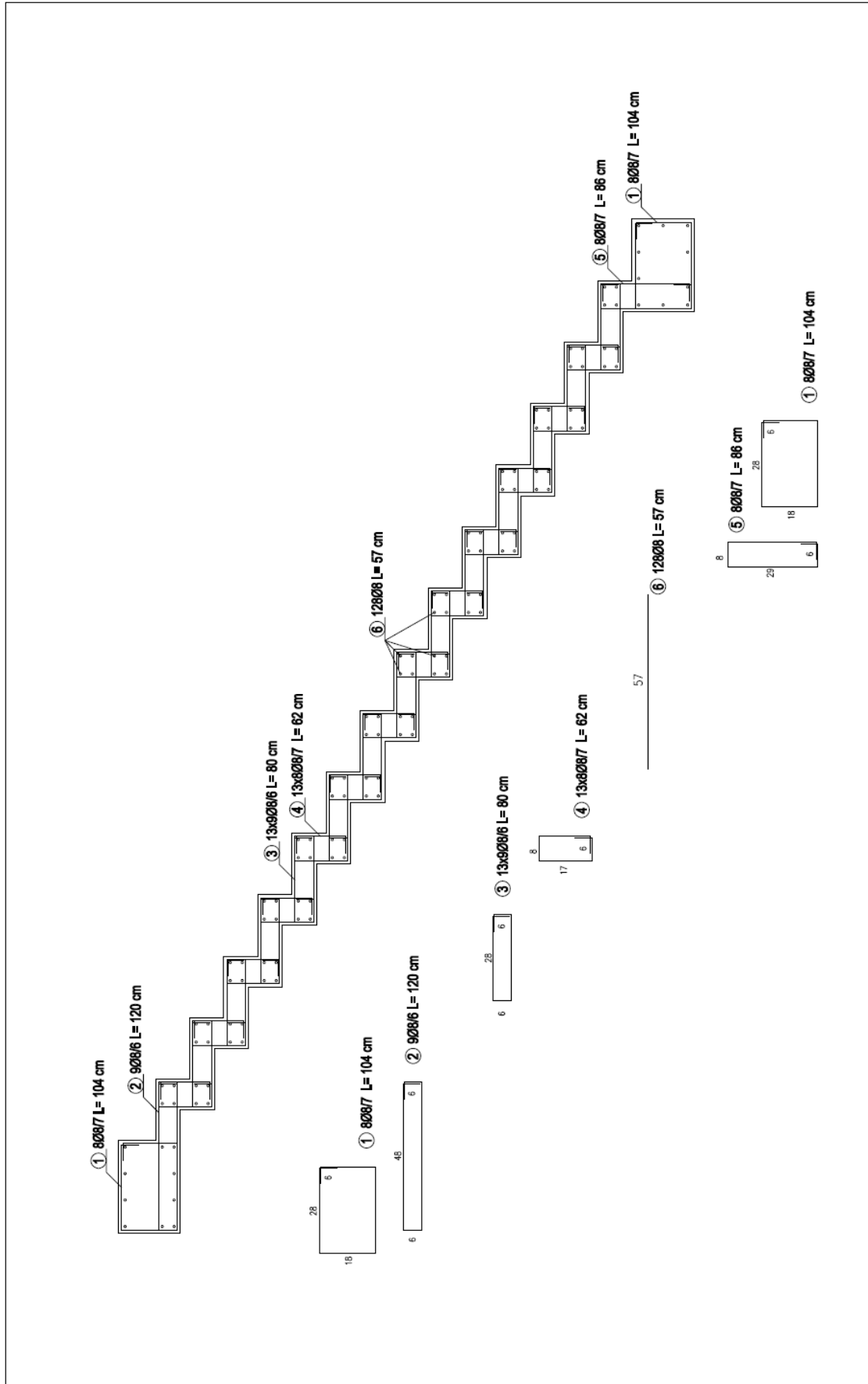


Resim 5.11. Rıht tahtasının mesafesini net ayarlamak için kullanılan basit parçalar

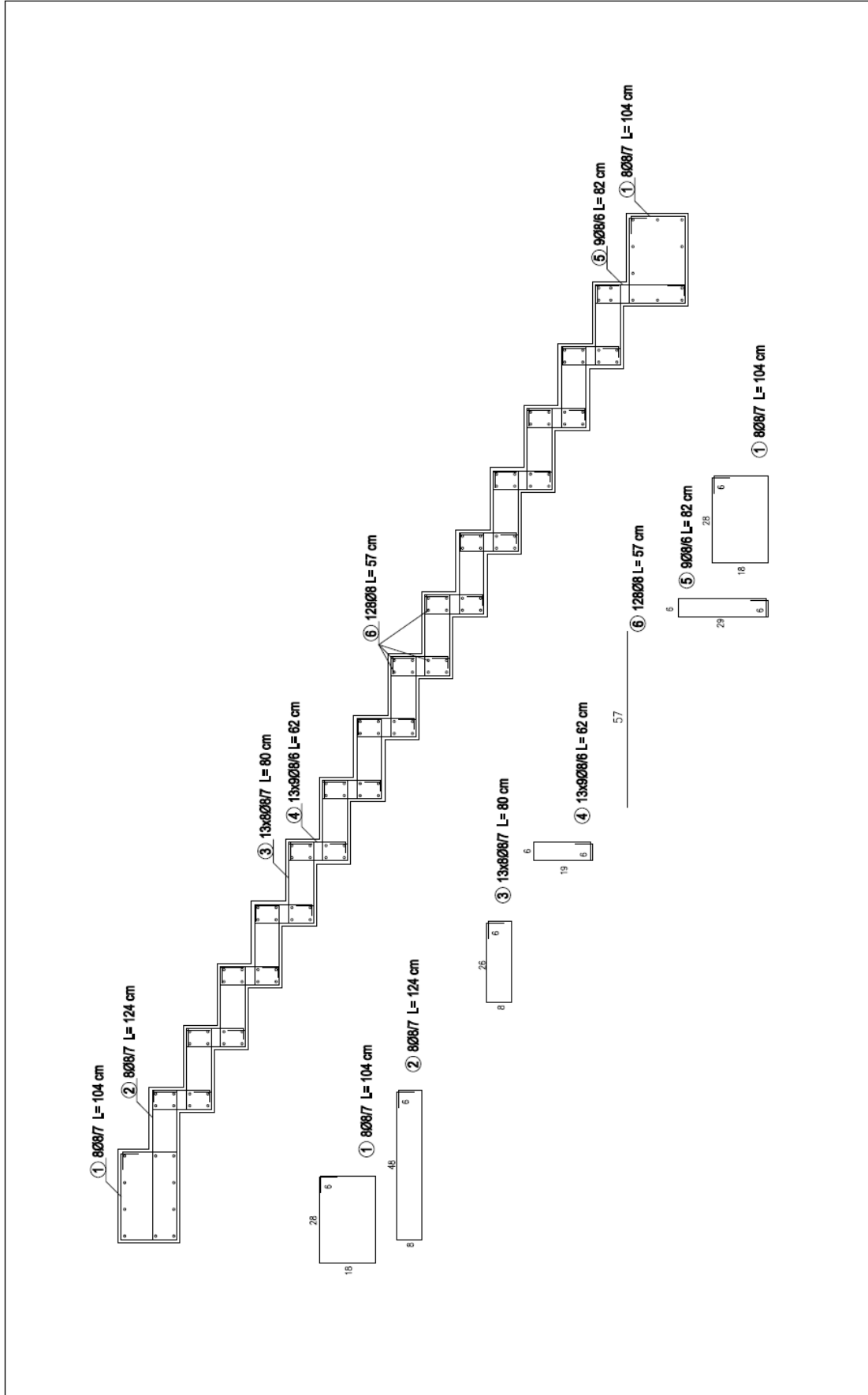
Kalıp işleri tamamlandıktan sonra beton dökümüne geçilmiştir. Bu aşamada, 5. Bölüm’de belirtilen oranlarda malzemeler kullanılarak beton hazırlanmıştır. Hazırlanan beton kalıplara yerleştirilmiştir. Betonun yerleştirilmesinde vibratör kullanılmıştır. Daha sonra betonun prizini alması için uygun bir süre beklenmiştir. Prizini aldıktan sonra beton sulanmış ve kürlleme için üzeri 2 kat naylon ile örtülmüştür. Beton, 7 gün boyunca günde 2 kez yeterince sulanmıştır. Deney elemanları kalıp üzerinde 7 gün bekletildikten sonra kalıpları sökülmüş ve laboratuvar içinde uygun bir yere taşınmıştır.



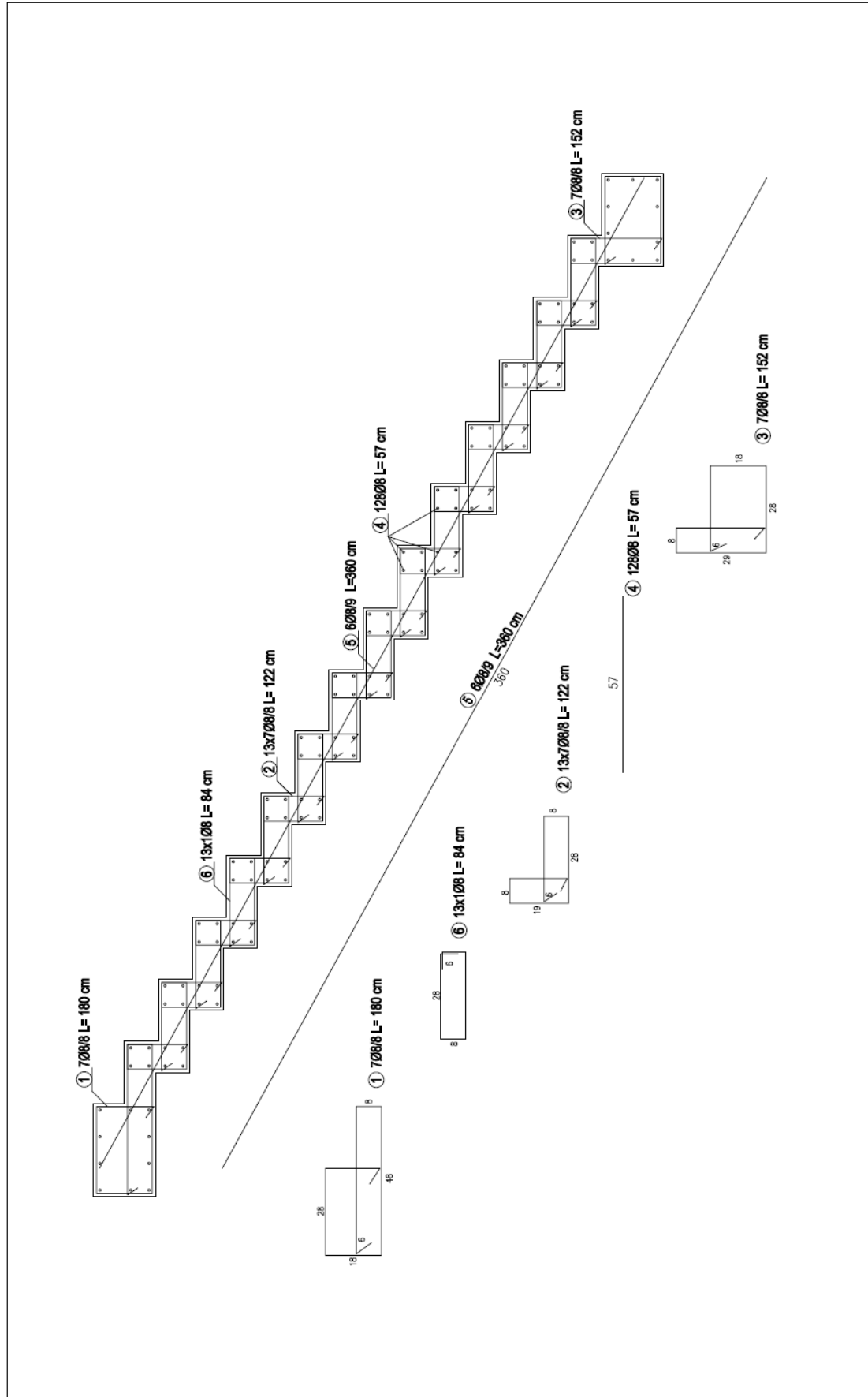
Şekil 5.4. t-100/100 deney elemanına ait donatı planı



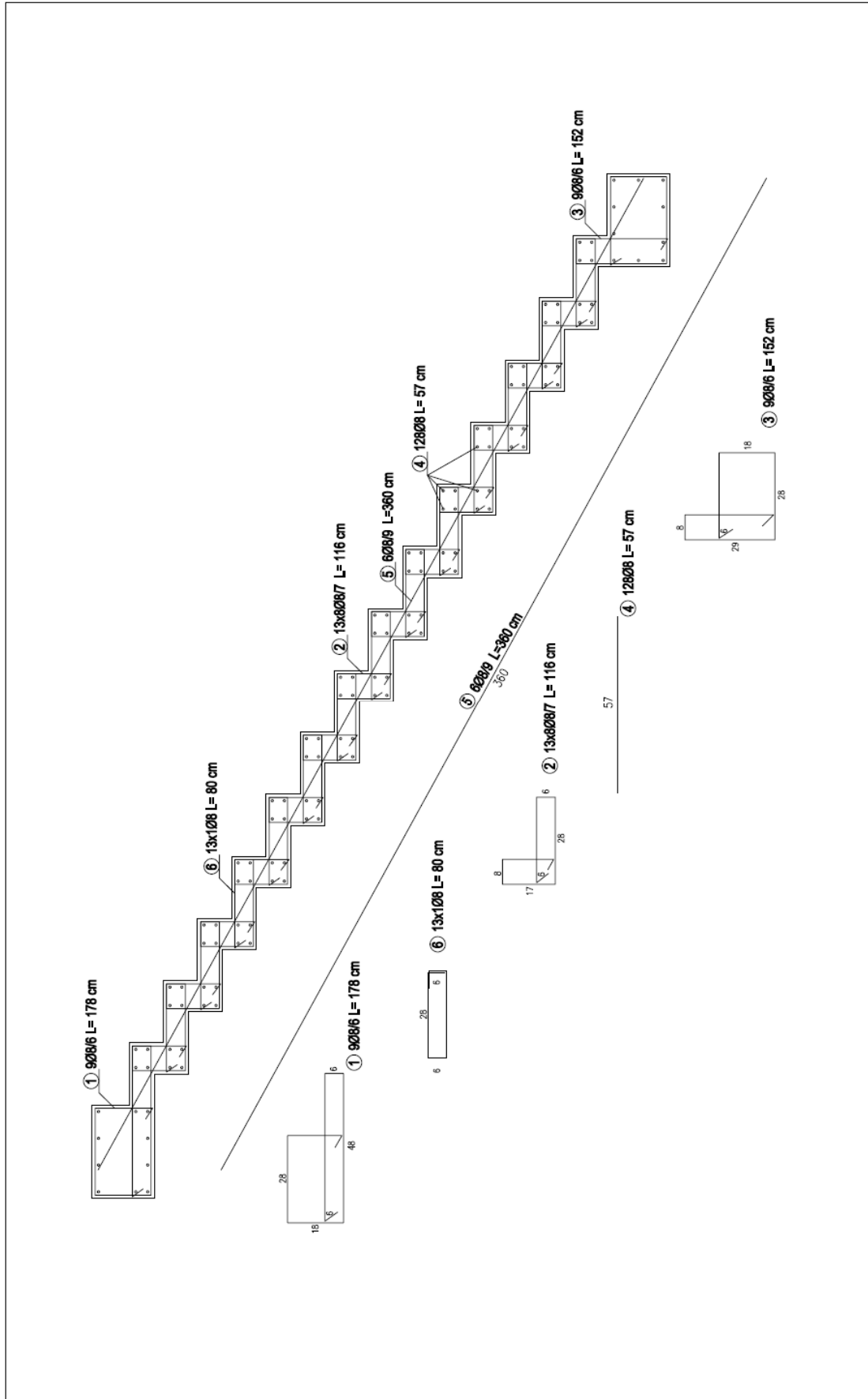
Şekil 5.5. t-80/100 deney elemanına ait donatı planı



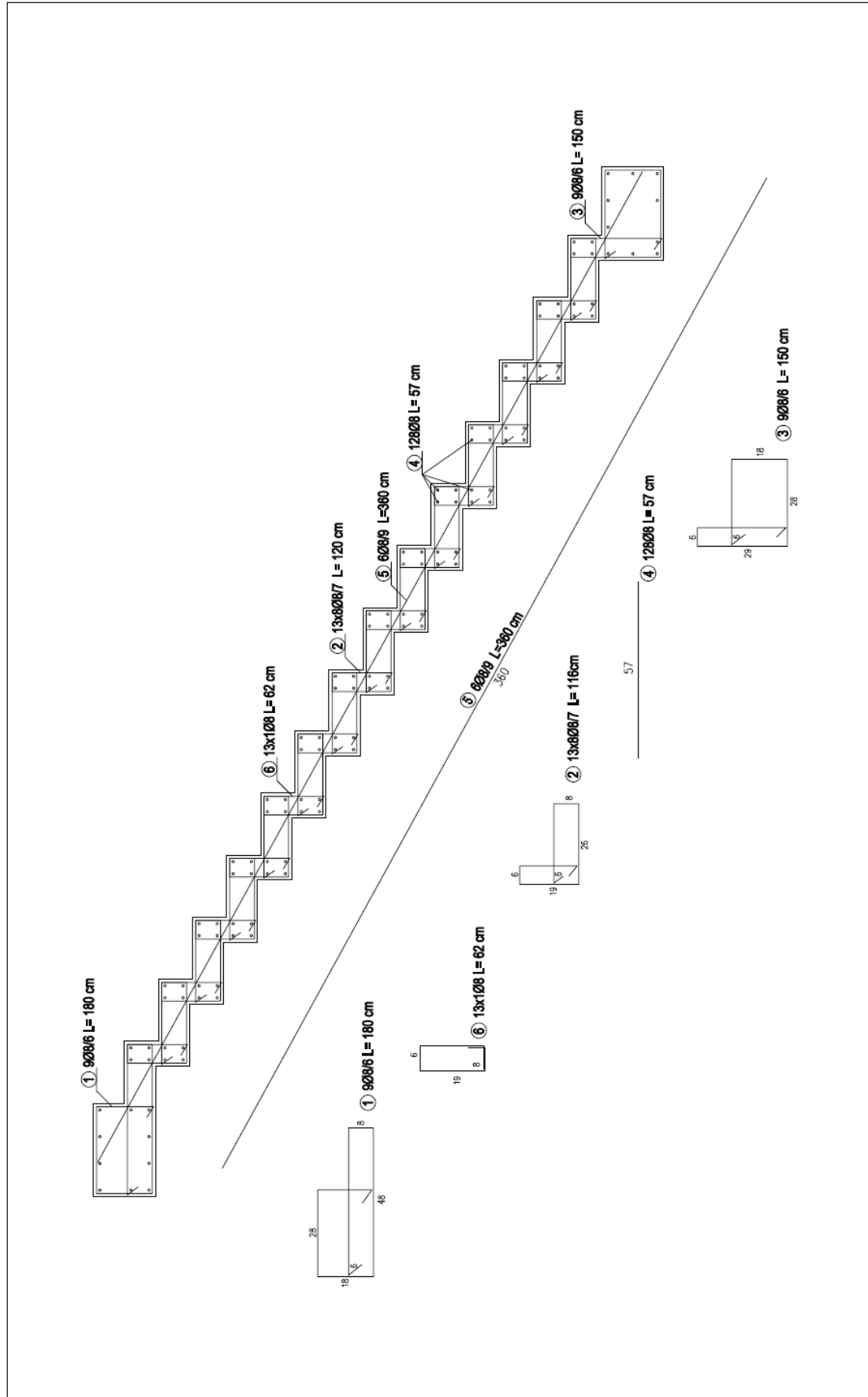
Şekil 5.6. t-100/80 deney elemanına ait donatı planı



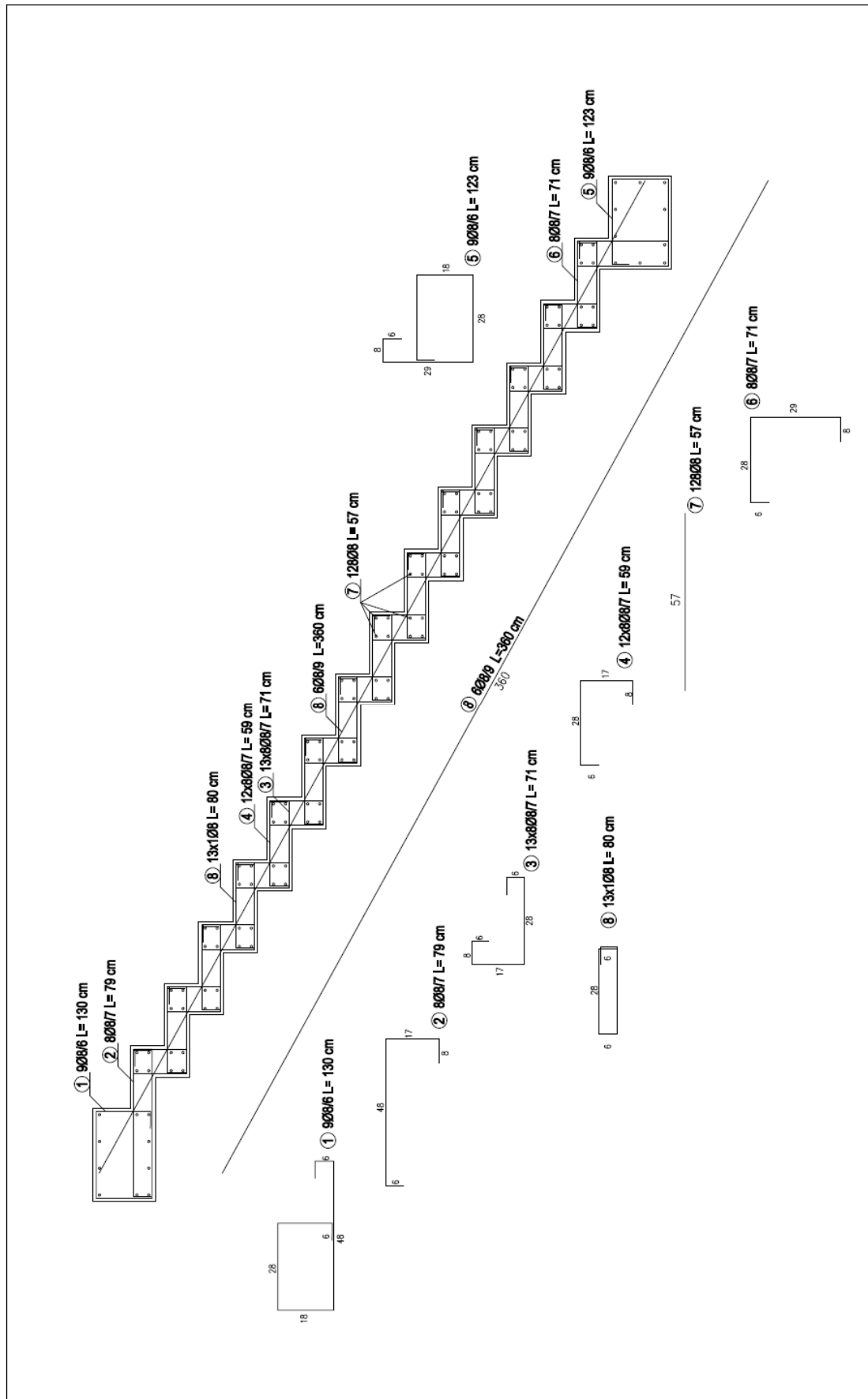
Şekil 5.7. T-100/100 deney elemanına ait donatı planı



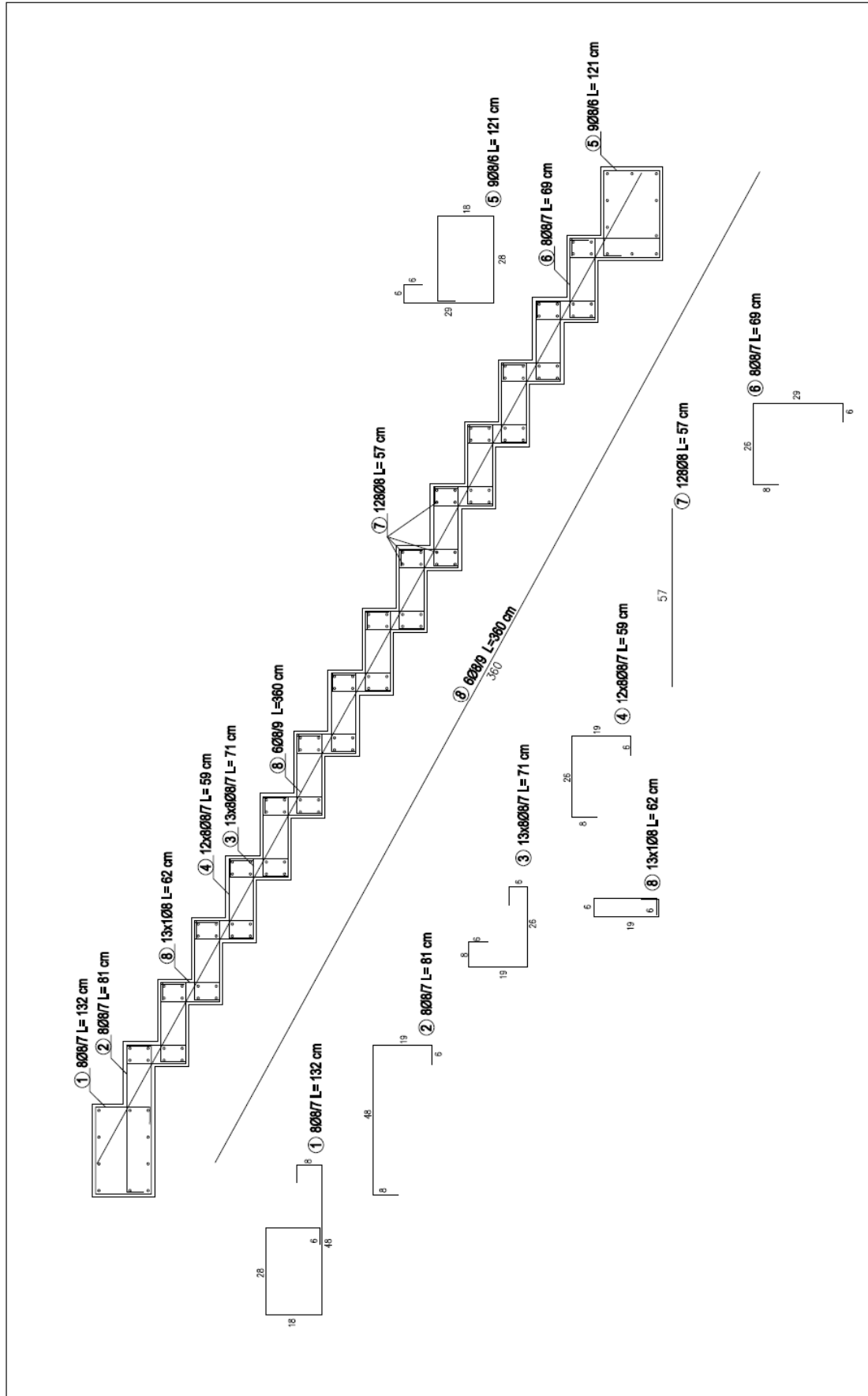
Şekil 5.8. T-80/100 deney elemanına ait donatı planı



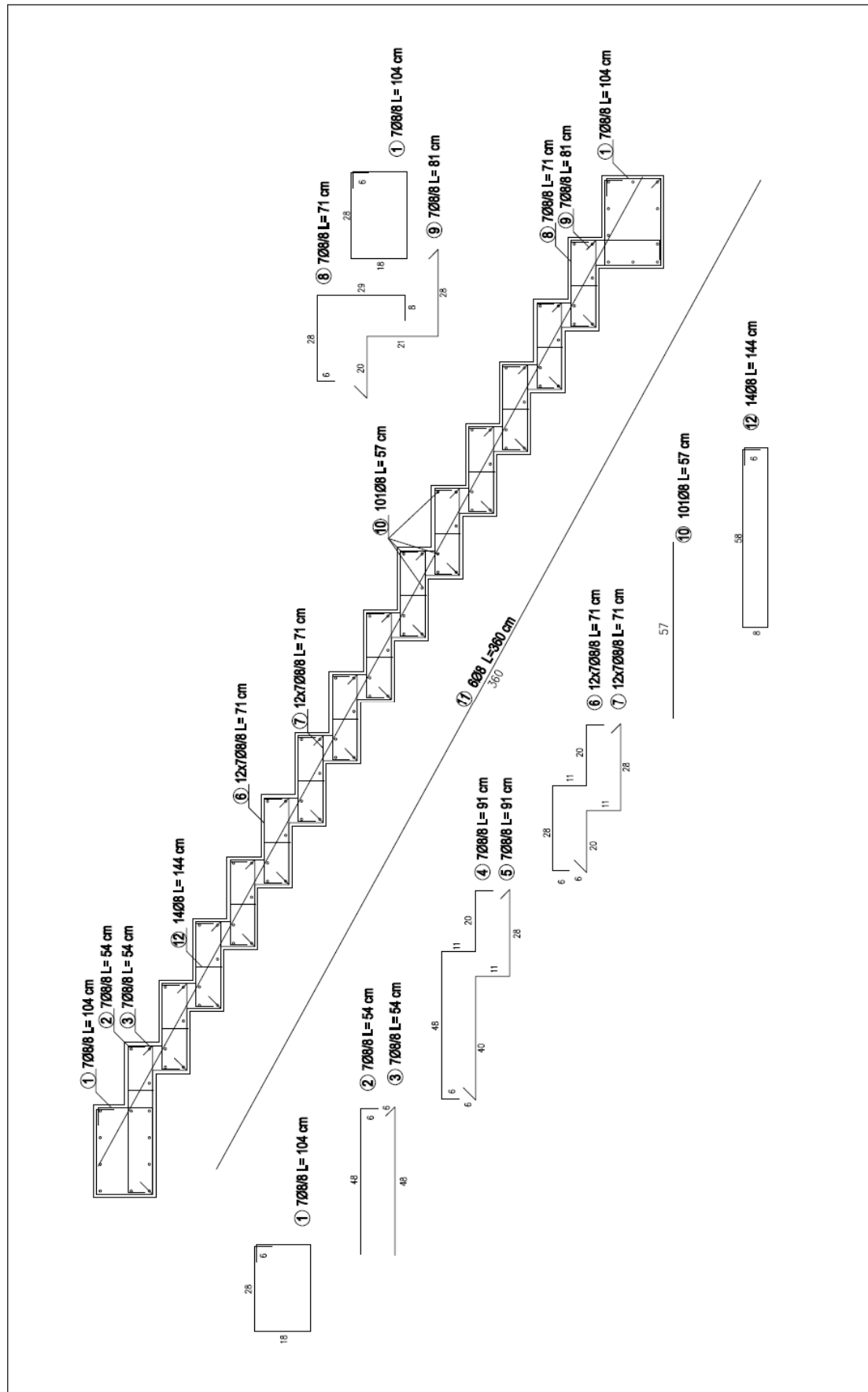
Şekil 5.9. T-100/80 deney elemanına ait donatı planı



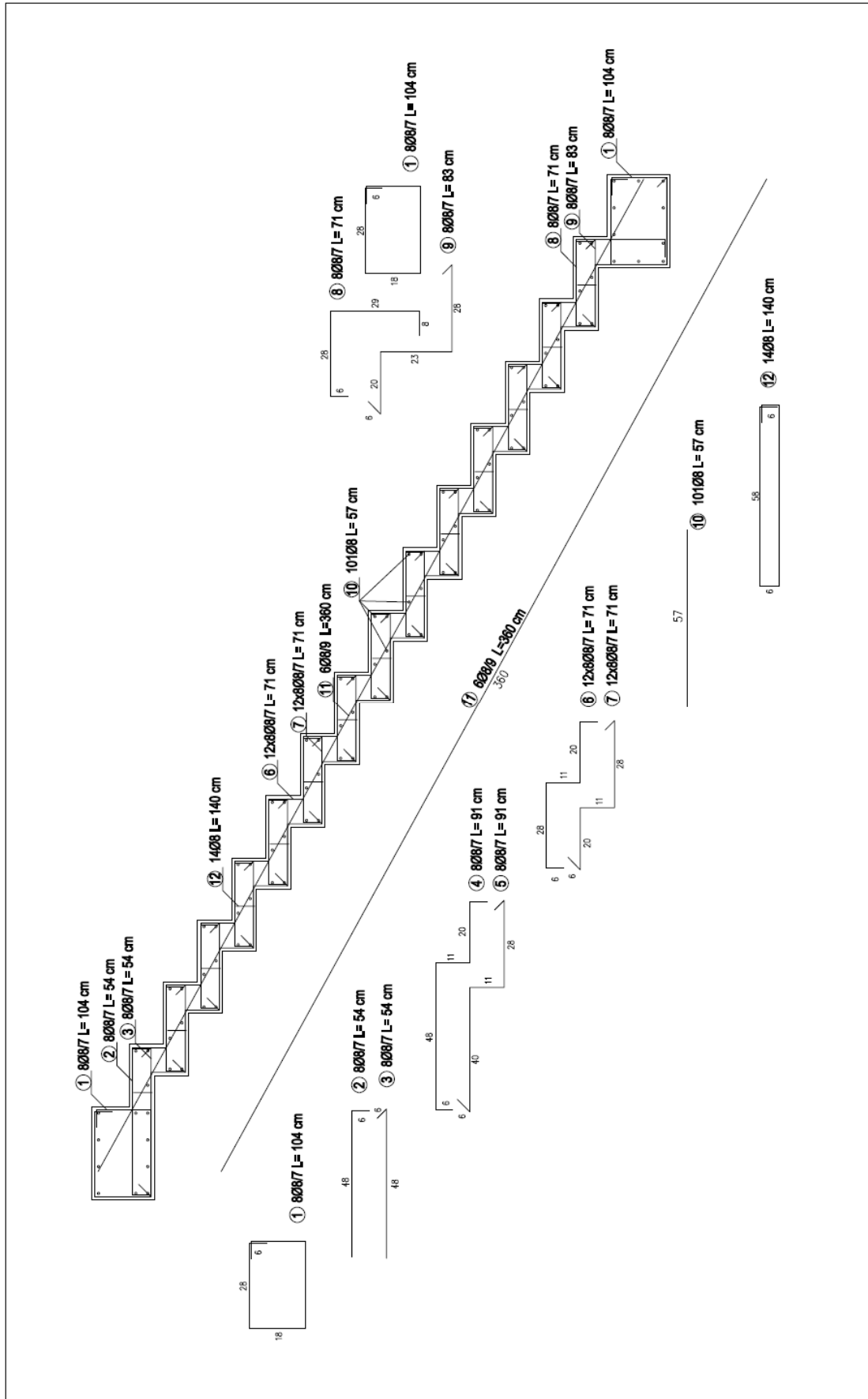
Şekil 5.11. C-80/100 deney elemanına ait donatı planı



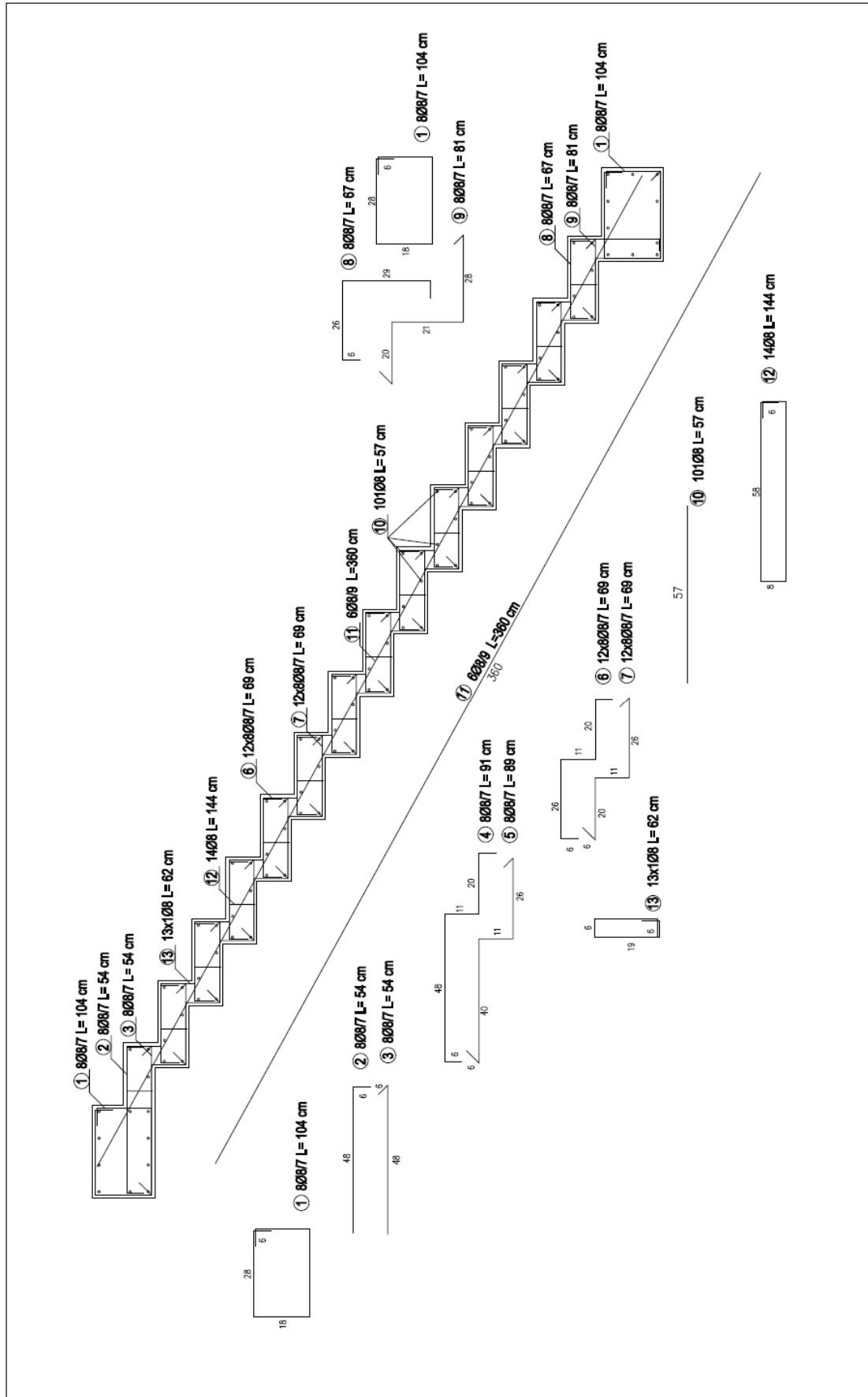
Şekil 5.12. C-100/80 deney elemanına ait donatı planı



Şekil 5.13. Z-100/100 deney elemanına ait donatı planı



Şekil 5.14. Z-80/100 deney elemanına ait donatı planı



Şekil 5.15. Z-100/80 deney elemanına ait donatı planı

5.4. Deney Düzenegi

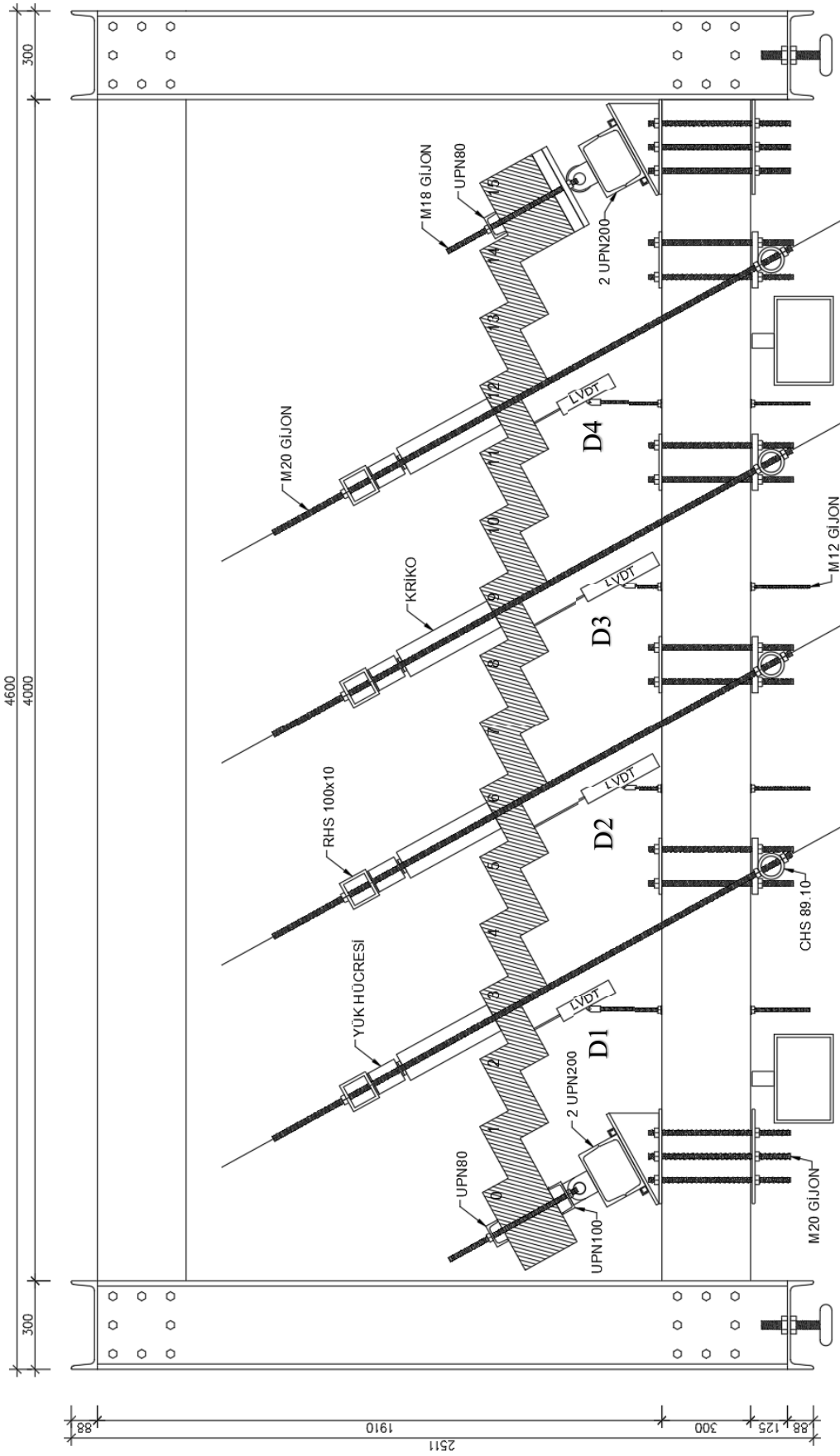
5.4.1. Deney çerçevesi

Bu çalışma kapsamında üretilen deney elemanları, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan çelik deney çerçevesinde yapılmıştır (Şekil 5.16). Çelik deney çerçevesi 400 cm genişliğinde ve 161 cm yüksekliğinde iç boşluğa sahiptir. Bu ölçüler göz önünde bulundurularak deney elemanları boyutlandırılmış ve yükleme düzeneği tasarlanmıştır. Deney elemanlarına iletilecek yük için çelik deney çerçevesinin alt çelik profilinden destek alınmıştır. Deney elemanları gerçekteki eğik konumundan farklı olarak yatay şekilde konumlandırılmış, bu şartlar göz önünde bulundurularak mesnetler eğik olarak tasarlanmıştır.

5.4.2. Yükleme düzeneği

Düzgün yayılı yüklenmesi planlanan deney elemanlarının basit eğilme etkisi altındaki davranışının incelenebilmesi için uygun bir yükleme düzeneğine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, deney elemanlarında eksenel kuvvetin olmadığı, basit eğilme etkisi altında bir bölgenin oluşmasını sağlayacak şekilde bir yükleme düzeneği oluşturulmuştur. Basit eğilme etkisinin gözlemlenebilmesi için biri hareketli diğeri sabit olan mesnetler tasarlanmıştır (Şekil 5.18-19). Mesnetler üst yüzeyleri, deney elemanlarının gerçekteki eğik konumundan farklı olarak yatay düzlemde test edilmesine olanak vermesi amacıyla mesnetlenen beton yüzeyine paralel olacak şekilde tasarlanmıştır (Resim 5.12).

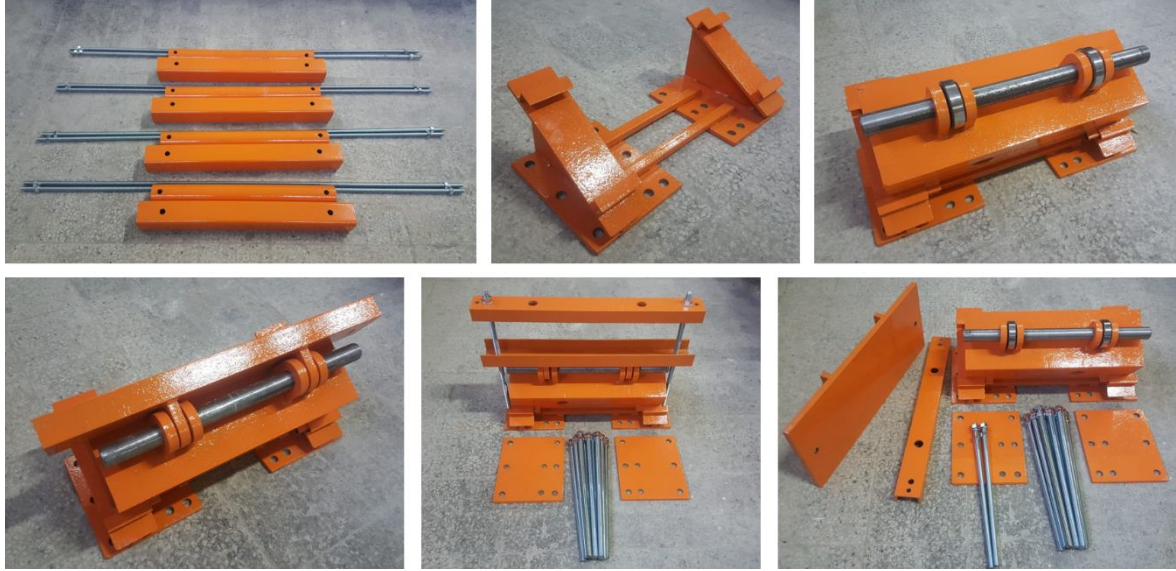
Hidrolik krikolar deney elemanlarına yükün aktarılması için seçilmiştir. Krikolar, yükü basamak düzlemine dik uygulayacak şekilde konumlandırılmıştır. Tek kaynaktan beslenen 4 adet eşit aralıklarla yerleştirilmiş hidrolik kriko aracılığı ile deney elemanlarına düzgün yayılı yükün moment dağılımını benzeştiren yükleme yapılmıştır. Yükü basamak yüzeyine düzgün bir şekilde aktarabilmesi için krikoların betona temas ettiği yüzeye 15 mm kalınlığında kauçuk malzeme yerleştirilmiştir. Bu şekilde beton yüzeyindeki lokal ezilmelerin oluşması engellenmiştir. Yükün basamak yüzeyine dik aktarılabilmesi için deney çerçevesine yapılan bağlantının dönme hareketine izin verilmiştir. Bu şekilde deney elemanının yapacağı deformasyon hareketine bağlı olarak hidrolik krikolar da dönerek yükü basamak yüzeyine dik bir şekilde aktarmaya çalışılmıştır.



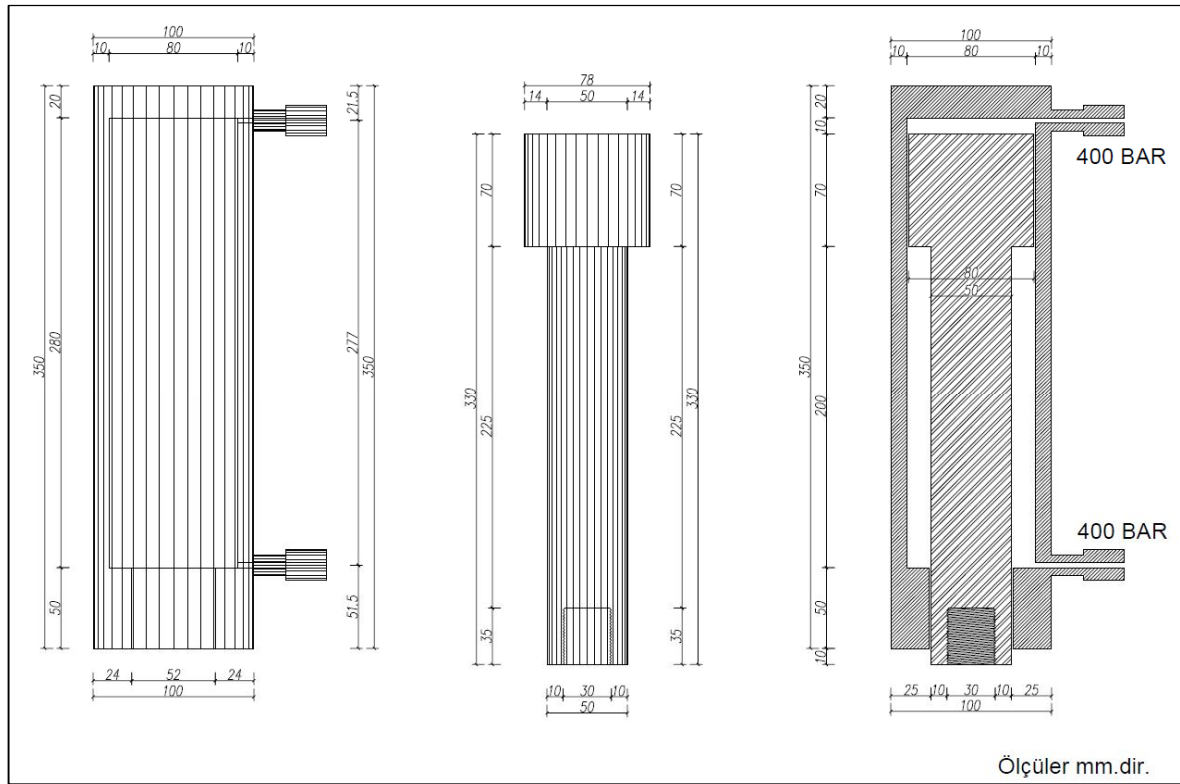
Ölçüler mm'dir.

Şekil 5.16. Deney düzeneği

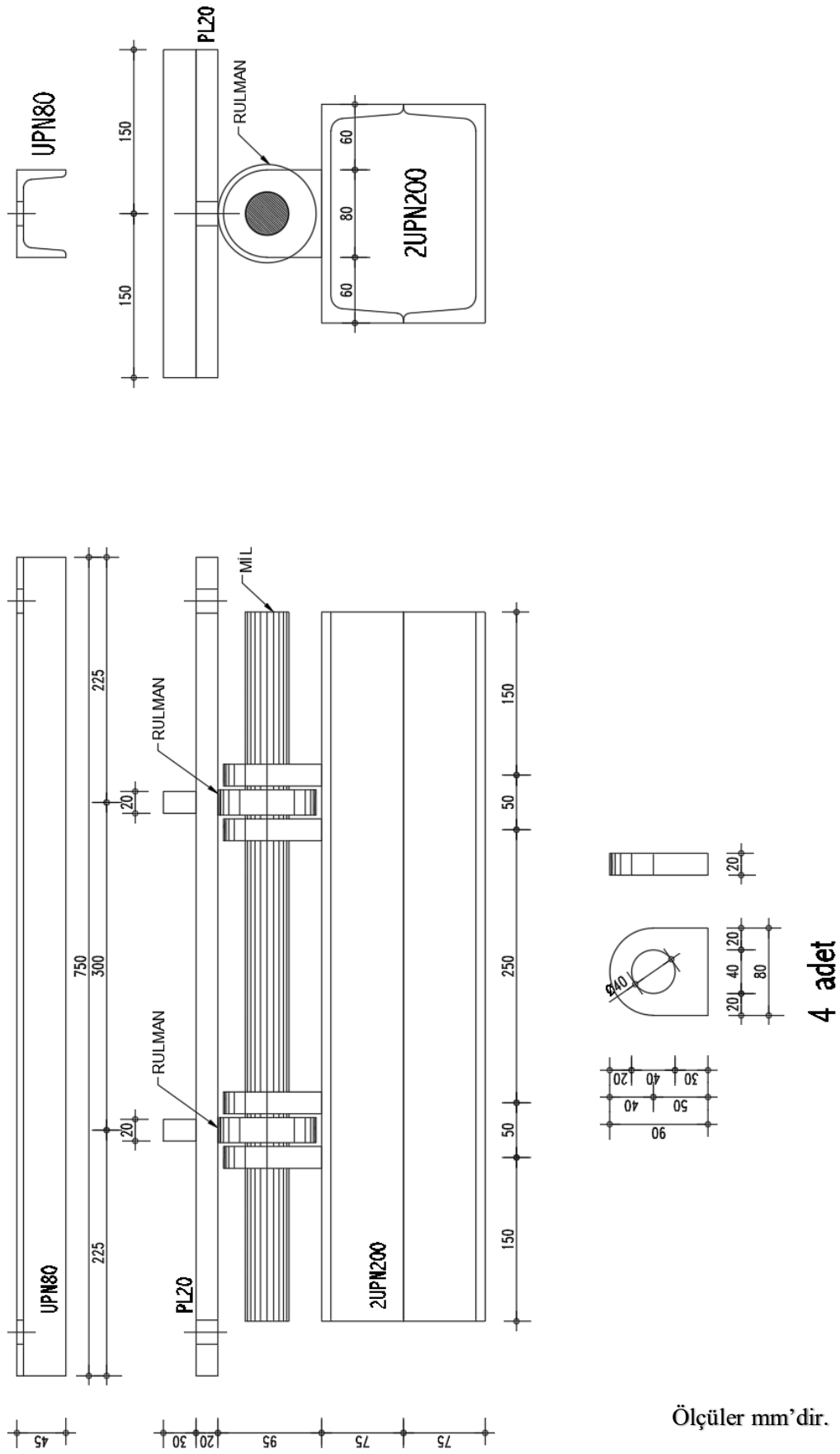
Her biri çift yönlü, toplam 4 adet 50 kN kapasiteli hidrolik krikoların tasarımı tarafımızdan yapılmış olup boyutları Şekil 5.17’de verilmiştir.



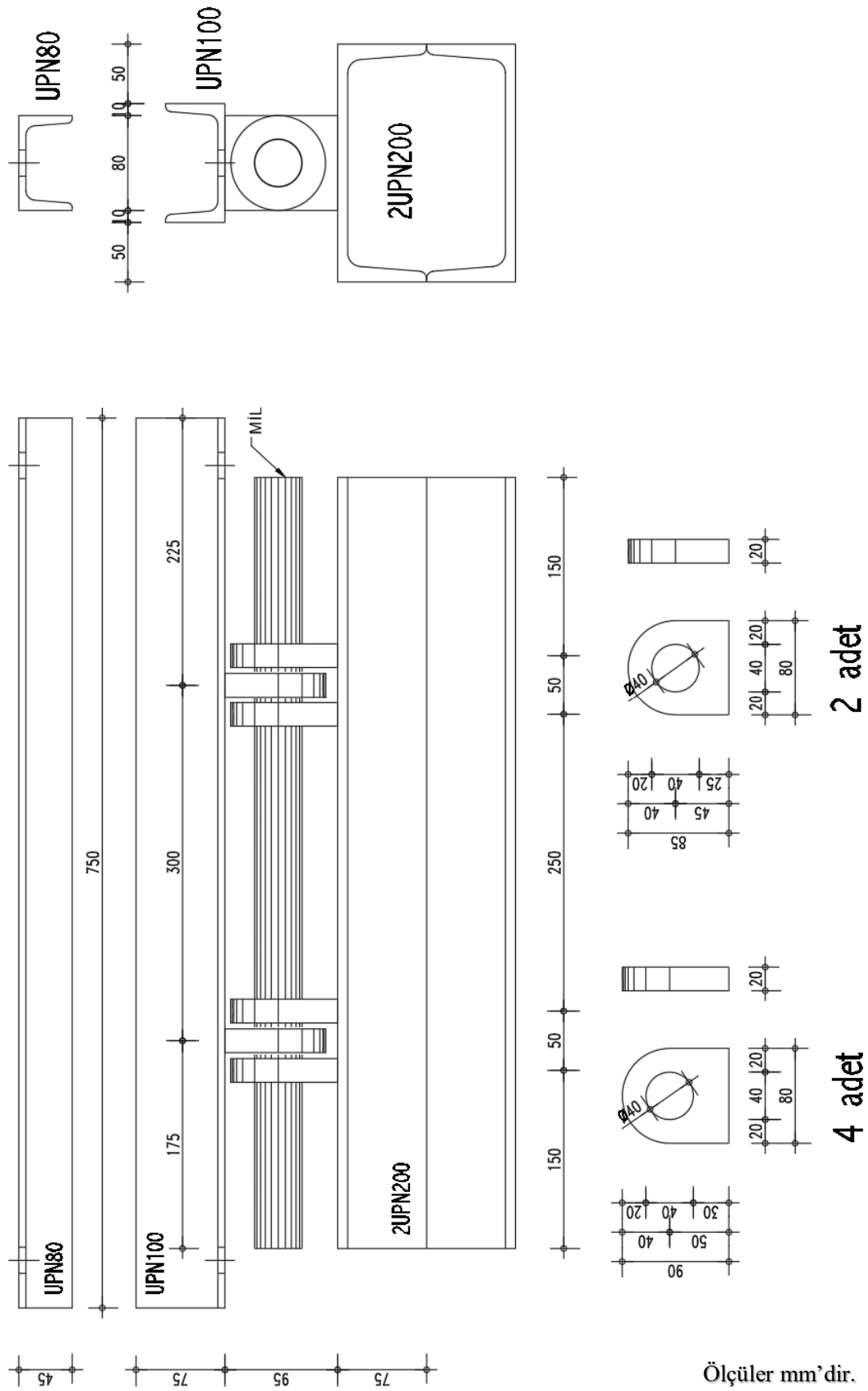
Resim 5.12. Hareketli ve sabit mesnetler



Şekil 5.17. 50 kN kapasiteli hidrolik kriko



Şekil 5.18. Hareketli mesnete ait detay çizimler

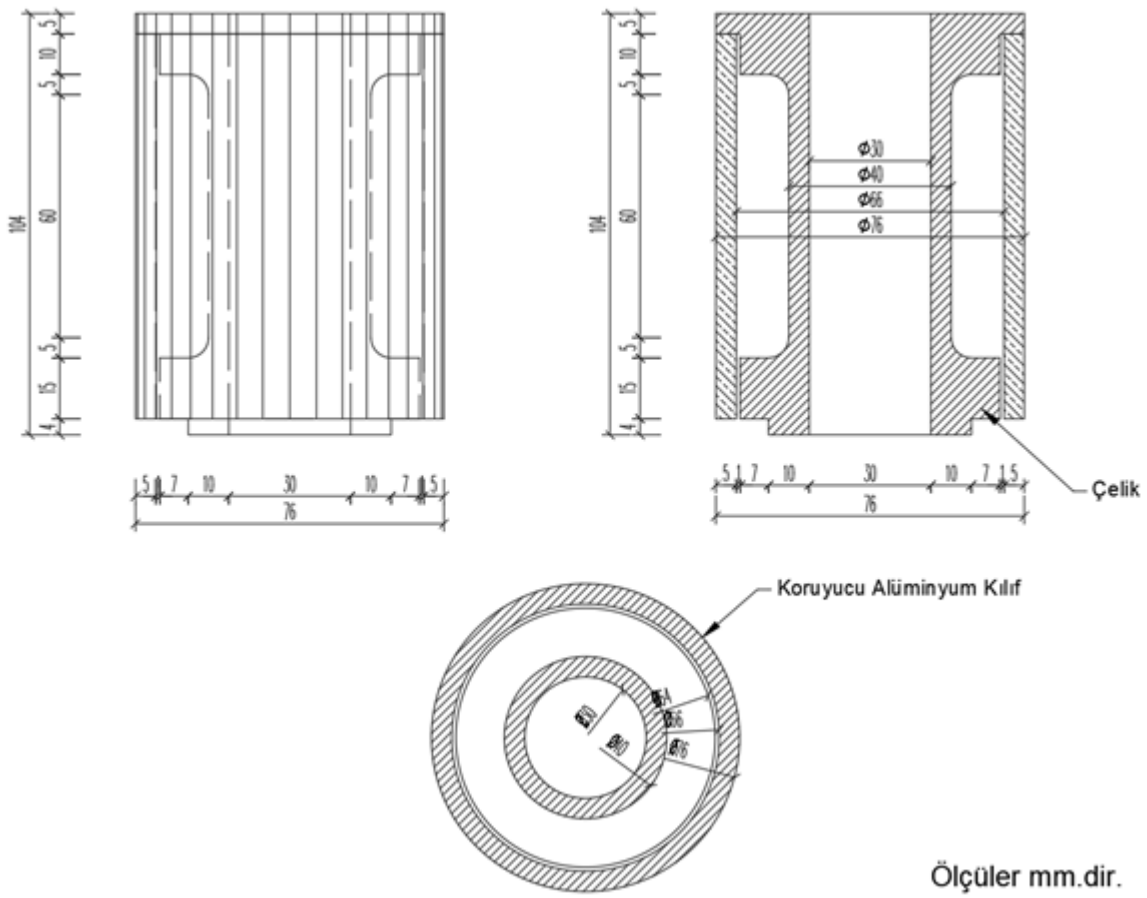


Şekil 5.19. Sabit mesnete ait detay çizimler

5.4.3. Ölçüm düzeni

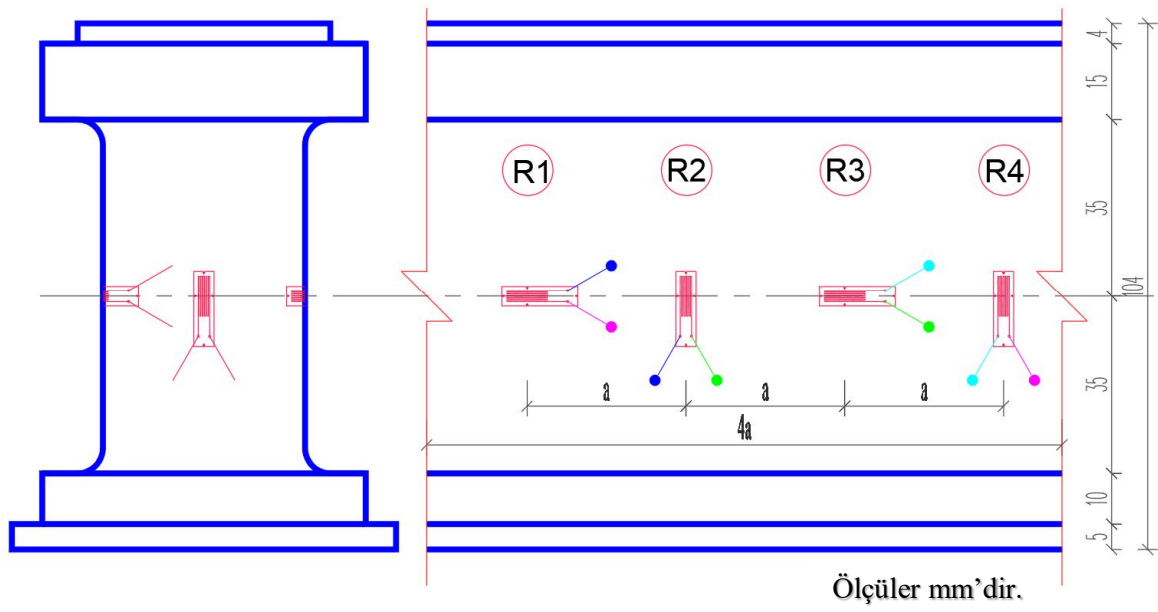
Ölçüm düzeni, yük ve deplasman ölçümleri olarak planlanmıştır.

Hidrolik krikolardan deney elemanlarına aktarılan yükler, kendi tasarımıımız olan yük hücresi ile ölçülmüştür. Şekil 5.20’de gösterilen yük hücrelerinin kapasiteleri hidrolik krikolar ile aynı olup 50 kN’dur. Yük hücresinin üzerine Şekil 5.21’deki gibi 4 adet gerinim ölçer yerleştirilmiştir.



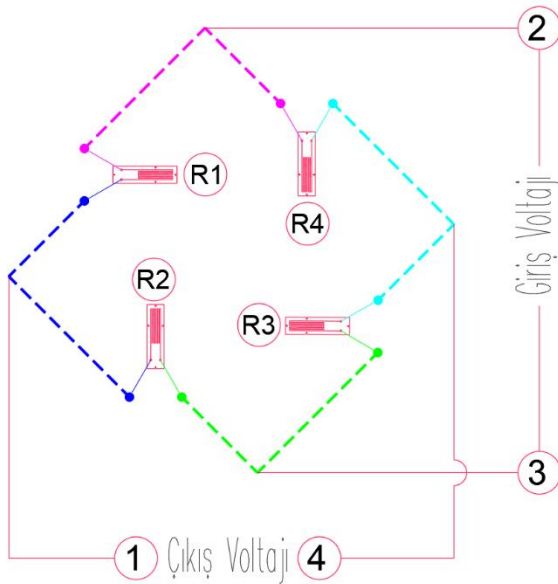
Şekil 5.20. 50 kN kapasiteli yük hücresi

Gerinim ölçerler birbirilerine Şekil 5.22’deki gibi Wheatstone köprü devresi ile bağlanmıştır (Resim 5.13). Bu köprü sistemi, çelik malzemede oluşan birim şekil değiştirme ile bu şekil değiştirmeye bağlı olarak gerinim ölçerlerde oluşan voltaj değişimini ölçmektedir. Elastik bölge içerisinde birim şekil değiştirmelerin doğrusal olması nedeniyle direnç değişimi ile ilişkilendirilebilir [59].



Şekil 5.21. Gerinim ölçerlerin konumlandırılması

Hazırlanan yük hücreleri laboratuvar ortamında kalibre edilmiştir. Yük ölçümü ile birlikte, tek kaynaktan beslenen 4 adet eşit aralıklarla yerleştirilmiş hidrolik krikolardan alınan okumalar sonucunda yükün eşit dağılıp dağılmadığı da incelenmiştir.



Şekil 5.22. Wheatstone köprü devresi

Her yükleme noktasının altına 1 adet elektronik deplasman ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir (bkz. Şekil 5.17). LVDT cihazları deplasmanları 0,01 mm hassasiyetle ölçebilmektedir.

LVDT’lerden alınan ölçüm okumaları bilgisayarda bulunan yazılım aracılığıyla kayıt altına alınmıştır. Bununla birlikte, bu yazılım aracılığı ile deney elemanlarının yük - maksimum deplasman ilişkisi bilgisayardan grafik olarak takip edilmiştir.



Resim 5.13. Yük hücresinin hazırlanışı

Ölçüm sisteminde toplamda 4 adet LVDT kullanılmış ve her bir cihaza “D” harfi ile başlayan ve deney düzeneğinde soldan sağa doğru numaralandıran bir ad tanımlanmıştır. Deney elemanının yapacağı deplasman göz önünde bulundurulduğunda, en soldaki ve sağdaki (D1 ve D4) LVDT cihazları 100 mm, ortada bulunanlar (D2 ve D3) ise 200 mm ölçme kapasitesine sahip olarak seçilmiştir. Tüm LVDT cihazları yatay ile 60° açılı olarak yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 5.17).

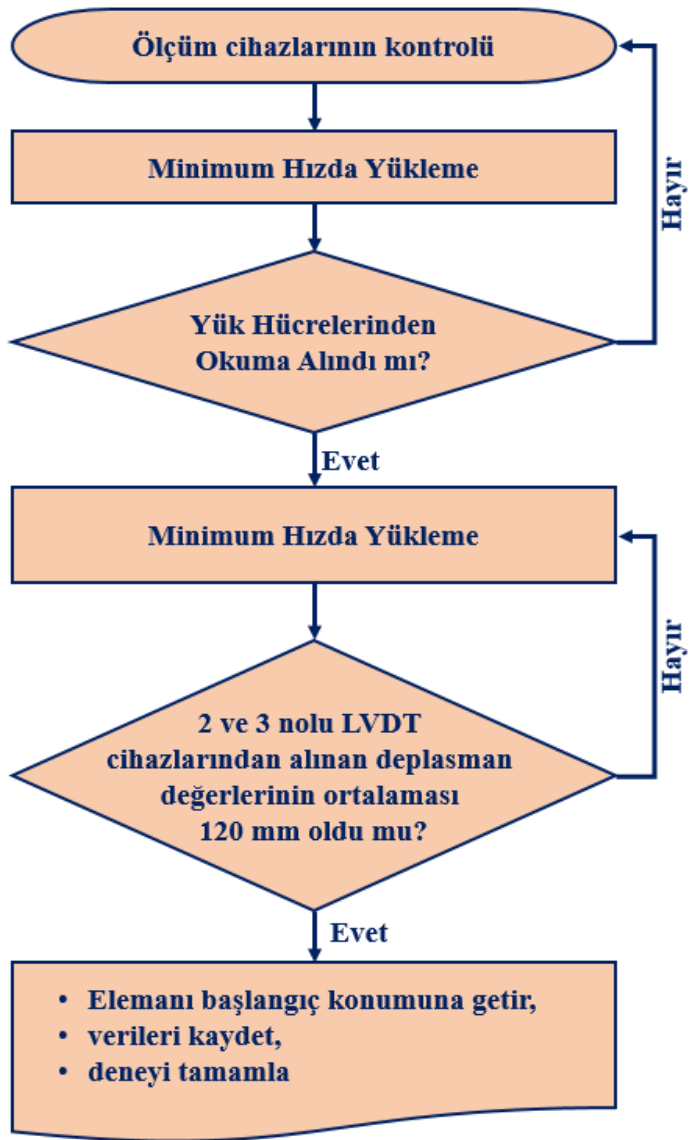
5.4.4. Deney prosedürü

Deney elemanları yayılı yükü benzeştiren yükleme, tek kaynaktan beslenen ve eşit aralıklarla yerleştirilmiş 4 adet hidrolik kriko ile verilmiştir. Bu amaçla her deney elemanı için aynı şekilde uygulanacak bir yükleme programı tasarlanmış ve aşağıda yükleme programı açıklanmıştır. Yükleme programının akış şeması Şekil 5.23’de verilmiştir.

Resim 5.14’de deney elemanlarının gözüken tarafı ön olarak kabul edilmiş ve deney aşamasındaki gelişmeler bu bakış yönü esas alınarak ifade (ön, arka, sol, sağ vs.) edilmiştir. Hidrolik krikoların temas ettiği yüzey “üst”, karşısında bulunan yüzeyler ise “alt” olarak ifade edilmiştir. Sabit mesnete ait 40 mm çapındaki milin merkezinde iki yönlü eksen takımı olduğu varsayılmış ve bu eksen takımının pozitif yönleri Resim 5.12’de gösterildiği gibi +x ekseninden başlayan ve saatin tersi yönüne doğru devam eden açılar pozitif, tersi yönde devam eden açılar ise negatif olduğu kabul edilmiştir. Yüklemeye bağlı olarak basamaklardaki ve rıhtlardaki davranışları ifade etmek amacıyla basamak ve rıht üst birleşim bölgeleri numaralandırılmıştır (bkz. Şekil 5.17).



Resim 5.14. Deney elemanı eksen takımının gösterilişi



Şekil 5.23. Yükleme programı akış şeması

6. DENEYSEL SÜREÇ

Bu bölümde, deney elemanları hakkında ayrıntılı bilgi verilerek deneyler sırasında yaşanan gelişmelerden bahsedilmiştir. Ayrıca, deney elemanlarına ait görseller, çatlak haritaları ile yük-deplasman ilişkilerinin bulunduğu grafikler sunulmuştur. Yük-deplasman grafikleri, 4 adet yük hücresinden okunan yük değerlerinin (kN) toplamı ile bu yükleme noktalarının altına yerleştirilen 2 ve 3 nolu LVDT cihazlarından alınan deplasman (mm) okuma değerlerinin aritmetik ortalamasına göre çizdirilmiştir. Deplasman 120 mm değerine ulaştığında deney sisteminin stabilitesini tehlikeye attığından yükleme işlemi durdurulmuştur.

Özellikleri Bölüm 5.1’de anlatılan deney elemanları çelik deney çerçevesine yerleştirilmiş, Bölüm 5.4’de belirtilen şekilde deney düzeni, yükleme ve ölçüm cihazları konumlandırılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Yükleme noktalarının altına yerleştirilen 4 adet LVDT cihazlarından sıfır okumalar alındıktan sonra yükleme işlemine başlanmıştır. Deney elemanlarına hidrolik krikolar ile yük uygulanmıştır.

Deney elemanlarına yayılı yükün moment dağılımını benzeştiren bir yükleme yapılması amacıyla yeni bir deney düzeneği oluşturulmuştur.

Deney elemanı 120 mm deplasman değerine ulaştığında yükleme işlemi durdurulmuş ve bu aşamada merdivenin deplasman yapmış halinin her 5 basamakta bir fotoğrafı çekilmiştir. Ayrıca deney elemanının tüm basamakları kapsayacak şekilde de tam karşıdan fotoğrafı çekilmiş olup bu fotoğraflar ile hem çatlak haritaları hem de deney elemanının, deney sonu deplasman durumu çizilmiştir.

Deney elemanının basamak yüzeyine dik yönde yükleme yapacak olan krikolar deney çerçevesine halatlar ile bağlanmıştır. Deney sonuna doğru stabilize sorunu yaşamamak için deney çerçevesine yukarıdan bağlanan halatlar ile sistem emniyet altına alınmıştır. Bu halatlar deney boyunca kontrol edilmiş ve her aşamada yük almıyor olduğu teyit edilmiştir. Bu halatların görevi krikolarda herhangi bir devrilme ve/veya kayma olması durumunda devreye girerek oluşması muhtemel tehlikelerin önüne geçmek ve deney düzeneğinin zarar görmesini engellemektir.

6.1. t-100/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

Donatı tipi : Tip t (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılmadan oluşturulmuş olan t-100/100 deney elemanının basamak ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip t donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 7 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır. Bu nedenle rıhtlarda düzlem içi eğilme rijitliği basamaklara göre düşük olmaktadır. t-100/100 deney elemanı diğer tip donatı düzenine sahip aynı basamak ve rıht kalınlığındaki deney elemanlarına referans olarak düzenlenmiştir.

Resim 6.1’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yüklemeye devam edilmiştir. Yük–deplasman ilişkisi incelendiğinde, deney elemanının ulaştığı en büyük yük 21,97 kN olmuştur.



Resim 6.1. t-100/100 deney elemanı

t-100/100 deney elemanında, toplam yük 4,50 kN değerine ulaştığında 7 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 8 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 7 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte basamak/rıht kalınlıkları aynı olması nedeniyle rıht plağının rijitliği basamak plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak rıht plağında oluşmuştur. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi çatlaklar rıhtlar yatay doğrultusunda oluşurken, basamak plağında diyagonal olarak oluşmuştur. 7 nolu rıht plağındaki çatlak ilerleyerek aderans çözünmesine neden olmuştur. Bu basamakta donatı ile betonun birbirinden ayrıldığı net olarak gözlenmiştir (Resim 6.3).



Resim 6.2. a) t-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1 ve 2 ise çatlaklara ait yakın görünüşler

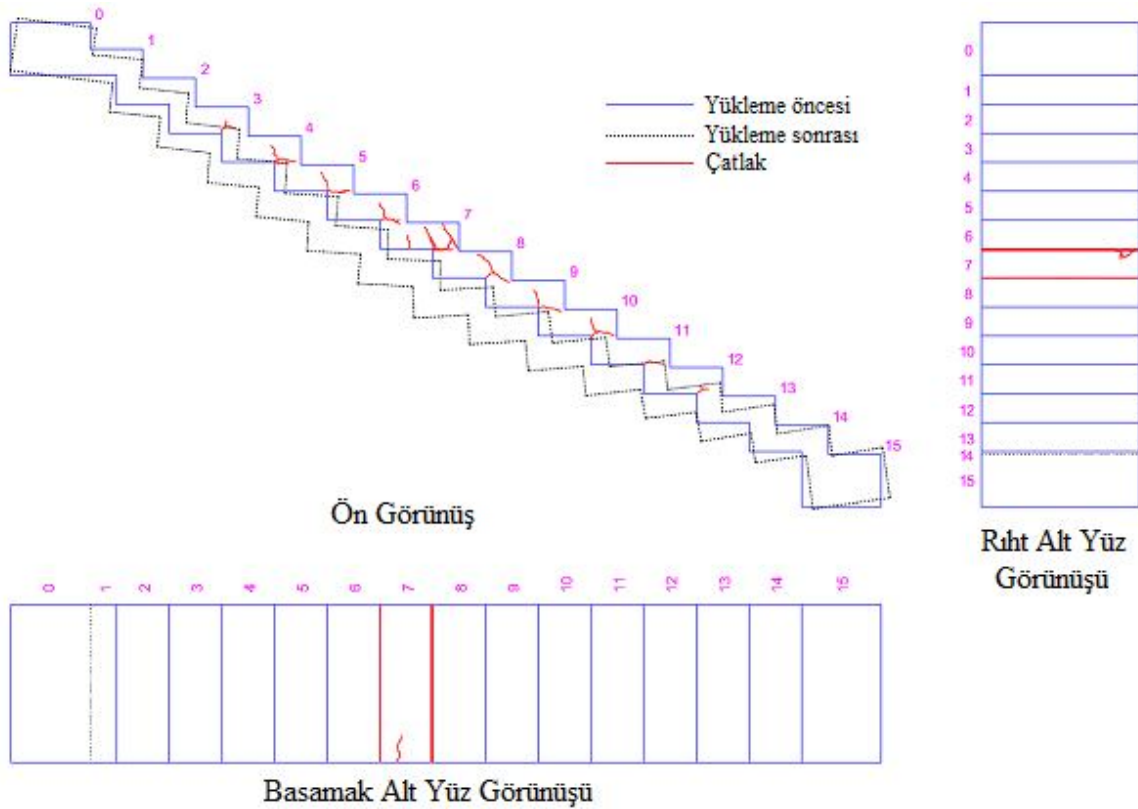
7 nolu basamağın girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 255 mm olarak ölçülmüştür. Bu bölgede donatı aderans boyunun yetersiz olması nedeniyle yük aktarılamamış ve mafsal oluşmuştur (Şekil 6.2). Basamak ve rıht alt yüzlerinde oluşan çatlaklar incelendiğinde, sadece 7 nolu basamak civarında çatlak oluştuğu ve deney elemanının kapasitesini bu bölgenin belirlediği görülmüştür. Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak açıklığı 8 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 6.3. t-100/100 deney elemanı deney sonrası çatlak incelemesi

Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 7 nolu basamakta çatlak incelemesi yapılmıştır. Çatlakların açılmasında kırıcı alete gerek olmadan betonun demirden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Basamak üzerinden kopan parçalar kaldırılmış, donatı ile beton arasında 2 mm açılma ölçülerek aderans çözülmesi teyit edilmiştir.

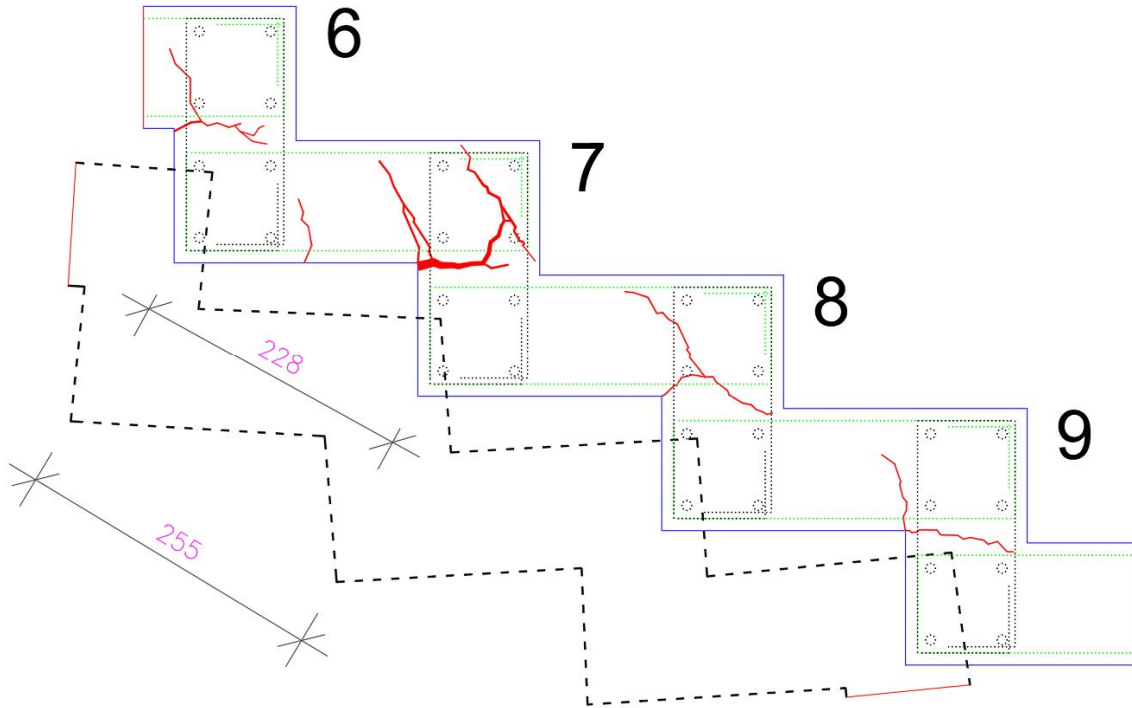
t-100/100 deney elemanına 4 adet yük hücrelerinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.3’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, 2 nolu yük hücresi hariç diğer yük hücreleri deney elemanı akma yüküne ulaşana kadar birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.



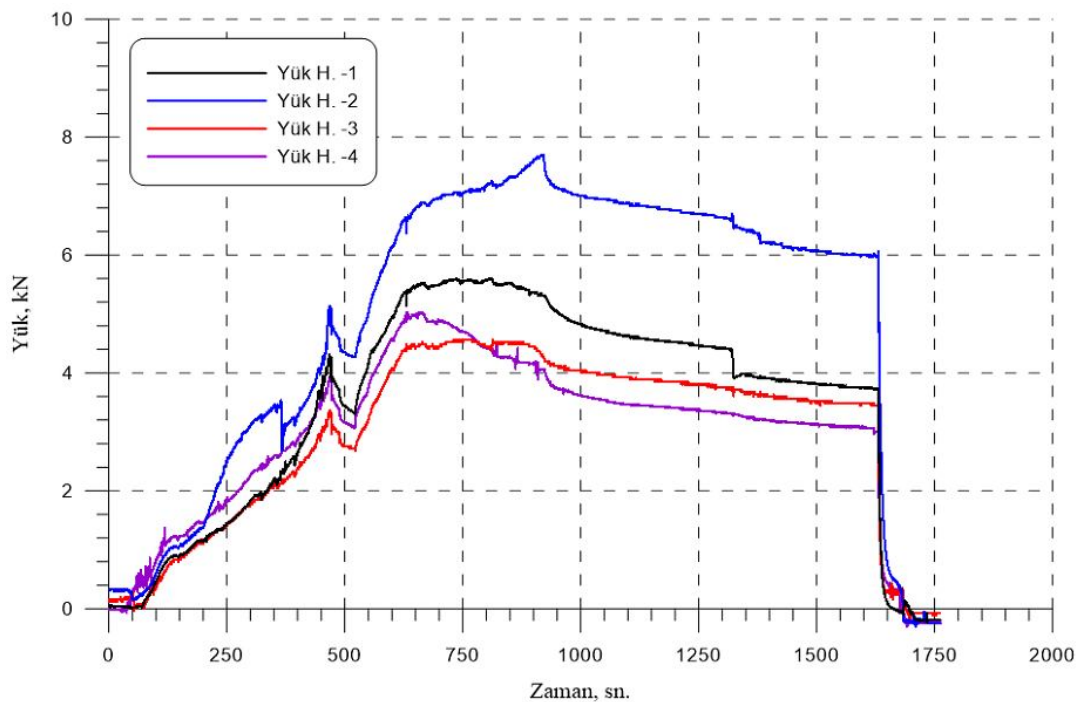
Şekil 6.1. t-100/100 deney elemanı çatlak haritası

t-100/100 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 6.4’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 21,97 kN yük taşımış olup akma yüküne 50 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,42 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,364 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,100 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,086 kN/mm olmuştur. Şekil 6.5’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu

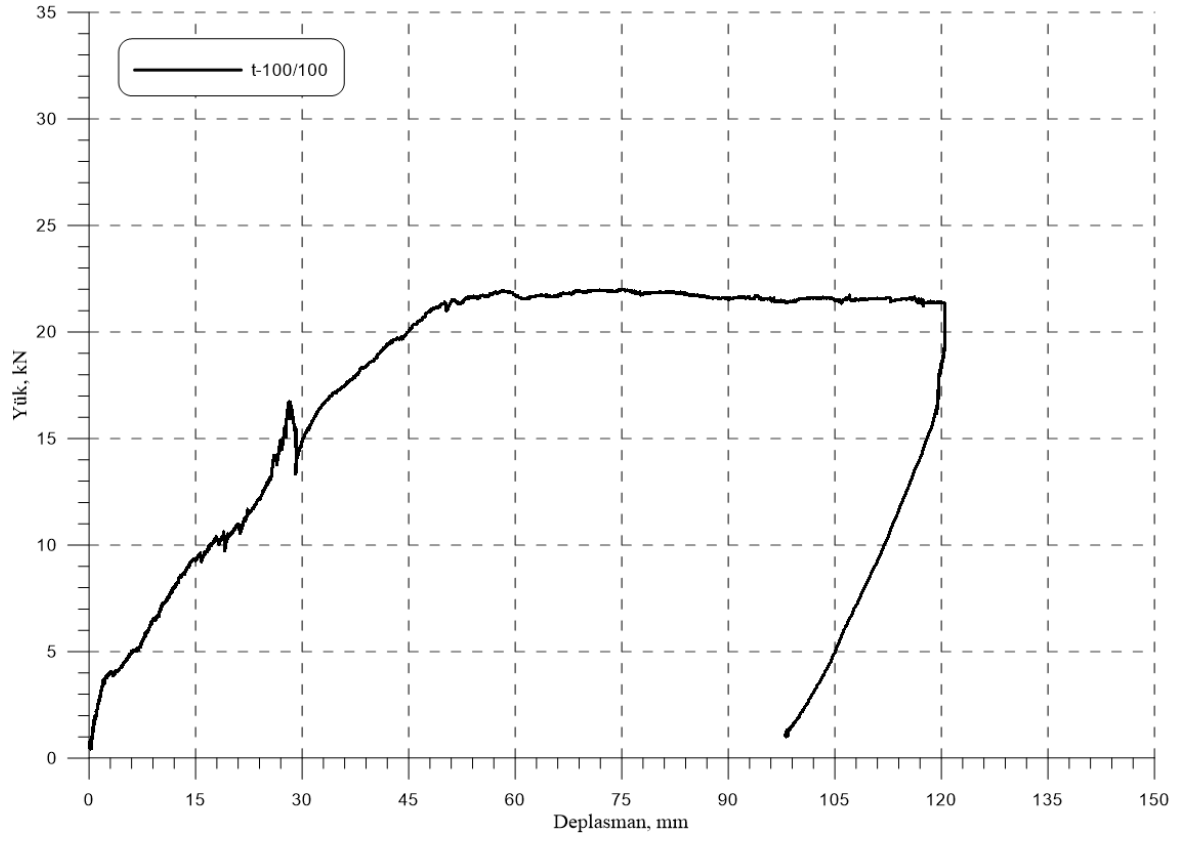
grafiğe göre, t-100/100 deney elemanı akma yüküne kadar 639 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 2154 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,30 olmuştur.



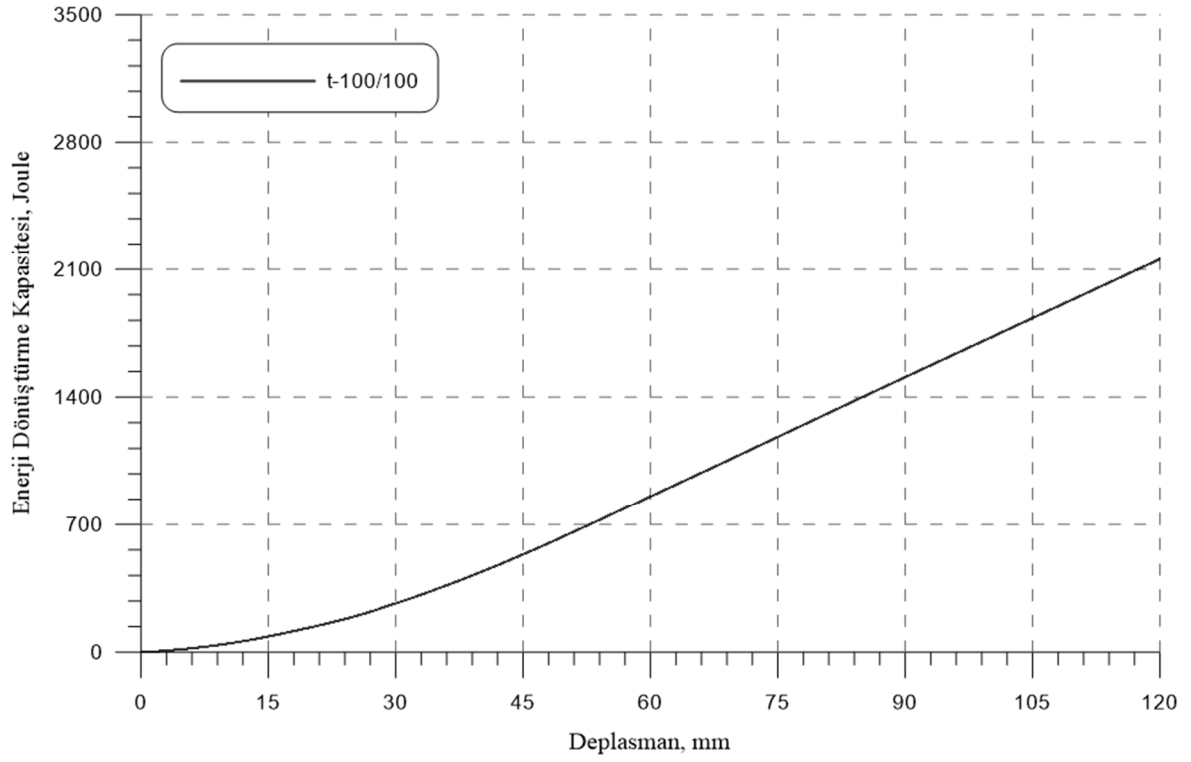
Şekil 6.2. t-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.3. t-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.4. t-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.5. t-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.2. t-100/80 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 80 mm

Donatı tipi : Tip t (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılmadan oluşturulmuş olan t-100/80 deney elemanının basamak kalınlığı 100 mm ve rıht kalınlığı 80 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip t donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 9 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır. Bu deney elemanı diğer tip donatı düzenine sahip aynı basamak ve rıht kalınlığındaki deney elemanlara referans olarak düzenlenmiştir.

Resim 6.4’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.9’da verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 22,77 kN olmuştur.



Resim 6.4. t-100/80 deney elemanı



Resim 6.5. a) t-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlakın açılmış görünüşü, 1b çatlığa ait yakın görünüş

t-100/80 deney elemanında, toplam yük 9,00 kN değerine ulaştığında 9 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 8 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 9 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte rıht kalınlığının 80 mm olması nedeniyle rıht plağının rijitliği basamak plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak rıht plağında oluşmuştur. Şekil 6.6’da görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde plak kalınlığının yatay doğrultusunda oluşmuştur. 6 nolu rıht plağındaki çatlak ilerleyerek aderans çözünmesine neden olmuştur. Bu basamakta donatı ile betonun birbirinden ayrıldığı net olarak gözlenmiştir (Resim 6.6). 6 nolu basamak girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 252 mm olarak ölçülmüştür. Bu bölgede donatı aderans boyunun

yetersiz olması nedeniyle yük aktarılamamış ve mafsall oluşmuştur (Şekil 6.7). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak açıklığı 7 mm olarak ölçülmüştür.

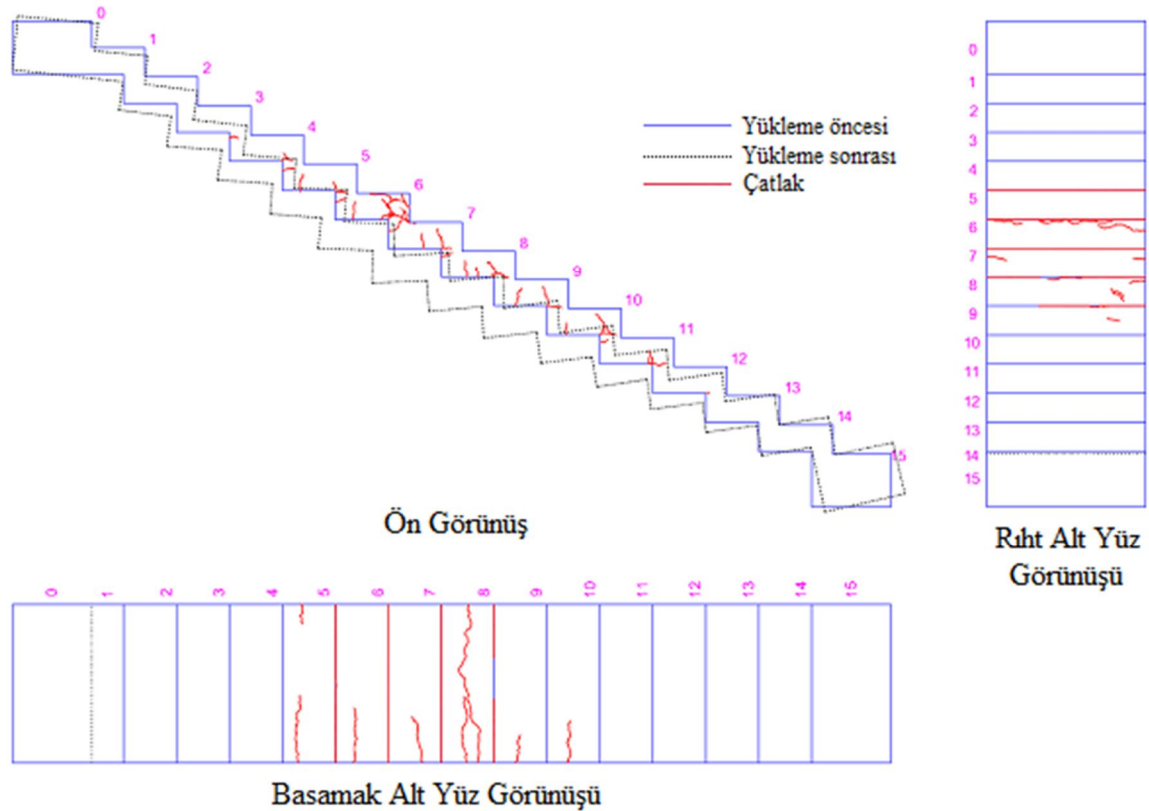
Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 6 nolu basamakta çatlak incelemesi yapılmıştır. Çatlakların açılmasında herhangi bir kırıcı alete gerek duyulmadan betonun demirden ayrıldığı gözlemlenmiştir Basamak üzerinden kopan parçalar kaldırılmış, donatı ile beton arasında 1,5 mm civarında açılma ölçülerek aderans çözülmesi teyit edilmiştir (Resim 6.6).



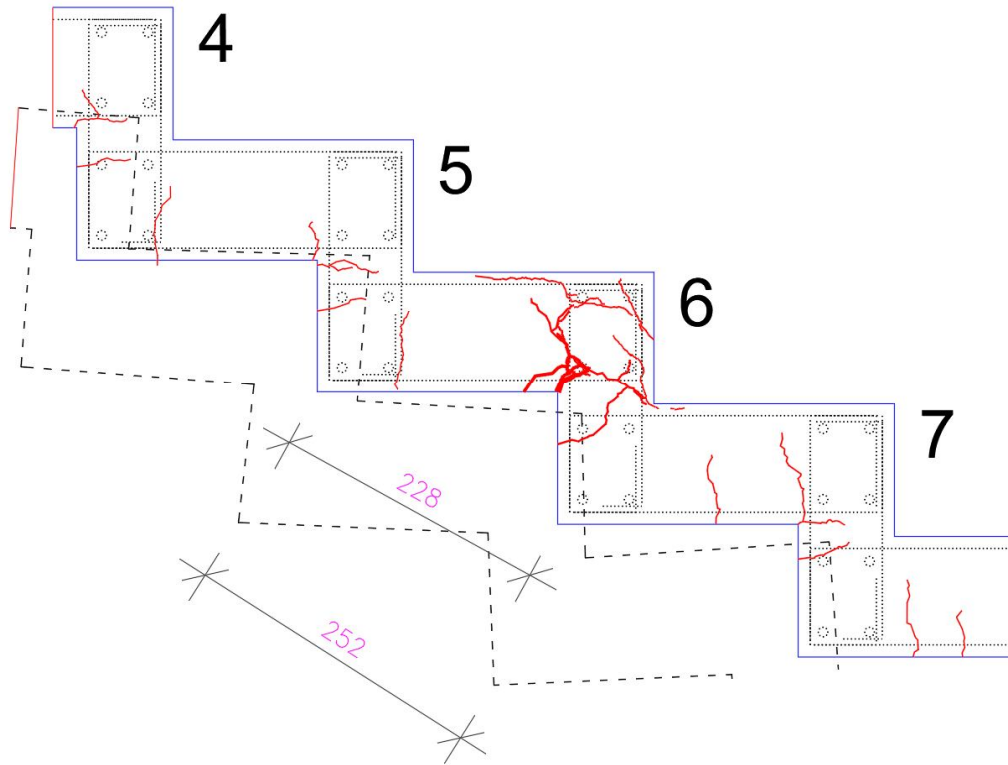
Resim 6.6. t-100/80 deney elemanı göçme sonrası çatlak incelemesi

t-100/80 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.8’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, 1 ve 2 nolu yük hücreleri ile 3 ve 4 nolu yük hücreleri deney elemanı akma yüküne ulaşana kadar birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

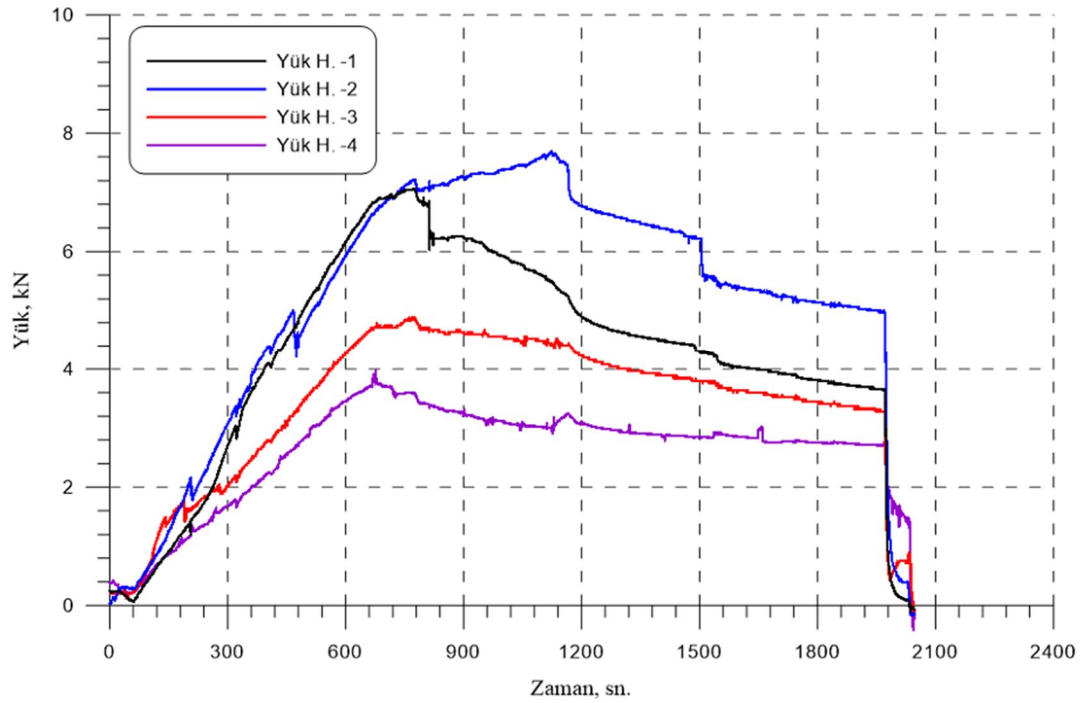
t-100/80 deney elemanına ait yük–deplasman grafiği Şekil 6.9’da verilmiştir. Deney elemanı maksimum 22,77 kN yük taşımış olup akma yüküne 54 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,45 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,164 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,099 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,081 kN/mm olmuştur. Şekil 6.10’da deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, t-100/80 deney elemanı akma yüküne kadar 715 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 2123 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,34 olmuştur.



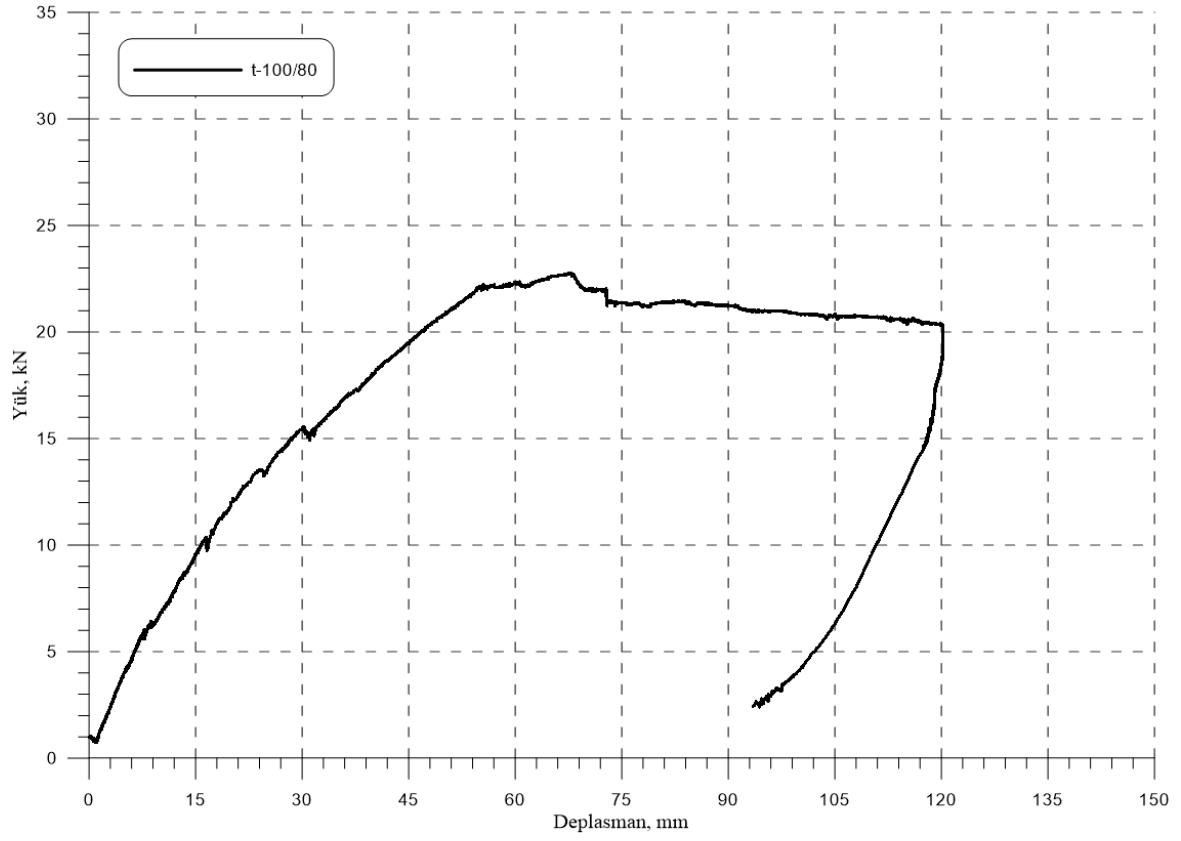
Şekil 6.6. t-100/80 deney elemanı çatlak haritası



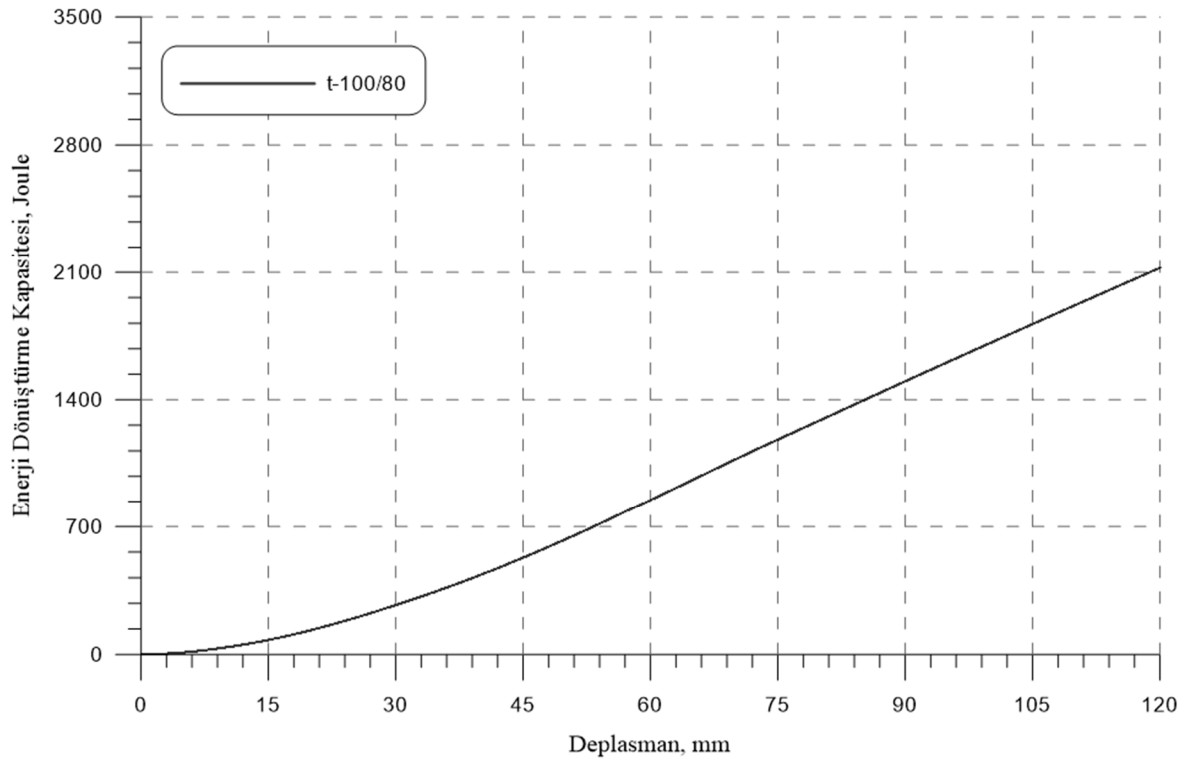
Şekil 6.7. t-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.8. t-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.9. t-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.10. t-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.3. t-80/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 80 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

Donatı tipi : Tip t (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılmadan oluşturulmuş olan t-80/100 deney elemanının basamak kalınlığı 80 mm ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip t donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 9 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 8 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır. Bu deney elemanı diğer tip donatı düzenine sahip aynı basamak ve rıht kalınlığındaki deney elemanlara referans olarak düzenlenmiştir.

Resim 6.7’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.14’de verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 18,18 kN olmuştur.



Resim 6.7. t-80/100 deney elemanı

t-80/100 deney elemanında, toplam yük 5,50 kN değerine ulaştığında 6 nolu basamak plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 9 adet Ø8 donatı

bulunurken, rıht plağında 8 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte basamak kalınlığının 80 mm olması nedeniyle basamak plağının rijitliği rıht plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak basamak plağında oluşmuştur. Şekil 6.11’de görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde plak kalınlığına dik yönde oluşmuştur. 9 nolu basamak plağındaki çatlak ilerleyerek aderans çözünmesine neden olmuştur. Bu basamakta donatı ile betonun birbirinden ayrıldığı net olarak gözlemlenmiştir (Resim 6.9). 9 nolu basamağın altında bulunan iki köşe noktasının arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 250 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.12). Bu bölgede donatı aderans boyunun yetersiz olması nedeniyle yük aktarılamamış ve mafsalsı oluşmuştur. Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak açıklığı 3 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 6.8. a) t-80/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlağın ön yüz görünüşü, 1b çatlağın arka yüz görünüşü

Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 9 nolu basamakta çatlak incelemesi yapılmıştır. Çatlakların açılmasında herhangi bir kırıcı alete gerek duyulmadan betonun demirden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Basamak üzerinden kopan parçalar kaldırılmış, donatı ile beton arasında 1,5 mm civarında açılma ölçülerek aderans çözülmesi teyit edilmiştir.

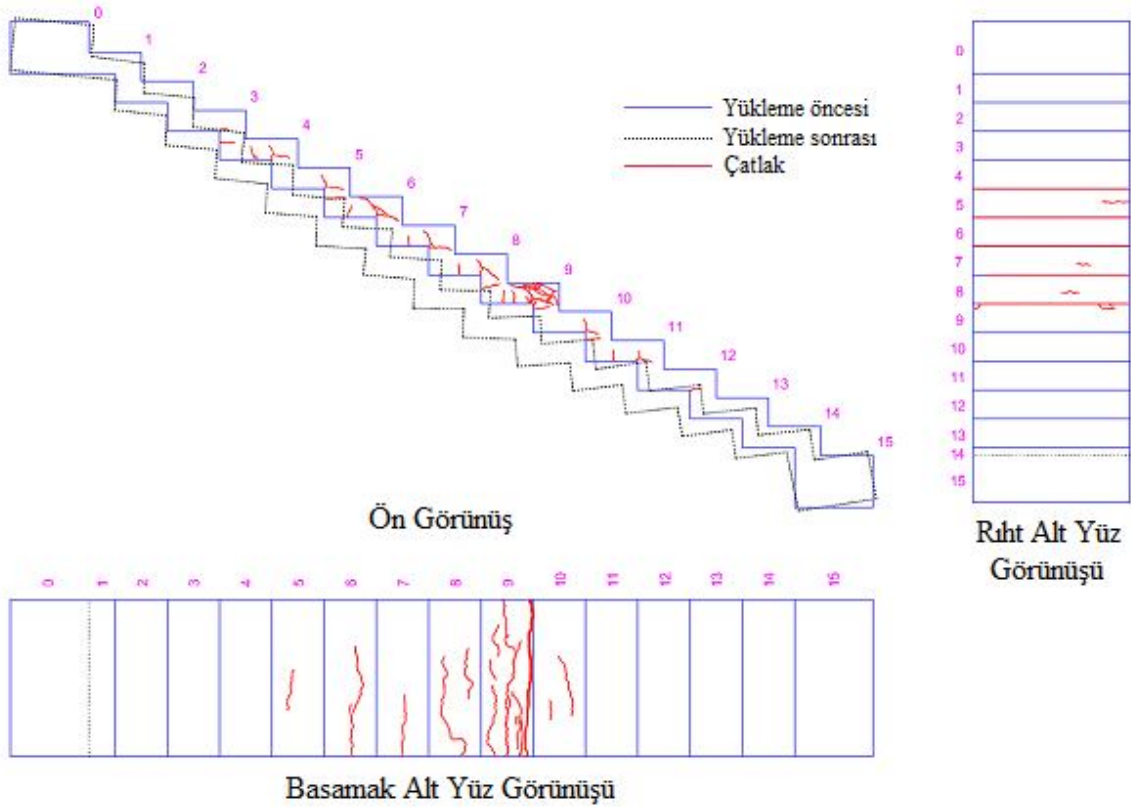


Resim 6.9. t-80/100 deney elemanı göçme sonrası çatlak incelemesi

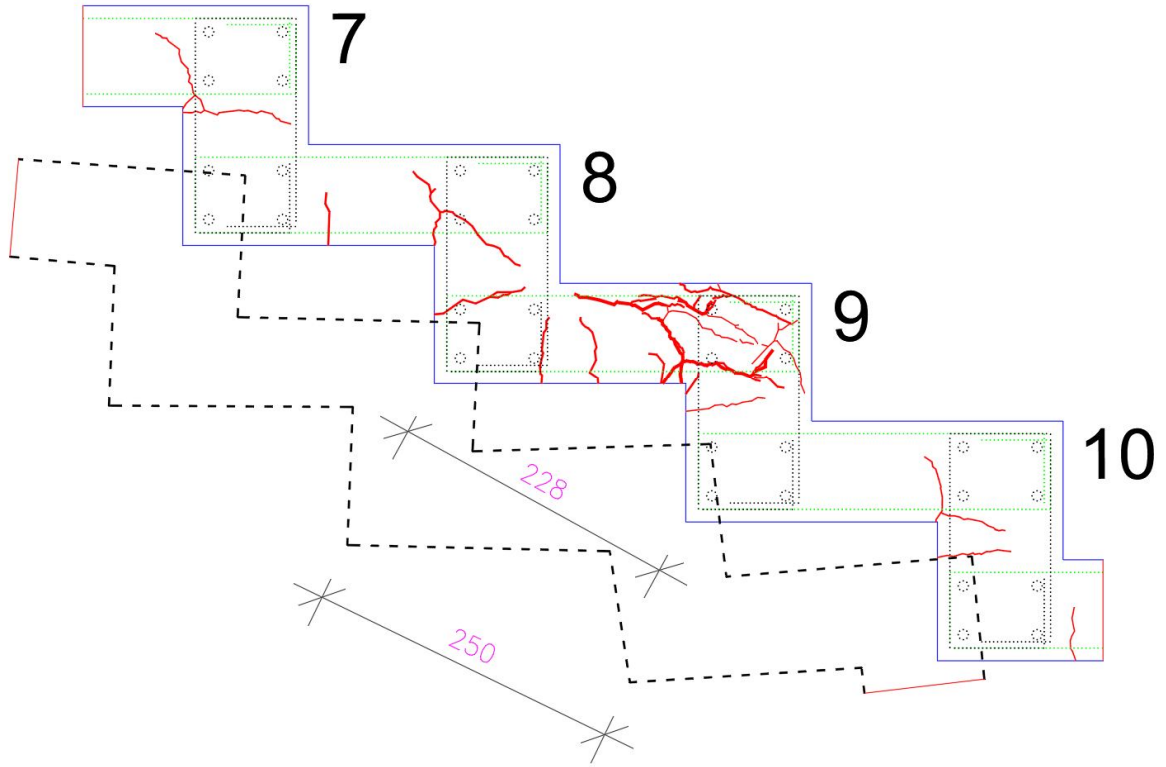
t-80/100 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.13’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, yük hücrelerinin deney elemanı çok değişken bir şekilde yük aktardığı görülmektedir. Başlangıçta birbirine yakın olsalar da deneyin ilerleyen sürecinde birbirilerinden uzaklaşmış olup krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

t-80/100 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 6.14’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 18,18 kN yük taşımış olup akma yüküne 47 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,39 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,817 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,067 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,060 kN/mm olmuştur.

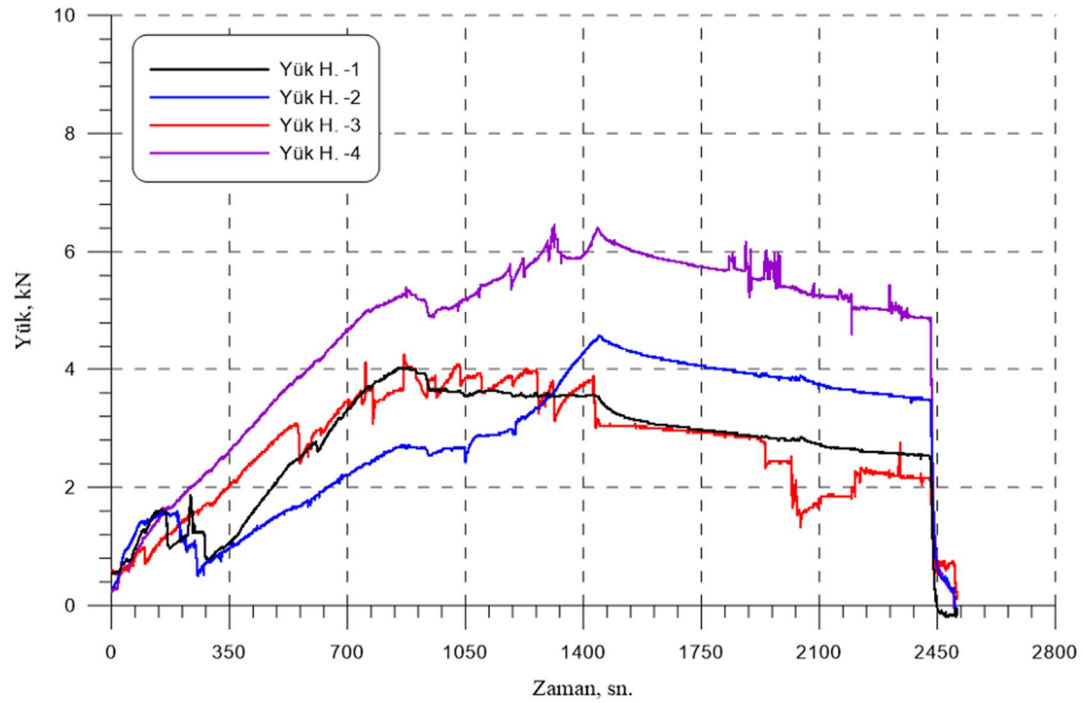
Şekil 6.15’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, t-80/100 deney elemanı akma yüküne kadar 398 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 1561 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,25 olmuştur.



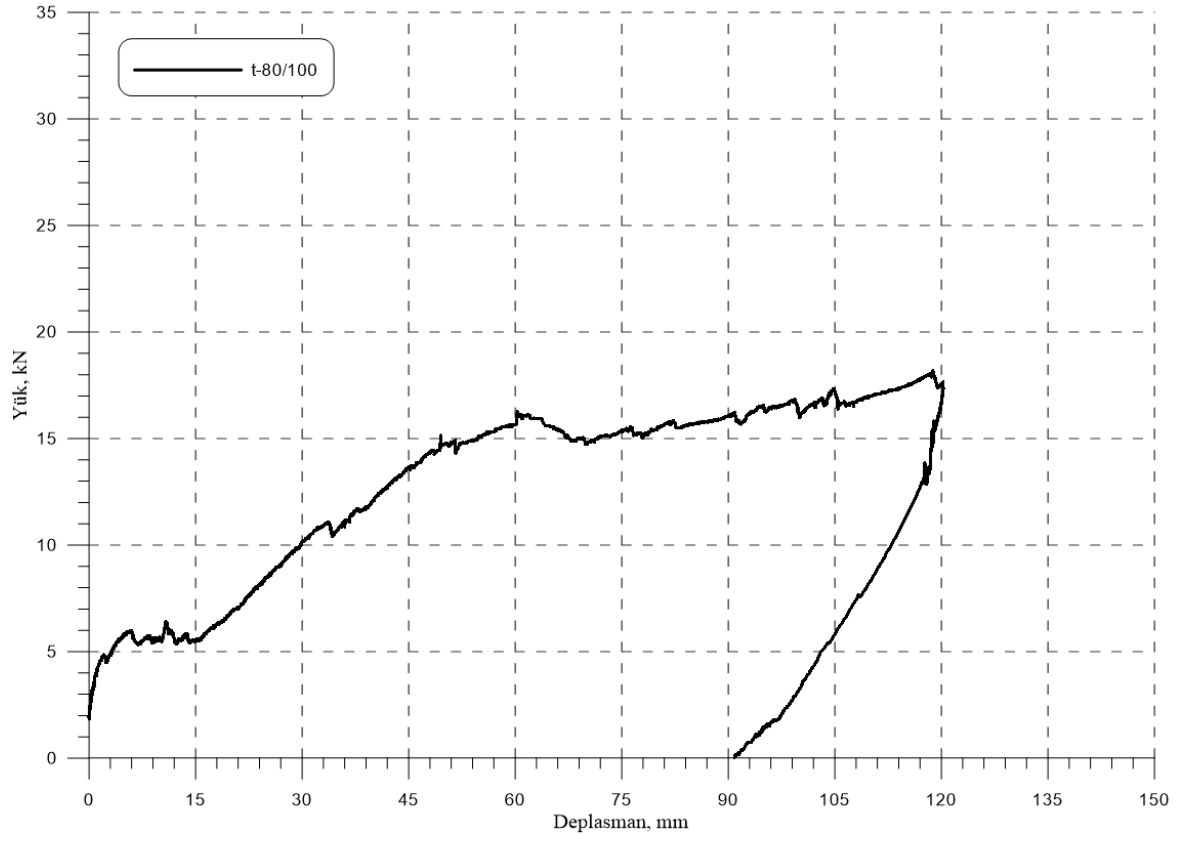
Şekil 6.11. t-80/100 deney elemanı çatlak haritası



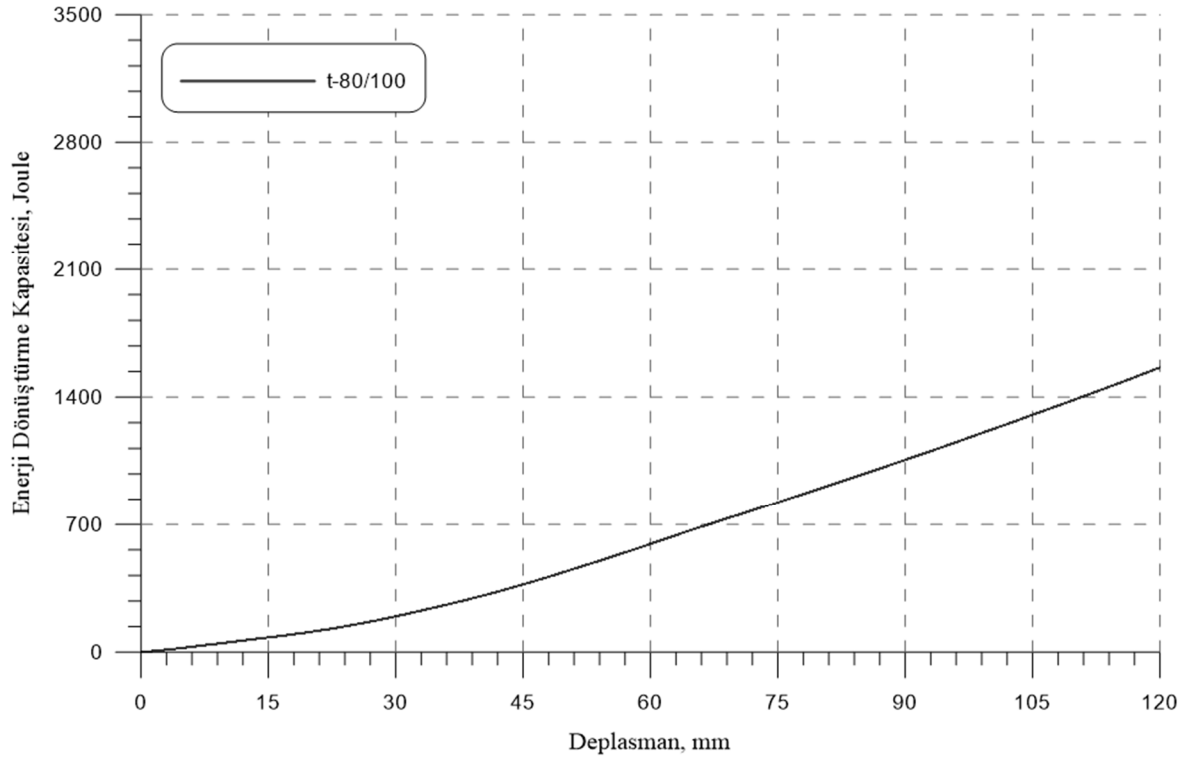
Şekil 6.12. t-80/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.13. t-80/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.14. t-80/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.15. t-80/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.4. T-100/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

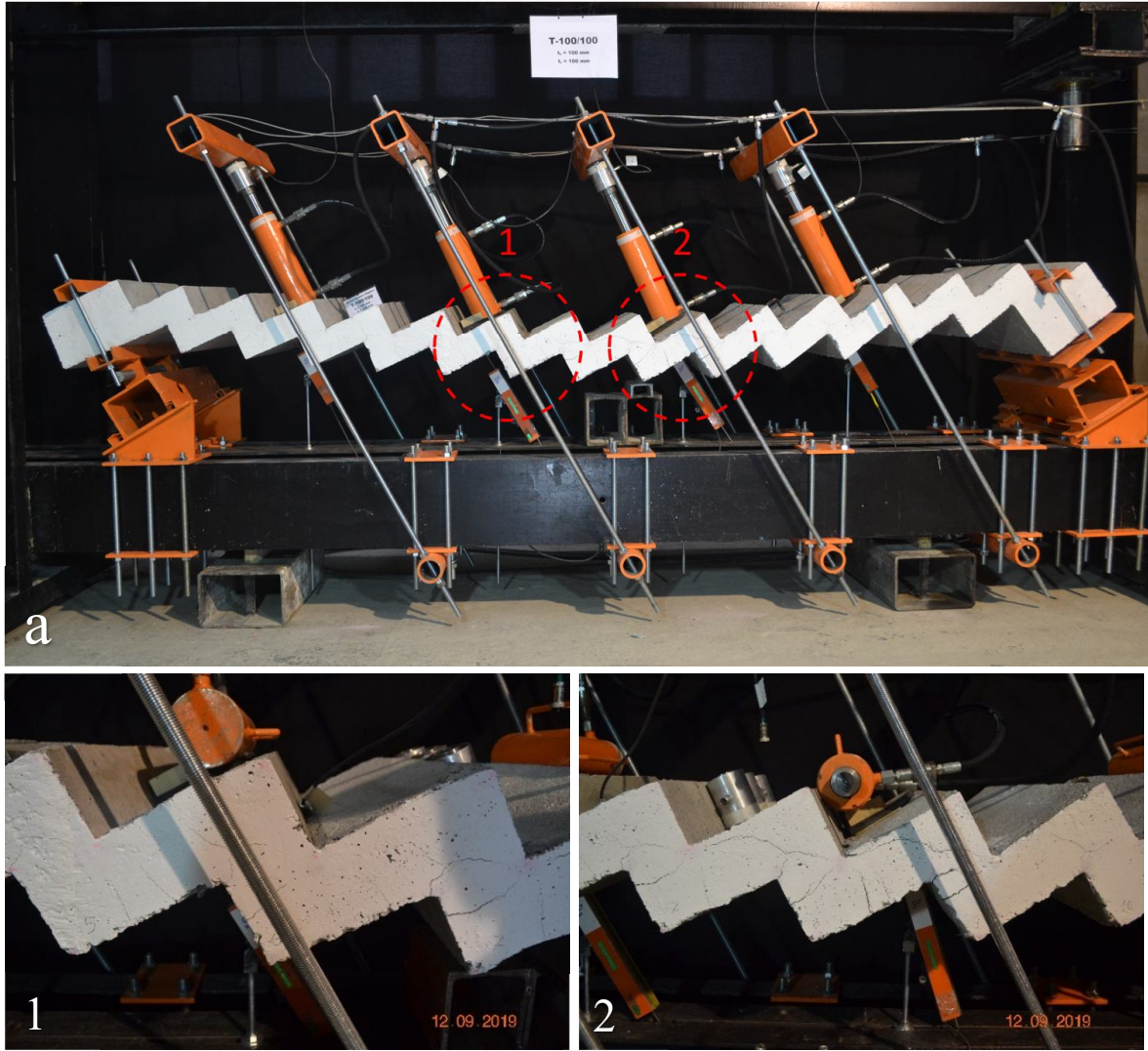
Donatı tipi : Tip T (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan T-100/100 deney elemanının basamak ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip T donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 7 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.10'da deney düzeneği görülmektedir. Deney anında deney elemanına sadece düşey yük uygulanmıştır. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm'ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.19'da verilen yük-deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 34,45 kN olmuştur.

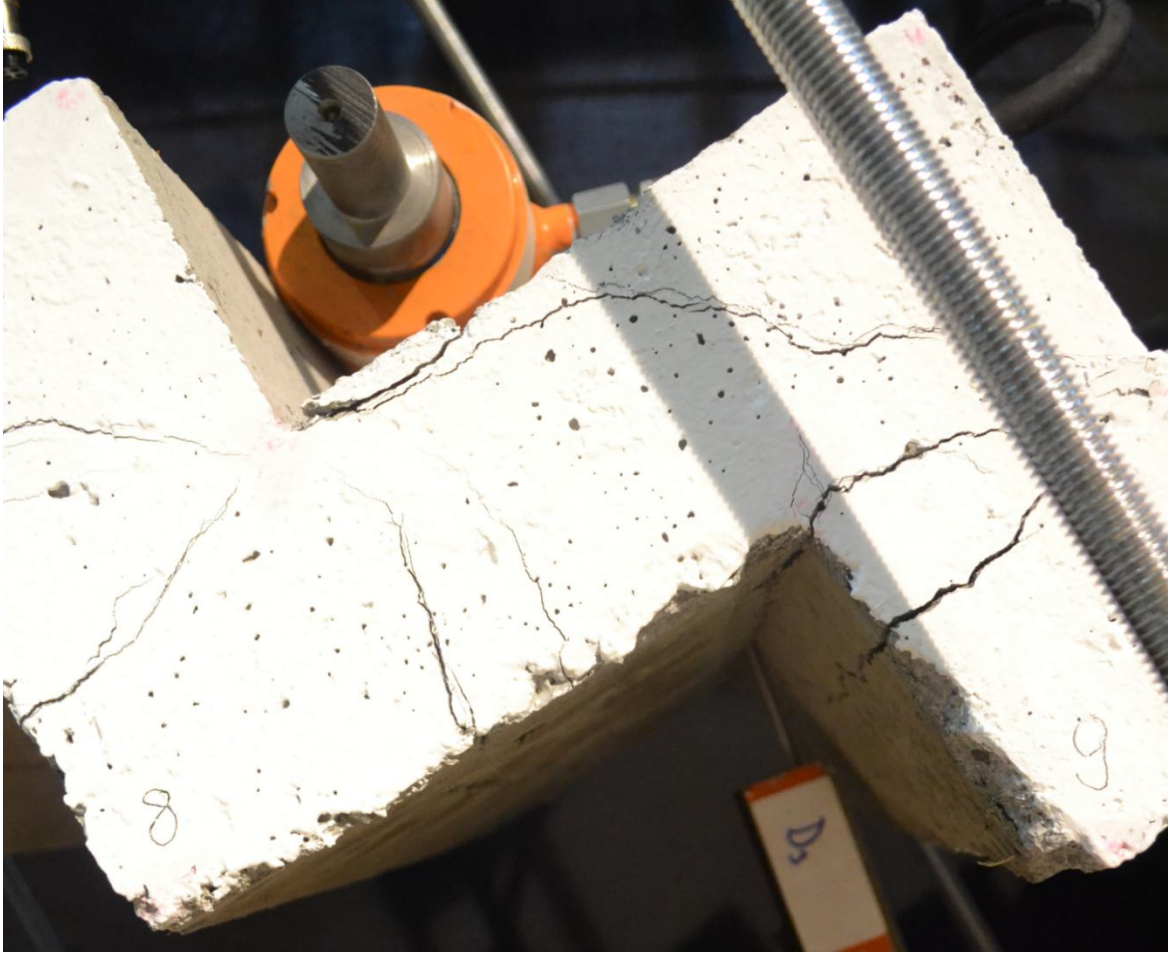


Resim 6.10. T-100/100 deney elemanı



Resim 6.11. a) T-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1 ve 2 çatlak görünüşü

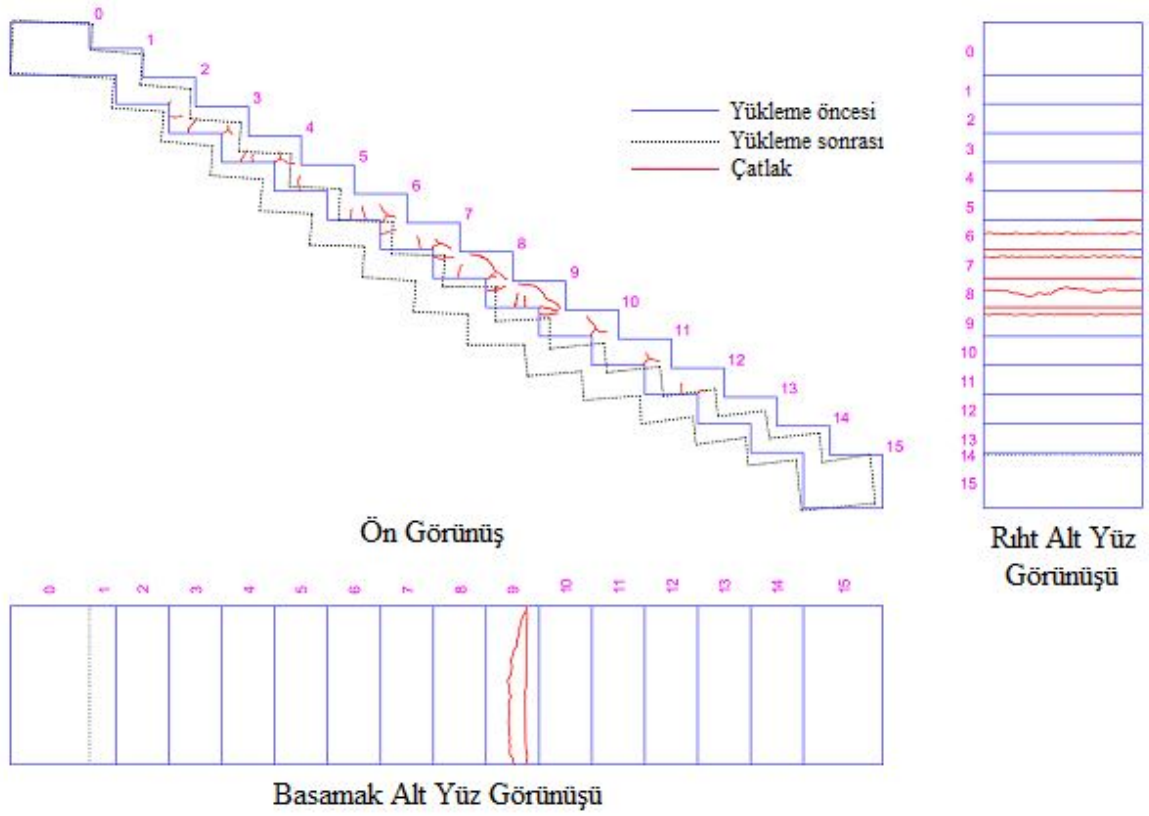
T-100/100 deney elemanında, toplam yük 13,70 kN değerine ulaştığında 7 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 8 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 7 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak rıht plağında oluşmuştur. Şekil 6.16’da görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde oluşmuştur. Başlangıçta plak yatay doğrultusunda oluşan çatlaklar düzlem donatıya ulaştığında, düzlem donatıya paralel bir şekilde ilerlemiştir. Deney elemanı 9 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 9 nolu basamak girintisinin iki köşe noktasının arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 236 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.17). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak genişliği 2 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır. Deney elemanında aderans çözülmesi görülmemiştir.



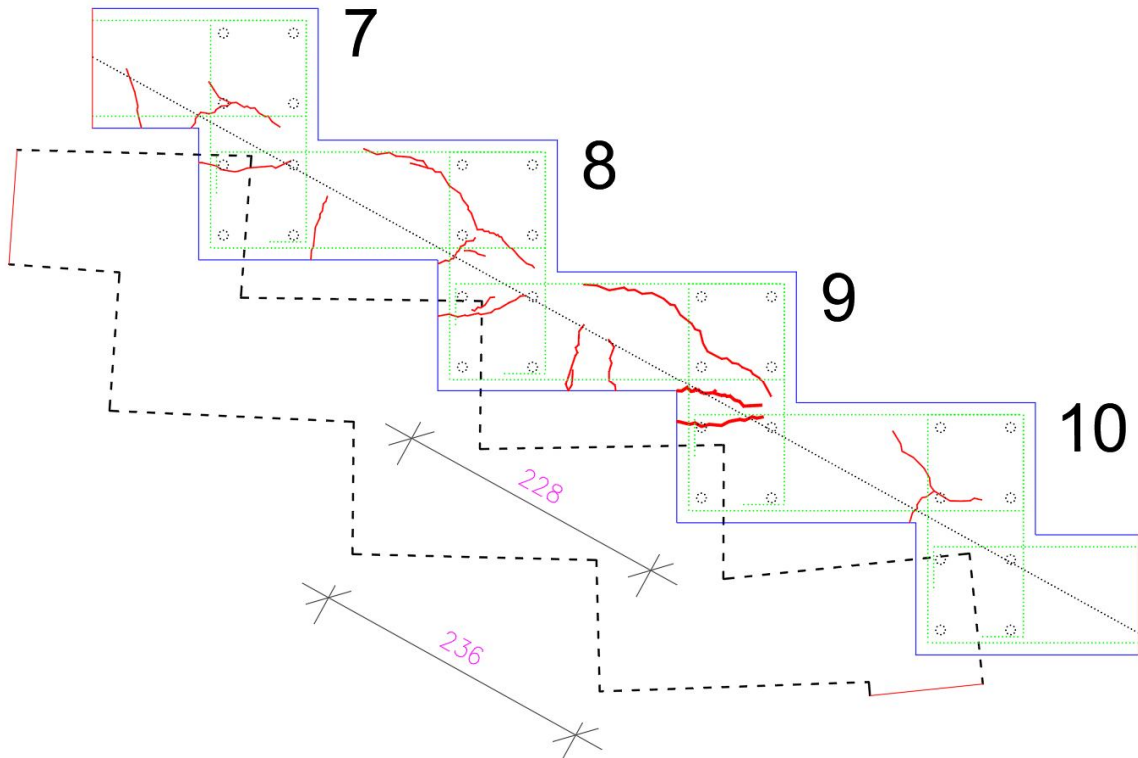
Resim 6.12. T-100/100 deney elemanı göçme sonrası çatlak incelemesi

T-100/100 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.18’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, başlangıçta birbirine yakın olsalar da deneyin ilerleyen sürecinde 1 ve 4 nolu krikolar ile 2 ve 3 nolu krikolar birbirilerine yakın değerler almıştır. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

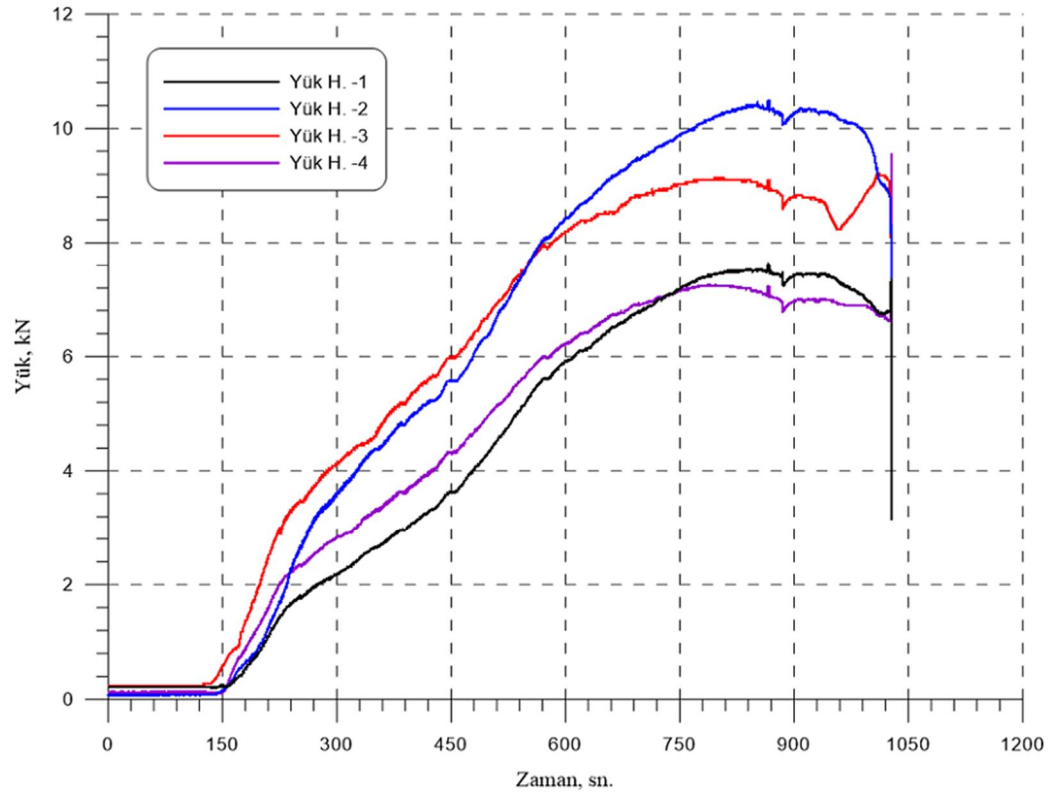
T-100/100 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 6.19’da verilmiştir. Deney elemanı maksimum 34,45 kN yük taşımış olup akma yüküne 48 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,40 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,556 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,140 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,117 kN/mm olmuştur. Şekil 6.20’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, T-100/100 deney elemanı akma yüküne kadar 857 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 3201 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,27 olmuştur.



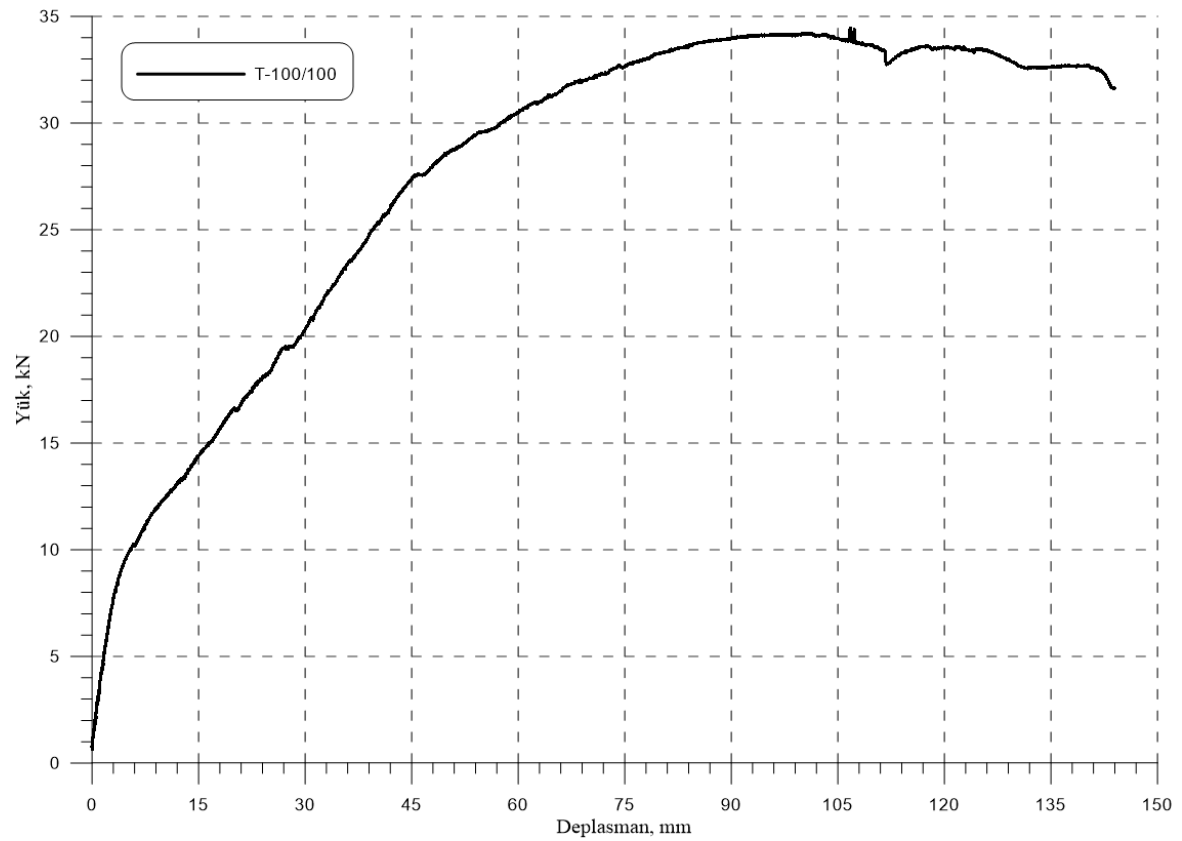
Şekil 6.16. T-100/100 deney elemanı çatlak haritası



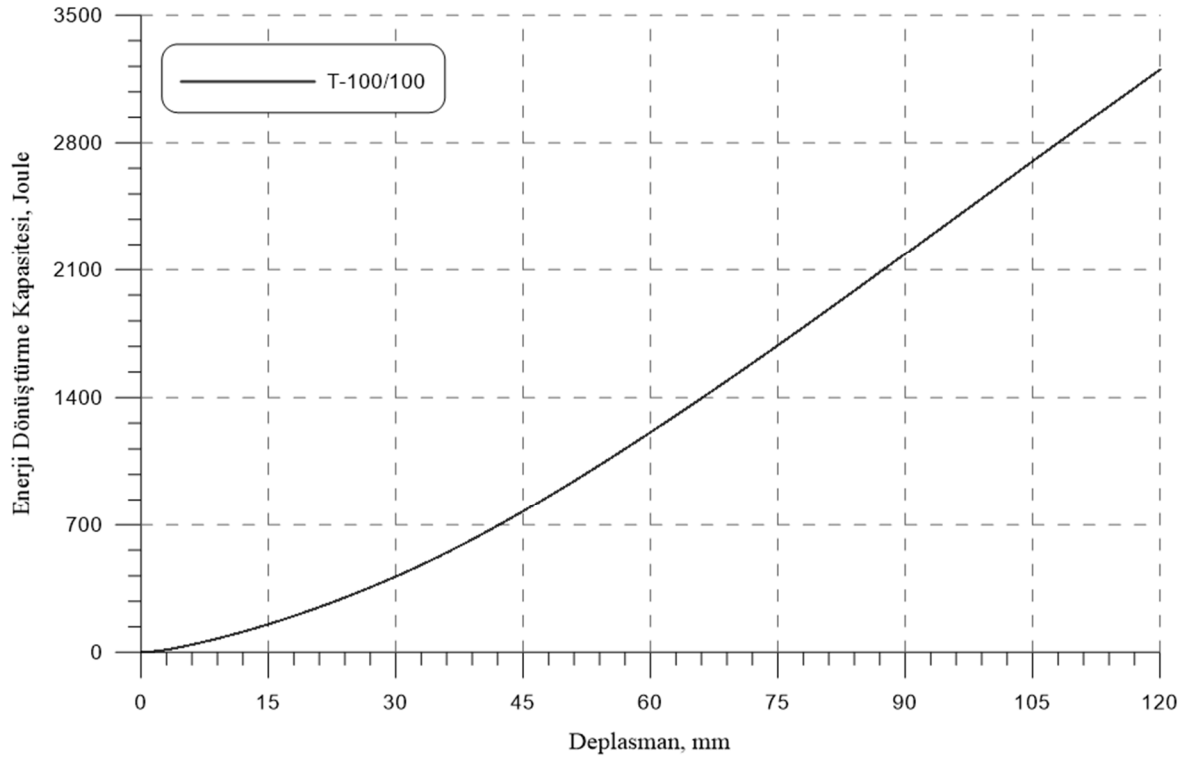
Şekil 6.17. T-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.18. T-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.19. T-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.20. T-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.5. T-100/80 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 80 mm

Donatı tipi : Tip T (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan T-100/80 deney elemanının basamak kalınlığı 100 mm ve rıht kalınlığı 80 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip T donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 9 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.13’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’yi aşıp 130 mm’ye kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.19’da verilen yük-deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 33,34 kN olmuştur.



Resim 6.13. T-100/80 deney elemanı

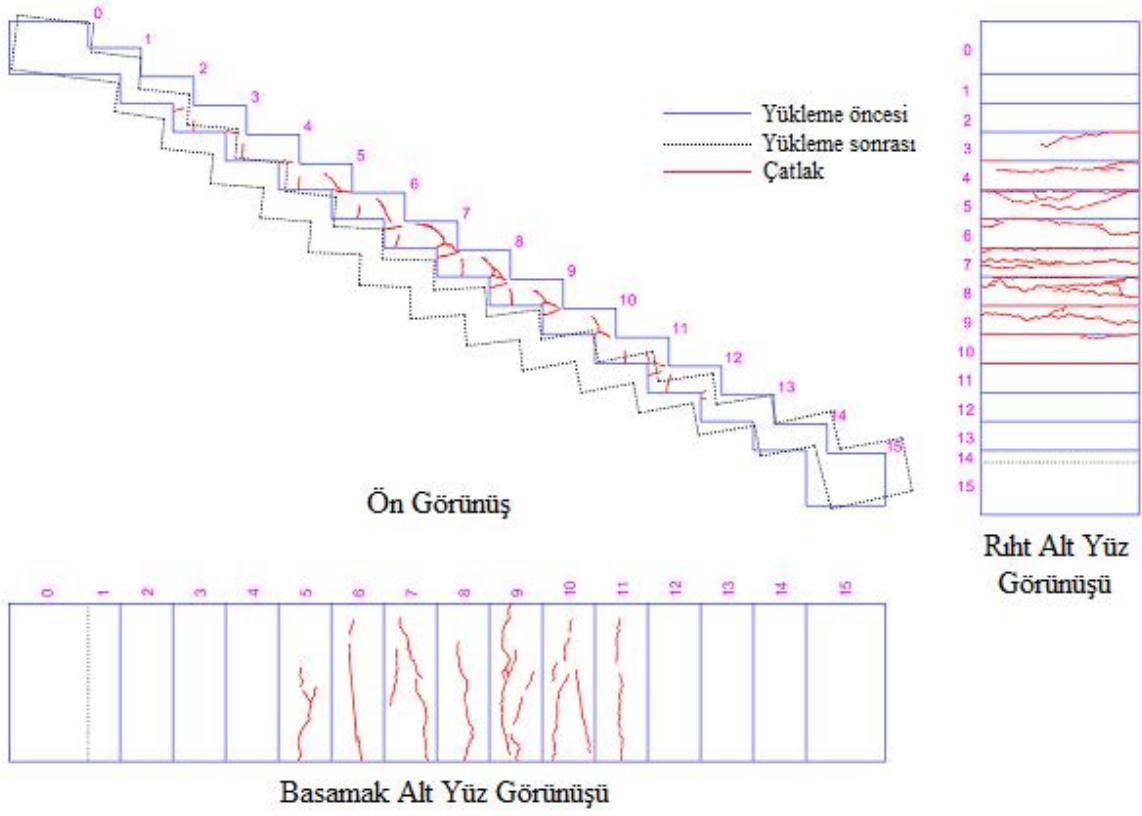
T-100/80 deney elemanında, toplam yük 4,00 kN değerine ulaştığında 8 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 8 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 9 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte rıht kalınlığının 80 mm olması nedeniyle rıht plağının rijitliği basamak plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak rıht plağında oluşmuştur. Şekil 6.21’de görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde oluşmuştur. Başlangıçta plak yatay doğrultusunda oluşan çatlaklar düzlem donatıya ulaştığında düzlem donatıya paralel bir şekilde ilerlemeye devam etmiştir. Deney elemanı 7 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 9 nolu basamak girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 233 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.22). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak açıklığı 2 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır. Deney elemanında aderans çözülmesi görülmemiştir (Resim 6.14).

T-100/80 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.23’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, başlangıçta birbirine yakın olsalar da deneyin ilerleyen sürecinde 1,2 ve 4 nolu krikolar ile 3 nolu kriko birbirilerine yakın değerler almıştır. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

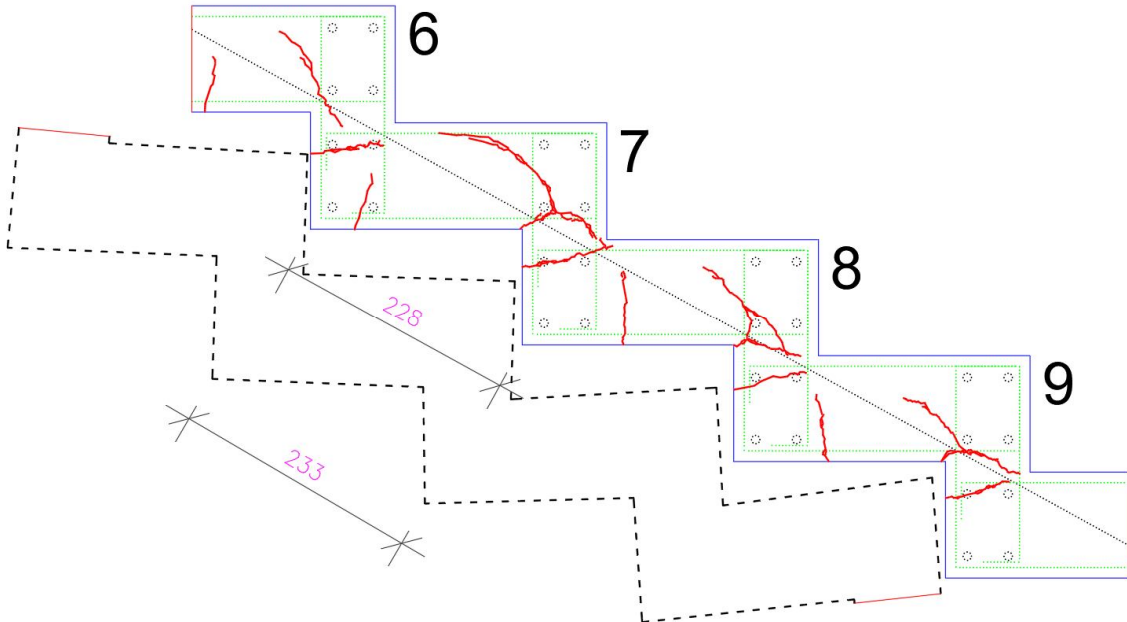


Resim 6.14. a) T-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlağın ön yüz görünüşü, 1b çatlağın alt yüz görünüşü

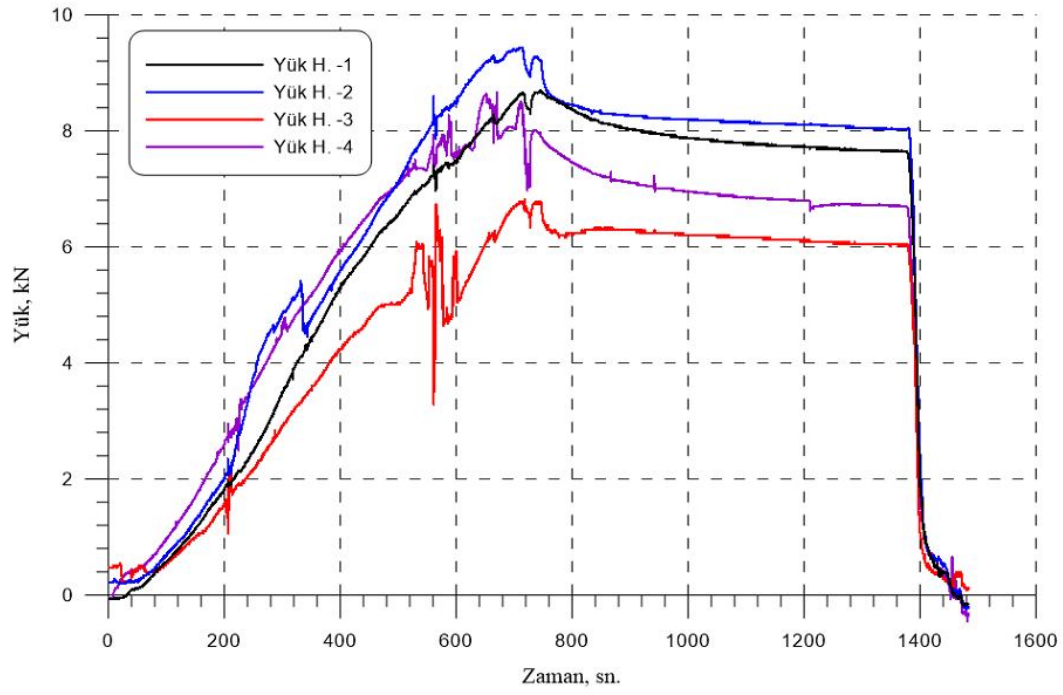
T-100/80 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 6.24’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 33,34 kN yük taşımış olup akma yüküne 48 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,40 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,102 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,118 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,100 kN/mm olmuştur. Şekil 6.20’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, T-100/80 deney elemanı akma yüküne kadar 628 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 2748 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,23 olmuştur.



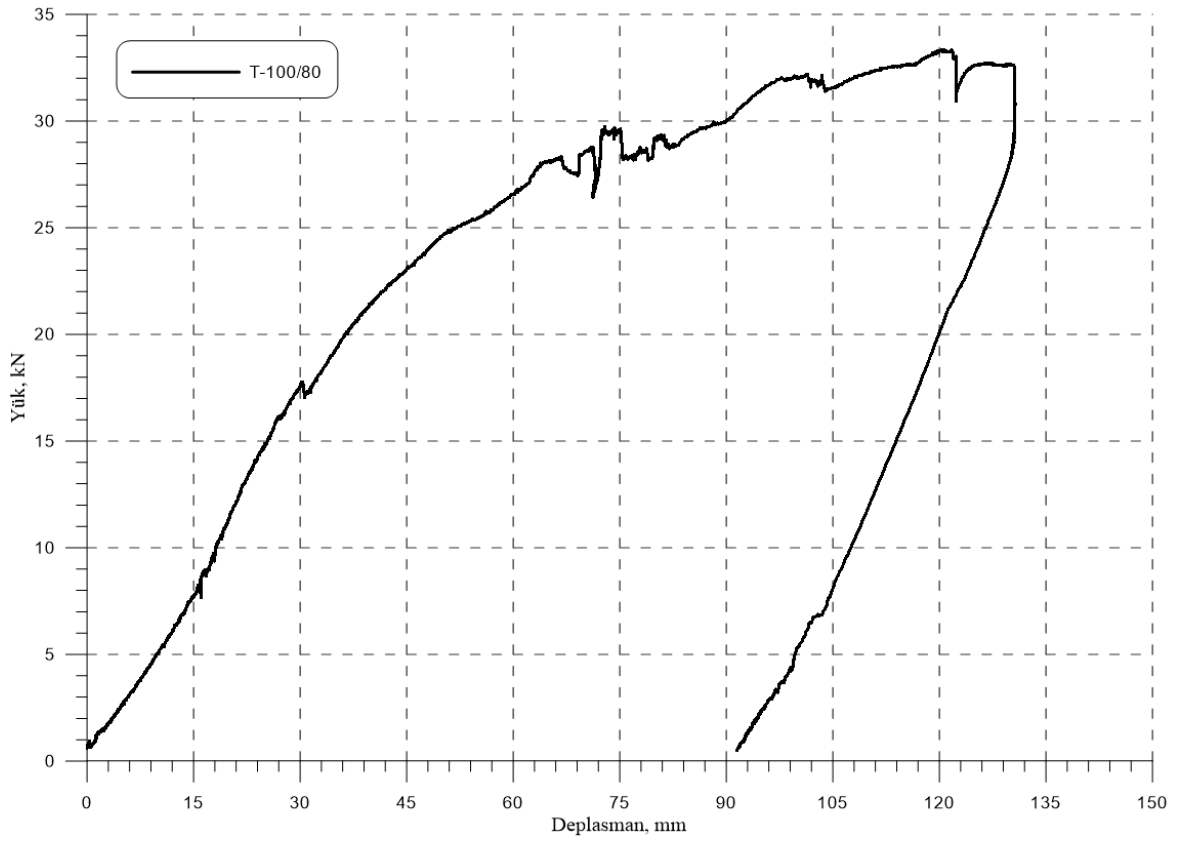
Şekil 6.21. T-100/80 deney elemanı çatlak haritası



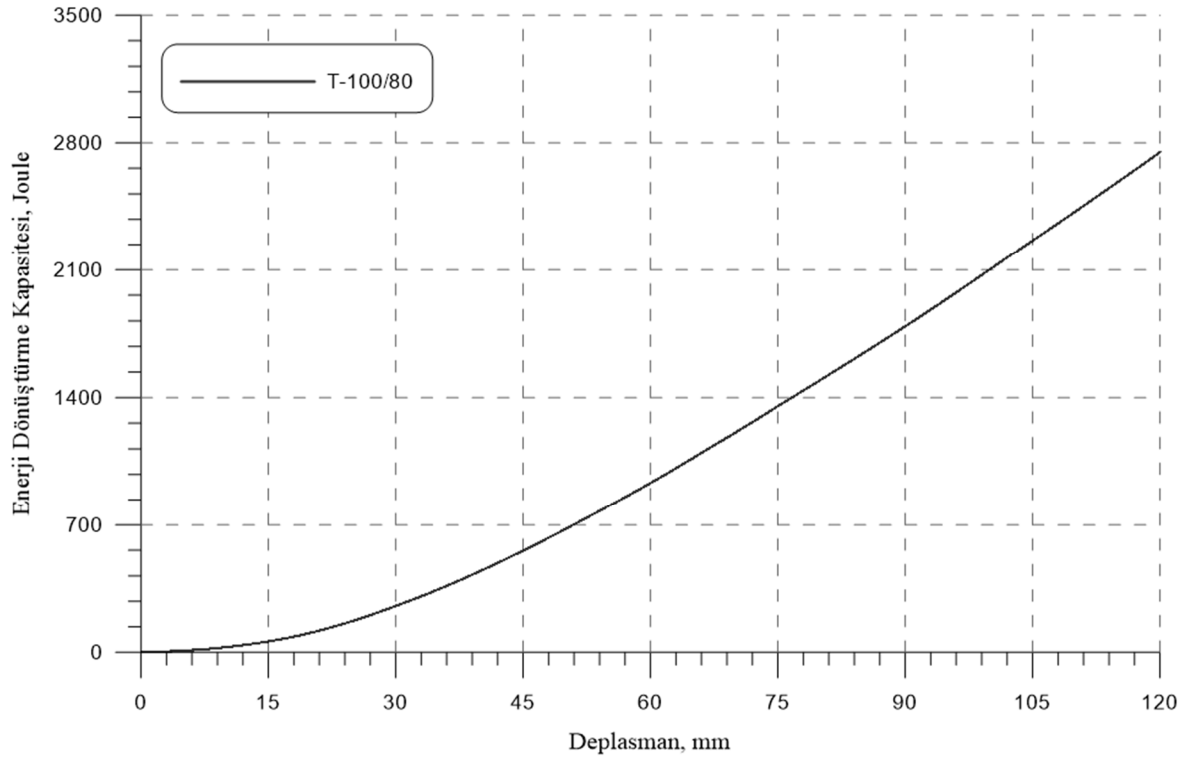
Şekil 6.22. T-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.23. T-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.24. T-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.25. T-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.6. T-80/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 80 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

Donatı tipi : Tip T (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan T-80/100 deney elemanının basamak kalınlığı 80 mm ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip T donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 9 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 8 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.15’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’yi aşıp 142 mm’ye kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.29’da verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 27,35 kN olmuştur.



Resim 6.15. T-80/100 deney elemanı

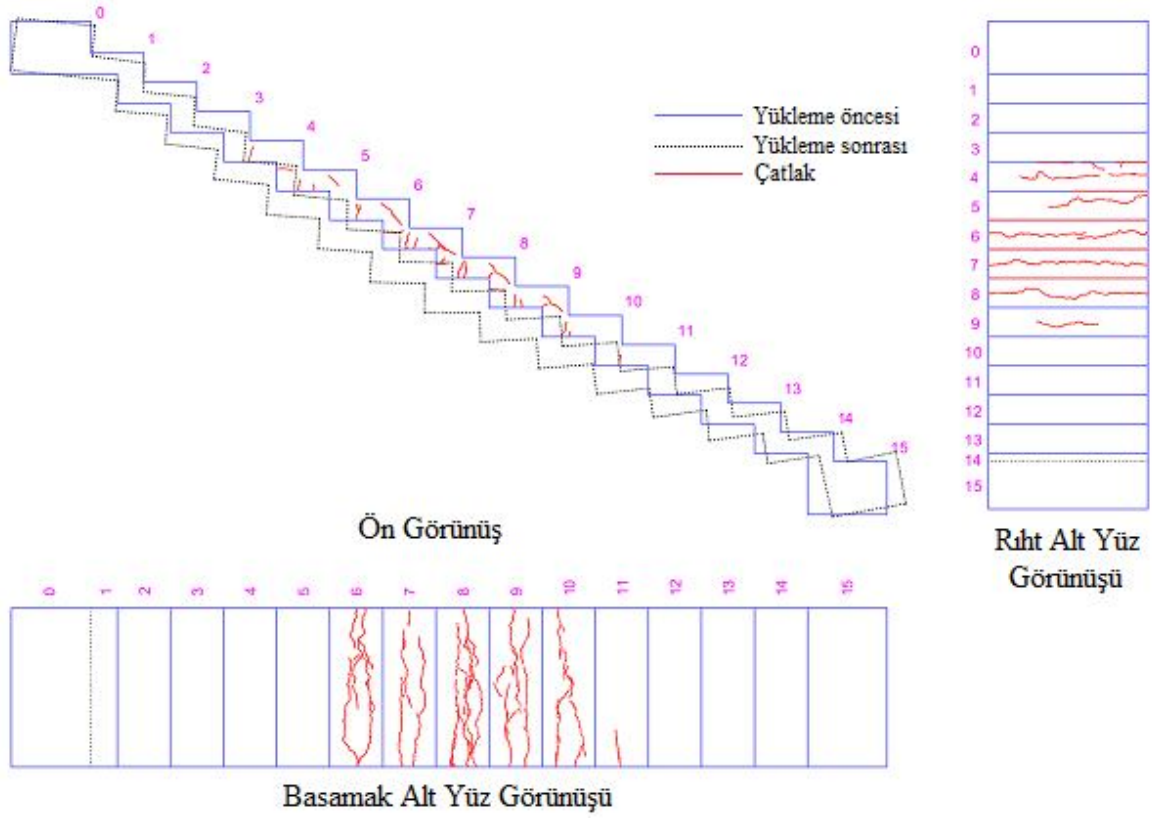
T-80/100 deney elemanında, toplam yük 8,00 kN değerine ulaştığında 9 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 9 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 8 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte basamak kalınlığının 80 mm olması nedeniyle basamak plağının rijitliği rıht plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak basamak plağında oluşmuştur. Şekil 6.26'da görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde oluşmuştur. Başlangıçta plak yatay doğrultusuna dik yönde oluşan çatlaklar düzlem donatıya ulaştığında düzlem donatıya paralel bir şekilde ilerlemeye devam etmiştir. Deney elemanı 7 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 9 nolu basamak girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 239 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.27). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak açıklığı 2 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır. Deney elemanında aderans çözülmesi görülmemiştir (Resim 6.16).

T-80/100 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.28'de verilmiştir. Bu grafiğe göre, tüm krikolar birbirilerinden farklı değerler almıştır. Krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

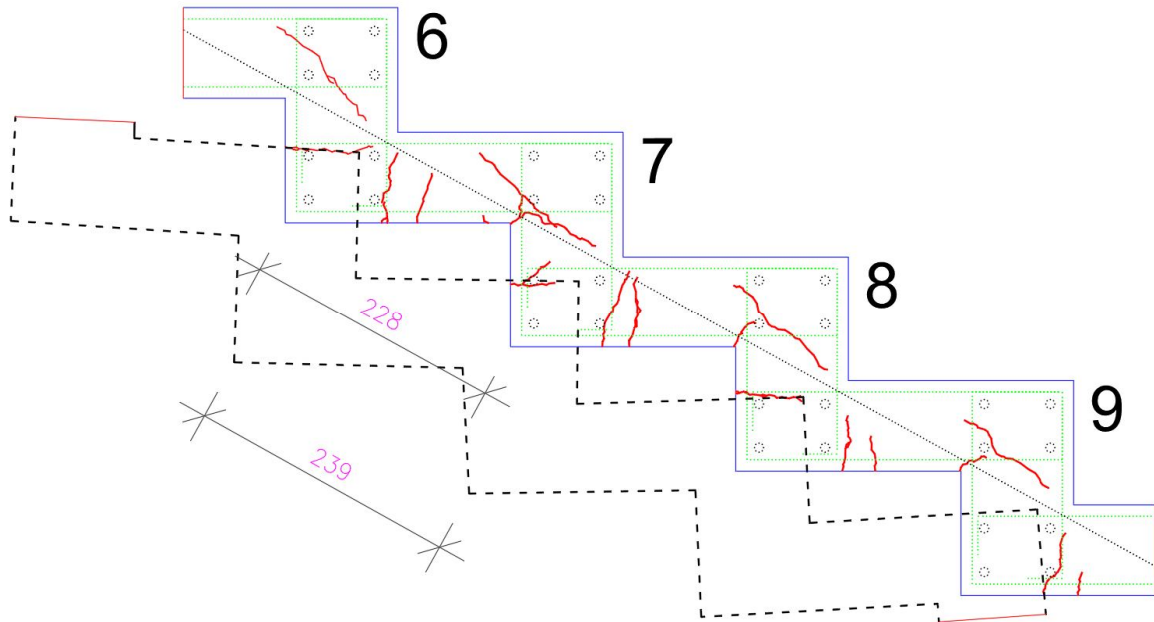
T-80/100 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 6.29’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 27,35 kN yük taşımış olup akma yüküne 71 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,59 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,114 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,073 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,069 kN/mm olmuştur. Şekil 6.30’da deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, T-80/100 deney elemanı akma yüküne kadar 974 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 2236 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,44 olmuştur.



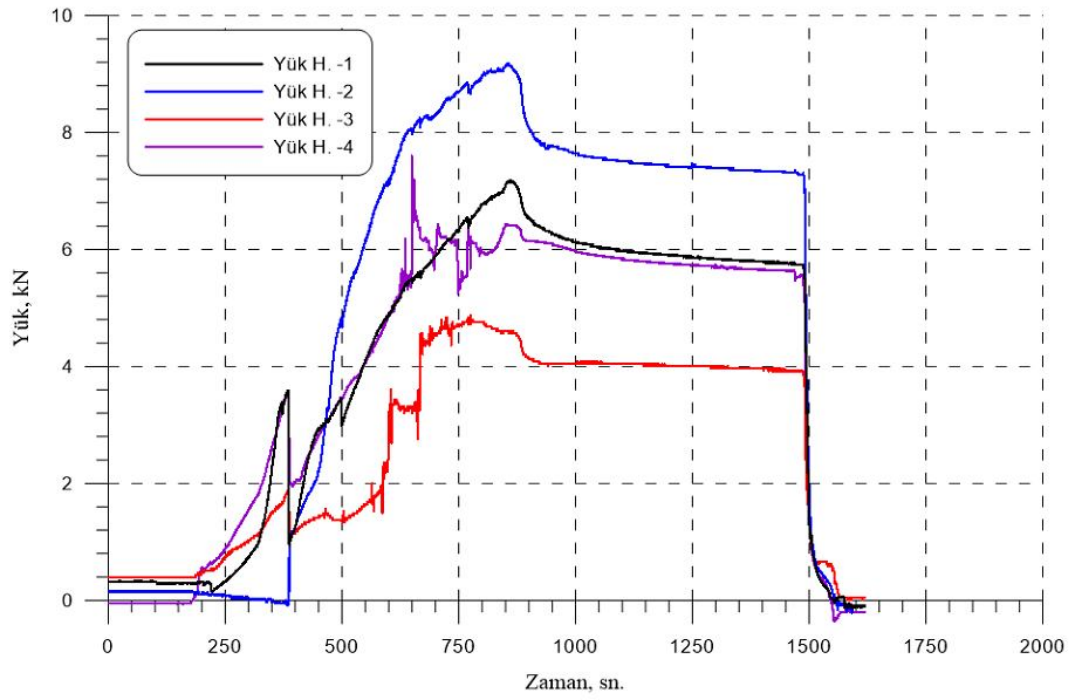
Resim 6.16. a) T-80/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlakın ön yüz görünüşü, 1b çatlakın alt yüz görünüşü



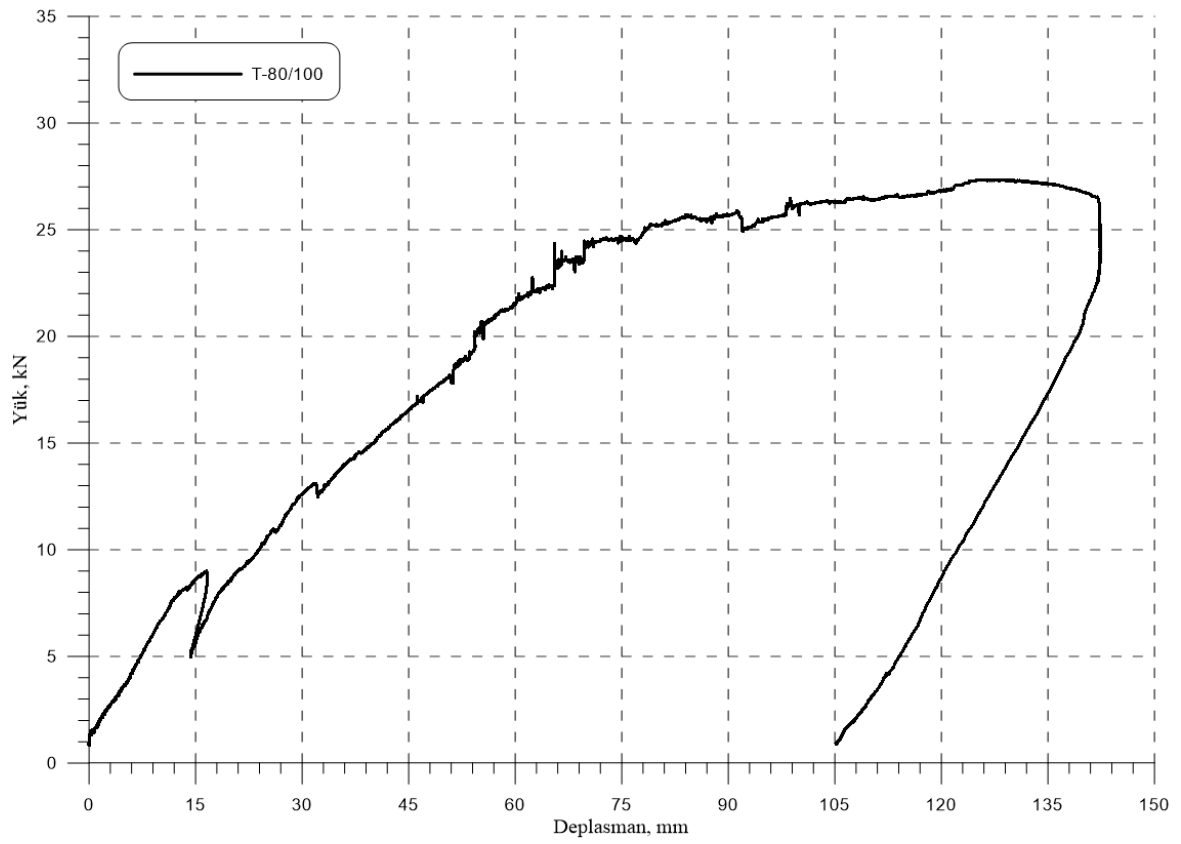
Şekil 6.26. T-80/100 deney elemanı çatlak haritası



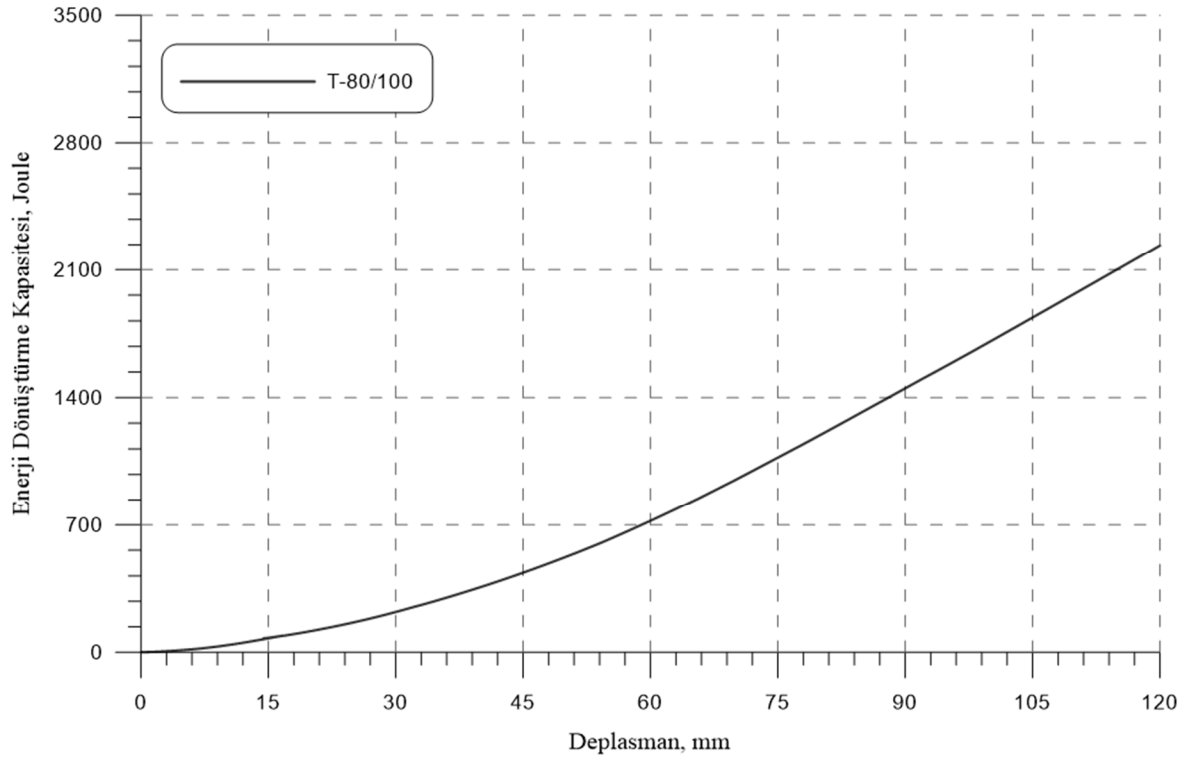
Şekil 6.27. T-80/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.28. T-80/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.29. T-80/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.30. T-80/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.7. C-100/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_b): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

Donatı tipi : Tip C (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan C-100/100 deney elemanının basamak ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip C donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 7 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.17’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.34’de verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 34,45 kN olmuştur.



Resim 6.17. C-100/100 deney elemanı

C-100/100 deney elemanında, toplam yük 8,00 kN değerine ulaştığında 8 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 8 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 7 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte basamak/rıht kalınlıkları aynı olması nedeniyle rıht plağı rijitliği basamak plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak rıht plağında oluşmuştur. Şekil 6.31’de görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde oluşmuştur. Başlangıçta plak kalınlığına dik yönde oluşan çatlaklar düzlem donatıya ulaştığında düzlem donatıya paralel bir şekilde ilerlemeye devam etmiştir. Deney elemanı 8 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 8 nolu basamak girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 237 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 8.32). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak genişliği 1,5 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır. Deney elemanında aderans çözülmesi görülmemiştir (Resim 6.18).

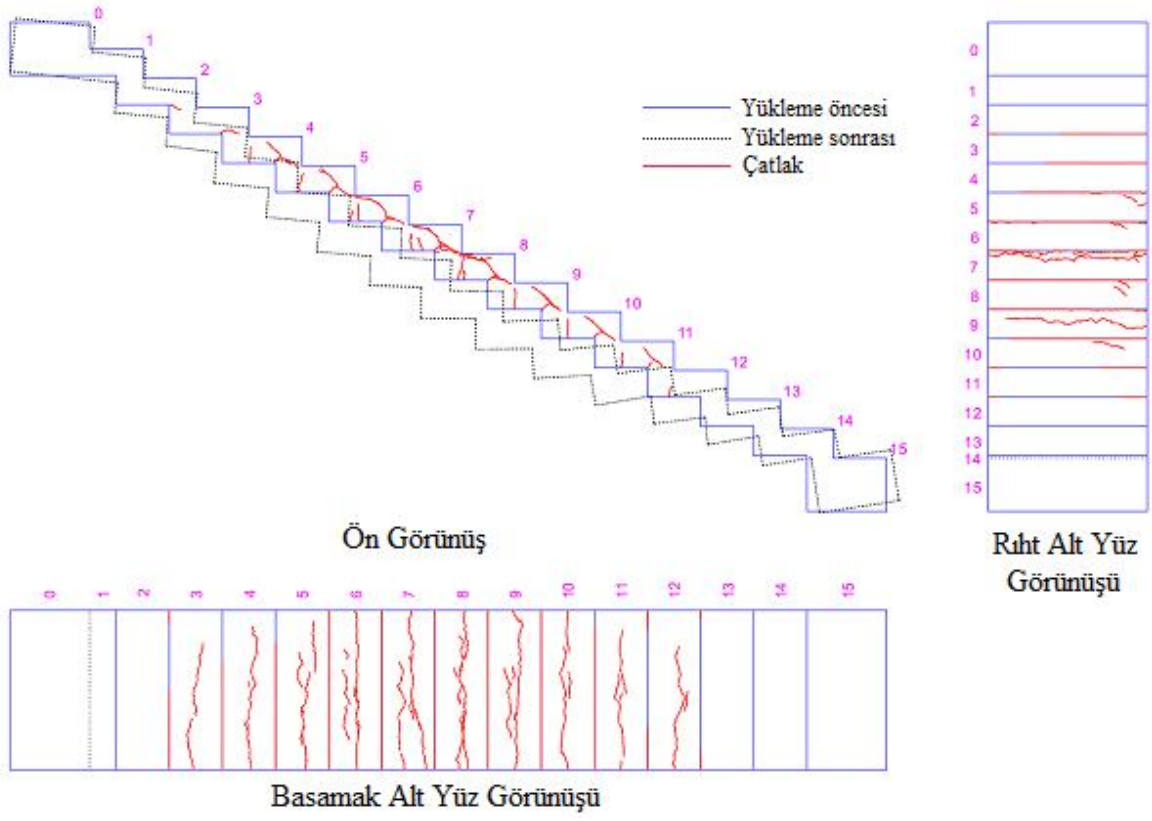
C-100/100 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.33’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, başlangıçta birbirine yakın olsalar da

deneyin ilerleyen sürecinde 1 ve 2 nolu krikolar ile 3 ve 4 nolu krikolar birbirilerine yakın değerler almıştır. Krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

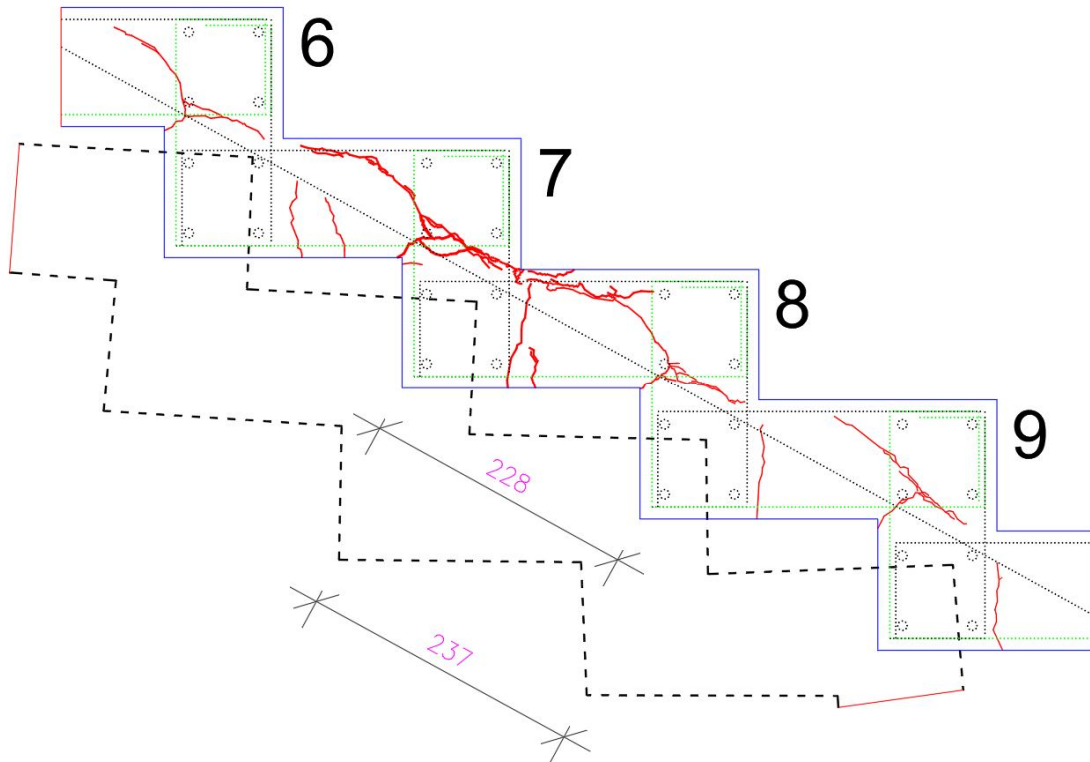
C-100/100 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 6.34’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 34,63 kN yük taşımış olup akma yüküne 56 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,47 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,572 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,135 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,098 kN/mm olmuştur. Şekil 6.35’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, C-100/100 deney elemanı akma yüküne kadar 1011 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 3024 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,33 olmuştur.



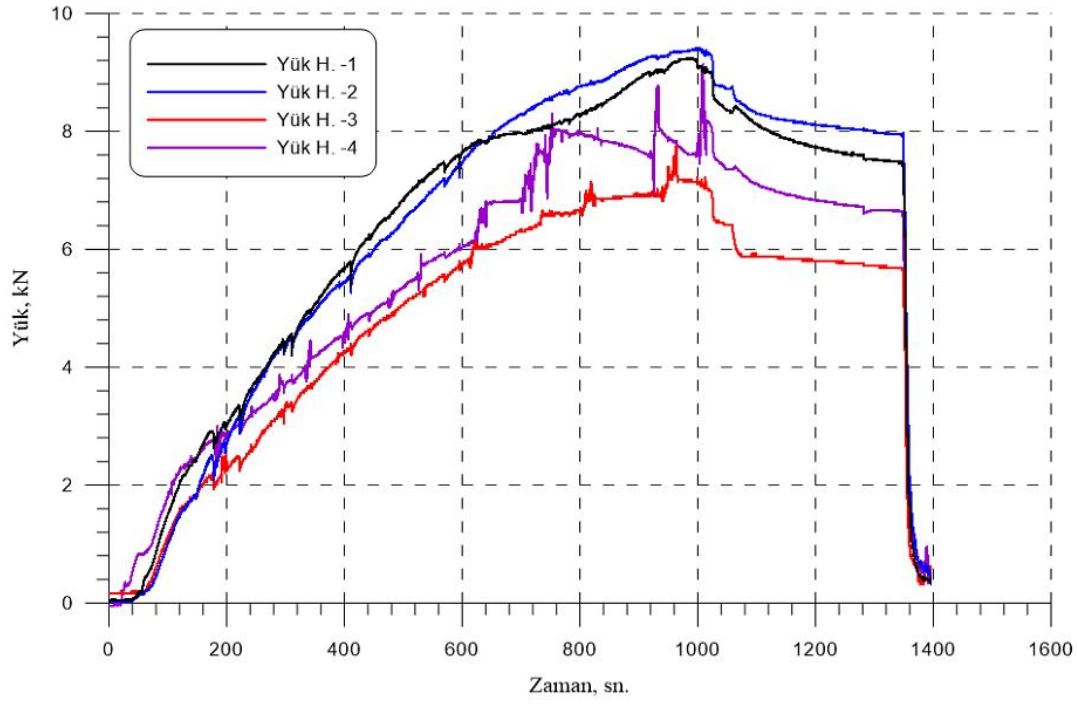
Resim 6.18. a) C-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlağın ön yüz görünüşü, 1b çatlağın alt yüz görünüşü



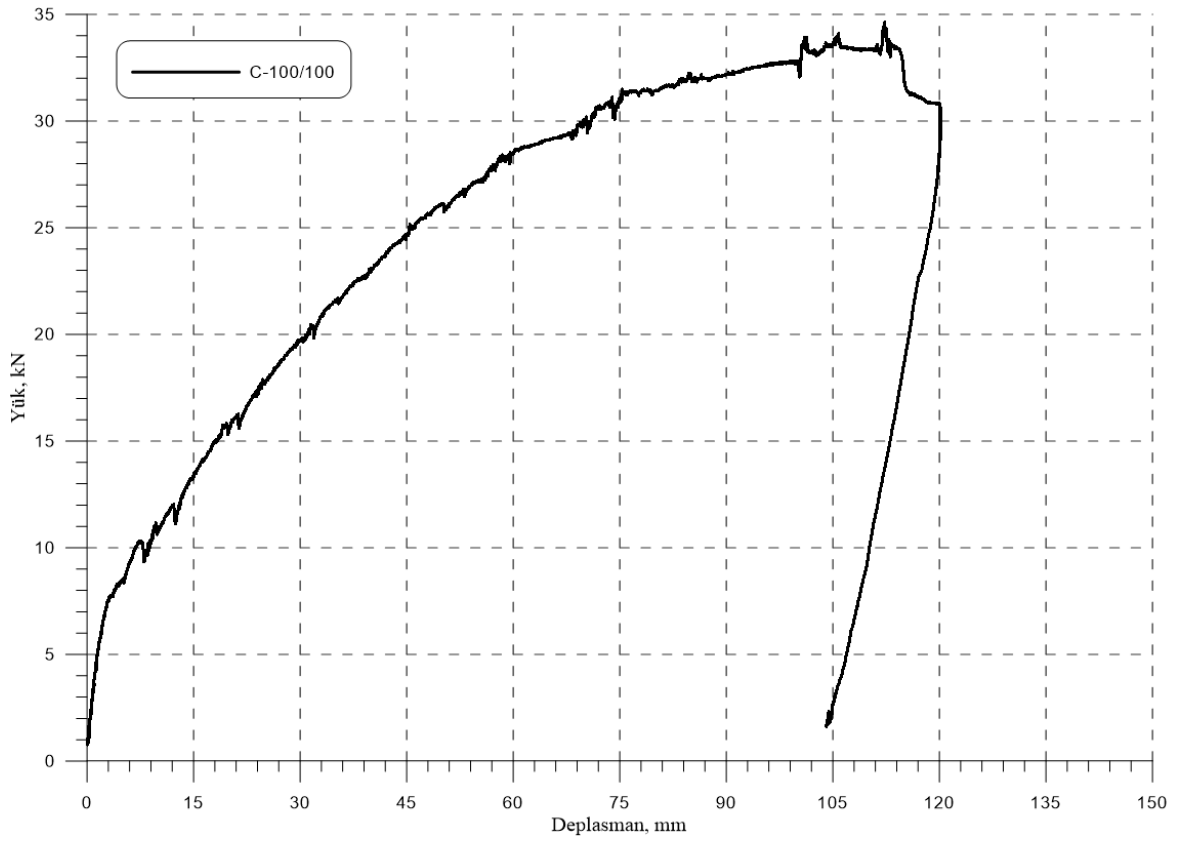
Şekil 6.31. C-100/100 deney elemanı çatlak haritası



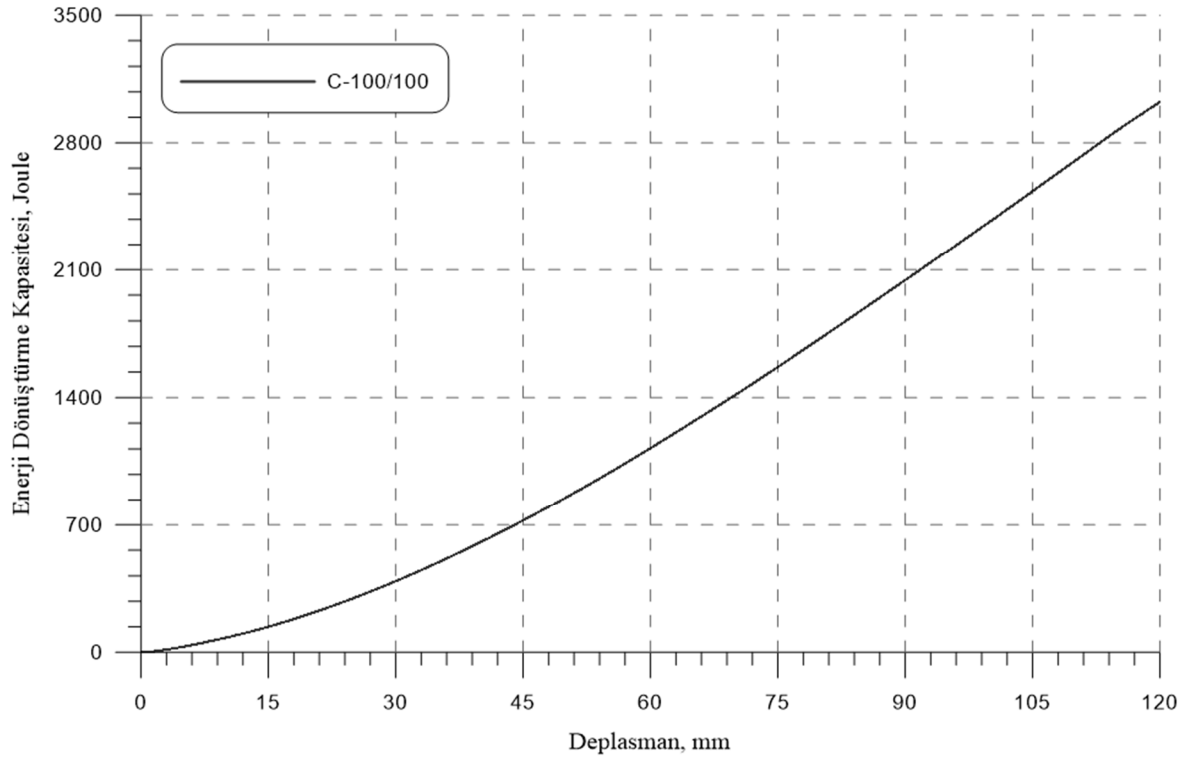
Şekil 6.32. C-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.33. C-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.34. C-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.35. C-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.8. C-100/80 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 80 mm

Donatı tipi : Tip C (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan C-100/80 deney elemanının basamak kalınlığı 100 mm ve rıht kalınlığı 80 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip C donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 9 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.19’da deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.39’da verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 34,87 kN olmuştur.



Resim 6.19. C-100/80 deney elemanı

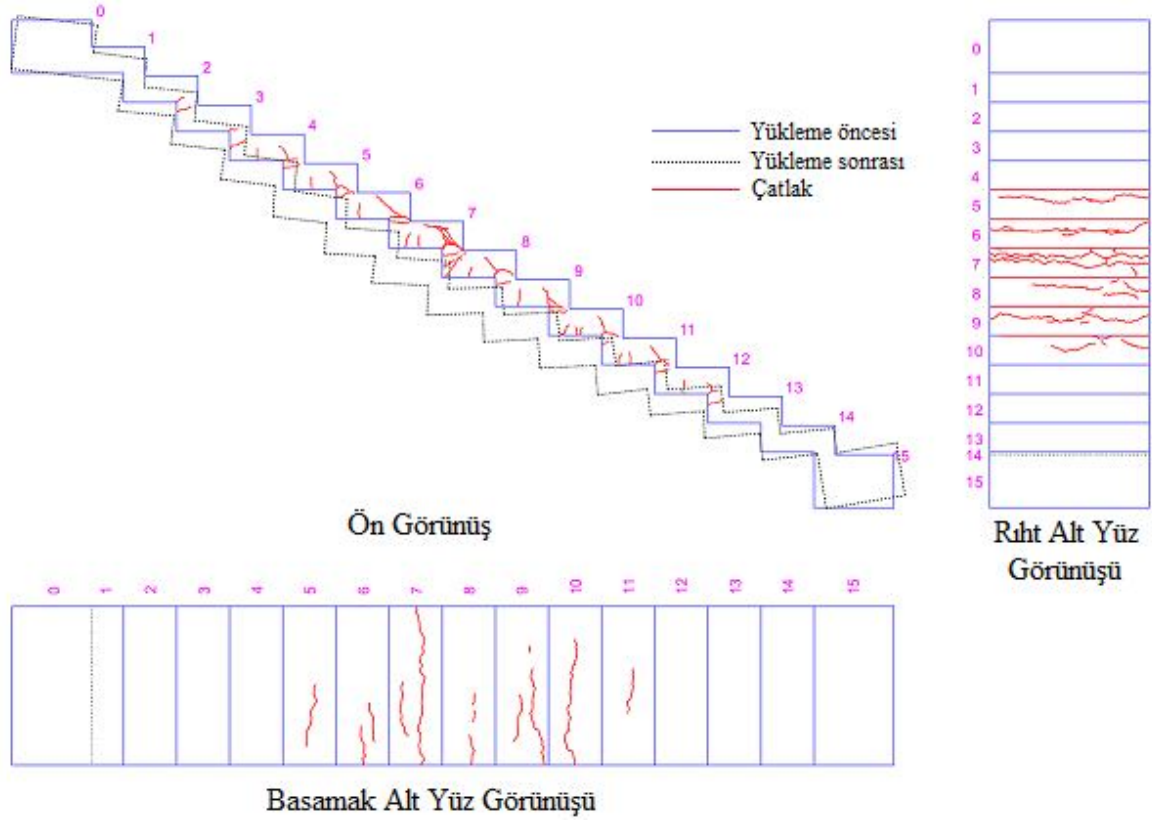
C-100/80 deney elemanında, toplam yük 7,00 kN değerine ulaştığında 9 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 8 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 9 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte rıht kalınlığının 80 mm olması nedeniyle rıht plağının rijitliği basamak plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak rıht plağında oluşmuştur. Şekil 6.36’de görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde oluşmuştur. Başlangıçta plak kalınlığına dik yönde oluşan çatlaklar düzlem donatıya ulaştığında düzlem donatıya paralel bir şekilde ilerlemeye devam etmiştir. Deney elemanı 7 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 7 nolu basamak girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 233 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.37). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak genişliği 1,2 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır. Deney elemanında aderans çözülmesi görülmemiştir (Resim 6.20).

C-100/80 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.38’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, başlangıçta birbirine yakın olsalar da deneyin ilerleyen sürecinde 1 ve 2 nolu krikolar ile 3 ve 4 nolu krikolar birbirilerine yakın değerler almıştır. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

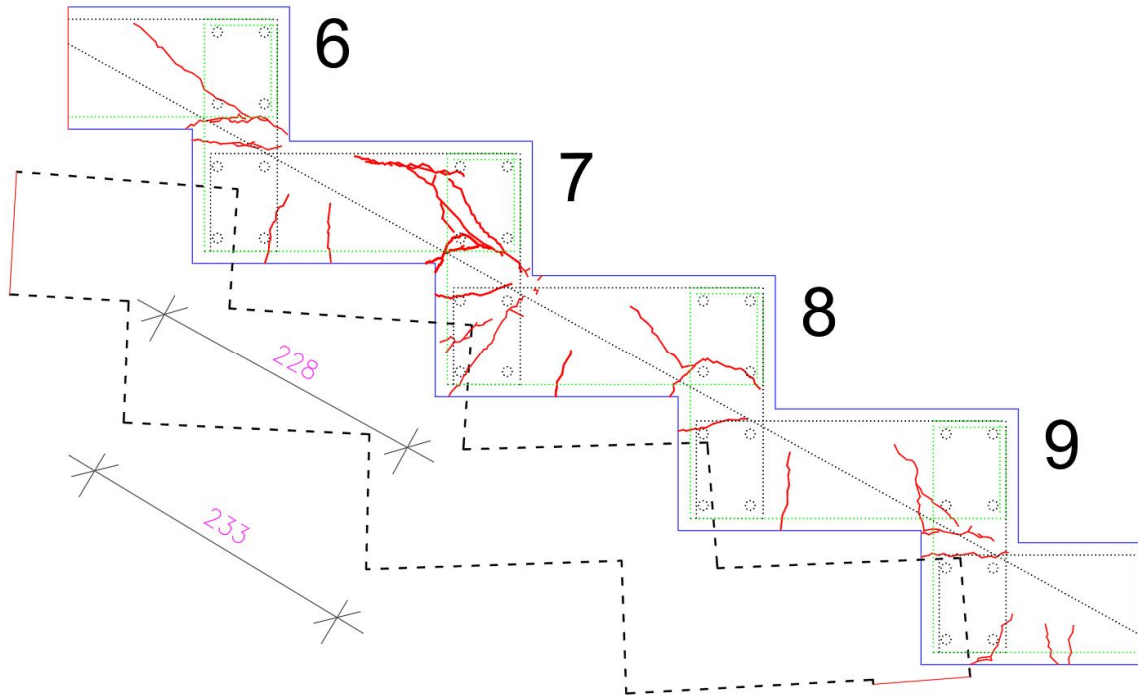
C-100/80 deney elemanına ait yük–deplasman grafiği Şekil 6.39’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 34,87 kN yük taşımış olup akma yüküne 61 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,51 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,342 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,120 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,097 kN/mm olmuştur. Şekil 6.40’da deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, C-100/80 deney elemanı akma yüküne kadar 1116 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 3054 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,37 olmuştur.



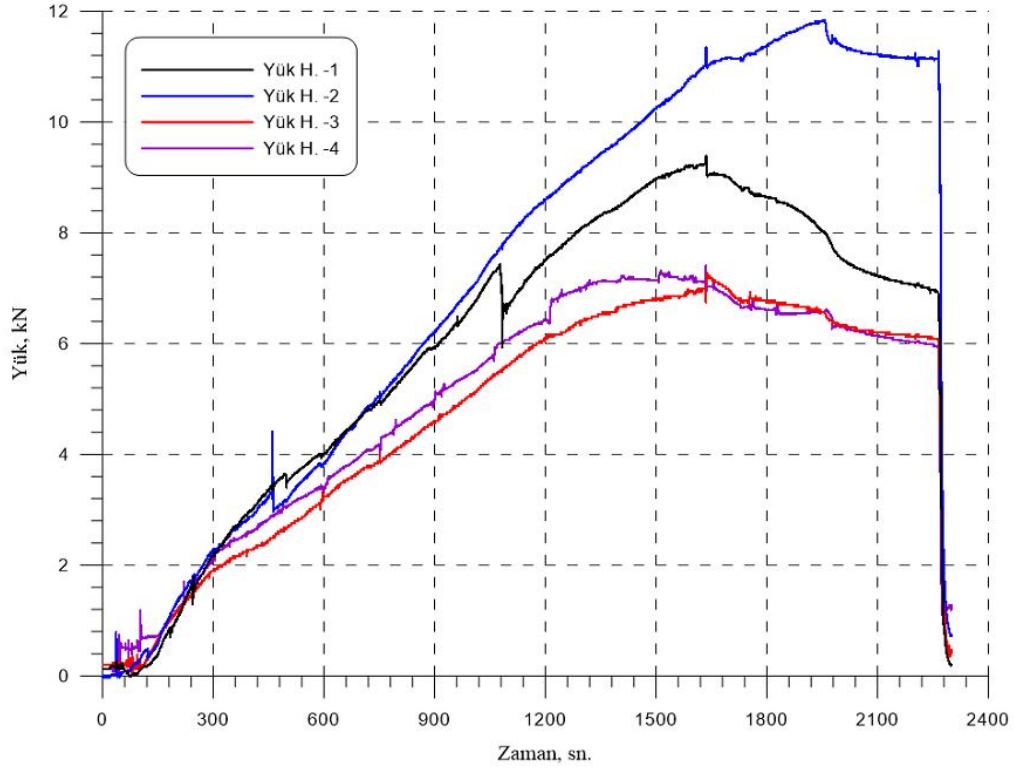
Resim 6.20. a) C-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlakın ön yüz görünüşü, 1b çatlakın alt yüz görünüşü



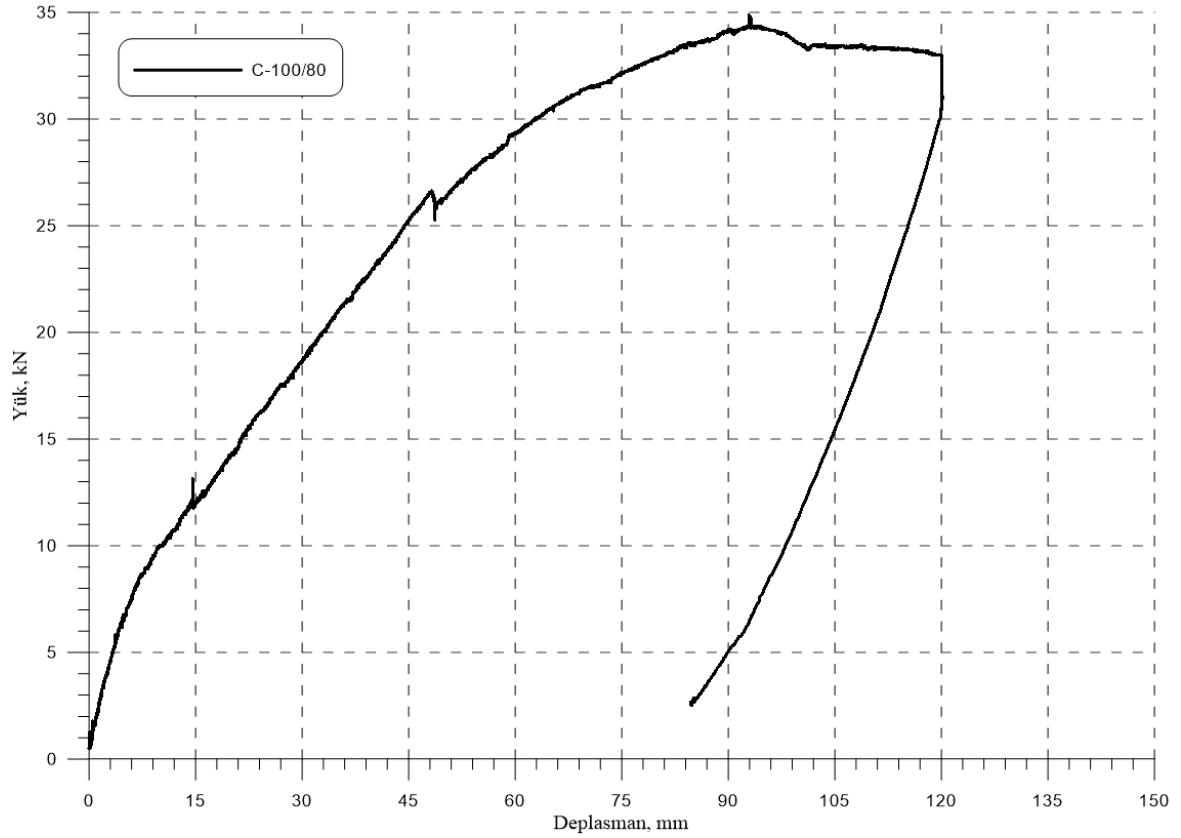
Şekil 6.36. C-100/80 deney elemanı çatlak haritası



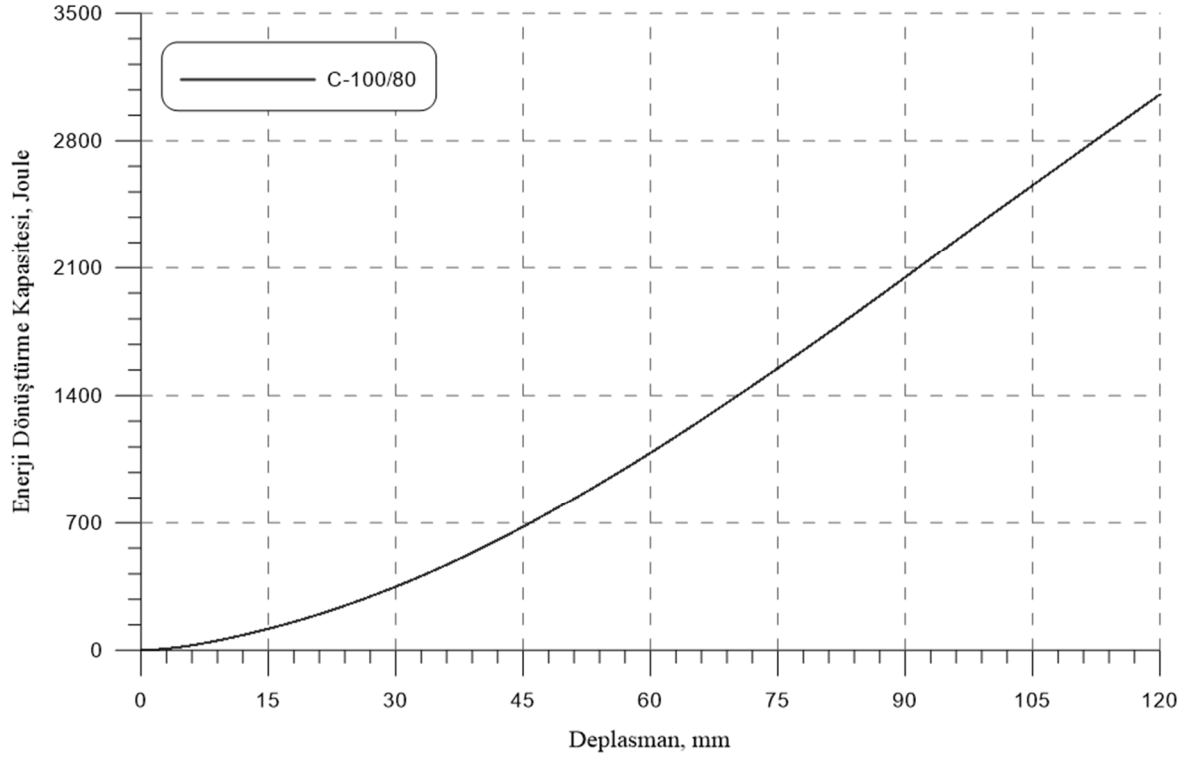
Şekil 6.37. C-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.38. C-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.39. C-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.40. C-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.9. C-80/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 80 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

Donatı tipi : Tip C (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan C-80/100 deney elemanının basamak kalınlığı 80 mm ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip C donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 9 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 8 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.21’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.44’da verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 28,32 kN olmuştur.



Resim 6.21. C-80/100 deney elemanı

C-80/100 deney elemanında, toplam yük 6,00 kN değerine ulaştığında 9 nolu basamak plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Basamak plağında 9 adet Ø8 donatı bulunurken, rıht plağında 8 adet Ø8 donatı bulunmaktadır. Bununla birlikte basamak kalınlığının 80 mm olması nedeniyle basamak plağının rijitliği rıht plağına göre daha düşük olmuştur. Bu nedenle çatlaklar yoğun olarak basamak plağında oluşmuştur. Şekil 6.41’de görüldüğü gibi çatlaklar daha çok basamak ve rıht plağının birleştiği üst bölgelerde oluşmuştur. Başlangıçta plak kalınlığına dik yönde oluşan çatlaklar düzlem donatıya ulaştığında düzlem donatıya paralel bir şekilde ilerlemeye devam etmiştir. Deney elemanı 7 ve 8 nolu basamakların birleşim bölgesinde kapasiteye ulaşmıştır. 7 nolu basamağın altında bulunan iki köşe noktasının arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 233 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.42). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak genişliği 1,6 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır. Deney elemanında aderans çözülmesi görülmemiştir.

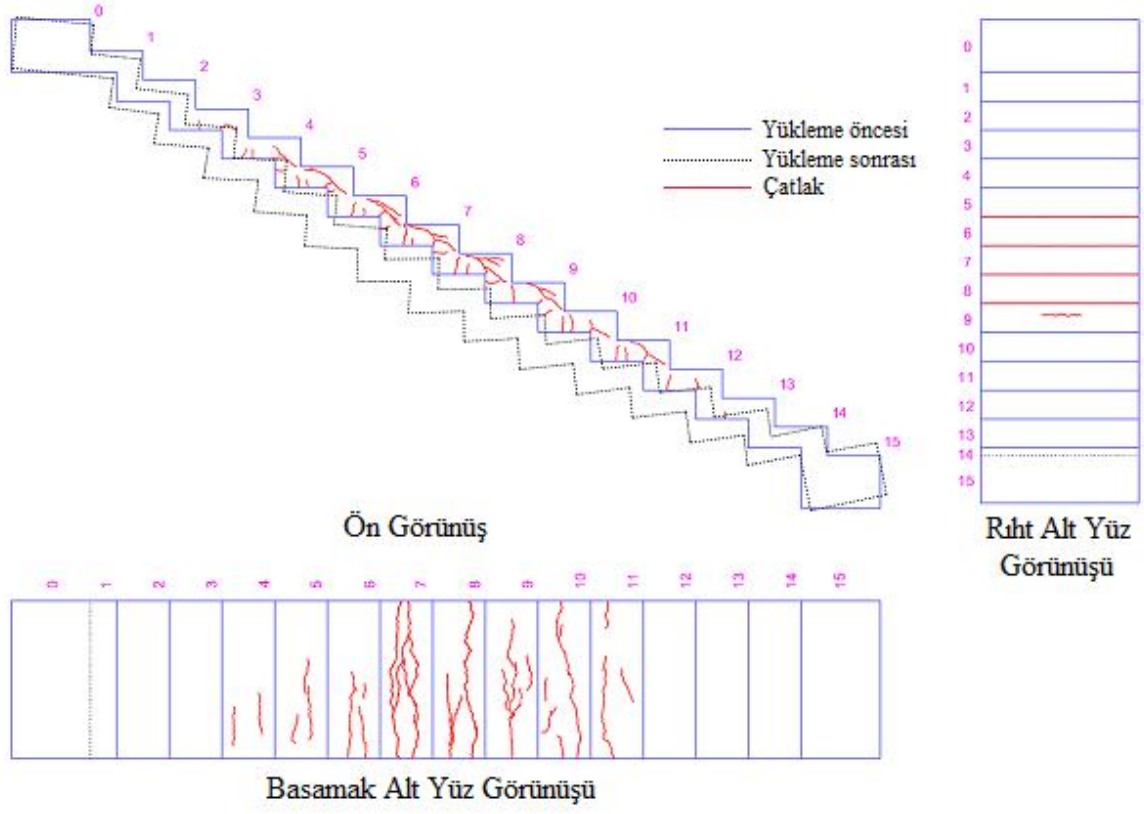
C-80/100 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.43’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, başlangıçta birbirine yakın olsalar da deneyin ilerleyen sürecinde 1, 3 ve 4 nolu krikolar ile 2 nolu krikolar birbirilerine yakın değerler almıştır. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

C-80/100 deney elemanına ait yük–deplasman grafiği Şekil 6.44’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 28,32 kN yük taşımış olup akma yüküne 64 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,54 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,342 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,091 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,074 kN/mm olmuştur.

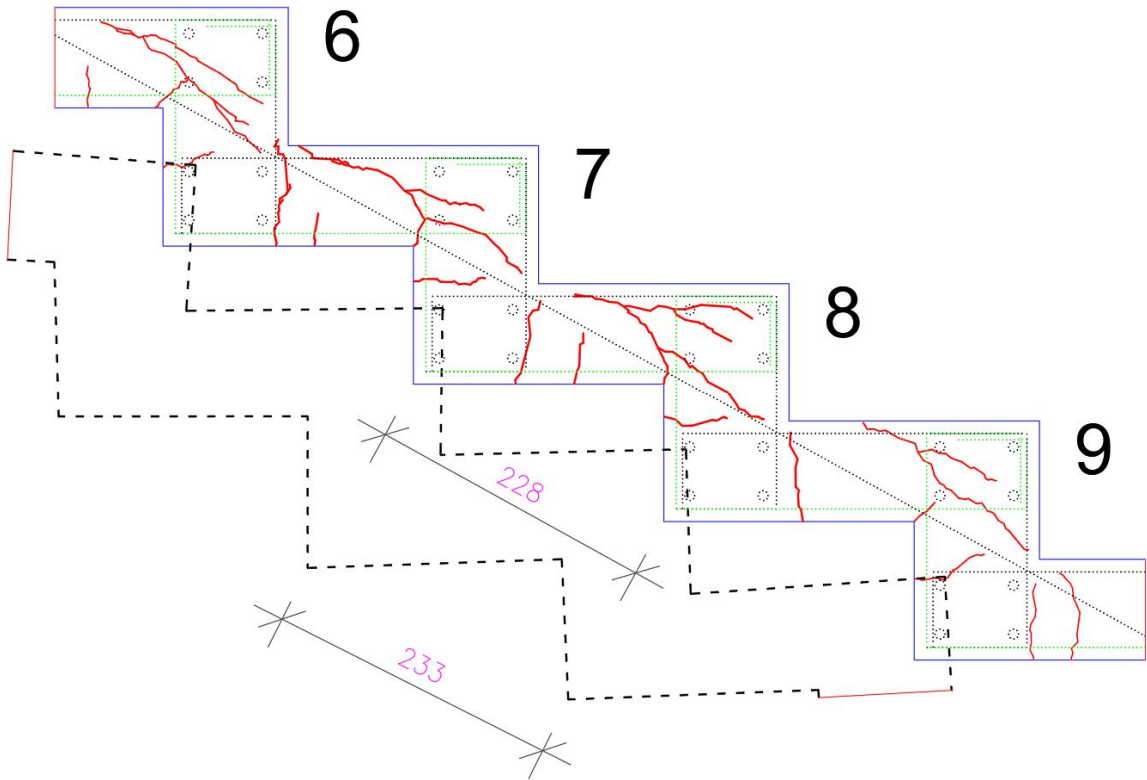
Şekil 6.45’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, C-80/100 deney elemanı akma yüküne kadar 939 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 2401 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,39 olmuştur.



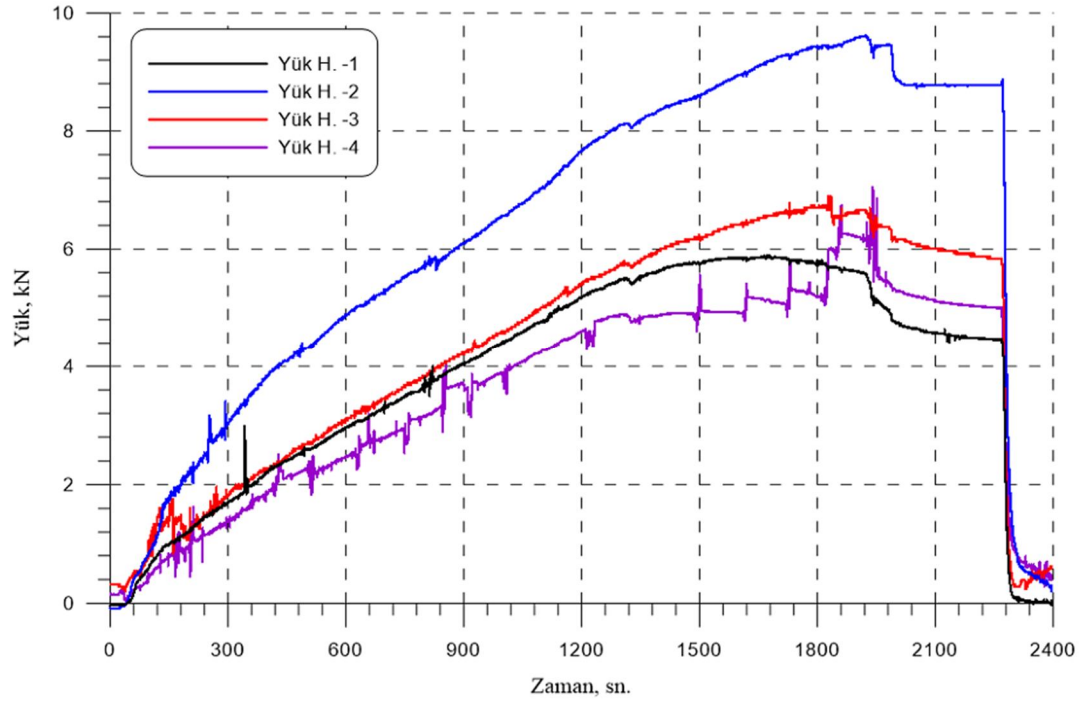
Resim 6.22. a) C-80/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlağın ön yüz görünüşü, 1b çatlağın alt yüz görünüşü



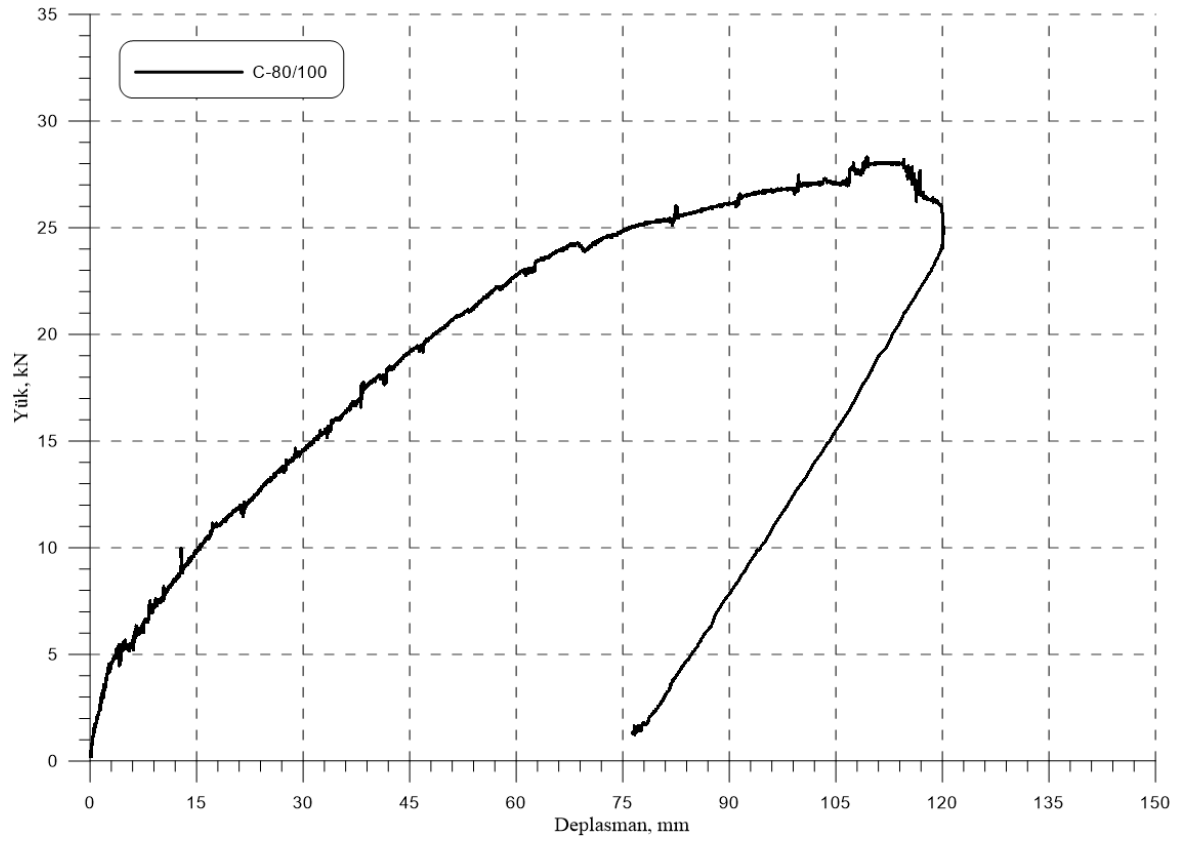
Şekil 6.41. C-80/100 deney elemanı çatlak haritası



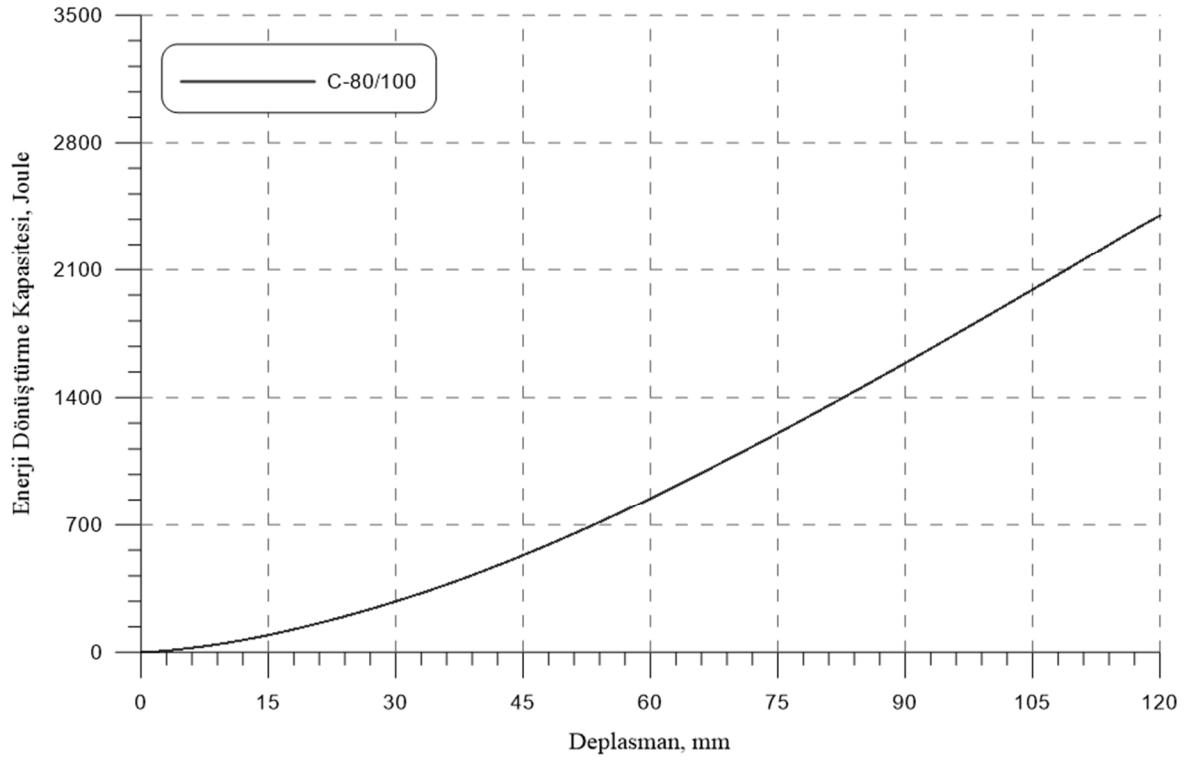
Şekil 6.42. C-80/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.43. C-80/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.44. C-80/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.45. C-80/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.10. Z-100/100 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 100 mm

Donatı tipi : Tip Z (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan Z-100/100 deney elemanının basamak ve rıht kalınlığı 100 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip Z donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 7 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.23’de deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.49’da verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 8,37 kN olmuştur.



Resim 6.23. Z-100/100 deney elemanı

Z-100/100 deney elemanında, toplam yük 1,70 kN değerine ulaştığında 7 nolu basamak plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Çatlak oluşumu çok erken başlamıştır. Şekil 6.46'da görüldüğü gibi çatlaklar daha çok 2 ve 3 nolu krikoların arasındaki bölgelerde oluşmuştur. Yükleme devam edildikçe bu çatlakların genişlikleri artmış olup diğer basamaklarda çatlak açıklığı çok az olmuştur. Deney elemanı 8 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 8 nolu basamağın altında bulunan iki köşe noktasının arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 233 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.47). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşıldığında maksimum çatlak genişliği 15 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra merdivende çatlak incelemesi yapılmıştır.

Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 8 nolu basamakta çatlak incelemesi yapılmıştır. Sivri uçlu bir alet yardımıyla çatlaklar açılmıştır. Çatlakların açılmasında herhangi bir kırıcı alete gerek duyulmadan betonun demirden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Basamak üzerinden kopan parçalar kaldırılmış, donatı ile beton arasında 2 mm civarında açılma olduğu tespit edilmiştir.

Z-100/100 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.48'de verilmiştir. Bu grafiğe göre, başlangıçta birbirine yakın olsalar da

deneyin ilerleyen sürecinde 2 ve 4 nolu krikolar ile 1 ve 3 nolu krikolar birbirilerine yakın değerler almıştır. Ancak, krikoların deney elemanına eş yük aktaramadığı görülmüştür.

Z-100/100 deney elemanına ait yük–deplasman grafiği Şekil 6.49’da verilmiştir. Deney elemanı maksimum 8,37 kN yük taşımış olup akma yüküne 5 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,04 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,335 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği 0,172 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,158 kN/mm olmuştur.

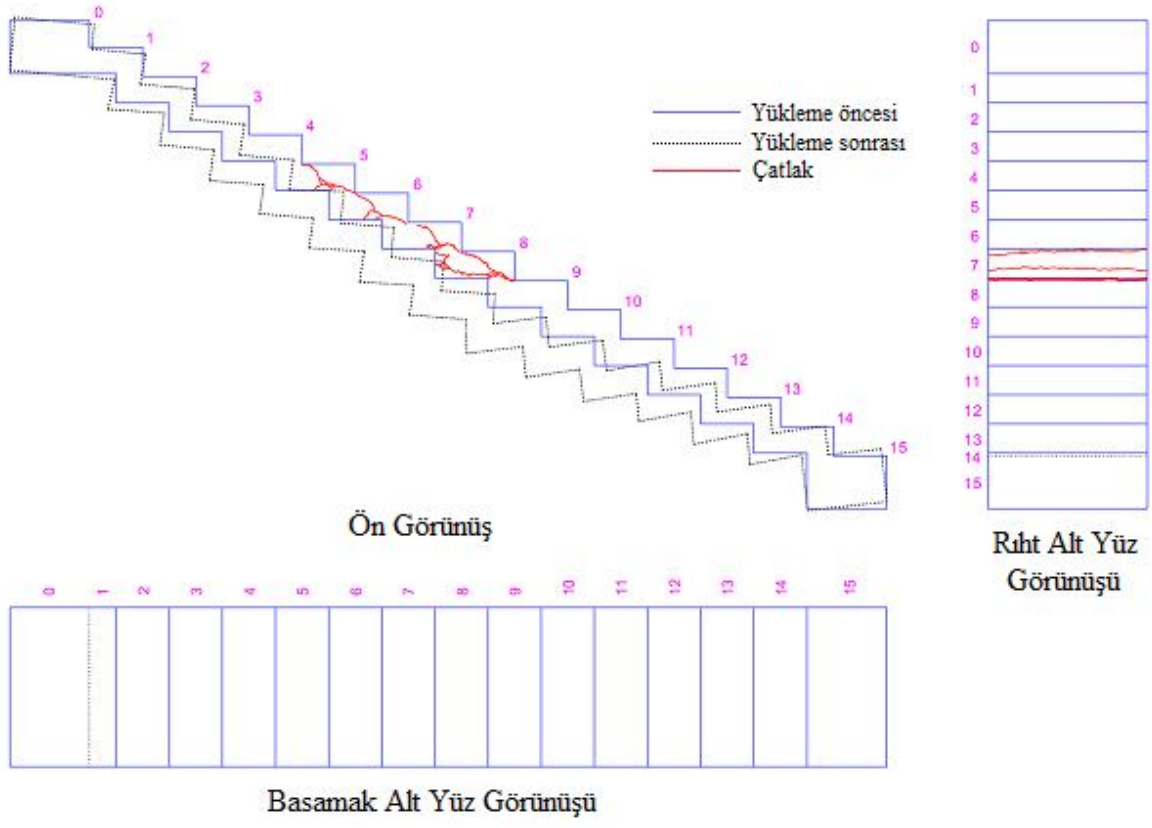


Resim 6.24. a) Z-100/100 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlağın ön yüz görünüşü, 1b çatlağın arka yüz görünüşü

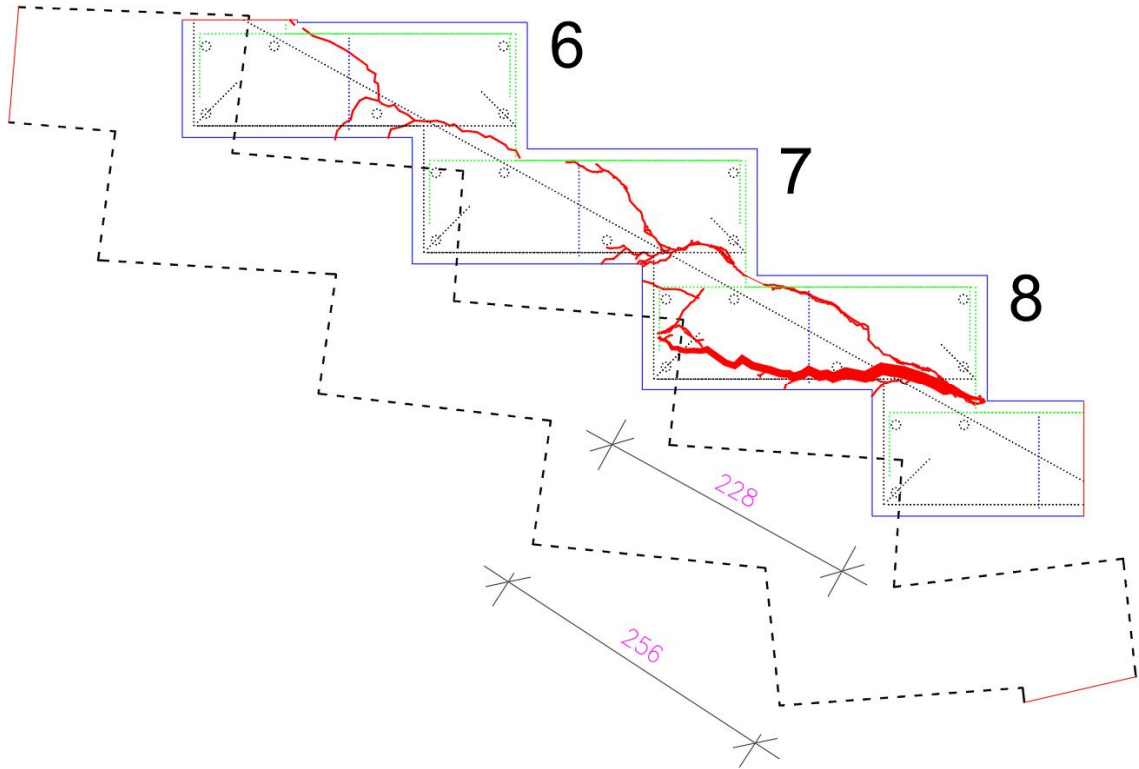


Resim 6.25. Z-100/100 deney elemanı deney sonrası çatlak incelemesi

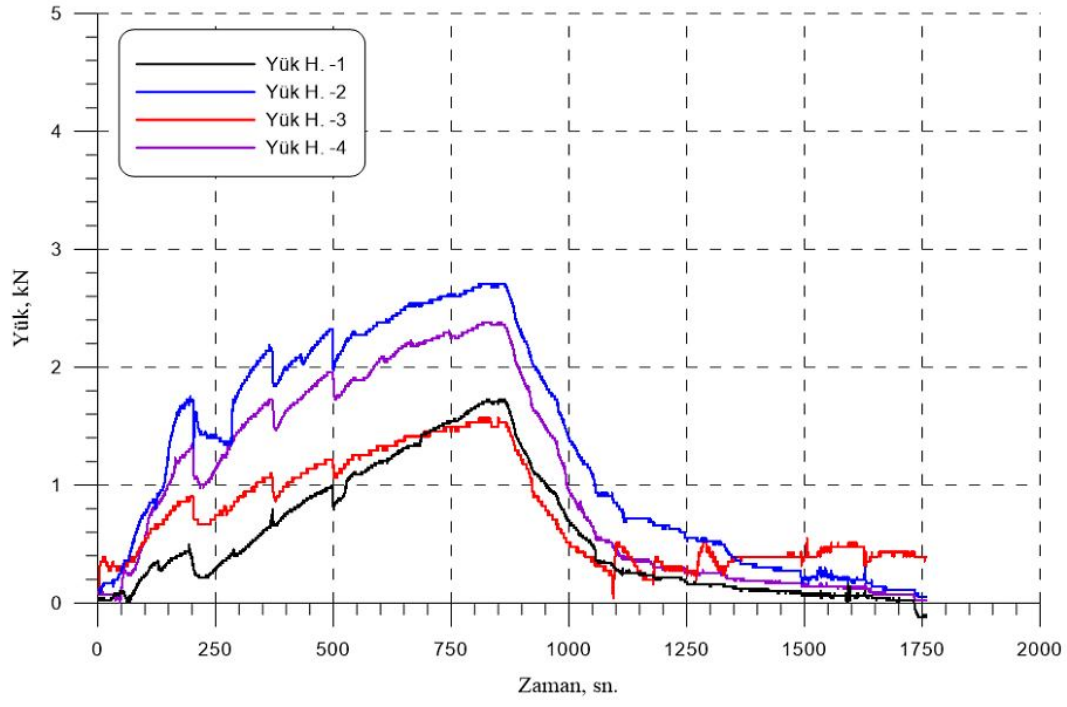
Şekil 6.50’de deney elemanın enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, Z-100/100 deney elemanı akma yüküne kadar 13 joule, hedef deplasmana ulaşana kadar ise 559 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,02 olmuştur.



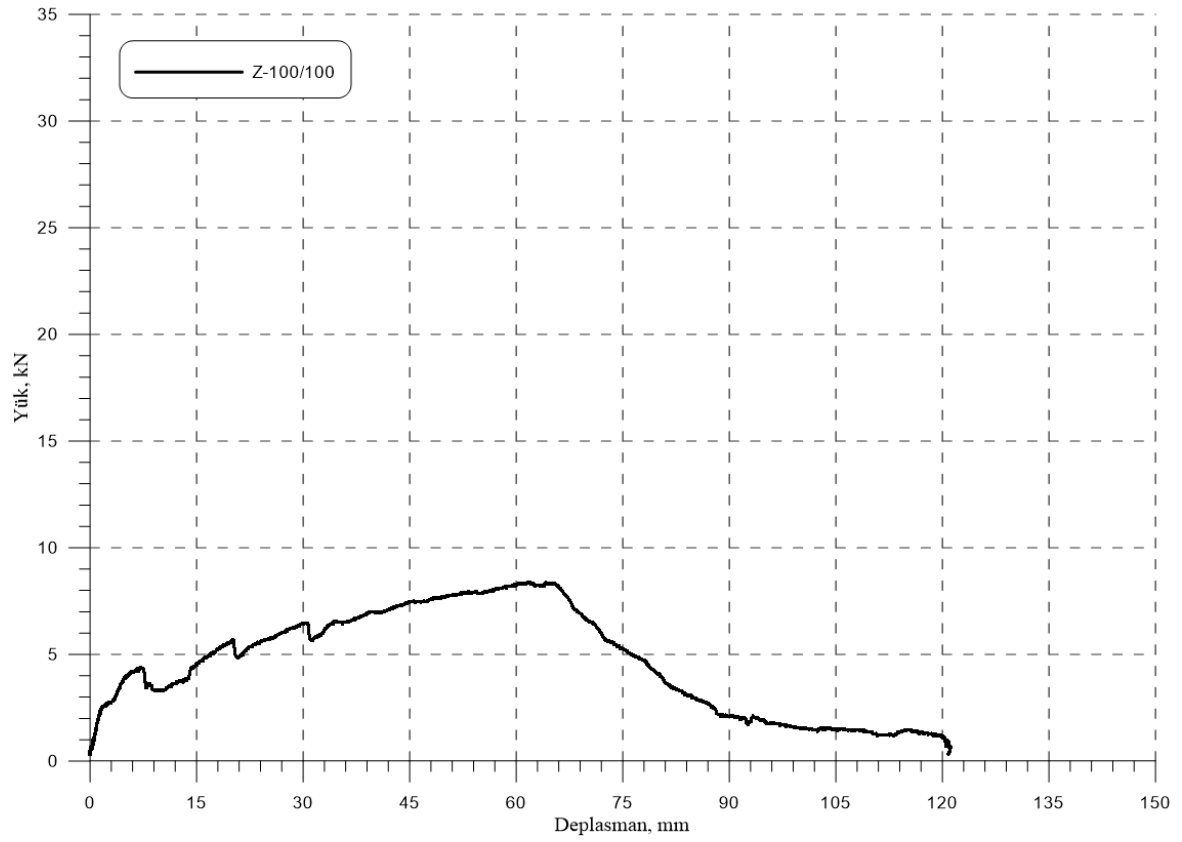
Şekil 6.46. Z-100/100 deney elemanı çatlak haritası



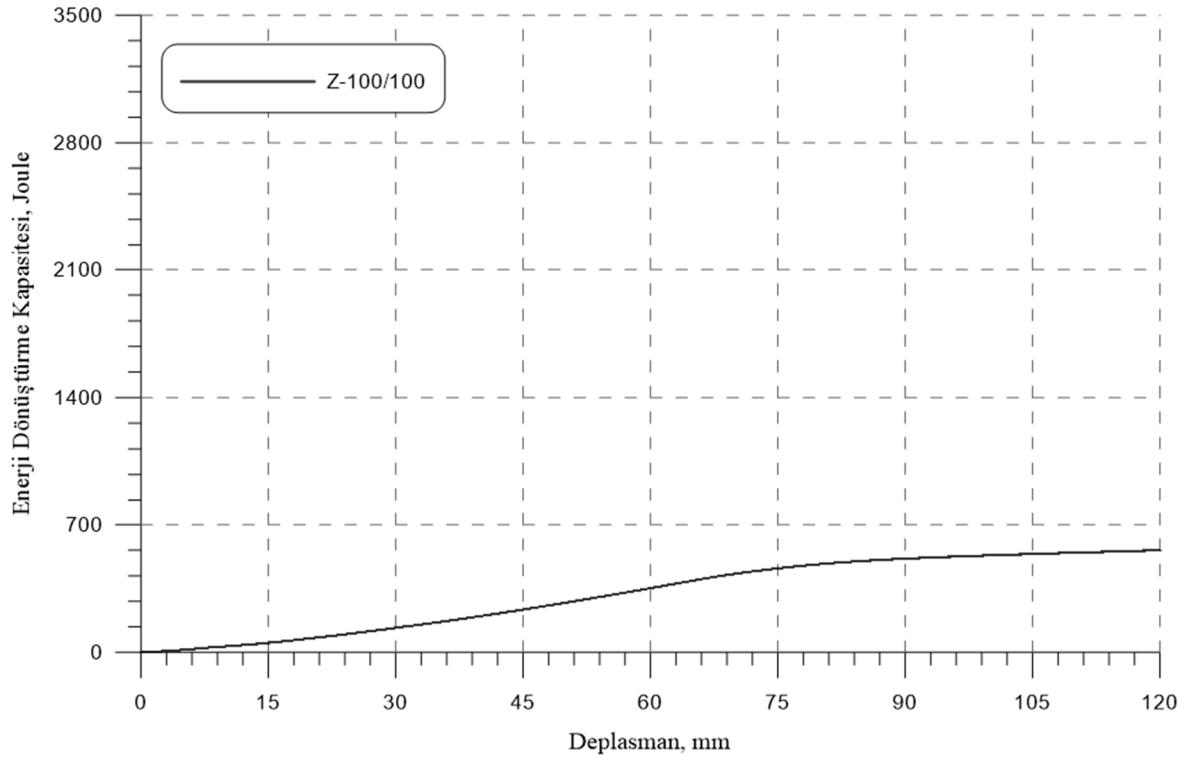
Şekil 6.47. Z-100/100 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.48. Z-100/100 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.49. Z-100/100 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.50. Z-100/100 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

6.11. Z-100/80 Deneyi

Basamak kalınlığı (t_h): 100 mm

Rıht kalınlığı (t_v) : 80 mm

Donatı tipi : Tip Z (bkz. Şekil 5.1)

Mesnet kirişleri arasında düzlem donatı kullanılarak oluşturulmuş olan Z-100/80 deney elemanının basamak kalınlığı 100 mm ve rıht kalınlığı 80 mm olmaktadır. Bu deney elemanında Tip Z donatı düzeni kullanılmıştır. Basamaklarda 8 adet Ø8 donatı çeliği, rıhtlarda 9 adet Ø8 donatı çeliği bulunmaktadır.

Resim 6.26’da deney düzeneği görülmektedir. Deney elemanında çatlakların oluşumu ile bu çatlaklar işaretlenmiş ve açıklıkları ölçülmüştür. Deney elemanına, hedef deplasman değeri olan 120 mm’ye ulaşana kadar yükleme yapılmıştır. Şekil 6.54’de verilen yük–deplasman ilişkisinde gerçekleşen en büyük yük 3,94 kN olmuştur.



Resim 6.26. Z-100/80 deney elemanı

Z-100/80 deney elemanında, toplam yük 2,50 kN değerine ulaştığında 9 nolu rıht plağında ilk belirgin çatlak gözlemlenmiştir. Çatlak oluşumu çok erken başlamıştır. Şekil 6.51’de görüldüğü gibi çatlaklar daha çok 2 ve 3 nolu krikoların arasındaki bölgelerde oluşmuştur. Yüklemeye devam edildikçe 9 nolu rıhttaki çatlak genişliği artmış olup diğer basamaklarda kılcal çatlaklar oluşmuştur. Deney elemanı 9 nolu basamakta kapasiteye ulaşmıştır. 9 nolu basamağının girintisinin iki köşe noktası arasındaki mesafe yükleme öncesinde 228 mm iken, yükleme sonunda 236 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 6.52). Hedef deplasmana (120 mm) ulaşılammıştır. Deney elemanı 77 mm deplasmanda hiç yük alamayacak duruma gelmiş ve deney sonlandırılmıştır. Bu deplasmanda oluşan maksimum çatlak genişliği 7 mm olarak ölçülmüştür. Deney sonlandırıldığında, merdivenin basamak alt yüzünde çatlağa rastlanmamıştır. Ancak 7 ve 8 nolu rıht plağında çatlağa rastlanmıştır.

Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 8 nolu basamakta çatlak incelemesi yapılmıştır (Resim 6.28). Çatlakların açılmasında herhangi bir kırıcı alete gerek duyulmadan betonun demirden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Basamak altındaki kopan parçalar kaldırılmış, donatı ile beton arasında 1,5 mm civarında açılma olduğu tespit edilmiştir.



Resim 6.27. a) Z-100/80 deney elemanı deplasman yapmış durumu, 1a çatlakın ön yüz görünüşü, 1b çatlakın arka yüz görünüşü

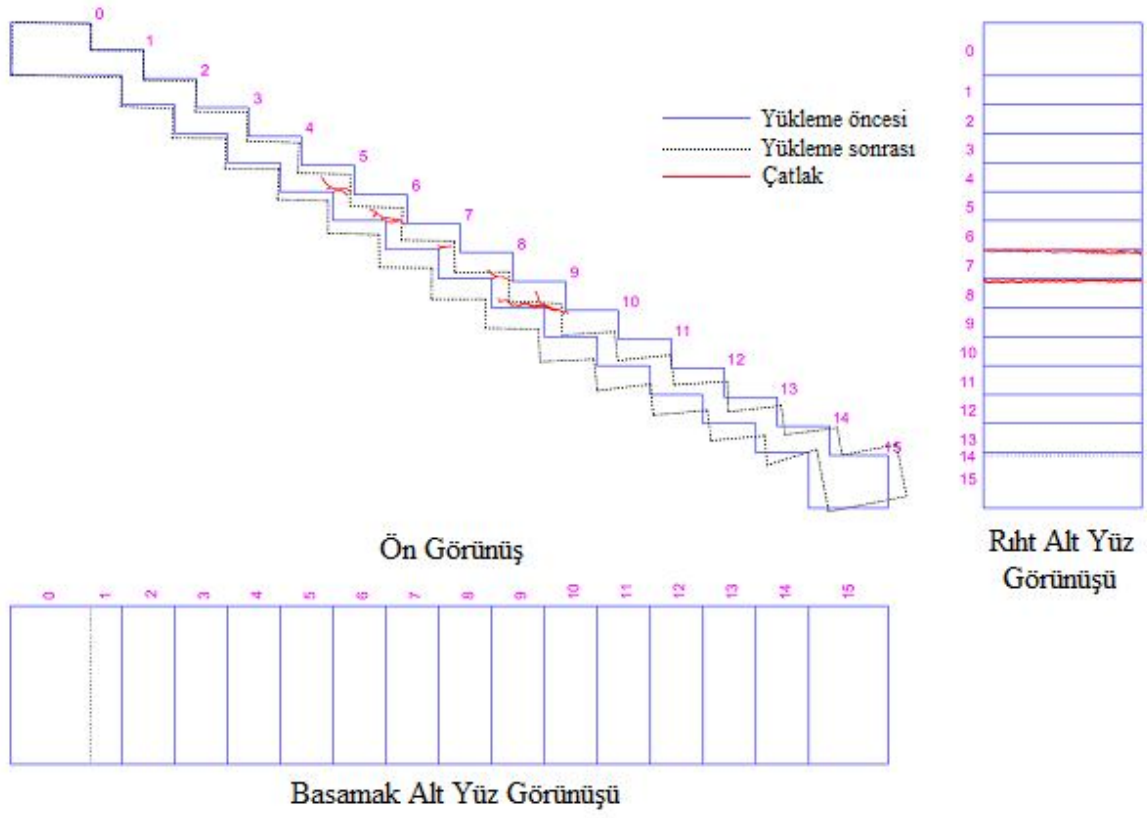
Z-100/80 deney elemanına 4 adet yük hücresinden aktarılan yüklerin zamana bağlı değişimi Şekil 6.53’de verilmiştir. Bu grafiğe göre, deney süresince tüm yük hücrelerinden neredeyse aynı yük okumaları alınmıştır. Yükün çok düşük olduğu durumlarda krikolardan neredeyse eş yük aktarıldığı tespit edilmiştir.

Z-100/80 deney elemanına ait yük–deplasman grafiği Şekil 6.54’de verilmiştir. Deney elemanı maksimum 3,94 kN yük taşımış olup akma yüküne 22 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Akma anındaki deplasmanın hedef deplasmana oranı 0,01 olmuştur. Aynı grafiğe göre, deney elemanının başlangıç rijitliği 0,407 kN/mm, akma yükünün %70’indeki rijitliği

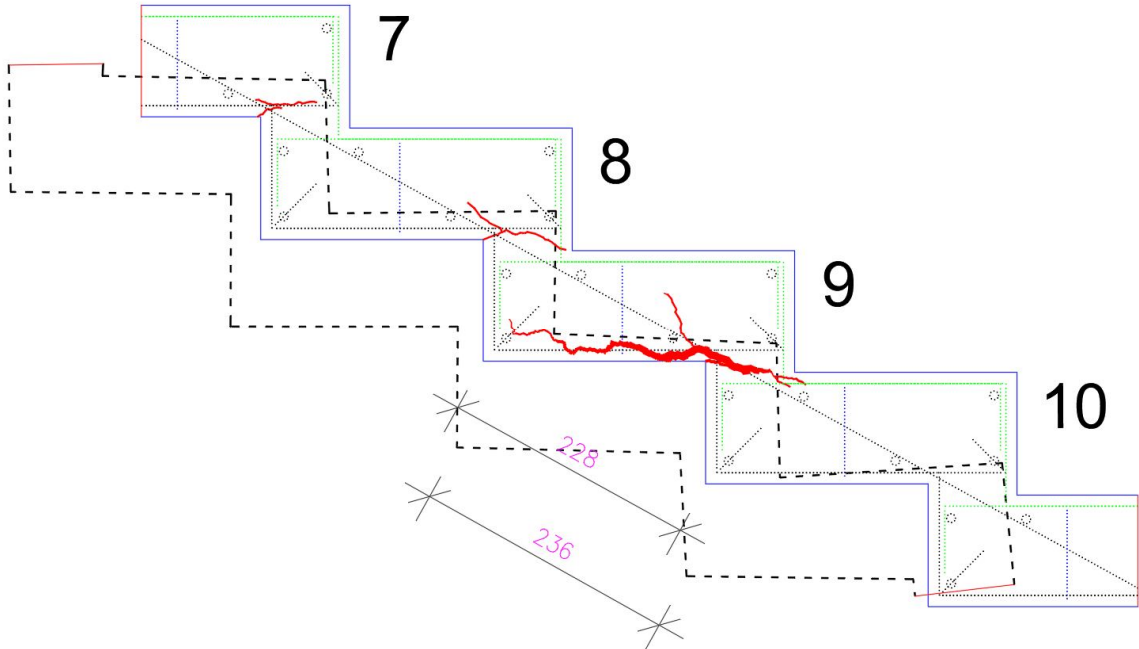
0,506 kN/mm ve akma yükündeki rijitliği 0,350 kN/mm olmuştur. Şekil 6.50’de deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesinin deplasmana göre değişimi verilmiştir. Bu grafiğe göre, Z-100/80 deney elemanı akma yüküne kadar 4 joule, 77 mm deplasmana ulaşana kadar ise 172 joule enerji dönüştürmüştür. Akma deplasman ile hedef deplasman anlarında dönüştürülen enerjilerin oranı ise 0,02 olmuştur.



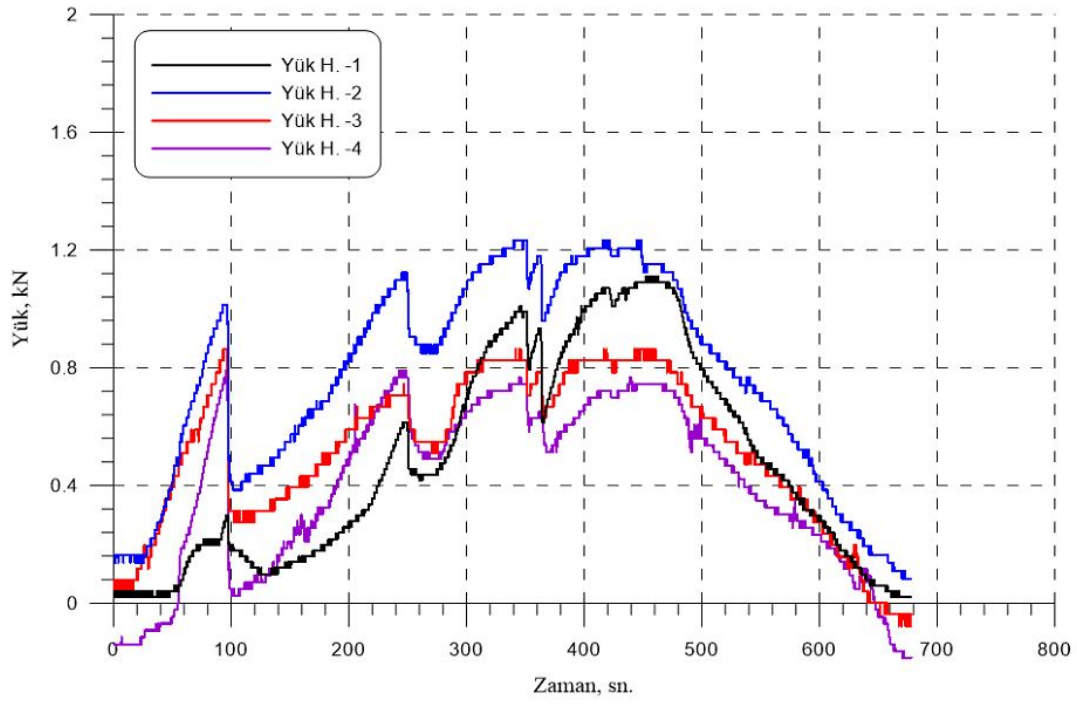
Resim 6.28. Deney sonrası Z-100/80 deney elemanında çatlak incelemesi



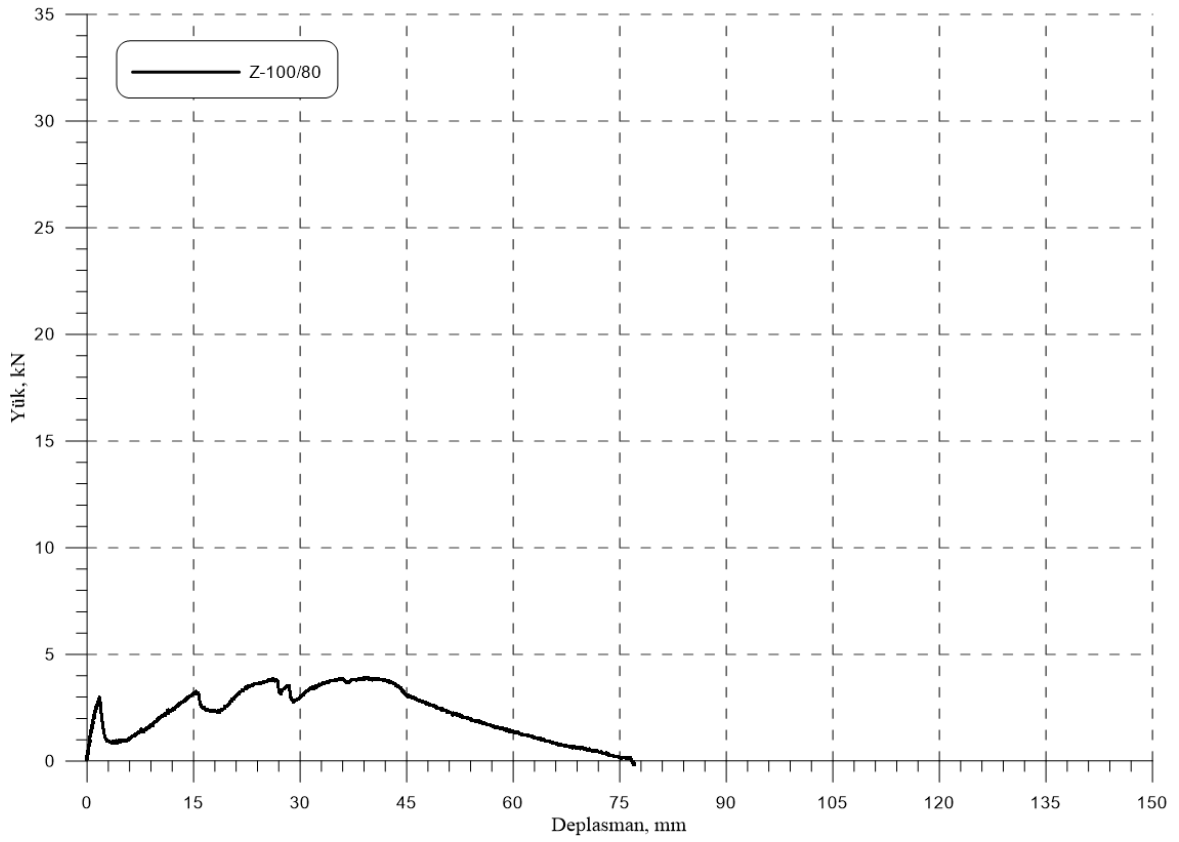
Şekil 6.51. Z-100/80 deney elemanı çatlak haritası



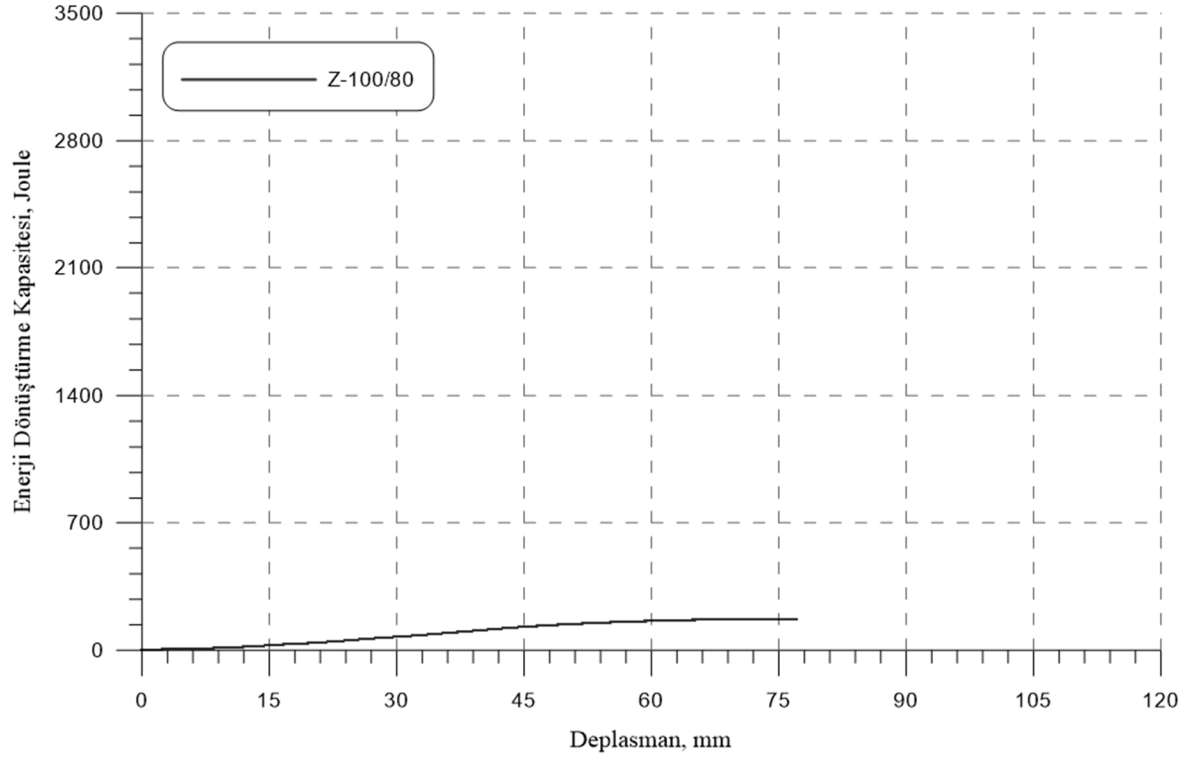
Şekil 6.52. Z-100/80 deney elemanı açıklık ortası çatlak haritası



Şekil 6.53. Z-100/80 deney elemanı yük hücrelerinden alınan yük okumaları



Şekil 6.54. Z-100/80 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi



Şekil 6.55. Z-100/80 deney elemanı enerji dönüştürme kapasitesi - deplasman ilişkisi

7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Genel

Bu bölümde, 5. Bölüm’de tarif edilen deney elemanlarının oluşturulan deney sisteminde test edilmesinden elde edilen davranışlar karşılaştırılmıştır. Deney elemanları; taşıma gücü, rijitlik, süneklik, enerji dönüştürme kabiliyeti yönünden incelenmiş ve bu ölçütlere göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler, deney elemanlarının test edilmesi ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin eğrileri kullanılarak yapılmıştır.

Deney elemanları oluşturulurken, döşemesiz merdivenlerin tasarımında en sık kullanılan 4 farklı donatı tipi ile 3 farklı basamak/rıht kalınlığı esas alınmıştır. Bu deney elemanlarının hazırlanmasında kullanılan malzemelerden alınan numuneler test edilmiş olup sonuçları detaylı bir şekilde 5. Bölüm’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, beton numunelerin deney günü basınç dayanımlarının ortalaması 40,00 MPa (bkz. Bölüm 5.2.1) ve donatı çeliği çekme dayanımları ortalaması 469,75 MPa (bkz. Bölüm 5.2.2) olarak belirlenmiştir. Taşıma gücü hesaplamalarında bu değerler göz önüne alınmıştır.

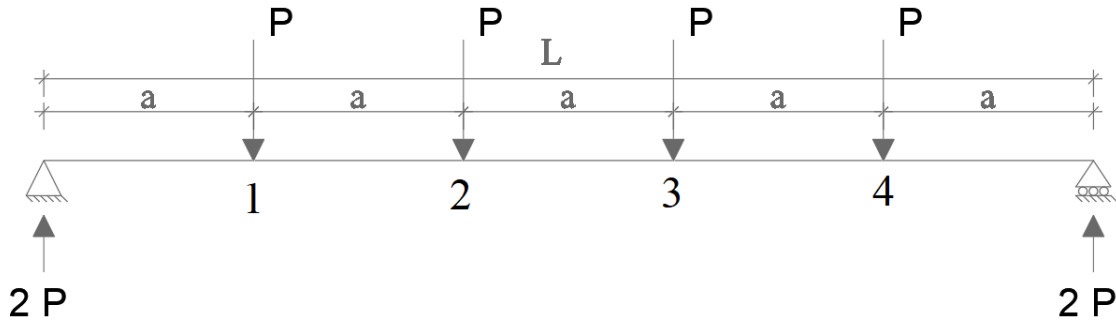
Gerçekte eğik konumda inşa edilen merdivenler bu çalışmada yatay konumda yükler basamak yüzeyine dik yönde etki edecek şekilde test edilmiştir. Bu şekilde yükleme sisteminin tercih edilmesinde laboratuvar şartları ve düzeneğin kurulumu etkili olmuştur. Deney elemanının bu şekilde konumlanması ile toplam yük değişmeksizin yayılı yük azalmış ($W \cdot \cos\alpha$) ve mesnetler arası ($L/\cos\alpha$) mesafe açılmıştır. Bilindiği gibi moment yayılı yük ve mesnetler arası mesafenin karesi ile doğru orantılıdır. Bu nedenle yatay konumdaki deney elemanının moment değeri eğik konuma göre merdiven eğiminin kosinüsüne bölümü oranında daha fazla etki etmiştir. Yani, deney elemanının öz kütlesi ilave kesit tesirleri oluşturmuştur.

Deney elemanlarının moment kapasiteleri, eğilme elemanı taşıma gücü hesabına göre yapılmıştır. Moment kapasitesinin hesabında beton ve donatı için malzeme katsayıları uygulanmamış ve düzlem donatıların etkisi hesaba katılmamıştır. Taşıma gücü hesabında sadece çekme bölgesinde bulunan donatılar göz önünde bulundurulmuştur.

Hesaplamalarda kullanılan sabit değerler;

- Beton karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) : 40,00 MPa
- Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı (f_{yk}) : 469,75 MPa
- Donatı merkezinin beton dış yüzüne mesafesi (d') : 12 mm
- Merdiven Genişliği (b_w) : 600 mm
- Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinlik katsayısı (k_1) : 0,76
- Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku genişlik katsayısı (k_3) : 0,85

Donatı oranının dengeli donatı oranından küçük olması halinde eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinliği Denklem 7.3'den, moment kapasitesi ise Denklem 7.4'den hesaplanabilmektedir. Kesitlerde minimum donatı oranına yakın değerlerde donatı kullanılmış ve bu nedenle kesitlerdeki donatı oranı dengeli donatı oranından küçük olmuştur.



Şekil 7.1. Deney düzeneği yükleme sistemi

$$k_1 = 1 - 0,006f_{ck} \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (7.1)$$

$$k_1 = 0,8 - \frac{(f_{ck} - 50)}{400} \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$k_3 = 0,85 \quad f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (7.2)$$

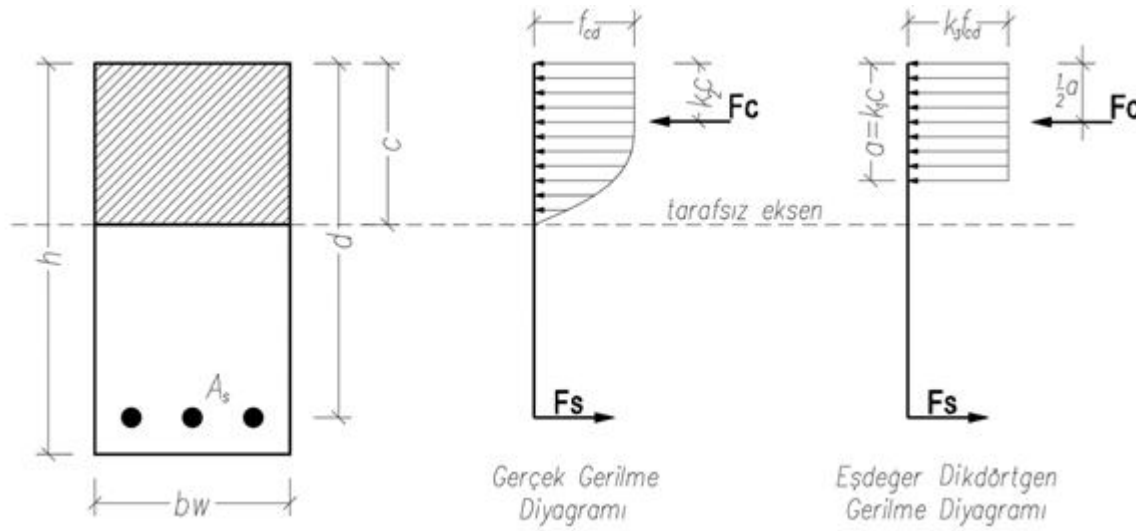
$$k_3 = 1,0 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200}, \quad f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{k_3 b_w f_{cd}} \quad (7.3)$$

$$M_r = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (7.4)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \quad (7.5)$$

$$\rho_b = k_1 k_3 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{0,003}{0,003 + \frac{f_{yd}}{E_s}} \right) \quad (7.6)$$

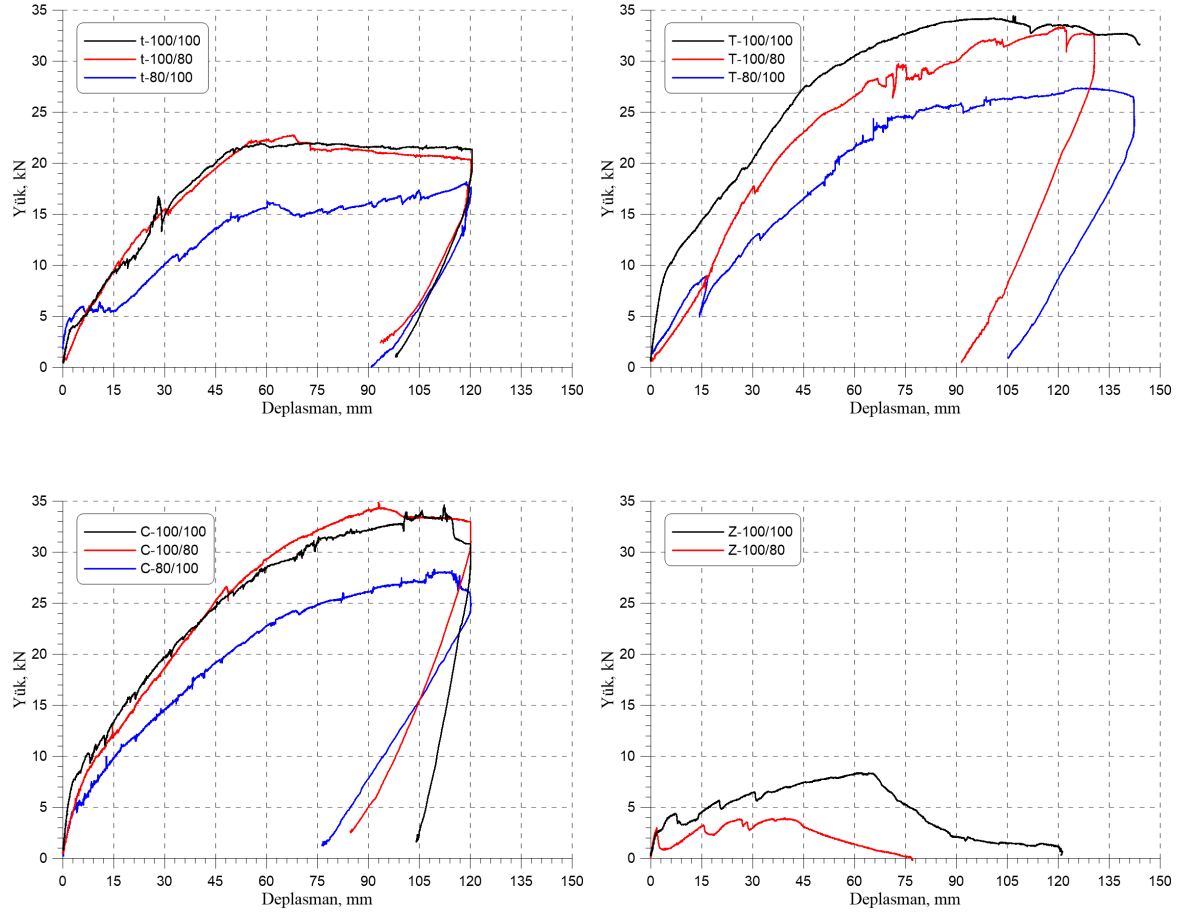


Şekil 7.2. Eğilme elemanı taşıma gücü hesabı [10]

Çizelge 7.1. Deney elemanlarına ait kesitlerin taşıma gücü moment kapasiteleri

Deney Elemanı	Basamak Kalınlığı, t_b (mm)	Rıht Kalınlığı, t_v (mm)	Basamak Çekme Donatı Alanı, $A_{s(b)}$ (mm ²)	Rıht Çekme Donatı Alanı, $A_{s(v)}$ (mm ²)	Basamak Çekme Donatı Oranı, ρ_b	Rıht Çekme Donatı Oranı, ρ_v	Basamak Moment Kapasitesi, M_{bh} (kN.m)	Rıht Moment Kapasitesi, M_{rv} (kN.m)	Taşıyabilecek Maksimum Yük, P_{mak} (kN)
t-100/100	100	100	402,12	351,86	0,0076	0,0067	15,75	13,88	30,56
t-100/80	100	80	402,12	452,39	0,0076	0,0111	15,75	13,34	29,39
t-80/100	80	100	452,39	402,12	0,0111	0,0076	13,34	15,75	29,39
T-100/100	100	100	402,12	351,86	0,0076	0,0067	15,75	13,88	30,56
T-100/80	100	80	402,12	452,39	0,0076	0,0111	15,75	13,34	29,39
T-80/100	80	100	452,39	402,12	0,0111	0,0076	13,34	15,75	29,39
C-100/100	100	100	402,12	351,86	0,0076	0,0067	15,75	13,88	30,56
C-100/80	100	80	402,12	452,39	0,0076	0,0111	15,75	13,34	29,39
C-80/100	80	100	452,39	402,12	0,0111	0,0076	13,34	15,75	29,39
Z-100/100	100	100	703,72	351,86	0,0133	0,0067	26,41	13,88	30,56
Z-100/80	100	80	904,78	452,39	0,0171	0,0111	32,97	13,34	29,39
Z-80/100	80	100	804,25	402,12	0,0152	0,0076	15,75	29,75	34,69

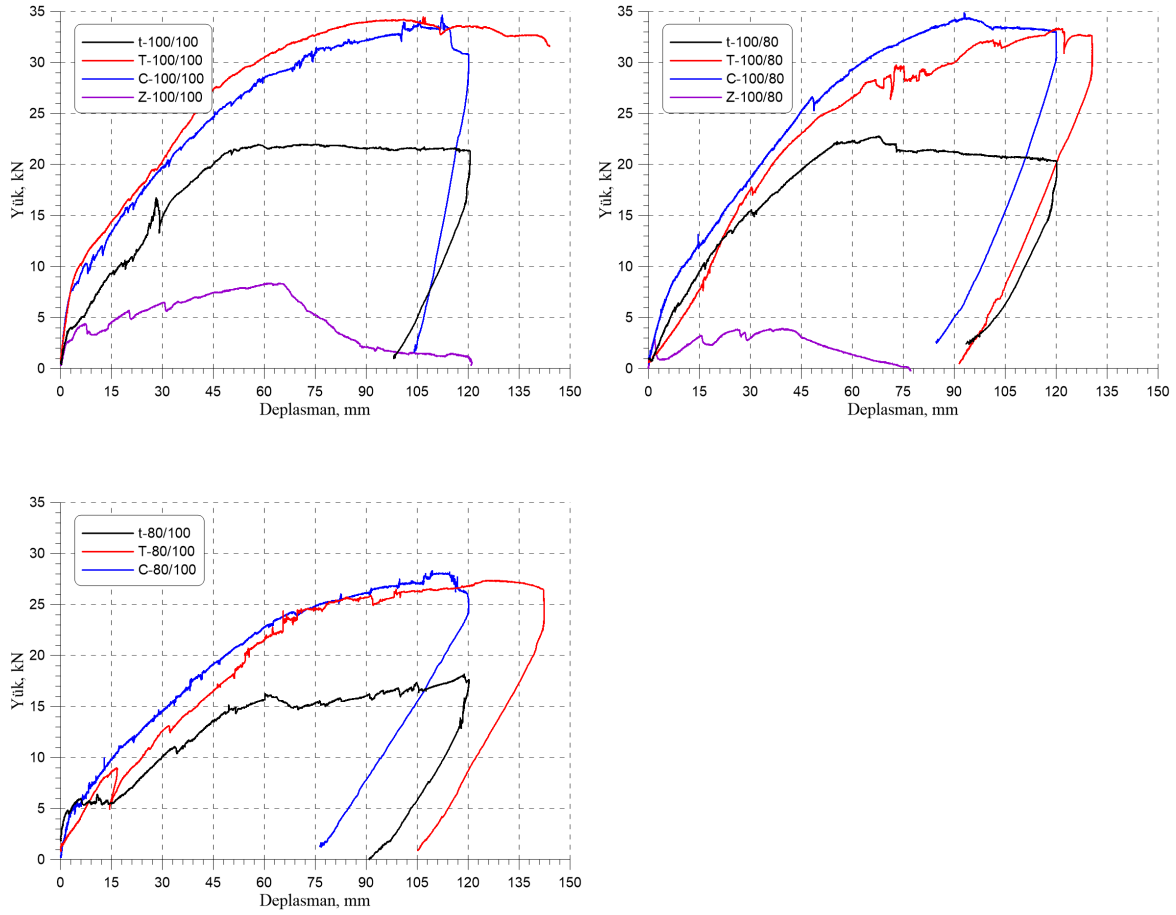
Çizelge 7.1'deki değerler Denklem 7.1 – 7.6 ile Şekil 7.1'de verilen bilgilere göre hesaplanmıştır. Çizelge 7.1'e göre, tüm deney elemanlarının taşıma gücü hesabına göre moment kapasiteleri birbirine çok yakın olacak şekilde tasarlanmış, bu şekilde deney elemanlarındaki donatı tipinin ve basamak/rıht kalınlığının etkileri ön plana çıkarılması amaçlanmıştır.



Şekil 7.3. Donatı düzenine göre yük-deplasman eğrileri

Karşılaştırmada kolaylık sağlaması için deney elemanlarının oluşturulmasında göz önüne alınan parametrelere göre yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Deney elemanlarının donatı düzenine göre yük-deplasman eğrileri Şekil 7.3'te, basamak/rıht kalınlığı tiplerine göre yük-deplasman eğrileri Şekil 7.4'te verilmiştir.

Z-80/100 deney elemanı taşıma sırasında hasar gördüğü için değerlendirmeye alınmamıştır.

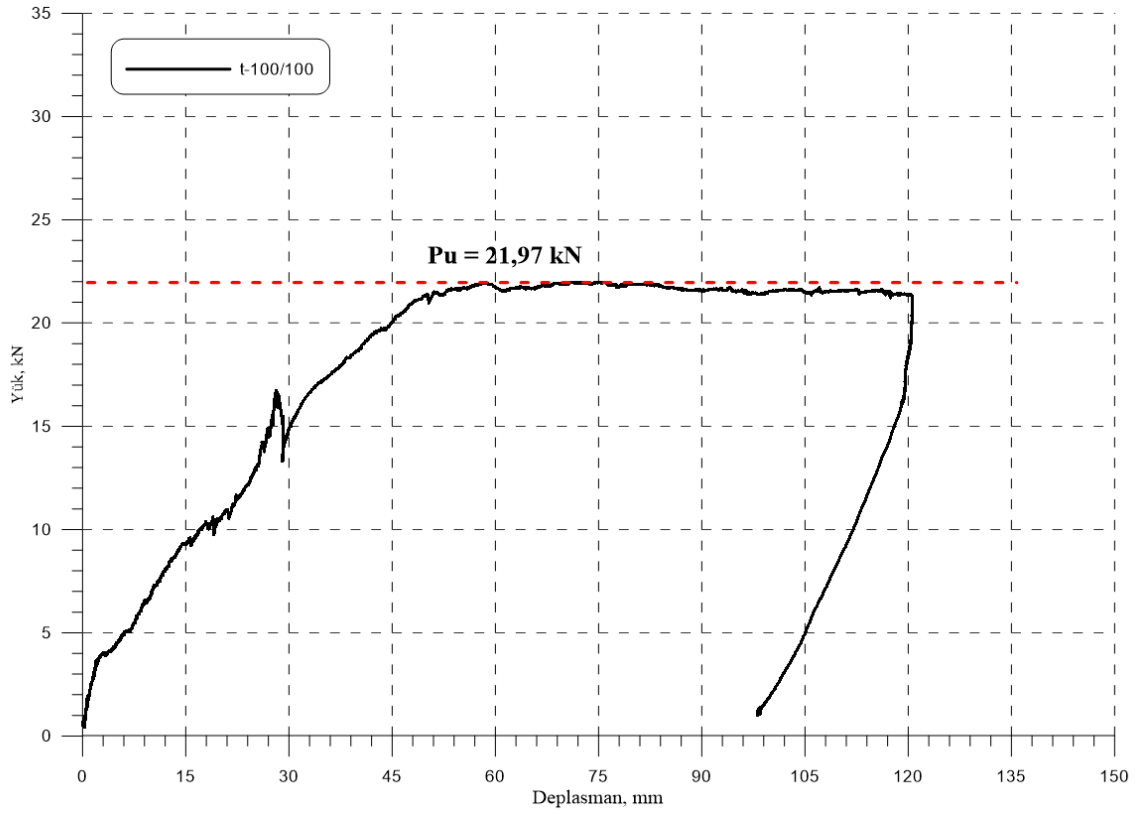


Şekil 7.4. Basamak/rıht kalınlığına göre yük-deplasman eğrileri

7.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler

7.2.1. Dayanım

Bu çalışmada, deney elemanının taşıyabileceği en yüksek yük dayanım olarak tanımlanmıştır. Yük-deplasman eğrileri dayanımı ifade etmek için kullanılan önemli bir veridir. Deney elemanlarının test edilmesinden elde edilen veriler düzenlenmiş ve yük-deplasman eğrileri oluşturulmuş olup deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri Şekil 7.3 ve 7.4'te verilmiştir. Yük-deplasman eğrilerinde ulaşılan en büyük yük değerleri Şekil 7.5'teki gibi bulunmuştur. Deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrilerinden elde edilen en büyük yük değerleri Çizelge 7.2'de verilmiştir. Bu değerler ile referans olan t-100/100, t-100/80 ve t-80/100 deney elemanlarının maksimum yükleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.5. t-100/100 deney elemanına ait dayanımın tespiti

Çizelge 7.2 incelendiğinde, Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanlarının göreceli dayanım oranlarının çok düşük olduğu görülmüştür. Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanlarının bu davranışı sergilemesindeki en büyük etkenlerden biri basamak ve rıht birleşim bölgesinde donatı sürekliliğinin sağlanmıyor olmasıdır. Bu nedenle rıhttaki yük basamağa aktarılamamış ve bu bölgede derin çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca yük-deplasman grafiklerinden de görüleceği gibi deney elemanı büyük oranda yük kaybettikten sonra bir miktar yük almaya başlıyor. Bu durumun oluşmasının nedeni ise donatı yerleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla basamak ortasına konulmuş olan kapalı etriye olmuştur. Basamak alt yüzünden ayrılmaya başlayan donatılar bu etriyeye ulaştığında deney elemanı bir miktar daha dayanım kazanmış ve etriyenin sargılama özelliğini kaybetmesi ile tekrar dayanım düşmüştür. Kapalı etriye donatısı konulmamış olsaydı, Tip Z deney elemanları en fazla 5 mm deplasmana ulaşip yenilme durumu gerçekleşecekti.

En yüksek dayanımlara Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip ve basamak kalınlığı 100 mm olan deney elemanları ulaşmıştır. Bu deney elemanları, referans olan deney elemanlarına göre ilave olarak düzlem donatı içermektedir. Çizelge 7.2’de düzlem donatı içeren aynı

basamak/rıht kalınlığına sahip elemanlarının referans elemanlara göre dayanım değerleri incelendiğinde, düzlem donatı kullanılmasının dayanıma sağladığı katkı yaklaşık olarak 1,5 kat olduğu görülmüştür. Bu da düzlem donatı kullanılmasının ne kadar önemli olduğunu gösteriyor.

Çizelge 7.2. Deney elemanlarına ait dayanım değerleri

Eleman Adı	P_u (Deney Yüğü) (kN)	Göreceli Dayanım	Göreceli Dayanım	Göreceli Dayanım
		t-100/100'e göre (kN/kN)	t-100/80'e göre (kN/kN)	t-80/100'e göre (kN/kN)
t-100/100	21,97	1,00	0,96	1,21
t-100/80	22,77	1,04	1,00	1,25
t-80/100	18,18	0,83	0,80	1,00
T-100/100	34,45	1,57	1,51	1,89
T-100/80	33,34	1,52	1,46	1,83
T-80/100	27,35	1,24	1,20	1,50
C-100/100	34,63	1,58	1,52	1,90
C-100/80	34,87	1,59	1,53	1,92
C-80/100	28,32	1,29	1,24	1,56
Z-100/100	8,37	0,38	0,37	0,46
Z-100/80	3,93	0,18	0,17	0,22

Aynı donatı düzenine sahip elemanlardan basamak kalınlığı 100 mm olanlar neredeyse aynı dayanım değerlerine ulaşmıştır. Rıht kalınlığı 80 mm olan deney elemanları ile rıht kalınlığı 100 mm olan deney elemanlarının dayanımları arasında %3 civarında bir fark olduğu görülmüştür. Bu durum, taşıma gücü hesabındaki orana yakın olmuştur. Ancak, basamak kalınlığının azaltılması ile dayanımda %21 civarında bir azalma gözlemlenmiştir. Yani, rıht kalınlığının azaltılması dayanımda etkili olmazken, basamak kalınlığının azaltılması dayanımda ciddi kayıplara neden olmuştur. Bu durumun ana nedeni, rıht plağının serbest uzunluğunun çok kısa olması bu bölgenin eğilme davranışını sınırlandırmaktadır. Ayrıca deney elemanlarında kullanılan donatılar akma seviyesine ulaşamamış olup davranışta daha çok beton dayanımı etkili olmuştur.

Referans deney elemanlarında kullanılan donatının ağırlığı yaklaşık olarak 1,00 kN, ilave edilen düzlem donatıların ağırlığı ise yaklaşık olarak 0,09 kN olmaktadır. %9'luk donatı ağırlığı artışı ile dayanımın 1,5 kat artması çok önemli bir noktadır. Cusens [51], yaptığı çalışmada merdiven şekli nedeniyle, girintili köşelerde gerilme yığılmalarının meydana

geldiğini, gerçekte oluşacak gerilmenin hesaplanandan daha büyük olacağını ve bu girintilere uygun pah verilmedikçe, bu bölgede teorik olarak hesaplanan donatının iki katı konulmasını önermiştir. Bu durumda, yapılacak ilavelerin teorik olarak hesaplanan donatı ağırlığının sadece %10'una denk geleceğini belirtmiştir. Düzlem donatı kullanılması ile girintilerde oluşacak gerilme yığılmalarına karşı önlem alınması uygun bir çözüm olmuştur. Ayrıca Tip t donatı düzeninin yerine Tip T kullanılması halinde hem dayanım daha yüksek değerlere ulaşıyor hem de daha ekonomik bir tasarım oluyor. Bir genelleme yapılacak olursa, Tip T donatı düzenine sahip elemanların tasarımda kullanılmasının daha ekonomik olduğu söylenebilir. Alternatif olarak da Tip C donatı düzeni verilebilir.

Çizelge 7.3. Deney elemanlarında kullanılan donatı çelik ağırlıkları ve oranları

Eleman Adı	Donatı Çelik Ağırlığı (kN)	Göreceli Ağırlık t-100/100'e göre (kN/kN)	Göreceli Ağırlık t-100/80'e göre (kN/kN)	Göreceli Ağırlık t-80/100'e göre (kN/kN)
t-100/100	1,00	1,00	0,95	0,96
t-100/80	1,05	1,05	1,00	1,01
t-80/100	1,04	1,04	0,99	1,00
T-100/100	0,95	0,95	0,90	0,91
T-100/80	1,01	1,01	0,96	0,97
T-80/100	1,02	1,02	0,97	0,98
C-100/100	0,97	0,97	0,92	0,93
C-100/80	1,10	1,10	1,05	1,06
C-80/100	1,10	1,10	1,05	1,06
Z-100/100	1,04	1,04	1,00	1,01
Z-100/80	1,13	1,13	1,08	1,09
Z-80/100	1,21	1,21	1,15	1,17

7.2.2. Süneklik

Süneklik, malzemenin dayanımında önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme yeteneği olarak ifade edilebilir. Bu alandaki yaygın görüşler önemli bir azalma olarak %15 dayanım kaybına denk geldiği yönündedir [60]. Tip Z hariç diğer tüm deney elemanları hedef deplasman değerine ulaştıklarında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır. Bu nedenle süneklik oranının hesabında hedef deplasman değeri kullanılmış olup akma anındaki deplasman değeri ile karşılaştırma yapılmıştır. Tip Z donatı düzenine sahip elemanlarda kesitin çatlaması ile birlikte çok ciddi yük kayıpları yaşanmıştır. Bu deney elemanları için süneklik değerleri bu yükün %85'ine denk gelen noktadaki deplasmana göre

hesaplanmıştır. Çizelge 7.4'te de deney elemanlarına ait süneklik terimleri ve oranları verilmiştir.

Laboratuvar ortamındaki imkanlar ve yükleme koşullarının sınırlayıcı olması nedeniyle deney elemanları göçme seviyesine kadar yüklenememiştir. Bu nedenle deney elemanlarının davranışının incelenebileceği bir deplasman değerine çıkılmasına karar verilmiştir. Bu değer 120 mm olarak belirlenmiştir. Eğilme elemanlarında izin verilebilecek sehim sınırları, serbest açıklığa bağlı olarak TS 500 [10] şartnamesinde Çizelge 13.3'de verilmiştir. Deney elemanlarının mesnetler arası mesafesi (hipotenüs uzunluğu) 3,43 metre olmaktadır. Hedef deplasman değeri olarak TS 500 şartnamesindeki sınır şartının ($L/240 = 14,3$ mm) yaklaşık olarak 8 katındaki deplasman değerlerine çıkılmıştır.

Çizelge 7.4. Deney elemanlarına ait süneklik terimleri ve oranları

Eleman Adı	Akma Deformasyonu, dy (mm)	Dayanım Kayıp Oranı	Süneklik Oranı d120/dy	Göreceli Süneklik t-100/100'e göre	Göreceli Süneklik t-100/80'e göre	Göreceli Dayanım t-80/100'e göre
t-100/100	50	0,03	> 2,40	1,00	1,09	0,95
t-100/80	54	0,11	> 2,21	0,92	1,00	0,87
t-80/100	47	0,03	> 2,53	1,06	1,15	1,00
T-100/100	48	0,03	> 2,52	1,05	1,14	1,00
T-100/80	48	0,00	> 2,48	1,03	1,12	0,98
T-80/100	71	0,02	> 1,70	0,71	0,77	0,67
C-100/100	56	0,08	> 2,13	0,89	0,96	0,84
C-100/80	61	0,05	> 1,97	0,82	0,89	0,78
C-80/100	64	0,08	> 1,86	0,78	0,84	0,74
Z-100/100	5	0,15	1,53*	0,64	0,69	0,60
Z-100/80	2	0,15	1,10*	0,46	0,50	0,43

* Süneklik oranı, akma yükünün %85'indeki deplasman değerine göre hesaplanmıştır.

Çizelge 7.4 incelendiğinde, süneklik oranlarının düşük olduğu algısı oluşabilir. Ancak, deney elemanları henüz dayanımlarında önemli bir kayba uğramadığı (en büyük dayanım kaybı tip t-100/80 deney elemanında %11) unutulmamalıdır. Bu nedenle deney elemanlarının süneklik oranları çizelgede yazan değerlerden çok daha yüksek olacaktır.

Bunu ifade etmek amacıyla %15 dayanım kaybına uğramamış olan deney elemanlarında “>” işareti kullanılmıştır.

Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanları çok düşük yüklerde hasar almaya başlamış ve deney sonunda deney elemanlarında 15 mm civarında çatlaklar oluşmuştur. Deney anındaki gözlemlere göre, bu tip donatı düzenine sahip elemanların sünek bir davranış sergilemediği ve ani göçmelere sebebiyet vereceği görülmüştür.

Tip C donatı düzenine sahip elemanların referans elemanlara göre göreceli süneklik oranları ortalama olarak 0,85 olmuştur. Bu oranın düşük olmasının nedenlerinden biri Tip C donatı düzenine sahip elemanları henüz sünek davranış yapacağı deplasmanlara ulaşmamış olmasıdır. Ayrıca bu tip donatı düzenine sahip deney elemanlarında düzlem donatı kullanılmıştır. Bu nedenle biraz daha rijit davranmışlardır. Bununla birlikte, Tip T donatı düzenine sahip deney elemanlarının henüz dayanımlarında önemli bir kayıp olmamasına rağmen referans deney elemanlarına göre daha sünek davrandığı görülmüştür.

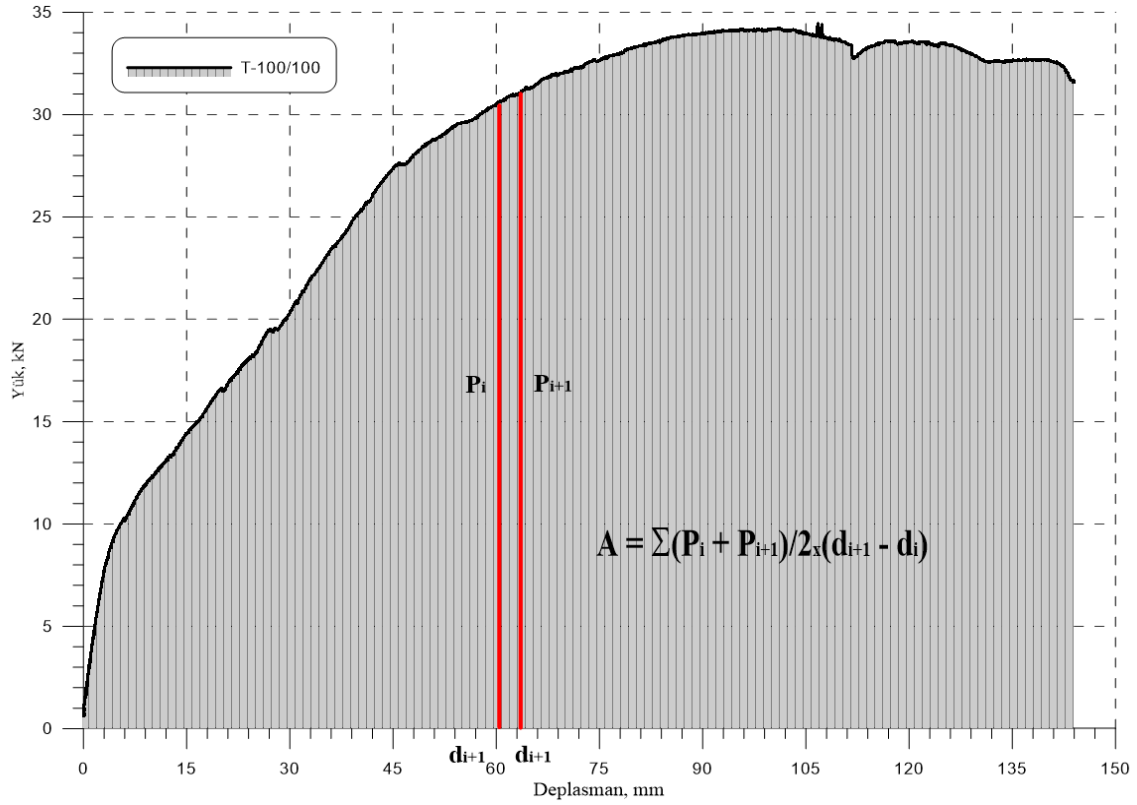
7.2.3. Enerji dönüştürme

Sünek olarak tasarlanan yapılar (veya yapı elemanları) elasto-plastik bir malzeme gibi davranış gösterirler. Böyle bir yapıya gelen yüklerin yeterince büyük olması halinde yapı elastik bölgeden çıkarak plastik davranış sergilemeye ve kendi üzerine gelen yükü deplasman yaparak dönüştürmeye başlar. Yani, yapının deplasman yapma kapasitesi ne kadar çok ise o kadar fazla enerjiyi dönüştürecektir.

Fizik dersinden de hatırlanacağı gibi, iş yapabilme yeteneğine enerji denilmektedir. İş ise kuvvet ile kuvvet doğrultusunda yapılan yer değiştirmenin çarpılması ile bulunmakta ve birimi Joule’dür. 1 Joule, 1 Nm’ye eşittir.

Bu tanımlamalara göre, deney elemanlarına ait enerji dönüştürme kapasiteleri, bu deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan olarak ifade edilebilir. Deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrisi altında kalan alanların hesaplanmasında sayısal integrasyon yöntemlerinden olan bileşik yamuk yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra, bu yöntemle göre hesaplanan alanlar deney elemanın yaptığı deplasman anına kadar kümülatif toplamı ile deplasmana göre değişiminin grafiği çizilmiştir. Örnek olarak T-100/100 deney

elemanına ait çizim Şekil 7.6'da verilmiştir. Tüm deney numuneleri için 120 mm deplasmandaki değerler Çizelge 7.5'de verilmiş ve referans elemanlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca deney elemanlarına ait enerji dönüştürme kapasite eğrileri hem basamak/rıht kalınlığı hem de donatı düzeni kriterleri baz alınarak ayrı ayrı çizilmiştir. (Şekil 7.6 - 7.7).

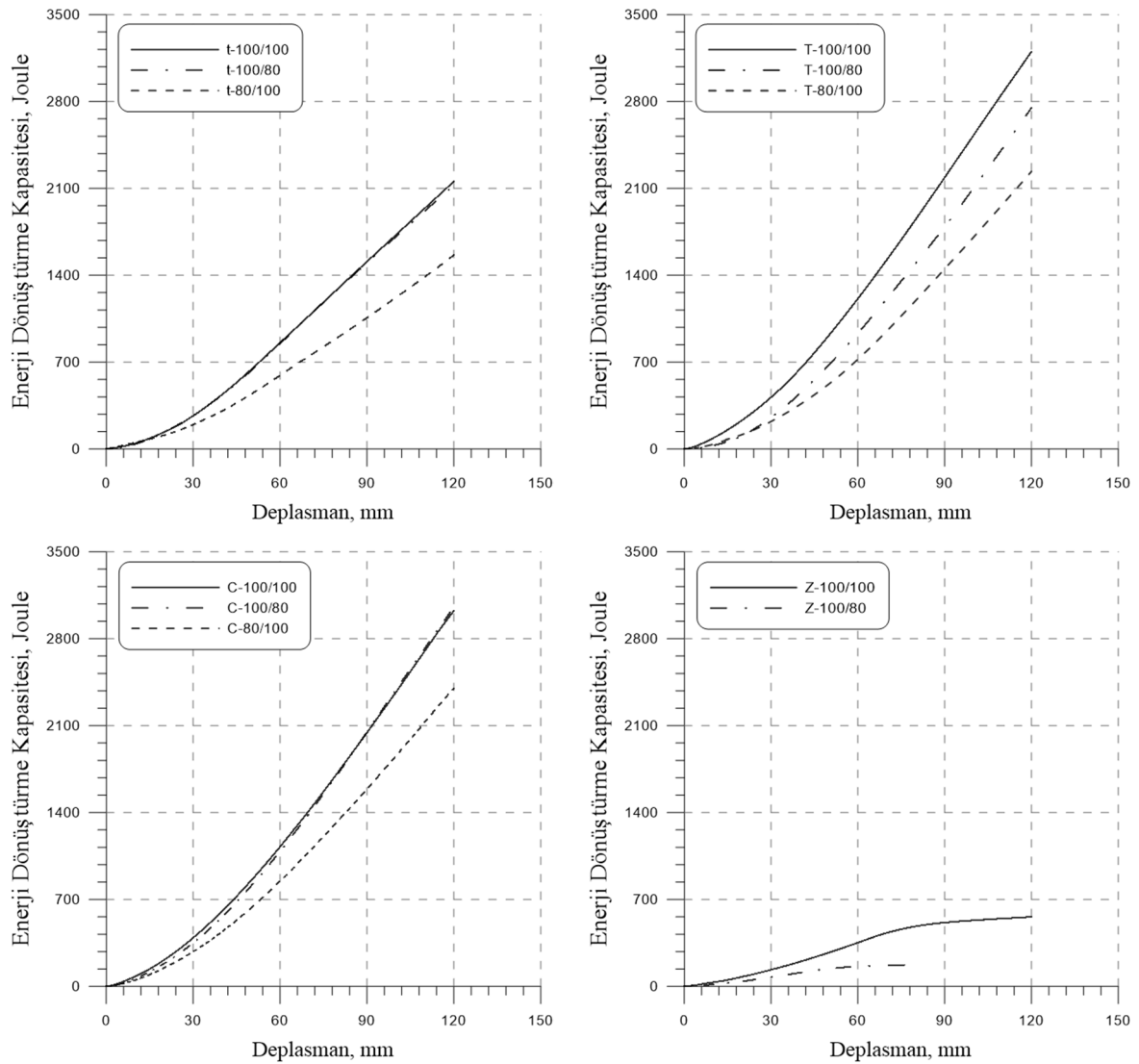


Şekil 7.6. T-100/100 deney elemanında dönüştürülen enerjinin hesaplanması

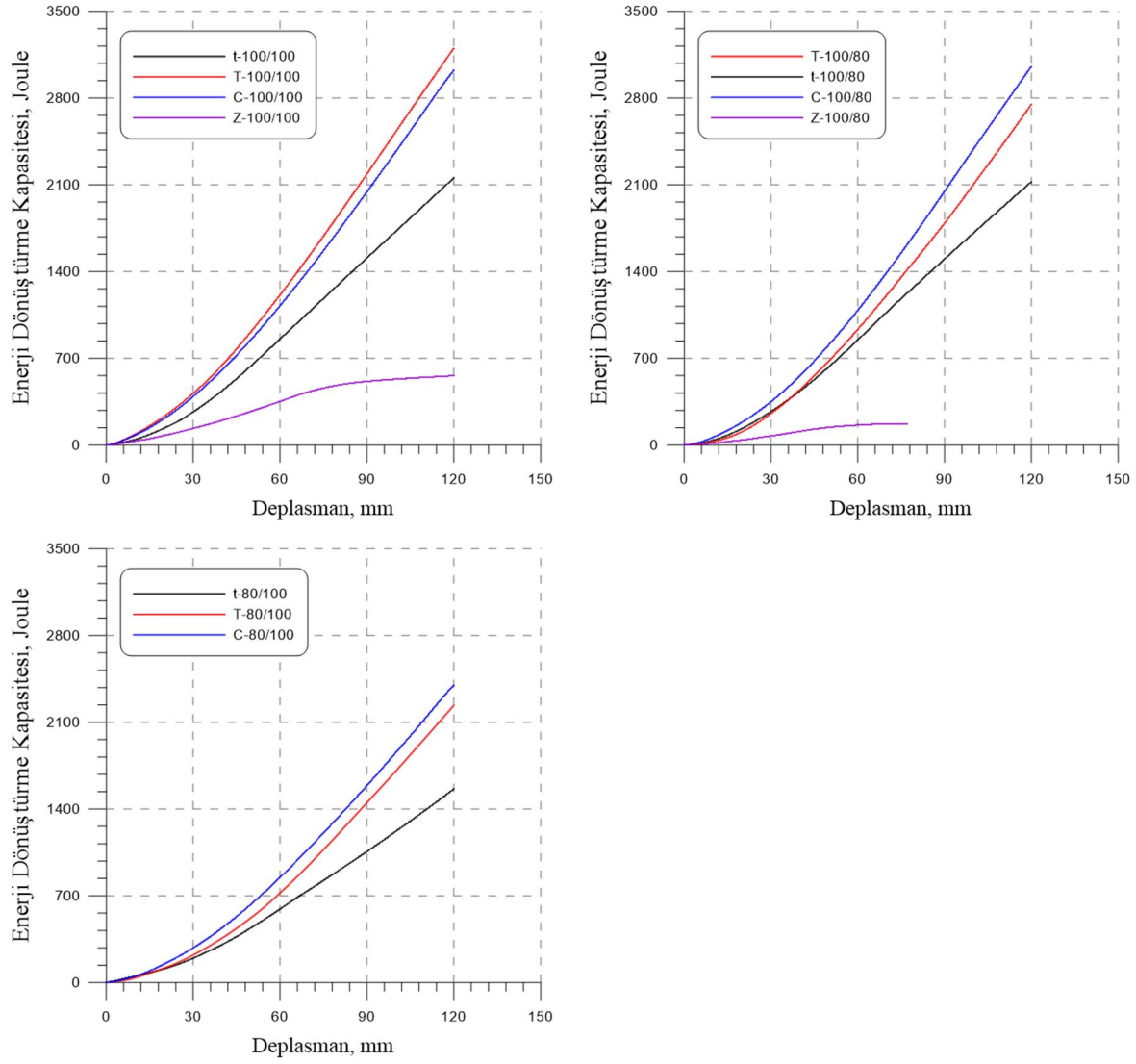
Çizelge 7.5 ile Şekil 7.6 ve 7.7 incelendiğinde, Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanların enerji dönüştürme kapasitelerinin yüksek, Tip Z donatı düzenine sahip elemanların ise aşırı düşük olduğu görülmektedir. Basamak/rıht kalınlıkları aynı olan deney elemanlarının referanslara göre %30 ila %50 arasında değişen oranlarda daha fazla enerji dönüştürdükleri görülmektedir. Bu da düzlem donatı kullanılmasının enerji dönüştürme kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, basamak/rıht kalınlığı 80 mm/100 mm olan deney elemanlarının aynı tip donatı düzeni sahip basamak/rıht kalınlığı 100 mm olan deney elemanlarına göre enerji dönüştürme kapasitesinin %25 civarında daha düşük çıkmıştır. Hatırlanacağı gibi deney elemanları arasında dayanım yönünden yapılan incelemede de basamak kalınlığının azalması ile dayanımda ciddi bir kayıp yaşanmıştır. Bu da basamak kalınlığının döşemesiz merdivenlerin davranışında çok etkili olduğunu göstermiştir. Buna karşın, rıht kalınlığının 80 mm yapılması enerji

kapasitesinde $\pm\%3$ civarında bir fark yaratmıştır. Yani, rıht kalınlığı, kesitin taşıma gücü kapasitesi değiştirilmeden azaltılması halinde davranışta etkisiz olduğunu bir kez daha teyit edilmiştir.

Yapılan çalışma, döşemesiz merdivenlerde düzlem donatı kullanılmasının enerji dönüştürme kapasitesinde büyük oranda iyileşme sağladığını göstermiştir. Tip T donatı düzenine sahip elemanlarda %50 oranında, Tip C donatı düzenine sahip elemanlarda %40 civarında artış gözlemlenmiştir. Bu durum dayanım kriterindeki bulgular ile örtüşmektedir.



Şekil 7.7. Donatı tipine göre deney elemanları enerji dönüştürme kapasiteleri



Şekil 7.8. Basamak/rıht kalınlığına göre deney elemanları enerji dönüştürme kapasiteleri

Çizelge 7.5. Deney elemanlarına ait enerji dönüştürme kapasiteleri ve oranları

Eleman Adı	120 mm Deplasmanda dönüştürülen Enerji (Joule)	Göreceli Enerji Dönüştürme t-100/100'e göre (Joule/Joule)	Göreceli Enerji Dönüştürme t-100/80'e göre (Joule/Joule)	Göreceli Enerji Dönüştürme t-80/100'e göre (Joule/Joule)
t-100/100	2154	1,00	1,01	1,38
t-100/80	2123	0,99	1,00	1,36
t-80/100	1561	0,72	0,74	1,00
T-100/100	3201	1,49	1,51	2,05
T-100/80	2748	1,28	1,29	1,76
T-80/100	2236	1,04	1,05	1,43
C-100/100	3024	1,40	1,42	1,94
C-100/80	3054	1,42	1,44	1,96
C-80/100	2401	1,11	1,13	1,54
Z-100/100	559	0,26	0,26	0,36
Z-100/80	172	0,08	0,08	0,11

7.2.4. Rijitlik

Yüke maruz kalmış cisimlerin şekil değiştirme tesirlerine karşı gösterme kabiliyeti rijitlik olarak tanımlanabilir. Eğilme (moment) rijitliği, kesme kuvveti (kayma) rijitliği, eksenel rijitlik, düşey ve yatay rijitlik gibi farklı rijitlik ifadeleri bulunmaktadır. Bu çalışmada deney elemanlarının eğilme rijitlikleri incelenmiştir. Bilindiği gibi eğilme rijitliği moment-eğrilik grafiğinden elde edilmekte olup bu eğrinin eğimine eşittir. Ancak deney elemanlarının eğrilik ölçümlerinin kullanılmasının yanıltıcı sonuçlar vereceği için böyle bir ölçüm yapılmamıştır. Bunun yerine deney elemanlarına ait yük-deplasman grafikleri kullanılmıştır. Moment yükün, eğrilik ise deplasmanın bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Bu durum göz önüne alındığında ve sadece deney elemanları arasında göreceli karşılaştırma yapılacağından yük-deplasman eğrilerinin kullanılmasının sakıncalı olmayacağı düşünülmüştür. Deney elemanlarına ait olan yük-deplasman eğrilerinden rijitliklerin nasıl elde edileceği Şekil 7.9’da gösterilmiştir.

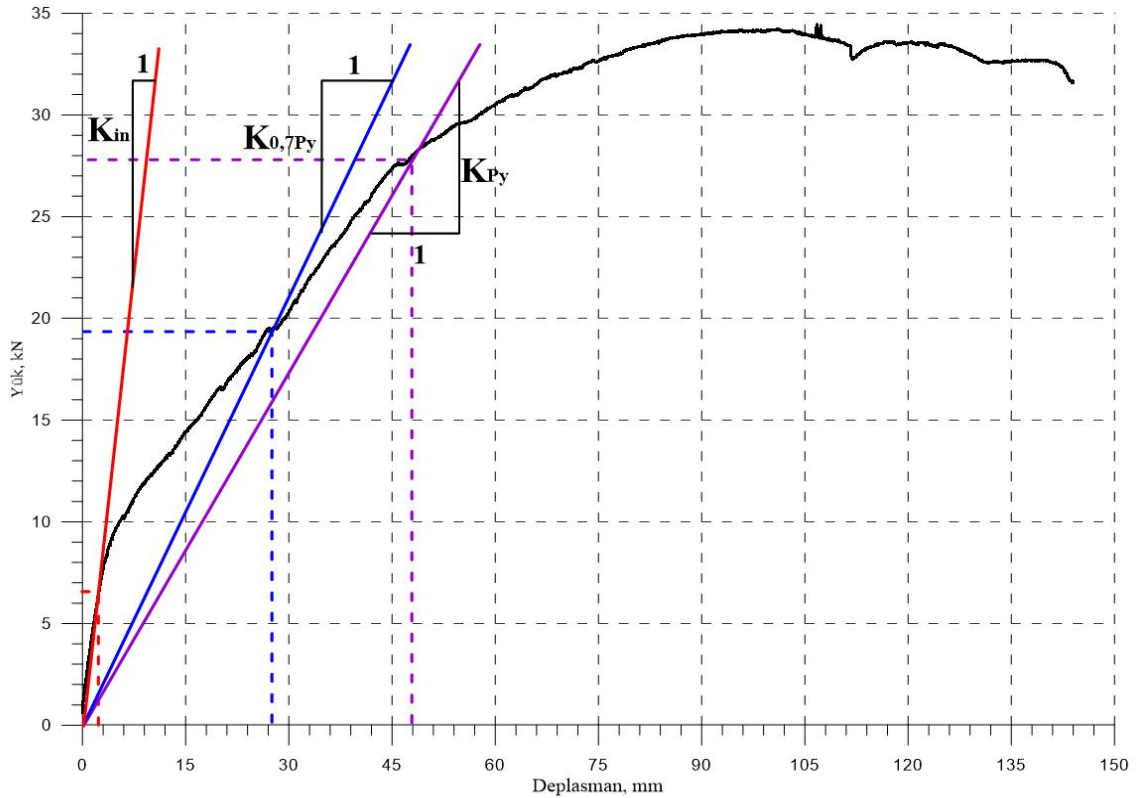
Betonun başlangıç elastik modülünden ve brüt eleman kesitine ait atalet momentinden bulunacak rijitliğin yükün çok düşük seviyesi için geçerli olacaktır. Kullanılabilirlik sınır durumundaki rijitlik için, betonun çatlamasının da gözönüne bulundurulması gerekmektedir. Yükün artmasıyla birlikte donatı akmaya başlar ve betonarme elemanda doğrusal olmayan davranışın etkili olduğu duruma geçer. Bununla birlikte deney elemanın rijitliği de giderek azalır. Bu durum yük-deplasman grafiklerinden görülebilmektedir.

Deney elemanlarına ait yük-deplasman grafiklerindeki üç nokta için rijitlik tanımlaması yapılmıştır. Bunlardan birincisi yük-deplasman eğrisinin başlangıç teğet eğimi olarak ifade edilen başlangıç rijitliği (K_{in}) olmaktadır. Bu rijitlik, deney elemanına ait kesitin çatlamamış durumu için fikir verecektir. İkinci rijitlik noktası ise deney elemanının akma yükünün %70’ine ulaştığı andaki rijitlik ($K_{0,70P_y}$) olup servis yüklerinde deney elemanının göstereceği rijitliği yorumlamamızı sağlayacaktır. En sonuncu rijitlik noktamız ise deney elemanının akma yüküne ulaştığı andaki rijitliği (K_{P_y}) olmaktadır. Bu noktada da deney elemanının en elverişsiz durumundaki rijitliğini verecektir.

Burada önemli olan deney elemanına ait akma yükünün yük-deplasman grafiğindeki yerinin tespit edilmesidir. Yük-deplasman eğrilerinde oluşan ilk eğim değişimi çatlama sonrası kesit ataletinin düşmesi nedeniyle gelişmiştir. Yük-deplasman eğrisindeki ilk eğim değişiminden

sonra gelişen bir sonraki eğim değişim noktası ise deney elemanın aktığı nokta olarak alınmıştır. Bu noktanın tespit edilebilmesi için yük-deplasman eğrisinin üzerinde çatlama sonrası ilk teğet çizilmiştir. Yük-deplasman eğrisinin bu doğrudan saptıktan sonrası için de ayrı bir teğet çizilmiştir. Bu iki teğet noktasının kesiştiği yerden deplasman eksenine dik indirilmiş ve yük-deplasman eğrisini kestiği nokta akmanın başladığı yer olarak kabul edilmiştir. Şekil 7.9'da gösterildiği gibi tüm deney elemanlarına ait rijitlik değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6'da tüm deney elemanlarına ait her üç rijitlik değerleri ve bu değerlerin T-100/100 deney elemanına göre oranları verilmiştir. Burada Tip t deney elemanları ile kıyaslama yapılmamıştır. Bunun nedeni, Tip t donatı düzenine sahip elemanların akma dayanımına ulaşmadan aderans kaybına uğramış olmasıdır. Ayrıca, Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanları da akma dayanımına ulaşamamış olup değerlendirmeye alınmamıştır. Deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri yükleme sisteminden ve başlangıç koşullarından çok etkilenmektedir. Bu nedenle hesaplanan değerlerin çok anlamlı olduğu düşünülmemektedir. Ancak, beklendiği gibi yük arttıkça elemanın rijitliğinde azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 7.9. T-100/100 deney elemanına ait rijitlik değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 7.6’da başlangıç rijitlikleri incelendiğinde, aynı donatı düzenine sahip ve basamak kalınlığı 100 mm olan deney elemanlarında rıht kalınlığının azaltılması ile başlangıç rijitliğinin azaldığı görülmüştür.

Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanların servis ve akma yükünde birbirilerine çok yakın rijitliklerde olup rıht kalınlığının 80 mm olduğu deney elemanlarında rijitliklerin %15 azaldığı, basamağın 80 mm olduğu durumda ise rijitliklerin %40 civarında azaldığı görülmüştür.

Çizelge 7.6. Deney elemanlarına ait rijitlik değerleri ve oranları

Eleman Adı	Başlangıç Rijitliği, K_{in} (kN/mm)	$0,70P_y$ Rijitliği, $K_{0,7Py}$ (kN/mm)	P_y Rijitliği, K_{Py} (kN/mm)	Göreceli K_{in} Rijitliği T-100/100’e göre	Göreceli $K_{0,7Py}$ Rijitliği T-100/100’e göre	Göreceli K_{Py} Rijitliği T-100/100’e göre
t-100/100	1,821	-	-	0,66	-	-
t-100/80	0,820	-	-	0,30	-	-
t-80/100	4,087	-	-	1,47	-	-
T-100/100	2,778	0,702	0,587	1,00	1,00	1,00
T-100/80	0,508	0,591	0,499	0,18	0,84	0,85
T-80/100	0,568	0,365	0,345	0,20	0,52	0,59
C-100/100	2,862	0,673	0,491	1,03	0,96	0,84
C-100/80	1,711	0,602	0,484	0,62	0,86	0,82
C-80/100	1,711	0,454	0,368	0,62	0,65	0,63
Z-100/100	1,675	-	-	0,60	-	-
Z-100/80	2,035	-	-	0,73	-	-

7.3. Tip T ve Tip C Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

Temel ölçütlere göre yapılan değerlendirmeler neticesinde Tip t ve Tip Z donatı düzenine sahip elemanların davranışının dayanım, süneklik, enerji dönüştürme ve rijitlik yönünden yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Her iki donatı düzenine sahip elemanlar akma kapasitelerine ulaşmamış olup bu bölümde değerlendirmeye dışı bırakılmıştır. Ayrıca bu Tip t ve Tip Z donatı düzenin tasarımda kullanılmaması önerilir.

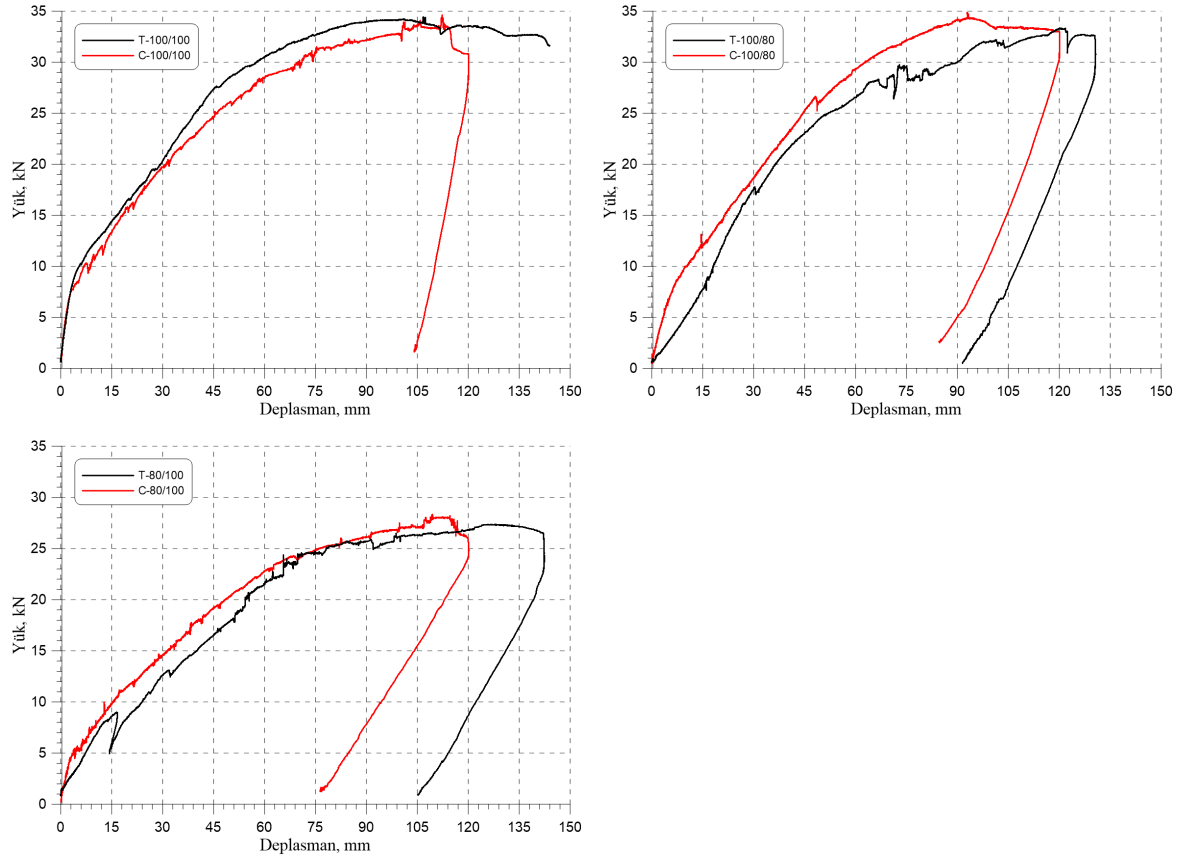
Bu bölümde Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarının karşılaştırılması uygun görülmüştür. Her iki donatı düzenine sahip deney elemanlarına ait performans özeti Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarının performansları birbirilerine çok yakın olmaktadır. Dayanım yönünden tüm deney elemanların yaklaşık olarak aynı kapasitede olması için kesitler ve bu kesitlere yerleştirilen donatılar özenle seçilmiştir. Ancak deney sonuçlarına bakıldığında, kesit taşıma gücünün sabit tutulması kaydı ile basamak kalınlığının azaltılması halinde dayanım korunamamıştır. 80 mm basamak kalınlığına sahip deney elemanları basamak kalınlığı 100 mm olanlara göre %25 civarında daha düşük dayanıma ulaşmışlardır. Dayanımdaki azalma ile boyutsal değişim arasındaki benzerlik ($34,45/27,35 = 1,26$; $100/80 = 1,25$) dikkat çekmektedir. Bu durum her iki donatı tipi için de benzer olmasının rastlantı olmadığı düşünülmektedir.

Çizelge 7.7. Tip T ve Tip C performans özeti

Eleman Adı	P_u (Hesap Yüğü) (kN)	P_u (Deney Yüğü) (kN)	Akma Deplasmanı (mm)	Süneklik Oranı d_{120}/d_y	120 mm Deplasmanda Dönüştürülen Enerji (Joule)	$0,70P_y$ Rijitliği, $K_{0,7P_y}$ (kN/mm)	P_y Rijitliği, K_{P_y} (kN/mm)
T-100/100	26,92	34,45	47,55	> 2,52	3201	0,140	0,117
T-100/80	26,12	33,34	48,47	> 2,48	2748	0,118	0,100
T-80/100	26,12	27,35	70,59	> 1,70	2236	0,073	0,069
C-100/100	26,92	34,63	56,26	> 2,13	3024	0,135	0,098
C-100/80	26,12	34,87	61,05	> 1,97	3054	0,120	0,097
C-80/100	26,12	28,32	64,36	> 1,86	2401	0,091	0,074

Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarının tamamı akma dayanımına ulaşmıştır. 100 mm basamak kalınlığına sahip deney elemanlarının akma yükleri arasında %3 civarı fark olmasına karşın, akma yüküne eriştikleri deplasmanlar arasında yaklaşık %20 fark olmuştur. Bu da Tip T donatı düzeninin Tip C donatı düzenine göre daha rijit davrandığını göstermektedir. Bu durum akma rijitliklerinden de görülmektedir. Tip T deney elemanlarında basamak ve rıht içindeki donatı bir bütün olmaktadır. Ancak, Tip C deney elemanlarında basamak ve rıht içinde 4 parçadan oluşan bir donatı yerleşimi bulunmaktadır. Rijitliğin bu kadar fark etmesinin nedeni bu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.10. Basamak/rıht kalınlıklarına göre kıyaslama

Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanları dayanımlarında %15 kayıp yaşanan noktaya ulaşamamıştır. Bu elemanlara ait yük-deplasman eğrileri incelendiğinde Tip C donatı düzenine sahip elemanların Tip T donatı düzenine sahip elemanlara göre daha çok dayanım kaybettiği görülmüştür. Buna rağmen Tip T donatı düzenine sahip elemanlar daha sünek davranmıştır. Bununla birlikte, deney elemanları kendi donatı sınıfları içerisinde incelendiğinde, basamak/rıht kalınlığı 100 mm olan elemanların sünekliğinin en yüksek olduğu, basamak/rıht kalınlığı 80 mm /100 mm olanların ise en düşük olduğu görülmüştür.

Enerji dönüştürme yapı veya yapı elemanlarının deplasman yapabilme kapasiteleri ile alakalıdır. Çizelge 7.7’de bulunan değerler deney elemanlarının hedef deplasman değerine (120 mm) kadar dönüştürdükleri enerjiyi vermektedir. Bu çizelgedeki değerlere göre, deney elemanlarından T-100/100 diğer deney elemanlarına göre en az %5, basamak kalınlığı 100 mm olan deney elemanları ise basamak kalınlığı 80 mm olan deney elemanlarına göre en az %25 daha fazla enerji dönüştürmüştür. Basamak kalınlığı yönünden taşıma gücü hesabında

kapasiteleri birbirine yakın olacak şekilde tasarlanmış olsalar dahi davranışları arasında bu denli fark olması dikkat çeken bir noktadır. Benzer durum dayanım da görülmüştür.

Çizelge 7.7’de başlangıç rijitlikleri incelendiğinde, aynı donatı düzenine sahip ve basamak kalınlığı 100 mm olan deney elemanlarında rıht kalınlığının azaltılması ile başlangıç rijitliğinin azaldığı görülmüştür.

Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanların servis ve akma yükünde birbirilerine çok yakın rijitliklerde olup rıht kalınlığının 80 mm olduğu deney elemanlarında rijitliklerin %15 azaldığı, basamağın 80 mm olduğu durumda ise rijitliklerin %40 civarında azaldığı görülmüştür.

7.4. Geleneksel Yöntemlerle Karşılaştırma

Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarının servis yükü ($0,70 P_y$), akma yükü (P_y) ve maksimum yük (P_u) için moment değerleri yük-deplasman eğrilerinden elde edilmiştir. Deney elemanlarına ait taşıma gücü hesapları 7.1. bölümünde (bkz. Çizelge 7.1) yapılmıştır. Taşıma gücü hesaplarından elde edilen maksimum yük kullanılarak Saenz ve Martin Metodu (bkz. Bölüm 4.4.1) ve Cusens Metoduna (bkz. Bölüm 4.4.4) göre açıklık moment değerleri hesaplanmış olup Çizelge 7.8’de verilmiştir. Ancak, geleneksel yöntemlerde döşemesiz merdiven için betonarme hesaplara yer verilmemiştir. Bu nedenle deneysel moment kapasiteleri ile geleneksel yöntemlerle elde edilen momentleri karşılaştırmanın sağlıklı olmayacağı düşünülmektedir.

Basit mesnetli durumda döşemesiz merdiven açıklığında oluşacak momentin hesaplanmasında Saenz ve Martin Metodu ile Cusens Metodu neredeyse aynı değerlerde olup taşıma gücü ile hesaplanan moment değerinin ise %82’si seviyesindedir. Geleneksel olarak önerilen her iki metot aslında basit giriş için hesaplanan açıklık momentin farklı bir formu niteliğindedir. Bu çalışmalarda önerilen hesaplama daha çok mesnetlere ankastre bağlanan döşemesiz merdivenler için hazırlanmıştır. Ancak bu çalışmanın kapsamında olmadığı için bu noktaya değinilmemiştir.

Çizelge 7.8. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırma

Eleman Adı	Moment $0,7P_y$ (kN.m)	Moment P_y (kN.m)	Moment P_u (kN.m)	Moment Taşıma Gücü Metodu (kN.m)	Moment Saenz ve Martin Metodu (kN.m)	Moment Cusens Metodu (kN.m)
T-100/100	9,30	13,30	16,56	12,22	10,05	10,14
T-100/80	7,75	10,95	15,34	11,86	9,75	9,84
T-80/100	8,30	10,65	13,08	12,22	9,75	9,84
C-100/100	8,90	12,80	15,81	12,22	10,05	10,14
C-100/80	9,60	13,85	16,83	11,86	9,75	9,84
C-80/100	8,20	11,55	13,74	12,22	9,75	9,84

8. ANALİTİK YAKLAŞIM

Döşemesiz betonarme merdivenlerin betonarme tasarımı ve donatı detaylandırılması analitik ve sezgisel yaklaşımlara dayanmaktadır. Bununla birlikte, analitik yöntemlerin kapsamlı deneysel araştırmalarla desteklenmediği görülmüştür. Deneysel araştırma, sebep – sonuç ilişkisinin ölçütlerini tam olarak karşılayan bilimsel olarak kabul görmüş bir yöntem olduğu için bu çalışma kapsamında, döşemesiz betonarme merdivenlerin eğilme davranışı deneysel olarak incelenmiştir.

Deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri incelendiğinde, döşemesiz betonarme merdivenlerin hedeflenen yük kapasitelerine çok büyük-deplasmanlar yaparak ulaştığı görülmüştür. Ancak, standartlar ve kullanıcı konforu göz önüne alındığında, tasarlanan elemanlar için deplasman sınırlamaları bulunmaktadır. Deney sonuçlarına bakıldığında, döşemesiz betonarme merdivenlerin tasarımının kesit kapasitesine göre yapılmasının güvensiz olacağı, bunun yerine deplasman kriterine göre tasarım yapılmasının güvenli olacağı tespit edilmiştir.

Döşemesiz betonarme merdivenlerin deplasman kontrolü için herhangi bir hesap yöntemi bulunmamaktadır. Bu nedenle, deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri için analitik çalışma yapılması uygun görülmüştür. Deplasman kontrolü için ACI-318 [61] standardının önerileri benimsenmiştir.

8.1. ACI-318’e Göre Deplasman Kontrolü

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar analitik hesaplamalarla karşılaştırılmış ve tutarlılıkları tartışılmıştır. Deplasman hesaplamaları için ACI-318 [61]’in “9.5 Deplasmanların Kontrolü” bölümünde verilen yöntem benimsenmiştir. Bu bölümdeki hükümlerin sadece servis yükü seviyelerinde meydana gelebilecek deplasmanlar veya deformasyonlar ile ilgili olduğu unutulmamalıdır. Buna göre, çatlamamış dikdörtgen kesit için, brüt kesit atalet momenti (I_g)’nin kullanılması deplasman hesaplarında yeterli bir eğilme rijitliği sağlar. Bununla birlikte, elemanın bir veya daha fazla bölümünde çatlak oluşursa, tüm açıklık boyunca Denk. 8.1’de verilen etkili atalet momenti (I_e)’ne göre deplasman hesaplanacaktır.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 + \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (mm^4) \quad (8.1)$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} \quad (mm^4) \quad (8.2)$$

Burada, M_{cr} çatlama momenti; M_a malzeme katsayısı uygulanmamış servis yükünün oluşturduğu maksimum momenti; I_g donatının ihmal edildiği brüt kesit atalet momentini, I_{cr} çatlamış kesitin betona çevrilmiş atalet momentini ifade etmektedir.

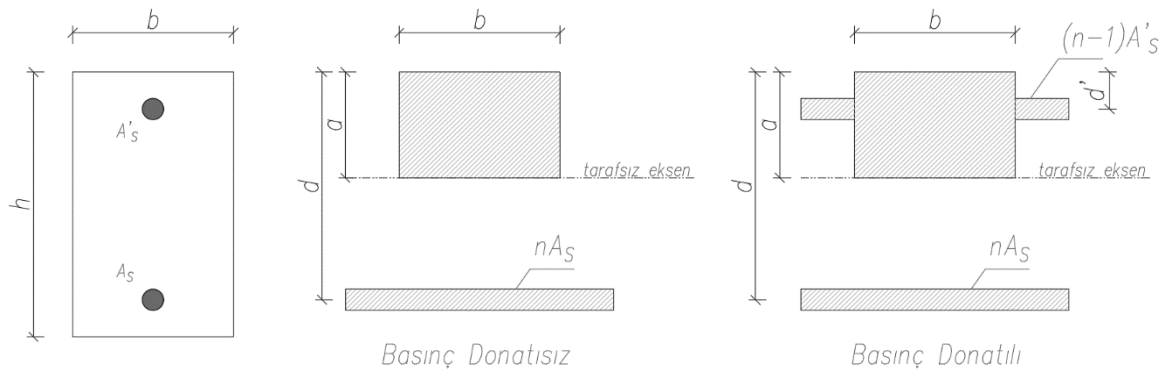
Çatlama momenti M_{cr} , ACI-318 [61]'e göre Denk. 8.3'deki gibi hesaplanacaktır.

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (kNm) \quad (8.3)$$

Burada, f_r betonun kırılma modülü olup Denk. 8.4'e göre hesaplanacak; y_t ise brüt kesitin merkez eksenine olan uzaklığıdır.

$$f_r = 0,623\lambda\sqrt{f'_c} \quad (MPa) \quad (8.4)$$

Denk. 8.1'deki I_{cr} çatlamış kesitin betona çevrilmiş atalet momenti Şekil 8.1'de verilmiştir. ACI 435R-95 [62]'ye göre basınç donatısı bulunmayan kesitlerde Denk. 8.6'ya, basınç donatısı bulunan kesitlerde ise Denk. 8.8'e göre hesaplanacaktır.



Şekil 8.1. Çatlamış kesit atalet momenti dönüşümü

Basınç donatısının olmadığı durum;

$$I_{cr} = \frac{ba^3}{3} + nA_s(d - a)^2 \quad (mm^4) \quad (8.6)$$

$$a = \frac{(\sqrt{2dB + 1} - 1)}{B} \quad (mm) \quad (8.7)$$

Basınç donatısının olduğu durum;

$$I_{cr} = \frac{ba^3}{3} + nA_s(d - a)^2 + (n - 1)A'_s(a - d')^2 \quad (mm^4) \quad (8.8)$$

$$a = \frac{\left(\sqrt{2dB \left(1 + \frac{rd'}{d} \right) + (1 + r)^2} - (1 + r) \right)}{B} \quad (mm) \quad (8.9)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (8.10)$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} , \quad E_s = 200.000 \text{ MPa} \quad (8.11)$$

$$B = \frac{b}{nA_s}, \quad r = \frac{(n - 1)A'_s}{nA_s} \quad (8.12)$$

Burada, b dikdörtgen kesit genişliği; a dikdörtgen kesitin beton basınç bloğu yüksekliği; n donatı ve betonun elastisite modül oranı; r dönüştürülmüş basınç donatı alanının dönüştürülmüş çekme donatı alanına oranı, B basınç bloğu genişliğinin dönüştürülmüş çekme donatısına oranı; d faydalı yükseklik, d' çekme donatısı merkezinin beton dış yüzeyine olan mesafe; A_s ve A'_s çekme ve basınç donatı alanları; E_s donatının elastisite modülü ve E_c ise betonun elastisite modülü olup ACI-318 [61]'e göre Denk. 8.11'deki gibi hesaplanacaktır. Karakteristik beton basınç dayanımı TS 13515 [56] standardına göre değerlendirilmiştir (bkz. Bölüm 5.2). Değerlendirme sonucunda, $f_{(150 \times 300)} = 42,48 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre hesaplamalarda kullanılacak beton sınıfı C40/50 olarak

belirlenmiştir. Deney elemanlarında kullanılan donatılar üzerinde yapılan testler sonucunda $f_{yk} = 469,75 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamındaki deney elemanlarının hem çift hem de tek donatılı olması durumları ayrı ayrı incelenmiş ve aralarındaki fark %1 civarında olmuştur. Bunun nedeni ise beton basınç bloğunun ile basınç donatısı merkezlerinin birbirine çok yakın çıkmasıdır. Analitik çalışma kapsamında yapılacak hesaplarda çift donatı kesit göz önüne alınacaktır.

Etkili atalet momenti, malzeme katsayısı uygulanmamış servis yükünün oluşturduğu maksimum moment M_a 'ya bağlı olarak hesaplanmaktadır. Deney elemanlarına ait analitik deplasmanlar, o deney elemanına ait maksimum yüke ulaşana kadar her yük okuma değeri için hesaplanacaktır. M_a 'ya bağlı olarak hesaplanan I_e değerinin I_g 'den büyük çıkması durumunda, deplasman hesabında I_g kullanılarak hesap yapılacaktır (bkz. Denk. 8.1).

Deney elemanlarına ait yükleme düzeni Şekil 8.2'de verilmiştir. Deney elemanından deplasman okumaları 1, 2, 3 ve 4 numaralı yüklerin altından alınmıştır. Yük-deplasman eğrileri ise 4 krikodan alınan okumaların toplamı ile 2 ve 3 numaralı LVDT cihazlarından alınan deplasman okumalarının ortalamasına göre oluşturulmuştur. Bu nedenle, Şekil 8.2'de verilen yükleme düzenine göre 2 veya 3 nolu kısımda oluşacak deplasman göz önüne alınmıştır. Bu noktalarda oluşacak deplasmanın formülü integrasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmış olup Denk. 8.14'de verilmiştir. Ayrıca, bu yükleme düzenine sahip bir deney elemanının yapacağı maksimum deplasmana ait denklem de çıkarılmış olup Denk. 8.15'de verilmiştir.

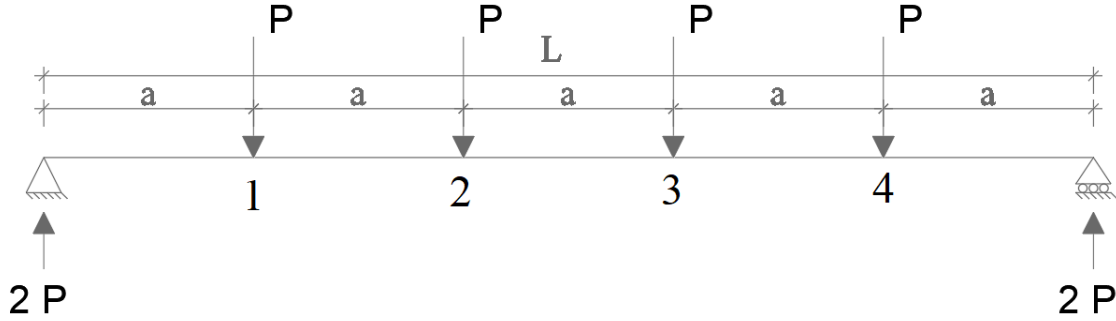
$$EI_e \frac{d^2 \delta}{dx^2} = M(x) \quad (8.13)$$

$$\delta_2 = \delta_3 = -\frac{15}{1000} \frac{P_T L^4}{EI_e} \text{ (mm)} \quad (8.14)$$

$$\delta_{mak} = -\frac{63}{4000} \frac{P_T L^4}{EI_e} \text{ (mm)} \quad (8.15)$$

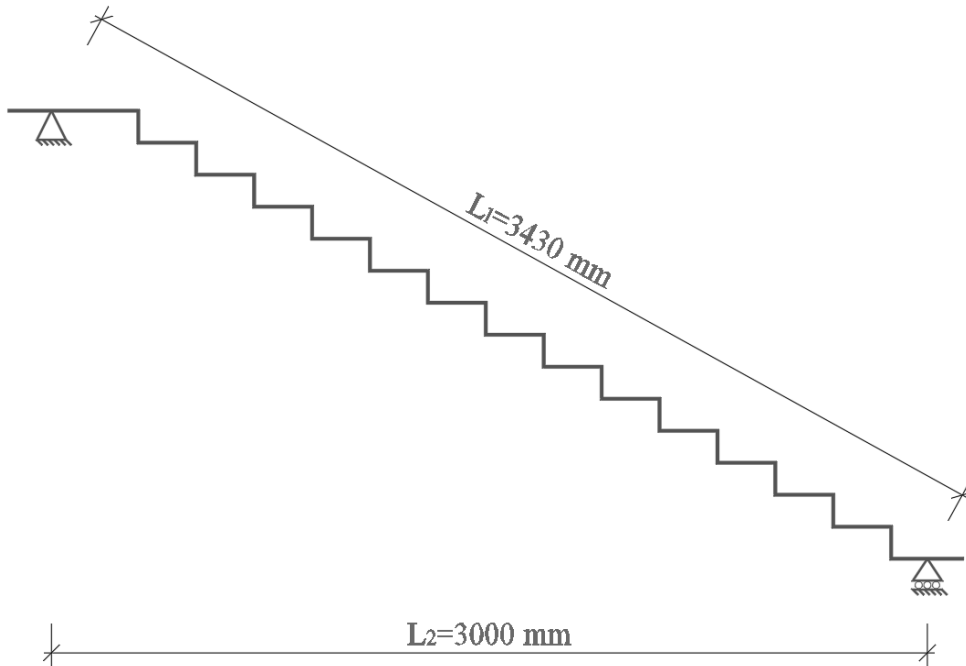
Burada, P_T deney elemanına etki eden toplam yük ($P_T=4P$); δ hesap yapılan noktadaki deplasman; L deney elemanına ait iki mesnet arasındaki mesafe olmaktadır. ACI-318 [61]'in

bu bölümünde döşemesiz merdivenler için açıklıkta kullanılacak mesafe için net bir bilgi bulunmamaktadır.



Şekil 8.2. Deney düzeneği yükleme düzeni

Döşemesiz merdivenlerle ilgili daha önce ki çalışmalarda, döşemesiz merdivenlerin katlanmış bir kaplama/kabuk benzeri yapıda olduğu ve bu gerçeğin göz önünde bulundurularak analiz edilmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Bu nedenle, döşemesiz merdivenlerin davranışının incelenmesinde Şekil 8.3'de gösterildiği gibi hem iki mesnet arası düz mesafe (L_1) hem de iz düşüm mesafesi (L_2) alınarak ayrı ayrı yük-deplasman eğriler elde edilecek ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılacaktır. Bu şekilde döşemesiz merdivenlerin davranışında etkili olan açıklık mesafesi de izah edilmiş olacaktır.



Şekil 8.3. Deney elemanına ait mesnet arası mesafeler

8.2. Deney Elemanları Üzerinde Analitik Çalışma

Eşit aralıklar ile yerleştirilmiş ve tek kaynaktan beslenen olan 4 adet krika ile deney elemanlarına yük aktarılmıştır. Yükleme düzenine göre deney elemanının herhangi bir yükleme anına ait 2 veya 3 nolu krikonun bulunduğu konumdaki deplasman değerini veren formül integrasyon yöntemi ile elde edilmiştir (bkz. Denk. 8.14). Bu denklemde bulunan deney elemanının açıklık mesafesi hem iki mesnet arası düz mesafe (L_1) hem de iz düşüm mesafesi (L_2) alınarak Çizelge 8.1'deki değerlere göre yük-deplasman eğriler her deney elemanı için ayrı ayrı elde edilmiş olup Şekil 8.4 ve Şekil 8.5'te verilmiştir. Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanları beklenen davranışı gösteremediği için analitik yaklaşım çalışması kapsamında değerlendirilmemiştir.

Çizelge 8.1. Analitik yaklaşımda kullanılan değerler

Deney Elemanı	t_h (mm)	t_v (mm)	$A_{s,(h)}=A'_{s,(h)}$ (mm ²)	$A_{s,(v)}=A'_{s,(v)}$ (mm ²)	I_g (mm ⁴)	I_{cr} (mm ⁴)	y_t (mm)	M_{cr} (kN.mm)
t-100/100	100	100	402,12	351,86	50.000.000	12.615.222	50	3921
t-100/80	100	80	402,12	452,39	25.600.000	8.747.245	40	2510
t-80/100	80	100	452,39	402,12	25.600.000	8.747.245	40	2510
T-100/100	100	100	402,12	351,86	50.000.000	12.615.222	50	3921
T-100/80	100	80	402,12	452,39	25.600.000	8.747.245	40	2510
T-80/100	80	100	452,39	402,12	25.600.000	8.747.245	40	2510
C-100/100	100	100	402,12	351,86	50.000.000	12.615.222	50	3921
C-100/80	100	80	402,12	452,39	25.600.000	8.747.245	40	2510
C-80/100	80	100	452,39	402,12	25.600.000	8.747.245	40	2510

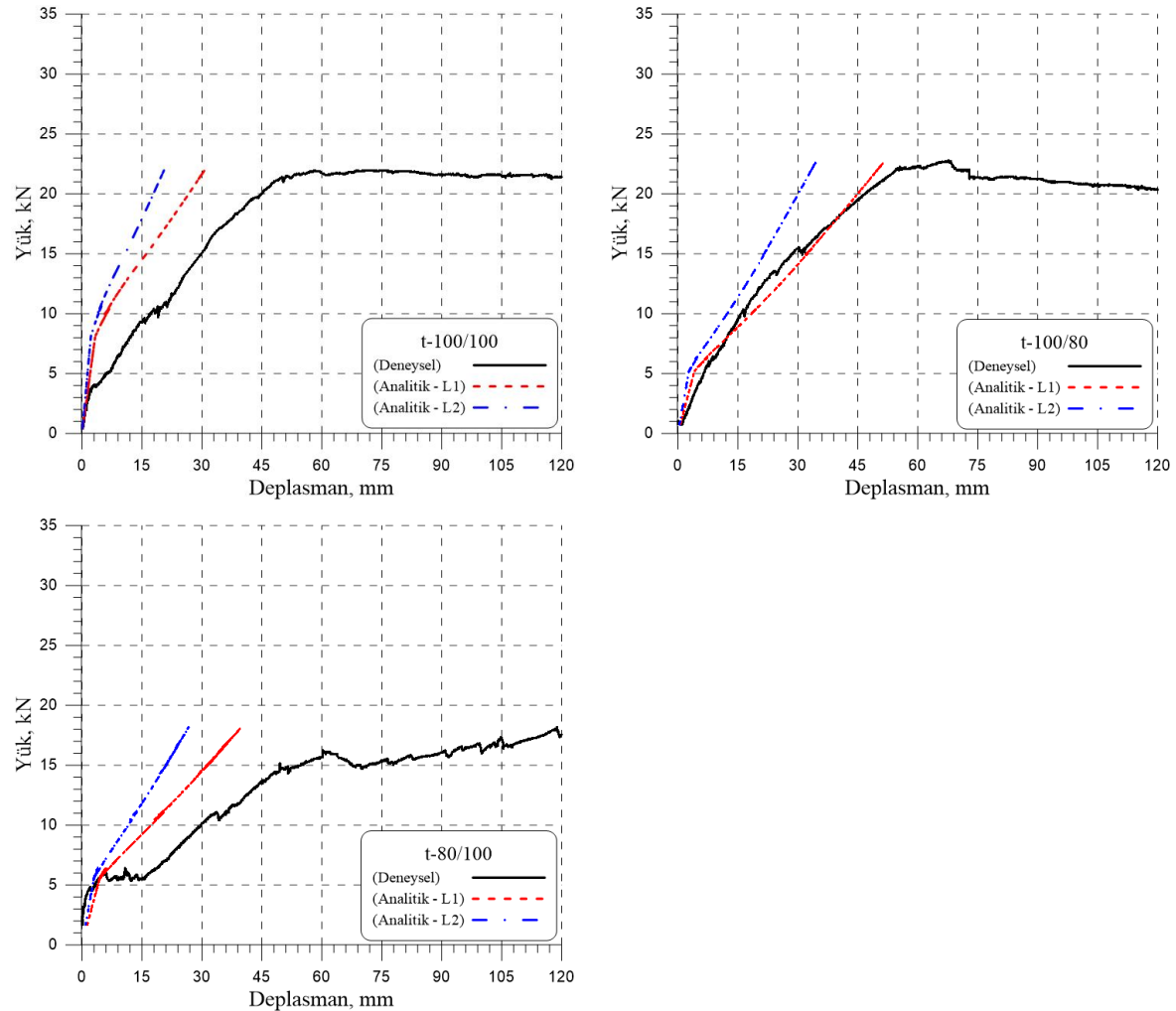
Deney elemanları için hazırlanan analitik ve deneysel yük-deplasman eğrilerine göre özellikle iki mesnet arası düz mesafe (hipotenüs uzunluğu) esas alındığında döşemesiz merdivenler için ACI-318 [61]'e göre deplasman hesaplamaları deneysel değerlerle yakın uyum içinde sonuçlar vermiştir. Ayrıca, düzlem donatı kullanılan Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarının ACI-318'in yaklaşımı ile çok daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle, servis yükleri altında döşemesiz merdivenlerin deplasmanını tahmin etmek için ACI-318 yaklaşımı düzlem donatı kullanılması ve açıklık mesafesinin hipotenüs uzunluğu alınması halinde kullanılabilir.

Çizelge 8.2'de deney elemanlarının akma yükündeki analitik ve deneysel rijitlik değeri verilmiştir. Tip t donatı düzeni kullanılarak üretilen deney elemanları akma yüküne ulaşmadan aderans kaybı görülmüştür. Bu nedenle rijitlik yönünden değerlendirmeye

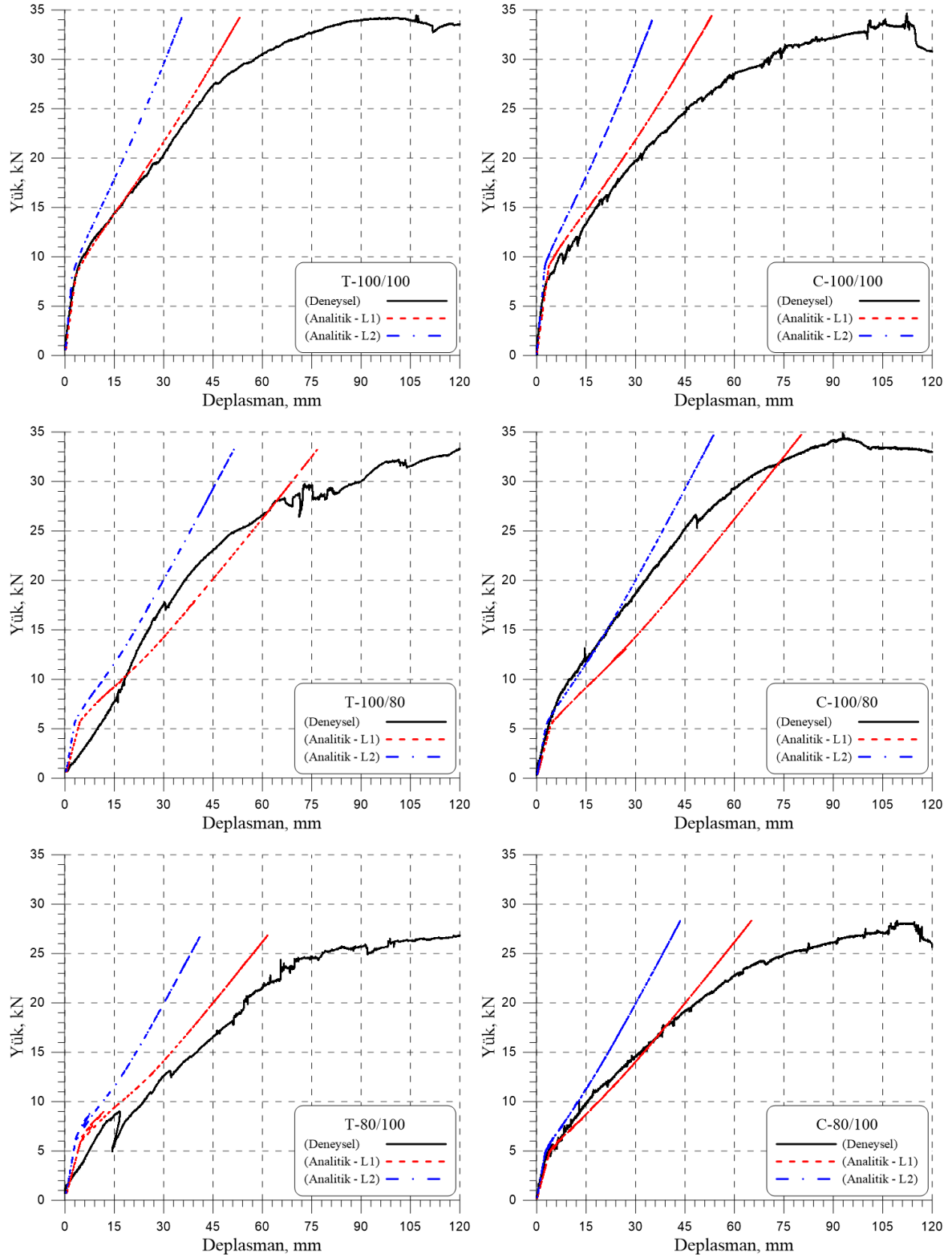
alınmamıştır. Çizelgede her iki açıklık mesafesindeki rijitlikler deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Genel olarak hipotenüs mesafesinin açıklık mesafesi olarak kullanılmasının daha gerçekçi olduğu görülmüştür. Servis yüklerine göre yapılacak tasarımda ACI-318 yaklaşımı kullanılarak elemanın rijitliği hakkında da bilgi edinilebilir.

Çizelge 8.2. Analitik ve deneysel rijitliklerin karşılaştırması

Deney Elemanı	Rijitlik (P_y/δ_y) (kN/mm)				
	Deneysel	Analitik ($L = L_1$)	Analitik ($L = L_2$)	Kıyaslama ($L = L_1$)	Kıyaslama ($L = L_2$)
T-100/100	0,587	0,644	0,963	0,91	0,61
T-100/80	0,499	0,433	0,674	1,15	0,74
T-80/100	0,345	0,446	0,651	0,77	0,53
C-100/100	0,491	0,648	0,969	0,76	0,51
C-100/80	0,484	0,432	0,646	1,12	0,75
C-80/100	0,368	0,435	0,650	0,85	0,57



Şekil 8.4. Tip t deney elemanlarının analitik ve deneysel yük-deplasman eğrileri



Şekil 8.5. Tip T ve Tip C deney elemanlarının analitik ve deneysel yük-deplasman eğrileri

2/3 ölçekli olarak hazırlanmış olan deney elemanlarından Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanların ortalama olarak akma yükü 26 kN, akma yükünün %70'i olan servis yükü

ise 18 kN olmuştur. Çalışma kapsamında hazırlanan deney elemanlarına etki eden yükler genel projelendirme esasları göz önünde bulundurularak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

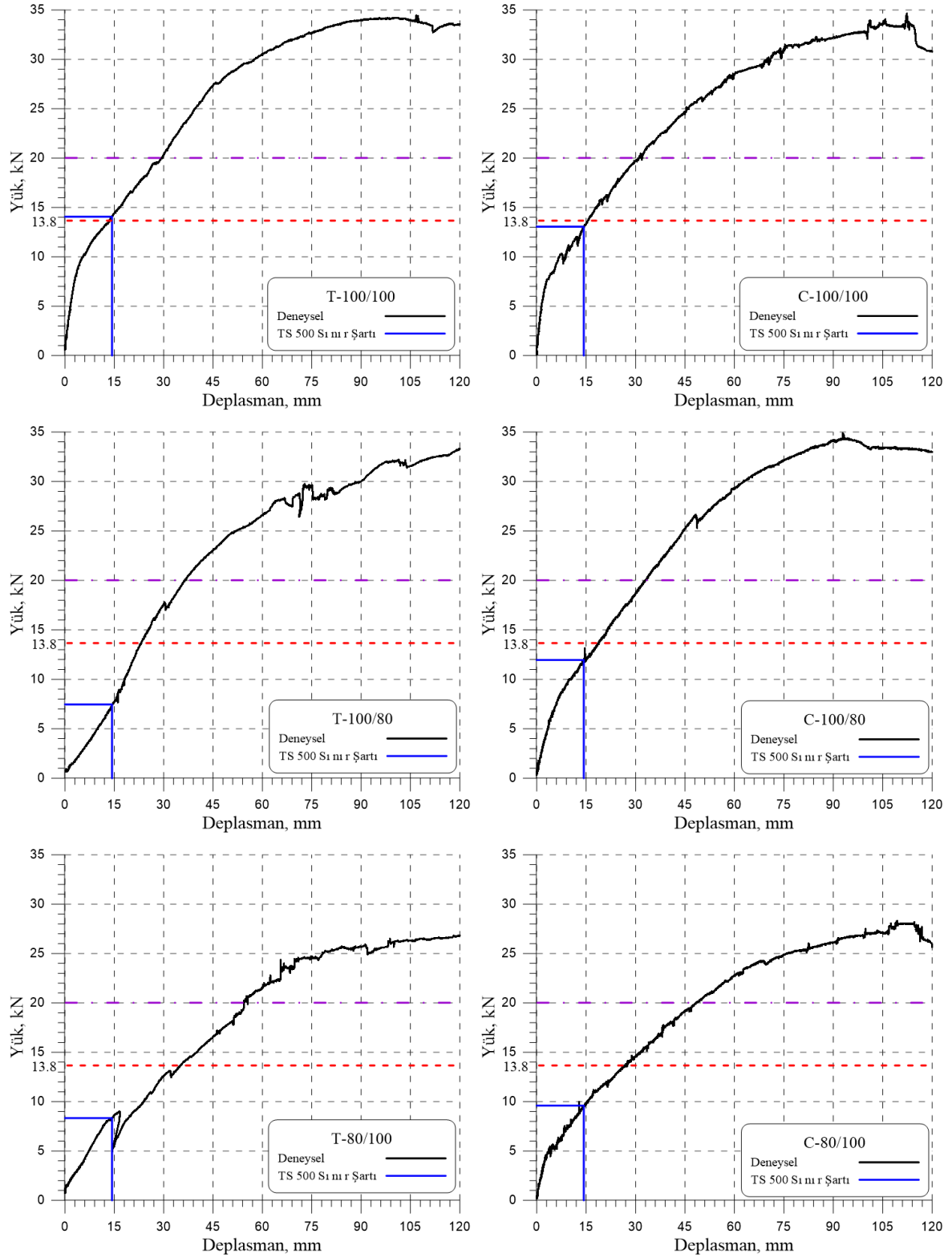
- Betonarme ağırlığı : $(0,54 \text{ m}^2) \cdot (0,60 \text{ m}) \cdot (24 \text{ kN/m}^3) = 7,78 \text{ kN}$
- Tavan sıvası : $(0,02 \text{ m}) \cdot (22,0 \text{ kN/m}^3) = 0,44 \text{ kN/m}^2$
- Tesviye tabakası : $(0,05 \text{ m}) \cdot (22,0 \text{ kN/m}^3) = 1,10 \text{ kN/m}^2$
- Kaplama tabakası : $(0,03 \text{ m}) \cdot (27,0 \text{ kN/m}^3) = 0,81 \text{ kN/m}^2$
- Korkuluk : $0,15 \text{ kN/m}^2$
- Hareketli yük : $5,00 \text{ kN/m}^2$

Deney elemanlarına, kendi ağırlığı haricinde etki edecek olan hareketli ve ölü yükler $11,5 \text{ kN/m}^2$ 'dir. 2/3 ölçekli olarak üretilen deney elemanlarına etki edecek olan yük ise $7,67 \text{ kN/m}^2$, merdiven yüzeyine etki eden toplam yük ise $13,8 \text{ kN}$ olacaktır. Bununla birlikte, deney elemanlarının taşıma gücü kapasiteleri malzeme katsayıları kullanılmadan hesaplanmış ve Çizelge 7.1'de verilmiştir. Buna göre, deney elemanları ortalama olarak 30 kN yük taşıyabilecek kapasitede olup kendi ağırlığı ile deney düzeneğinin ağırlığı çıkarıldığında yaklaşık olarak 20 kN yük taşıyabilecek kapasiteye sahiplerdir.

TS 500 [10] ve ACI-318 [61] standartlarına göre eğilme elemanları için izin verilen sehim sınırı Denk. 7.1'deki gibi hesaplanacaktır.

$$\delta_{\text{mak}} = \frac{L}{240} \quad (7.1)$$

Burada δ düşey yöndeki deplasmanı, L ise açıklık mesafesini ifade etmektedir. Analitik çalışmalara göre deney elemanlarının açıklığı iki mesnet arasındaki düz mesafe (hipotenüs uzunluğu) olarak alınmasının daha gerçekçi olduğunu göstermiştir. Bu nedenle sehim sınırı hesabında hipotenüs uzunluğu olan $3,43$ metrenin kullanılması uygun görülmüştür. Buna göre deney elemanlarına izin verilen maksimum sehim miktarı $14,3 \text{ mm}$ olacaktır. Sehim sınırındaki yük ile servis yüklerindeki taşıma gücü ve ilave yükler (kaplama yükü + hareketli yük) Şekil 8.6'da Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarına ait yük-deplasman grafiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 8.6. TS 500 standardı deplasman şartının incelenmesi

Şekil 8.6’da verilen tüm deney elemanları servis yükündeki taşıma gücü sınırını aşmıştır. Ancak deney elemanlarından; basamak/rıht kalınlığı 100 mm / 100 mm olan deney elemanları yaklaşık olarak 30 mm, 100 mm / 80 mm olan deney elemanları yaklaşık olarak

37 mm ve 80 mm / 100 mm olan deney elemanları ise yaklaşık olarak 50 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Bu değerler TS 500 ve ACI-318'in izin verdiği sınırların çok üzerinde olmuştur. Bununla birlikte, bu elemanların üzerinde olması muhtemel toplam ilave yük 13,8 kN olarak hesaplanmış olup T-100/100 hariç hiçbir deney elemanı izin verilen sehim sınırları içerisinde bu yükü taşıyamamıştır (Çizelge 8.3). Bu durum, döşemesiz merdivenlerin tasarımının taşıma gücü kriterine göre değil, deplasman kriterine göre yapılması gerektiğini göstermiştir.

Çizelge 8.3. TS 500 deplasman sınır şartının karşılaştırması

Deney Elemanı	Yük (kN)		
	TS 500 Deplasman Sınır Yüğü	İlave Yükler (Kaplama + Hareketli)	Taşıma Gücü Servis Yüğü
T-100/100	14,06		
T-100/80	7,46		
T-80/100	8,33	13,80	20,00
C-100/100	13,05		
C-100/80	11,95		
C-80/100	9,60		

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; döşemesiz merdivenlerin davranışının hem donatı düzeni hem de basamak/rıht kalınlığı yönünden incelenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Deneysel çalışmanın bir diğer amacı ise tek kaynaktan beslenen 4 adet krikonun eş zamanlı olarak aynı yükü deney elemanlarına iletme durumunun incelenmesidir.

Deney elemanları 2/3 ölçekli olup 4 farklı donatı tipi ve 3 farklı basamak/rıht kalınlığı göz önüne alınarak toplamda 12 adet deney elemanı üretilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan malzemeler parametre olarak seçilmemiş olup donatı düzenlemesinin ve plak kalınlığının davranışa etkisinin doğru tespit edilmesi amacıyla betonun olabildiğince standart bir dayanımda olması sağlanmıştır. Oluşturulan deney elemanları yayılı yükü benzeştirmesi amacıyla tek kaynaktan beslenen 4 adet krikonun eş zamanlı olarak yüklenmesi ile test edilmiştir. Test edilen deney elemanlarının performansları dayanım, süneklik, enerji dönüştürme ve rijitlik yönünden değerlendirilmiş, birbiriyle ve geleneksel yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca ACI-318'in deplasmanların kontrolü için önerdiği yaklaşıma göre analitik çalışmalar da yapılmıştır. Bu bölümde ise ortaya çıkan sonuçların özeti sunulmuş ve araştırmanın amacı doğrultusunda geliştirilen yöntemler içinde en üstün davranışı sergileyenler belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında edinilen deneyimler ışığında, ileride bu alanda çalışma yapacak mühendisler yön vermek amacıyla öneriler de sunulmuştur.

Bu çalışmada sınırlı sayıdaki deneylerden elde edilen verilere dayanarak sonuç ve öneriler sunulduğu unutulmamalıdır. Deneylerden elde edilen sonuçların ise deney elemanlarının özelliklerine ve deney ortamındaki koşullara bağlı olduğu, bu sonuçlara göre kesin ve mutlak yargılarda bulunulması doğru olmayacağı bilinmelidir.

9.1. Sonuçlar

- Yayılı yükü benzeştirmesi amacıyla tek kaynaktan beslenen 4 adet krikonun eş zamanlı olarak aynı yükü deney elemanlarına iletme durumunun incelenmiş olup yük hücrelerinden alınan okuma değerleri deney elemanının çatlama yüküne ulaşana kadar

birbirine yakın olduğu, deneyin ilerleyen sürecinde farklı yük okumaları alındığı gözlemlenmiştir. Krikolara yağı ileten hortumlardaki sürtünme kayıpları, deney elemanına yapılan yükleme noktalarında oluşan farklı deplasmanlar, krikoların iç parçalarının sürtünme dirençleri gibi nedenlerin bu durumu oluşturduğu düşünülmektedir.

- Tip t donatı düzenine sahip deney elemanları akma yüküne ulaşmadan orta bölgede bulunan basamak/rıht birleşim bölgesinde aderans kaybı oluşmuştur. Bu donatı düzeninin tasarımı tercih edilmesi önerilmemektedir. Ancak, ilave olarak düzlem donatı kullanılması halinde davranışının Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanların seviyelerine çıkabileceği, bu durumda kullanılabileceği ön görülmektedir.
- Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanlarının performansının çok kötü olduğu, performansının bu kadar köyü olmasındaki en büyük etkenlerden biri basamak ve rıht birleşim bölgesinde donatı sürekliliğinin sağlanmıyor olmasıdır. Bu nedenle rıhttaki yük basamağa aktarılamamış ve bu bölgede derin çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca yük-deplasman grafiklerinden de görüleceği gibi deney elemanı büyük oranda yük kaybettikten sonra bir miktar yük almaya başlıyor. Bu durumun oluşmasının nedeni ise donatı yerleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla basamak ortasına konulmuş olan kapalı etriye olmuştur. Basamak alt yüzünden ayrılmaya başlayan donatılar bu etriyeye ulaştığında deney elemanı bir miktar daha dayanım kazanmış ve etriyenin sargılama özelliğini kaybetmesi ile tekrar dayanım düşmüştür. Kapalı etriye donatısı konulmamış olsaydı, Tip Z deney elemanları en fazla 5 mm deplasmana ulaşip yenilme durumu gerçekleşecekti. Bu nedenle Tip Z donatı düzeninin kullanılması kesinlikle önerilmemektedir.
- En yüksek dayanımlara Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip ve basamak kalınlığı 100 mm olan deney elemanları ulaşmıştır. Düzlem donatı kullanılan deney elemanlarının düzlem donatı kullanılmayan aynı basamak/rıht kalınlığına sahip elemanlara göre dayanım değerleri incelendiğinde, düzlem donatı kullanılmasının dayanıma sağladığı katkının yaklaşık olarak 1,5 kat olduğu görülmüştür.
- Tüm deney elemanları neredeyse aynı taşıma gücü kapasitesinde olacak şekilde donatı tasarımı yapılmıştır. Aynı donatı düzenine sahip elemanlardan basamak kalınlığı 100

mm, rıht kalınlıkları farklı olanların neredeyse aynı dayanım değerlerine ulaşmış, deney elemanlarının dayanımları arasında %3 civarında bir fark oluşmuş ve bu farkın taşıma gücü kapasiteleri ile benzer olduğu görülmüştür. Buna karşın, deney elemanlarından basamak kalınlığı 100 mm olanlar ile 80 mm olanlar arasında %21 civarında bir dayanım azalması gözlemlenmiştir. Yani, taşıma gücü kapasitesi sabit tutulduğunda rıht kalınlığının azalması dayanımı değiştirmezken, basamak kalınlığının azaltılması ile dayanımda ciddi azalma olmuştur. Bu durumun nedeni, rıht plağının serbest boyunun çok kısa (1 ila 3 cm) olması nedeniyle betonarme elemanın davranışını etkilememiştir. Ancak rijitliğinde bir miktar azalma olduğu tespit edilmiştir.

- Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanların enerji dönüştürme kapasitelerinin yüksek, Tip Z donatı düzenine sahip elemanların ise aşırı düşük olduğu görülmüştür. Basamak/rıht kalınlıkları aynı olan deney elemanlarının referanslara göre %30 ila %50 arasında değişen oranlarda daha fazla enerji dönüştürdükleri görülmektedir. Bu da düzlem donatı kullanılmasının enerji dönüştürme kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, basamak/rıht kalınlığı 80 mm/100 mm olan deney elemanlarının aynı tip donatı düzeni sahip olan deney elemanlarına göre enerji dönüştürme kapasitesinin %25 civarında daha düşük çıkmıştır. Yani, basamak kalınlığının azalması ile elemanın enerji tüketme kapasitesi de ciddi oranda azalmıştır. Buna karşın, rıht kalınlığının 80 mm yapılması enerji kapasitesinde $\pm\%3$ civarında bir fark yaratmıştır. Bu durum dayanım yönünden yapılan karşılaştırma ile benzer olmuştur.
- Deney elemanları rijitlikleri yönünden incelendiğinde, aynı donatı düzenine sahip ve basamak kalınlığı 100 mm olan deney elemanlarında rıht kalınlığının azaltılması ile başlangıç rijitliğinin azaldığı görülmüştür. Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip elemanlar servis ve akma yükündeki rijitlikleri birbirilerine çok yakın olup rıht kalınlığının 80 mm olduğu deney elemanlarında rijitliklerin %15 azaldığı, basamağın 80 mm olduğu durumda ise rijitliklerin %40 civarında azaldığı görülmüştür.
- Temel ölçütler için bir genelleme yapılacak olursa, temel ölçütlerdeki azalma ile basamak kalınlığının değişimi arasında bir benzerlik olduğu dikkat çekmektedir. Yani, rıht kalınlığı sabit tutulduğunda basamak kalınlığının azaltılma oranı ile temel ölçütlerdeki (dayanım, süneklik, enerji tüketme, rijitlik) azalma oranı birbirine çok yakın olmaktadır. Bu durumun rastlantı olmadığı düşünülmektedir.

- Geleneksel yöntemler ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, basit mesnetli durumda döşemesiz merdiven açıklığında oluşacak momentin hesaplanmasında Saenz ve Martin Metodu ile Cusens Metodu neredeyse aynı değerlerde olup taşıma gücü ile hesaplanan moment değerinin ise %82'si seviyesindedir. Geleneksel yöntemlerin önerdiği her iki metot aslında basit kiriş için hesaplanan momentin farklı bir formu niteliğindedir. Yani, bu metotlar daha çok mesnetlere ankastre bağlanan döşemesiz merdivenler için hazırlanmıştır. Bu çalışmanın kapsamında olmadığı için mesnet şartları konusuna değinilmemiştir.
- Deney elemanlarına ait çatlak haritaları incelendiğinde, düzlem donatı bulunmayan elemanlarda oluşan çatlaklar basamak ve rıhtın kesiştiği bölgeye doğru ilerlemiş, bu bölgede aderans kaybına neden olmuştur. Ancak, düzlem donatı kullanılan deney elemanlarında bu durum oluşmamıştır. Çünkü bu bölgede oluşan çatlak düzlem donatıya ulaştıktan sonra neredeyse 90 derece yön değiştirerek düzlem donatıya paralel olarak ilerlemiştir. Bu nedenle basamak ve rıhtın kesiştiği bölgede aderans kaybı olmadan elemanlar akma dayanımlarına ulaşmıştır. Bu yönüyle düzlem donatı ayrı bir öneme sahip olduğu söylenebilir.
- ACI-318 yaklaşımına göre deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Özellikle iki mesnet arası düz mesafe (hipotenüs uzunluğu) esas alındığında, deplasman hesaplarının deneysel değerlerle yakın uyum içinde sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, düzlem donatı kullanılan Tip T ve Tip C donatı düzenine sahip deney elemanlarının ACI-318'in yaklaşımı ile çok daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle, servis yükleri altında döşemesiz merdivenlerin deplasmanını tahmin etmek için ACI-318 yaklaşımı düzlem donatı kullanılması ve açıklık mesafesinin hipotenüs uzunluğu olarak alınması halinde kullanılabilir.
- Tip Z donatı düzenine sahip deney elemanları hariç tüm deney elemanları servis yükündeki taşıma gücü sınırını aşmıştır. Ancak düzlem donatıya sahip olan Tip T ve Tip C deney elemanlarından; basamak/rıht kalınlığı 100 mm / 100 mm olan deney elemanları yaklaşık olarak 30 mm, 100 mm / 80 mm olan deney elemanları yaklaşık olarak 37 mm ve 80 mm / 100 mm olan deney elemanları ise yaklaşık olarak 50 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Bu değerler TS 500 ve ACI-318'in izin verdiği sınırların çok üzerinde

olmuştur. Bununla birlikte, T-100/100 deney elemanı hariç hiçbir deney elemanı izin verilen sehim sınırları içerisinde ilave yükleri (kaplama yükü + hareketli yük) taşıyamamıştır. Bu durum, döşemesiz merdivenlerin tasarımının taşıma gücü kriterine göre değil, deplasman kriterine göre yapılması gerektiğini göstermiştir.

9.2. Öneriler

- Döşemesiz merdivenlerin klasik merdivenlere göre tek avantajı estetik görüntüsü olup hem işçilik hem de malzeme yönünden klasik merdivenlere göre çok yüksek maliyetlere inşa edilmektedir. Bu nedenle estetik görünüşün önemsiz olduğu durumlarda tercih edilmemelidir.
- Bu çalışma kapsamında beton kalitesi parametre olarak seçilmemiş ve kullanılan betonun olabildiğince standart bir dayanımda olması sağlanmıştır. 28 günlük beton numunelerinden elde edilen beton karakteristik basınç dayanımı C40/50 sınıfına denk gelmiştir. Deney elemanlarının eğilme davranışları incelendiğinde, beton içerisinde bulunan donatıların akma seviyesine dahi gelmediği görülmüştür. Bu nedenle beton kalitesi döşemesiz betonarme merdivenlerin davranışında çok önemli olup bu tarz merdivenin tercih edilmesi durumunda kullanılacak beton sınıfının en az C40/50 olması önerilmektedir.
- Taşıma gücü kapasitesi sabit tutularak rıht kalınlığının değiştirilmiş ve bu durumun deney elemanlarının davranışına etki etmediği görülmüştür. Buna karşın, taşıma gücü kapasiteleri aynı olmasına rağmen basamak kalınlığının değiştirilmesi deney elemanlarının davranışı büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu çalışmada basamak kalınlığının değişim oranı 0,80 olarak seçilmiş olup temel ölçütlerdeki değişim oranları da yaklaşık olarak bu orana yakın olmuştur. Bu durum Tip Z hariç tüm deney elemanlarında benzer olmasının rastlantı olmadığı düşünülmektedir. Dolayısı ile gelecekte taşıma gücü kapasiteleri eşit ancak basamak kalınlığı farklı deney elemanları ile deneysel araştırmalar yapılarak bu konuya netlik kazandırılabilir.
- Deney elemanları servis yüküne ortalama olarak 34 mm, akma dayanımına ise ortalama olarak 58 mm deplasman yaparak ulaşmıştır. Bu deplasmanlara 1 mm'den daha küçük çatlak genişlikleriyle ulaşmışlardır. TS 500 şartnamesinde eğilme elemanları için verilen

L/240 sehim sınır şartının bu elemanlar için kullanılması ekonomik olmayacağı düşünülmektedir. Döşemesiz merdivenler için sehim sınır değerleri üzerine araştırma yapılarak bu noktadaki eksiklik giderilebilir.

- Deney elemanları yükleme altında yapısal formunu koruyarak çok büyük-deplasman değerlerine ulaşmıştır. Ancak bu denli büyük-deplasmanlar kullanıcıda huzursuzluk oluşturacağı çok açıktır. Bu nedenle mimari açıdan bir zorunluluk yok ise bu tip merdivenlerin ara sahanlıklı olarak tasarlanması önerilmektedir. Bununla birlikte döşemesiz merdivenlerin tasarım yüklerine daha az deplasman yaparak ulaşmalarının sağlanabilmesi için farklı donatı oranları veya farklı uygulama teknikleri üzerine araştırma yapılabilir.
- Döşemesiz betonarme merdivenlere ilave edilen düzlem donatı basamak ve rıht içerisindeki donatılar ile birlikte çerçeve gibi çalışmakta, basamak ve rıht birleşiminin açılmasını engellemektedir. Burada bir nevi ankraj görevi görmektedir. Bu da elemanın dayanımını arttırmıştır. Bu nedenle, döşemesiz merdivenlerin betonarme tasarımında düzlem donatının kullanılması kesinlikle önerilmektedir.
- Deney elemanları taşıma gücüne TS 500 ve ACI-318'in izin verdiği deplasman sınırının çok üzerinde deplasman yaparak ulaşmıştır. Döşemesiz merdivenlerin tasarımının taşıma gücü kriterine göre değil, deplasman kriterine göre yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Sharma, S. (1993). *Finite Element Analysis of Slabless Tread Riser Stairs*, Master's Thesis, Department of Civil Engineering University of Roorkee, India.
2. Köseoğlu, S. (1992). *Merdivenler Statiği ve Konstruksiyonu* (Dördüncü Baskı). İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Yayınevi.
3. Nuraloğlu, U.G. (2009). *Helisel Merdivenlerin Yapı ile Üç Boyutlu Olarak Etkileşimi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Köseoğlu, S. (2011). Helisel İki Kol Ortasında Dairesel Sahanlığa Sahip Uzak Taşıyıcılı Merdivenler. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 350, 5425-5448.
5. Saenz, L.P. and Martin, I. (1961). Slabless Tread Riser Stairs, *Journal of American Concrete Institute*, 58(4), 353-366.
6. TS 498 (1987). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
7. Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği. (2017, 3 Temmuz). Resmi Gazete (Sayı: 30113).
8. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. (2007, 19 Aralık). Resmi Gazete (Sayı: 26735).
9. Sarı, A. (2019). *Düşey Sirkülasyon Araçları Merdivenler* (Onbirinci Baskı). İstanbul: Yem Yayın.
10. TS 500 (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. Sauter, F. (1964). Free Standing Stairs. *American Concrete Institute Journal*, Proceedings, 61(7), 847-870.
12. Cusens, A.R. and Kuang, J.G. (1965). Analysis of Free-Standing Stairs under Symmetrical Loading. *Concrete and Constructional Engineering*, 60(5), 167-172.
13. Cusens, A.R. and Kuang, J.G. (1966). Experimental Study of a Free-Standing Staircase. *American Concrete Institute Journal*, Proceedings, 63(5), 587-604.
14. Gould, P.L. (1963). Analysis and Design of Cantilever Staircase. *American Concrete Institute Journal*, 60(7), 881-899.
15. Taleb, N.J. (1964). The Analysis of Stairs with Unsupported Intermediate Landings. *Concrete and Constructional Engineering*, 59(9), 315-320.
16. Siev, A. (1962). Analysis of Free Straight Multiflight Staircases. *Journal of The Structural Division*, ASCE, 88(3), 207-232.

17. Liebenberg, A.C. (1960). The Design of Slab Type Reinforced Concrete Stairways. *The Structural Engineer*, 38(5), 156-164.
18. Çıtıpıtıoğlu, E. ve Kılıç, H. (1996). *Accuracy of Unit Strip Method in the Design of Reinforced Concrete Staircases*, Concrete Technology for Developing Countries, Fourth International Conference, Eastern Mediterranean University, North Cyprus.
19. Ahmed, I., Muqtadir, A. and Ahmad, S. (1996). Design Provision for Stair Slab in the Bangladesh Building Code, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 122(3).
20. Colotti, V. and Sara, G. (1986). *Staircase Structure Influence on the seismic Behaviour of Reinforced Concrete Buildings*. Proceedings of the 8th European Conference on Earthquake Engineering, V3, 6.6/49-56, Lisbon.
21. Kemal, C. (1993). *Betonarme Çerçevelerden Oluşan Yapıların Depremdeki Davranışına Merdiven Taşıyıcılarının Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
22. Anıl, Ö. (1998). *Çok Katlı Yapılarda Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Merdivenlerin Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
23. Ahmed, I. (1989). *A Design Rational for Stair-Slabs Based on Finite Element Analysis*. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, BUET, Bangladesh.
24. Amanat, K.M. (1993). *A Design Rationale for Free Standing Stair Slabs Based on Finite Element Analysis*. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, BUET, Bangladesh.
25. Saquib, M.N. and Ahmed, S. (1982). *A Closer Look into the Design of Stairs*, Paper presented at the 27th Annual Convention of the Institution of Engineers (Bangladesh), Dhaka.
26. Ahmad, I.U. (1983). *Development of Improved Design Procedure for Stair Slabs*. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, BUET, Bangladesh.
27. Zahedi, M.Z. (1985). *Improved Design Procedure for Stair Slabs*. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, BUET, Bangladesh.
28. Baqi, A. and Mohammed, Z. (2013). Effect of U-turn in Reinforced Concrete Dog-legged Stair Slabs. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 7(21), 1060-1065.
29. Osteroth, H.H. (1988). *Zur Faltwerkwirkung bei Stahlbetontreppen*. Doctor's Thesis, Technischen Universität Carolo, Germany.
30. Bergman, V.R. (1956). Helicoidal Staircases of Reinforced Concrete. *American Concrete Institute Journal*, 53(10), 403-412.
31. Holmes, A.M.C. (1957). Analysis of Helical Beams under Symmetrical Loading. *Journal of Structural Engineering, ASCE, Proceedings*, 83(6), 1-37.

32. Young, Y.E. and Scordelis, A.C. (1958). An Analytical and Experimental Study of Helicoidal Girder. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Proceedings, 84(5), 1-29.
33. Scordelis, A.C. (1960). Internal Forces in Uniformly Loaded Helicoidal Girder. *American Concrete Institute Journal*, Proceedings, 56(4), pp. 1491- 1502.
34. Morgan, V.A. (1960). Comparison of Analysis of Helical Staircases. *Concrete and Constructional Engineering*, London, 55, 127-132.
35. Santathadaporn, S. and Cusens, A.R. (1966). Charts for the design of Helical Stairs with Fixed Supports. *Concrete and Constructional Engineering*, 46-54.
36. Reynolds, C.E. and Steedman, J.C. (1988). *Reinforced Concrete Designer's Handbook* (Tenth Edition). Newyork: E. & F.N. SPON, 386-391.
37. Ahmad, S. (1969a). *Curved Finite Elements in the Analysis of Solid, Shell and Plate Structures*. Doctor's Thesis, University College of Swansea, United Kingdom.
38. Ahmad, S. (1969b). *General Thick Shell Finite Element Program, Computer Program Report*, No.23, Department of Civil Engineering, University College of Swansea, United Kingdom.
39. Ahmad, S., Irons, B. M. and Zienkiewicz, O. C. (1970). Analysis of Thick and Thin Shell Structures by Curved Finite Elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2, 419-451.
40. Amin, S. and Ahmad S. (1998). *An Economic Design Approach for Helicoidal Stair Slabs based on Finite Element Analysis*. Advances in Civil and Structural Engineering Computing for Practice, Editor. B.H.V. Topping, Civil-Comp Press, Edinburgh, 241-246.
41. Ahmad, M.F., Baqi, A. and Arif, M. (2013). *Analysis of Helical Stair Slab*. 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, College of Engineering, Teerthanker Mahaveer University, 12-13.
42. Tabani, A. and Kumar, A. (2018). Finite Element Analysis of Helical Stair Slab. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, V(II), 6-9.
43. Wadud, Z. (2002). *A Simple Design Approach for Helicoidal Stair Slabs*. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, BUET, Bangladesh.
44. Maunder, E.A.W. (2005a). *Staircases as cantilevers or arches? – a question for limit analysis*, in C. Modena, P.B. Lourenco, P. Roca, eds, *Structural Analysis of Historical Constructions*, A. A. Balkema Publishers, 569-576.
45. Maunder, E.A.W. (2005b). *Limit Analysis Applied to Cantilever Stairs*, 13th ACME Conference, University of Sheffield, England.

46. Baratta, A. and Corbi, I. (2012). *Masonry Valuted Staircases: Interpretation of Equilibrium Paths*, in B.H.V. Topping, Proceedings of the Eleventh International Conference on Computational Structures Technology, Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland, 127.
47. Saenz, L.P. (1952). *Calculo de Estructururas Planes de eje Ortopoligonal*, Collage of Engineering, Havana University, Published by Compania Editora de libros y Folletos.
48. Deschappelles, B. (1958). *Analisis de los Momentos de Empotramiento en una Escalera de eja Ortopoligonal*. Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros (Havana), 173-177.
49. Benjamin, B.S. (1962a). Discussion on Slabless Tread Riser Stairs, *Journal of American Concrete Institute*, 59(6), 837-864.
50. Benjamin, B.S. (1962b). Analysis of Slabless Tread Riser Stairs, *Indian Concrete Journal*, 443-447.
51. Dianu, V., Istrate, M. and Momanu, Gh. (1971). Orthopolygonal Stairs, *Journal of International Civil Engineering*, II(1), 8-16.
52. Cusens, A.R. (1966). Analysis of Slabless Stairs. *Concrete and Constructional Engineering*, 61(10), 359-364.
53. TS EN 206. (2017). *Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
54. Türkiye Hazır Beton Birliği. *Beton Kullanıcıları için Teknik Bilgiler*, İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları.
55. TS EN 1008. (2003). *Beton - Karma suyu - Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
56. İnternet: Nanoment HP, LYKSOR Kimya A.Ş., Web: <https://www.lyksor.com/yeni-nesil-superakiskanlastiricilar/>, Son Erişim Tarihi: 7 Haziran 2019.
57. TS 13515 (2019). *TS EN 206'nın Uygulanmasına Yönelik Tamamlayıcı Standart*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
58. TS EN 708. (2016). *Çelik - Betonarme için - Donatı Çeliği*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
59. Hoffmann, K. (1986). *Applying the Wheatstone Bridge Circuit* (Third Edition). Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
60. Özbek, E. (2015). *Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Çerçeve Davranışı Üzerindeki Etkisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

61. ACI-318-08 (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
62. ACI 435R-95 (2000). *Control of Deflection in Concrete Structures*. American Concrete Institute, Reapproved.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAYA, Yüksel
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.09.1989, Kars
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (541) 270 3827
 e-mail : yksl.kayaa@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2013
Lise	Mustafa Kemal (Yabancı Dil Ağırlıklı) Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	İnşaPORT	Yazar/Yönetici
2015-2019	Tek-Ay Mühendislik	Statik Proje Koordinatörü
2015-2015	Termopet Akaryakıt	Yatırım Mühendisi
2013-2014	Ankara Erdem Yapı Denetim	Kontrol Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Kaya, Y., Özbek, E., Böcek, M. ve Aykaç, S. (2019, 7-8 Ekim). *Döşemesiz Betonarme Merdivenlerin Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi*. 7. Yapı Mekaniği Çalıştayı, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.

Hobiler

Spor, Doğa, Belgesel, Yağlı boya resim, Sosyoloji ve yaşam şekilleri, blog yazma



GAZİ GELECEKTİR..