



T.C.



EGE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

**YÜKSEK PERFORMANSLI BETON ELEMAN İÇİNE
GÖMÜLÜ ÇENTİKLİ ÇELİK LEVHANIN ÇEKME
ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

FAYSAL NORİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2020

T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

**Yüksek performanslı beton eleman içine gömülü
çentikli çelik levhanın çekme etkisi altındaki
davranışının deneysel olarak incelenmesi**

Faysal NORİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bengi ARISOY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Yüksek Lisans Programı

İzmir

2020

Faysal NORİ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Yüksek performanslı beton eleman içine gömülü çentikli çelik levhanın çekme etkisi altındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 27/04/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Üye : Dr. Öğr.Üy.Emin Hökelekli

Raportör Üye : Doç. Dr. Emre ERCAN

Danışman/Üye: Doç. Dr. Bengi ARISOY

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ETİK
KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yüksek Performanslı Beton ile İçine Gömülü Çelik Levha Arasındaki Sıyrılma Davranışının İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27/04/2020

Adı-Soyadı

Faysal NORİ

ÖZET**YÜKSEK PERFORMANSLI BETON ELEMAN İÇİNE GÖMÜLÜ
ÇENTİKLİ ÇELİK LEVHANIN ÇEKME ETKİSİ ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

NORİ, Faysal

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bengi ARISOY

Nisan 2020, 104 sayfa

Prefabrik yapılarda kompozit olarak kullanılan betonarme-çelik sistemlerde en çok görülen problemler düğüm noktalarında oluşmaktadır. Betonarme-çelik kompozit yapıda olası bu problemin biri çelik elemanın betonarme elemandan sıyrılmasıdır. Bu sıyrılma problemi yapı kapasitesini düşürmektedir. Bu tip kompozit yapıların düğüm noktasında oluşması muhtemel beton-çelik sıyrılma problemlerin incelenmesi, belirlenen beton-çelik davranışın olumsuz taraflarını minimuma indirmek için önlemlerin saptanması dolayısıyla yapı kapasitesinin artışının garanti etmesi önemlidir. Normal dayanımlı betonun içine gömülü çelik elemanlar kolaylıkla sıyrılabilmektedir. Normal dayanımlı beton yerine yüksek dayanımlı betonun kullanılması çelik elemanın sıyrılmasını önlemek için veya en aza indirmek için alınacak önlemlerden biridir. Dolayısıyla, çelik elemanın yüksek dayanımlı beton içinden sıyrılma davranışının incelenmesi önemli bir husustur. Bu çalışmanın amacı yüksek dayanımlı betonun kompozit yapılarda kullanılması çelik eleman ile arasındaki aderansa etkisi, çatlak gelişimi, düğüm noktasının davranışını incelemektir.

Bu tip elemanların uygulaması daha çok betonarme rüzgâr kulelerinde görülmektedir. Pervane ve motor bölümünü yerden güvenli bir yükseklikte çalışmasını sağlar. Kule, rüzgâr türbinlerinde nacelle ve rotoru taşır. Kuleler genellikle tüp şeklinde çelik, kafes yapılı veya betonarme olarak inşa edilir. Halat destekli direk tipi kuleler genellikle küçük türbin uygulamalarında kullanılır.

Kompozit elemanlardan oluşan rüzgâr türbinleri betonarme rüzgar türbinlerine nazaran yaklaşık %40 daha düşük zati ağırlığa sahip olabilmektedir. Yapının zati ağırlığı daha düşük olmak sismik yüklere karşı istenilen yapı sünekliğini oluşturmada iyi performans sağlamak ve aynı zamanda oluşacak muhtemel depremde daha az deprem yükü demektir.

Deneyisel çalışma için üç farklı numune hazırlandı. Numuneler iki farklı elemanlardan oluşmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş ve kirişin içine gömülü çelik levha. Hazırlanan bütün numunelerde betonarme kirişin geometrik özellikleri aynıdır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen çelik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır. Deney için kullanılan 20mm saç levhanın de geometrik özellikleri (levhanın üzerine açılan çentiklerin şekli) her üç numune için aynı olarak alındı. Yapılan çalışmayı güçlendirmek için sonlu elemanlar bilgisayar tabanlı Abaqus 2018 yazılım programı vasıtasıyla analitik bir çalışma da yapıldı. Yapılan her deneyisel ve analitik çalışma birbirleriyle karşılaştırıldı.

Anahtar sözcükler: Düğüm noktası, Yüksek dayanımlı beton, Kompozit yapı, Sıyrılma davranışı



ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SHAPED STEEL PLATE EMBEDDED IN HIGH PERFORMANCE CONCRETE ELEMENT

NORI, Faysal

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bengi ARISOY

April 2020, 104 pages

The most common problems in reinforced concrete-steel systems used as composites in prefabricated structures occur at the joints. One of this possible problem in reinforced concrete-steel composite structure is the stripping of the steel element from the reinforced concrete element. This peeling problem reduces the building capacity. It is important to guarantee the increase of the building capacity by examining the concrete-steel peeling problems that may occur at the node point of this type of composite structures and determining the measures to minimize the negative aspects of the determined concrete-steel behavior. Steel elements embedded in normal strength concrete can be easily stripped. The use of high strength concrete instead of normal strength concrete is one of the precautions to be taken to prevent or minimize the stripping of the steel element. Therefore, it is important to examine the peeling behavior of the steel element through high-strength concrete. The purpose of this study is to investigate the effect of high strength concrete in composite structures on the adherence with steel element, crack development, and the behavior of the joint.

Application of this type of element is mostly seen in reinforced concrete wind towers. It provides the propeller and motor section to work at a safe height from the ground. The tower carries nacelle and rotor in wind turbines. The towers are generally constructed as tubular steel, truss or reinforced concrete. Rope supported mast type towers are generally used in small turbine applications.

Wind turbines consisting of composite elements can have approximately 40% lower personal weight than reinforced concrete wind turbines. The lower weight of the structure means to provide good performance in creating the desired

structural ductility against seismic loads and also less earthquake load in the possible earthquake.

Three different samples were prepared for the experimental study. Samples consist of two different elements. High strength reinforced concrete beam and steel plate embedded in the beam. In all prepared samples, the geometric properties of the reinforced concrete beam are the same. High strength reinforced concrete beam consists of two different parts. The dimensions of the first part of the beam are 2000x150x250 mm, but the second part is the stuck part of the steel plate, which appears as an additional reinforced concrete piece on the same beam. The dimensions of the second part were taken as 1400x150x200. Since the concrete casting process of high strength reinforced concrete beam is in one time, the entire beam operates in one piece. The geometric properties (the shape of the notches opening on the plate) of the 20mm plate used for the experiment were taken as the same for all three samples. To strengthen the study, a finite element computer-based software Abaqus 2018 program was also included in a medial study. Each experimental and analytical study was compared with each other.

Key words: Joint, High performance concrete, Composite structure, Bond behavior.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL ONAY SAYFASI	III
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	IV
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Araştırmanın amacı ve kapsamı.....	1
2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
2.1 Yüksek performanslı beton/betonarme.....	2
2.2 Pull-out testleri.....	5
2.3 Kompozit elemanlar ve yapılar.....	13
3 KOMPOZİT ELEMANLARIN BİRLEŞMESİ.....	20
3.1 Deney malzemeleri ve özellikleri	20
3.2 Beton Basınç Deneyi	23
3.3 Beton Çekme Dayanımı.....	24
3.4 Kompozit Numunelerin Tasarımı	26
3.4.1 Detaylandırma Kuralları	26
3.4.2 Malzeme Sınırları.....	26
3.5 Betona Gömülü Kompozit Eleman.....	27
3.5.1 Minimum kurallar	27
3.6 Deney Elemanların Hazırlanması	27

3.6.1	Giriş	27
3.6.2	Deney Numunenin hazırlanması (KN).....	30
3.6.3	Deney Numunenin Hazırlanması (N-1)	35
3.6.4	Deney Numunenin Hazırlanması (N-2)	41
4	Deneylerin Yapılışı.....	46
4.1	Çekme sistemi	46
4.2	Deney Elemanının Kurulumu	48
4.3	Veri Toplama Sistemi	48
4.3.1	Deplasman Ölçerin Yerleşimi	49
4.3.2	Gerinim ölçer (strain gauge).....	50
5	Sonuç ve Değerlendirme	52
5.1	Kontrol Numune (KN).....	52
5.2	Deney Elemanı – 1 (N-1, Lifli).....	57
5.3	Deney Elemanı – 2 (N-2, Lifsiz).....	63
5.4	Yük birim şekil uzama	69
6	DENEY SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ	75
7	NUMERİK ANALİZ	79
7.1	Genel	79
7.2	Plastik beton hasar tanımlanması.....	80
7.3	Beton	81
7.3.1	Çekme gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi.....	81
7.3.2	Basınç gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi.....	82
7.4	Donatı çeliği.....	83
7.5	Deney elemanlarının sonlu eleman (FEM) modelleri ve analiz sonuçları	84
7.5.1	Model – 1 (Kontrol Numune).....	84
7.5.2	Model – 2 (Deney Elemanı – 2).....	88

8 SONUÇLAR	95
KAYNAKLAR DİZİNİ	98
TEŞEKKÜR.....	102
ÖZGEÇMİŞ	104



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Lifsiz beton numunelerin deneyden sonraki hali	23
Şekil 3.2 Lifli beton numunelerin deneyden sonraki hali	24
Şekil 3.3 Lifsiz beton numunelerin çekme testi sonrası durumları	25
Şekil 3.4 Lifli beton numunelerin çekme testi sonrası durumları	25
Şekil 3.5 Rüzgâr Türbin Yapı Sistemi	29
Şekil 3.6 Betonarme-Çelik Birleşim Noktası	29
Şekil 3.7 Kontrol numune	30
Şekil 3.8 Kontrol numunenin içine gömülü çelik levha.....	31
Şekil 3.9 Kontrol Numune donatı detayı planı.....	31
Şekil 3.10 Kontrol Numune kesit A-A.....	31
Şekil 3.11 Kontrol Numune kesit B-B	32
Şekil 3.12 Kontrol Numune donatı detayı.....	32
Şekil 3.13 Deney elmanın donatı yapısı.....	33
Şekil 3.14 Deney elmanın kalbı	33
Şekil 3.15 Deney elemanın kurlenmesi.....	34
Şekil 3.16 Deney elemanı görüntüsü.....	34
Şekil 3.17 Deney numune-1	35
Şekil 3.18 Deney elemanı - 1 içine gömülü çelik levha.....	36
Şekil 3.19 Deney Elemanı - 1 donatı detayı planı.....	36
Şekil 3.20 Deney Elemanı - 1 kesit A-A.....	37
Şekil 3.21 Deney Elemanı - 1 kesit A-A.....	37
Şekil 3.22 Deney Eleman - 1 donatı detayı.....	38
Şekil 3.23 Deney elemanı - 1 donatı yapısı.....	38
Şekil 3.24 Çentikli levha ile donatı arasındaki bağlantı.....	39
Şekil 3.25 DRAMIX® 5D 65/60BG Çelik Lif	40
Şekil 3.26 Lifli beton hazırlanması	40
Şekil 3.27 Deney eleman – 2.....	42
Şekil 3.28 Deney eleman - 2 içine gömülü çelik levha.....	42
Şekil 3.29 Deney Elemanı- 2 plan görünüşü.....	43
Şekil 3.30 Deney Elemanı - 2 A-A kesiti.....	43
Şekil 3.31 Deney Elemanı- 2 B-B kesiti	44
Şekil 3.32 Deney Elemanı- 2 donatı yapısı	44

Şekil 3.33 Deney elamanının donatı yapısı.....	45
Şekil 3.34 Çentikli levha ile donatı arasındaki bağlantı	45
Şekil 4.1 Deney Platformun Genel Yerleşimi.....	47
Şekil 4.2 Deney Elemanların Yükleme Düzenneği	48
Şekil 4.3 yükleme çevrimi	48
Şekil 4.4 Veri Toplama Cihazı.....	49
Şekil 4.5 Potansiyometrik Cetveller	49
Şekil 4.6 Gerinim ölçer (Strain Gauge)	50
Şekil 4.7 Kontrol numunede strain gauge lokasyonları.....	50
Şekil 4.8 Deney elemanı- 2'de strain gauge lokasyonları	51
Şekil 4.9 Gerinim Ölçerlerin yerleşimi	51
Şekil 5.1 Kontrol numunenin deney platformuna yerleşimi.....	53
Şekil 5.2 KN'nin L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi.....	53
Şekil 5.3 KN'nin L/2 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	54
Şekil 5.4 KN'nin tepe yük-deplasman eğrisi	54
Şekil 5.5 KN'nin levha yük-sıyrılma eğrisi	55
Şekil 5.6 KN'nin levha tepe yük-sıyrılma eğrisi	55
Şekil 5.7 KN'nin deney sonrası hali	56
Şekil 5.8 Kontrol numuneye ait çatlakların gelişimi	56
Şekil 5.9 N-1'in deney platformuna yerleşimi	58
Şekil 5.10 N-1'in L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	58
Şekil 5.11 N-1'in L/2 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	59
Şekil 5.12 N-1'in 3L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	59
Şekil 5.13 N-1'in tepe yük-deplasman eğrisi	60
Şekil 5.14 N-1'in levha sağ yanı yük-sıyrılma eğrisi	60
Şekil 5.15 N-1'in levha sol yanı yük-sıyrılma eğrisi.....	61
Şekil 5.16 N-1'in levha tepe yük-sıyrılma eğrisi.....	61
Şekil 5.17 N-1'in deney sonrası hali	62
Şekil 5.18 Deney elemanı- 1'in çatlak gelişimi.....	63
Şekil 5.19 N-2'nin deney platformuna yerleşimi	64
Şekil 5.20 N-2'nin L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	65
Şekil 5.21 N-2'nin L/2 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	65
Şekil 5.22 N-2'nin 3L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi	66
Şekil 5.23 N-2'nin tepe yük-deplasman eğrisi	66

Şekil 5.24 N-2'nin levha sağ yanı yük-sıyrılma eğrisi	67
Şekil 5.25 N-2'nin levha sol yanı yük-sıyrılma eğrisi	67
Şekil 5.26 N-2'nin levha tepe yük-sıyrılma eğrisi	68
Şekil 5.27 N-2'nin deney sonrası hali.....	68
Şekil 5.28 Deney elemanı- 2'nin çatlak gelişimi	69
Şekil 5.29 KN'nin alt donatı yük-birim uzama eğrisi	70
Şekil 5.30 KN'nin üst donatı yük-birim uzama eğrisi	70
Şekil 5.31 KN'nin çelik levha yük-birim uzama eğrisi.....	71
Şekil 5.32 N-2'nin alt donatı yük-birim uzama eğrisi	71
Şekil 5.33 N-2'nin üst donatı yük-birim uzama eğrisi	72
Şekil 5.34 N-2'nin levha orta kısmın yük-birim uzama eğrisi	72
Şekil 5.35 N-2'nin levha sağ kısmın yük-birim uzama eğrisi	73
Şekil 5.36 deney sonrası donatı ve levhanın deformasyonu	73
Şekil 5.37 deney sonrası donatıların deformasyonu.....	74
Şekil 6.1 Deney elemanlarının üzerinde oluşan ilk çatlakların lokasyonları	76
Şekil 6.2 Deney elemanların L/2 noktasındaki tepe yük-deplasman eğrisi	78
Şekil 6.3 Deney elemanların levha tepe yük-sıyrılma eğrisi.....	78
Şekil 7.1 ABAQUS'te betonun çekme altında gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi (Abaqus Manual, 2018).....	82
Şekil 7.2 ABAQUS'te betonun basınç altında gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi (Abaqus Manual, 2018).....	83
Şekil 7.3 Çelik çekme gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	83
Şekil 7.4 Model - 1 çelik levha (düz levha, Kontrol numune)	84
Şekil 7.5 Model - 1 donatı ve etriyelerin montajlanmış hali	85
Şekil 7.6 Model - 1 tüm elemanların montajı	85
Şekil 7.7 Model - 1 göçme öncesi hasar gelişimi.....	86
Şekil 7.8 yükleme 25-50kN arası gerilme simülasyonu.....	86
Şekil 7.9 yükleme 50-80kN arası gerilme simülasyonu.....	87
Şekil 7.10 Kontrol numune ile Model - 1'in yük-deplasman karşılaştırması	87
Şekil 7.11 Model - 2 çelik levha (çentikli levha, Deney Elemanı - 2) ...	89
Şekil 7.12 Model - 2 donatı ve etriyelerin montajlanmış hali	90

Şekil 7.13 Çentikli levha, donatılar ve etriyerlerin montajı.....	90
Şekil 7.14 Model - 2 tüm elemanların montajı	91
Şekil 7.15 Model - 2 ilk çatlak.....	91
Şekil 7.16 Model - 2 çatlak gelişimi	92
Şekil 7.17 Model - 2 göçme öncesi çatlak simülasyonu	92
Şekil 7.18 Model - 2 yükleme 50-80kN arası gerilme simülasyonu.....	93
Şekil 7.19 Göçme öncesi gerilme simülasyonu	93
Şekil 7.20 Gerilme simülasyonun yakınlaştırılmış hali	94
Şekil 7.21 Deney Elemanı - 2 ile Model - 2'nin yük-deplasman karşılaştırması.....	94



TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 Kullanılan çimentonun özellikleri.....	21
Tablo 3.2 Silis dumanın fiziksel ve kimyasal özellikler	22
Tablo 3.3 Çelik levhanın özellikleri.....	22
Tablo 3.4 Beton basıç deney sonucu	24
Tablo 3.5 yarmada çekme testi sonuçları	25
Tablo 3.6 Kontrol numunenin beton reçetesi	30
Tablo 3.7 DRAMIX® 5D 65/60BG çelik lifin karakteristik özellikleri .	39
Tablo 3.8 Deney eleman -1 beton reçetesi	41
Tablo 3.9 Deney elemanı- 2 beton reçetesi	43
Tablo 6.1 Deney elemanların ilk çatlak şekillerini özetleyen tablo	76
Tablo 6.2 Deney elemanlarına ait göçme şekillerini özetleyen Tablo	77
Tablo 7.1 Kontrol numune ile Model - 1 sonuçların larşılaştırılması	88
Tablo 7.2 Deney Elemanı - 2 ile Model - 2 sonuçların larşılaştırılması .	93



1 GİRİŞ

1.1 Araştırmanın amacı ve kapsamı

Önerilen tez çalışmasında; yüksek basınç dayanımlı beton içine gömülü bağlantı elemanı görevi gören, aderans kuvvetlerini arttırmak için çeşitli formlarda üzerine çentikler açılmış çelik levha ile arasındaki sıyrılma davranışı çekme etkisi altında deneysel olarak incelenecektir.

Yüksek taşıma kapasitesi gerektiren yapılarda kullanılan yüksek performanslı beton (özel beton) çelik bağlantı elemanları ile entegre edilerek istenilen taşıyıcı eleman imal edilmektedir. Yüksek performanslı beton ile çelik elemanların arasındaki aderans özel beton-çelik malzeme kullanılarak elde edilen imalatın dayanımını belirlemektedir. Bu çalışmada özel beton ile imal edilmiş kiriş elemanlara saplanmış çelik elemanlar çekilerek (pull out testi) sıyrılma davranışı incelenecektir.

Çalışma sonucunda beton dayanımı-çelik levha sıyrılma kapasitesi belirlenecek ve yüksek dayanımlı beton ile imal edilmiş kompozit elemanların ve/veya çelik-betonarme karma sistemlerin eğilme kapasitesinde yüksek performanslı beton-çelik levha sıyrılma davranışının etkisi incelenmiş olacaktır.

Deneysel çalışma için üç farklı numune hazırlandı. Numuneler iki farklı elemanlardan oluşmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş ve kirişin içine gömülü çelik levha. Hazırlanan bütün numunelerde betonarme kirişin geometrik özellikleri aynıdır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen çelik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır. Deney için kullanılan 20mm saç levhanın de geometrik özellikleri (levhanın üzerine açılan çentiklerin şekli) her üç numune için aynı olarak alındı.

2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Yüksek performanslı beton/betonarme

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artması ile şehirlerde daha yüksek katlı binaların yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Geleneksel betonarme tipi yapılar bu ihtiyacı belli bir oranda karşılamıştır. Ancak daha yüksek katlı gökdelenleri daha yüksek dayanımlı beton/betonarme ile yapılması gerekmektedir. Beton teknolojisinin gelişmesi ile birlikte beton çok yüksek basınç dayanım kazanabilmektedir. Yüksek performanslı beton ince ve yüksek dayanımlı agrega ve çok düşük su/çimento oranı ile üretilir.

(**Birol** ve Yavaş, 2017) ultra yüksek performanslı betonarmeden yapılmış kirişlerin eğilme davranışını hem deneysel hem sayısal olarak araştırmak istemişler. Deneysel çalışmalarında düşük ve yüksek oranda donatı ile hazırlanmış numuneleri test etmişler. Numuneleri dört noktalı eğilme altında test etmişler. Sayısal çalışmalarında ise yine ultra yüksek performanslı beton ve normal performanslı beton kullanmışlar ve kesit analizlerini yapmışlar. Yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmayı karşılaştırmış. Araştırma sonucu ultra yüksek performanslı beton normal performanslı betona nazaran eğilme sünekliği, moment kapasitesi ve eğilme rijitliği gibi parametreler açısından çok önemli avantaj sağladığını görmüşler. Yüksek donatı oranına sahip numuneler de düşük donatılı numunelere göre de iyi sonuç verdiğini gözlemlemişler ve TS 500’de ultra yüksek performanslı betonlar için istenilen donatı sınırını aşılmasına rağmen yeterli dayanımı sağladığını görmüşler.

(**Türker** vd, 2016) deneysel olarak lifli ultra yüksek performanslı betonarme kirişlerde eğilme davranışı açısından etkin çelik lifin araştırması yapılmışlar. Hazırlanan beş adet numunelerin biri kontrol numune olarak lifsiz kalan numuneleri ise farklı lif tipi ile yapmışlar. Yaptıkları deneysel çalışma sonucu bütün lifli numuneler lifsiz numune ’ye (kontrol numune) nazaran ani gevrek kırılmada daha etkili olduğunu görmüşler. Yer değiştirme sünekliği bakımından bütün numunelerde (lifli ve lifsiz) aynı kalmış ve lifli numuneler herhangi bir avantaj sağlamamış. Numunelerin yük taşıma kapasitesi açısından

yine lifli kirişlerde artış görmüşler ve son olarak da çatlak genişliğini sınırlama açısından da lifli numuneler önemli avantaj sağlamış.

(Shen et al., 2016) Son yıllarda inşaatta yüksek dayanımlı beton uygulaması çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek dayanımlı beton, bir inşaatın bozulmasında ve arızasında ilk adım olabilen erken yaşlarda çatlamaya eğilimlidir. Güçlendirme (çelik donatı) yüksek dayanımlı beton yapılarında erken yaştaki çatlakların olumsuz etkisini önlemenin olası bir yoludur. Erken yaş bağlanma davranışı, yapıların çatlama genişliğini belirlemek için gereklidir. Çelik çubuklar ve normal dayanımlı beton arasındaki bağ davranışı incelenmesine rağmen, çelik çubuklar ile yüksek dayanımlı beton arasındaki erken yaşta bağlanma davranışı üzerine çalışmanın hala eksik olduğunu belirterek bu konuda araştırmacılar çalışma yapmak istemişler. Yaptıkları çalışmada, pull-out testi kullanılarak çelik çubuklar ve farklı yaşlardaki yüksek dayanımlı beton arasındaki bağ davranışı hakkında deneysel bir araştırma sunmuşlar. Yapılan araştırmanın sonuçlarını bu şekilde özetlemek mümkün (1) çelik çubuklar ile yüksek dayanımlı beton arasındaki erken yaş bağ dayanımı yaş arttıkça artmış; (2) çelik çubuklarla yüksek dayanımlı beton arasındaki bağ dayanımı, beton dayanımının artmasıyla artmış ve çelik çubuklar ile yüksek dayanımlı beton arasındaki erken yaş bağ dayanımı için bir model önermişler; (3) beton basınç dayanımı arttıkça bağ kuvvetine karşılık gelen kayma azalmış ve bağ kuvvetine karşılık gelen erken yaş kayması için bir model önermişler; (4) bina performans değerlendirmesi (BPE) modeline dayanarak, çelik çubuklar ile yüksek dayanımlı beton arasındaki erken yaşta bağlanma gerilme-kayma ilişkisi için bir tahmin modeli, BPE modeline dayanarak, test sonuçları ile iyi bir uyum sağladığını görmüşler.

(Roy et al., 2017) Ultra Yüksek Performanslı Betona gömülü çelik donatı çubuğunun çekme davranışı üzerindeki fiber hacmi bölüntünün ve fiber oryantasyonunun etkisini değerlendirmek için deneysel bir araştırma yapmışlar. Deneyler pull-out gerilmeleri ve düşük beton kalınlığı altında kalan örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiş. En yüksek pull-out yükünün hacmi bölüntüdeki artışla arttığını görmüşler. Hacmi bölüntünün %2'de sabit tutulması durumunda, inşaat demiri yönüne göre dik ve paralel fiber yönelimli numunelerin sırasıyla

en yüksek ve en düşük çekme yükünü kaydettiği gözlemlenmiştir. Son olarak, bağ gücü değerlerini tahmin etmek için ampirik bir model denklemi araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir.

(McSwain et al., 2018) Ultra yüksek performanslı betonun fiber takviyesi betona tokluk ve süneklik katılmak için gereklidir, aksi halde çok kırılgan bir matrise sahip. Beton matrisinden çıkan liflerin hareketi, enerji dağıtımının ana mekanizmalarından biridir. Yaptıkları deneysel çalışmanın amacı, beton matrisindeki bir sıkıştırma gerilmesinin fiber pull-out davranışına etkisidir. Ultra yüksek performanslı beton matrisine sınırlayıcı kuvvetler uygulamak için deneysel bir karşılaşma takvimi getirdiler ve fiberi ultra yüksek performanslı beton matrisinden çekmek için pull-out testi kullanılmış. Yaklaşık 90 pull-out testi gerçekleştirilmiştir. Tam kuvvet-çekme uzunluğu verileri kaydedilmiş ve analiz etmişler. Sonuçlar, kısıtlama gerilmelerinin hem tepe kuvveti hem de çekme kuvveti çalışmaları ile pozitif bir korelasyona sahip olduğunu göstermiş, ancak çekme kuvveti çalışması sadece ilk birkaç milimetre çekme için geçerli olduğunu görmüşler. Tüm yanıt göz önüne alındığında, çekilme işi ile korelasyon ortadan kalktığını gözlemlemişler. Bağ kırılma enerjisi ve sürtünme etkilerini izole etmek için analitik bir çekme modeli araştırmacılar tarafından kullanılmış. Modeli deneysel çalışmadan elde edilen verilere sığdırdıktan sonra bağ kırılma enerjisinin etkilenmediğini, ancak sürtünme gerilmesinin yüksek kısıtlama gerilmeleri için %60'a yükseldiğini gözlemlemişler.

(Kubissa et al., 2016) yaptıkları deneysel bir araştırmada yüksek performanslı beton (HPC) üretmek için iki atık malzeme kullanma olanağını sunmaktadırlar. Karışımları hazırlamak için 4-16 mm'lik fraksiyondan geri dönüşümlü beton agrega (RCA) ve F sınıfı uçucu kül (kömür yakma santralinden) kullanılmış. Geri dönüşümlü beton agrega ile yapılan betonlar, 300 kg / m³ farklı tip çimento ve İlave Çimento Malzemesi (SCM) ile karıştırılmış. Beton örnek numuneleri mekanik özellikler ve dayanıklılık ile ilgili bazı özellikler için test etmişler. 28 gün sonra, 59.5 MPa'a kadar basınç dayanımı değerleri ve 90 gün sonra 71.8 MPa elde etmişler. Bunun yanı sıra, betonarme yapıların dayanıklılığını önemli ölçüde etkileyen bu özelliklerle ilgili iyi değerler elde ettiklerini yazılarında belirtmişler.

2.2 Pull-out testleri

Deneysel çalışmalarda çelik ile beton/betonarme arasındaki bağ gücü ve davranışını araştırmak için ister ticari ister akademik amaç için çalışma yapan araştırmacılar tarafından en çok kullanılan bir deney yöntemidir. Bu yöntem ile çelik donatı veya çelik profil eleman beton/betonarme elemanın içinden çekilerek (pull-out) aralarındaki aderans kontrol edilmektedir.

(**Tai** ve El-Tawil, 2017), deneysel bir çalışma ile yerleştirme eğimi ve çekme hızının, ultra yüksek performanslı bir beton (UHPC) matrisine gömülü yüksek mukavemetli çelik liflerin davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlar. Çalışmalarındaki deneysel değişkenler, lif tipi (düz pürüzsüz, çeneli ve bükülmüş), sıfır ila 45° arasında değişen yerleştirme eğimi ve 0.018 mm / sn'den 1800 mm/sn arasında değişen yükleme hızıdır. Deney sonucu ile UHPC'nin içinde gömülü fiber geometrisinin etkisi, gömülme eğimi ve çekme oranları incelenmesi hedeflenmişti. Deney sonucu, çekme direnci, eğim açısı ve yükleme hızı bir noktaya kadar arttığını, bunun ötesinde, lifin çıkış noktasında yayılan matris davranışı domine edildiğini ve çekilme direncini olumsuz etkilediğini gözlemlemişler. Düz pürüzsüz lifler için yük ve enerji yayma kapasitelerinin, genellikle yükleme hızı ve eğim açısı ile 45°'ye kadar arttığı görülmüştür. Çekme enerjisi dağılımı, çekme hızına paralel bir şekilde yükleme hızına ve eğim açısına duyarlıdır. Bağlanmış ve bükülmüş lifler daha az tutarlı eğilimler sergilerler ve tepe yükleri ve enerji yayılma kapasiteleri, 0° ila 30° arasında değişen eğim açılarında meydana gelir. Düz yumuşak lifler, yükleme hızına en hassas tepkiyi gösterir ve 2.32'ye varan bir yük kapasitesi dinamik artış faktörü (DIF) elde eder. DIF'ler genellikle bağlanmış lifler için daha azdır ve özellikle daha yüksek eğim açıları için bükülmüş lifler için 1.00'ın altına düşmektedir.

(**Nieuwoudt** ve Boshoff, 2016) Fiberle Donatılı Betonun kullanımı ve popüleritesi, çatlak oluşumuna karşı direnç göstermesi, çatlak genişlemesini kontrol altına alması ve betonun mekanik özelliklerini iyileştirmesi nedeniyle sanayide artmaktadır. Fiberle Donatılı Betonun kısa süreli yükleme koşullarına maruz kalmasının mekanik davranışı hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Uzun süreli yükleme davranışı üzerine çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, bu

konuda hala az bilgi vardır, özellikle çatlak halindeyken. Fiberlerin çatlak genişlemesine karşı direnç göstermesine rağmen, çatlağın sürekli yükleme altında önemli ölçüde açıldığı ortaya çıktı. Bu bilinmeyen davranış, zamana bağlı fiberin çekilmesi ile ilişkilidir. Bu konuların eksikliğini göz önünde bulundurarak yaptıkları çalışmada, betona gömülü tek kancalı uçlu çelik fiberlerin pull-out davranışı hem sürekli yükleme hem de farklı yükleme oranları durumunu pull-out işlemi altında incelemişler. Sürekli yük testleri 249 günlük bir süre boyunca yapılmış ve sürekli yük maksimum (kısa süreli) ara yüzey kayma direncinin %30 ila %85'i arasında değiştiğini görmüşler. Son olarak hem uzun vadeli hem de kısa süreli zamana bağlı tek lif çekme davranışına benzeyen bir model önermişler.

(Durmuş vd., 2006) yaptıkları bir deneysel çalışmada yüksek performanslı beton ile geleneksel beton içinde gömülü farklı çaplardaki düz ve nervürlü donatının beton ile arasındaki aderansını TS500 2000 “*Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*” ile karşılaştırmalı bir şekilde incelemişler. Yapılan deney sonucu yüksek performanslı beton-donatı aderansı geleneksel beton-donatı aderansına göre daha az görülmüştür. 20Ø kenetleme boyu geleneksel beton ile düz yüzeyli donatı için uygun görülmemektedir fakat aynı kenetleme boyu geleneksel beton ile nervürlü donatı arasında yeterli aderansı sağlayabilmekte. Yüksek performanslı betonlara gelecek olursak, 10Ø kenetleme boyu yüksek performanslı beton ile düz yüzeyli donatı için yeterli olmayıp 20Ø kenetleme boyu tavsiye edilmiştir ancak yüksek performanslı beton ile nervürlü donatı için 20Ø kenetleme boyu gereğinden fazla olup 10Ø yeterli olmaktadır. Kısacası, TS500 2000’de geleneksel betonla donatı arasındaki uygun aderansı sağlanabilmek için nervürlü donatılar için 20Ø ve düz yüzeyli donatılar için ise 40Ø kenetleme boyu yeterli olmaktadır. Yüksek performanslı betonlar için ise düz yüzeyli donatı için 20Ø ve nervürlü için 10Ø kenetleme boyu yeterli aderansı elde ettirir.

(Döndüren vd, 2006) yapılan deneysel çalışma ile nervürlü donatı ve düz donatı ile C16 ve C25 sınıfı betonlar arasındaki aderansını incelemişler. Hazırlanan 16 farklı numuneler 4 gruba ayrılmıştır. Numunelerde etriyenin önemini görebilmek için 8 numunede etriye kullanılmış 8 numunede ise

kullanılmamıştır. Betonların aderans davranışını etkileyen etkenler beton sınıfı, donatı tipi ve sınıfı, enine donatı ve kenetleme boyu olarak belirlenmiştir. Deney sonucu beton-donatı arasındaki aderansın en önemli faktörü beton ve donatı özellikleri olarak belirlenmiştir. Beton sınıfı yüksek ve donatı tipi nervürlü olan numunelerde kopma meydana gelmiştir. Beton sınıfı düşük ve düz donatı tipi kullanılan numunelerde ise sıyrılma meydana gelmiştir. Donatı kalitesi ve beton sınıfın yükselmesiyle numunelerde aderansın artması gözlemlenmiştir. C16 ile C25 beton kullanılan numuneler arasında %40 aderans artması görülmüştür. Etriye kullanılan numuneler de etriye kullanılmaya numunelere nazaran daha yüksek aderans direncine sahip olduğu görülmüştür ve kenetleme boyun artması da numunelerin beton-donatı arasındaki aderansına olumlu yönde etkilemektedir.

(Diab et al., 2014) yaptıkları çalışma ile normal beton ve yüksek mukavemetli betonun nihai bağ gerilmesini belirlemek istemişlerdir. Çalışma iki aşamada yapılmış. Birinci aşamada iki farklı model kullanarak betonların bağ davranışını incelemişler. İlk modelde beton numunesini basınca tabi tutularak tekil pull-out deneyi uygulamışlar. İkinci modelde ise beton numunesini çekmeye maruz bırakarak çift pull-out deneyi uygulamışlar. Dolayısıyla bu aşamada yapılan deney ile tekil pull-out deneyi ile çift pull-out deneyi arasında bir karşılaştırma yapılmak istenmiştir. Bu modellerin davranışını karşılaştırmak için, farklı kaba agrega tipleri, farklı W / C oranları ve farklı çimento içerikleri kullanılarak farklı basınç dayanım seviyeleri göz önünde bulundurulmuştur. İkinci aşama, tasarım nihai bağ stresini değerlendirmek için çift pull-out deneyi kullanarak yüksek dayanımlı betonun bağ dayanımı çalışmalarına odaklanmıştır. Bu aşamada, beton basınç dayanımı, çubuk çapı, beton kaplama, gömülü uzunluk ve eğilme öncesi çatlak uzunluğunun etkisi incelenmiştir. Test sonuçlarına dayanarak, normal ve yüksek dayanımlı betonun tasarım stresini değerlendirmek için önerilen bir kavram kabul edilmiş. Tasarım nihai bağ gerilme hesaplamak için denklemler ve gerekli gelişme uzunluğu önerilmiştir.

(Sulaiman et al., 2017) Betonarme çubukları ve beton arasındaki etkileşim, betonarme (RC) elemanlarının nihai arızasını öngörmek, donatı çubuklarının çevresindeki betonla bağ ve ankraj davranışını anlamak için

deneysel bir çalışma yapmışlar. Beton tipi, beton dayanımı, donatı çapı, donatı deformasyonu, döküm sırasındaki çubuk konumu, çelik çubuğun geometri yapısı ve donatıların veriminden etkilenen betonarme yapı içindeki bağ direnci beton ve donatı arasındaki bağ etkileyen faktörler olarak belirtmişlerdir. Bağ kayma (bond-slip) ilişkisini, yapışma gerilmesinin kimyasal yapışma, sürtünme ve mekanik kilitlemeden oluştuğu, kayma ise beton ile ilgili donatıların görece yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Harici aktif hapsedme (confinement) uygulaması, sınırlı numunelerin nihai bağlanma mukavemetini önemli ölçüde arttırdı. Sınırlandırma, beton genişlemeden hemen önce beton çekirdeğe önceden gerilmiş yanal kısıtlama verir. Yanal gerilmelerin etkisi beton çekirdeğin içinde hapsedme basıncı verir ve beton bağlanma mukavemetini ve performansını artırır. Çevresel çekme gerilmesinin neden olduğu ayrılma çatlaklarının, kolayca nüfuz eden beton örtünün içine girmesi önlendi ve donatıyı çevresel betona düzgün bir şekilde yeniden dağıtıldı, böylece ani ayrılma bozukluklarından kaçınıldı. Araştırmacıların ankraj testi için basit bir şekilde desteklenmiş kiriş üzerinde 4 noktalı yükleme kullanırken bağlanma testi için pull-out testini kullanma eğiliminde olduklarını görmek mümkün.

(Alkaysi ve El-Tawil, 2017) ultra yüksek performanslı beton ve donatı arasındaki etkileşim üzerine çalışmaların literatürde kısıtlı olduğunu düşünerek bu konuda deneysel bir çalışma yapmışlar. Deneyde düz ve epoksi kaplı çubuklar kullanılarak bir seri pull-out testi yapılmıştır. Testler, bağlanma stresinin çubuğun kısma gömülü olduğu numunelerde arttığını ve ultra yüksek performanslı beton 'da % 1 fiber hacmi içeriğine karşı % 1 elyaf hacmi içeriğinin bağ kuvvetinde yaklaşık % 24 oranında bir azalmaya yol açtığını göstermektedir.

(Torre-Casanova et al., 2013) Yaptıkları bir çalışmada, beton-çelik bağ gerilme-kayma davranışını araştırmak için pull-out testlerine dayanan deneysel bir araştırma sunmuştur. Çalışmada, maksimum bağ gerilmesi üzerindeki pasif (beton kaplama) ve aktif (dış baskı) sınırlandırma etkilerinin sınırlarını gözlemlemeye amaçlamışlar. Deneysel sonuçlar, bağ kuvvetinin gelişimini öngörmek için sayısal bir yaklaşımla ilişkilendirilmiş ve ayrılma arızasını (beton gerilme özelliklerinin işlevi) ve pull-out arızasını (sıkıştırıcı beton özelliklerinin işlevi) ayırt eden denklemler önerilmiştir. Aktif sınırlandırma dikkate

alındığında, sayısal ve deneysel sonuçlar, yüksek beton kaplamalar için bağlanma dayanımı üzerinde önemli bir etki göstermedi.

(**Delhomme** et al., 2015) Yaptıkları deneysel çalışmada, yerinde döküm betonarme bir blokta büyük bir kısmı gömülü olan ankrajlar üzerinde pull-out testlerinin sonuçlarını ortaya koymaktadırlar. Ankraj, dört nervürlü çubuğa veya düz başlı saplamalara kaynaklanmış bir ankraj plakadan oluşmaktadır. Deneysel çalışmada çalışan parametreler yükleme tipi (statik veya döngüsel), kenar mesafesi, beton bloğun çatlama durumudur. Başlı çubuklara veya nervürlü çubuklara sahip ankrajlar, ilk tasarımlarıyla uyumlu olarak hazırlanmıştır. Ancak, başlı ankrajlardaki ebatta bir optimizasyonun, kurulumlarını iyileştirmek için öngörülmüş. Deneysel çalışmanın tasarımını geliştirmek için sayısal modellerin geliştirilmesini sağlayan bir veri tabanı araştırmacılar tarafından sağlanmıştır. Son olarak donatılı ankraj çubuklarına ilişkin, tasarımları, daha derine gömülü nervürlü çubuklar için bağ gerilmelerinin daha iyi tahmin edilmesiyle geliştirilebileceğini söylemektedirler.

(**Mousavi** et al., 2017) Kendinden konsolidasyonlu betonda çelik çubukların yapışma dayanımını ve gelişme uzunluğunu değerlendirmek için özel bir model literatürde eksikliği ve normal betona gömülü çelik çubuk için mevcut denklemler kendinden konsolidasyonlu betonda için verimli ve uygulanabilir olmadığına kanaatine varan Mousavi ve çalışma arkadaşları daha kesin ve verimli modeller sunmak için deneysel ve teorik bir çalışmaya başvurmuşlar. Yaptıkları çalışmada literatürde bulunana bazı çalışmaların pull-out testlerini yeni öngörülen denklemlerini sunmak için kullanmışlar. Mevcut denklemlerin aksine, önerilen modeller veri tabanına kabul edilebilir bir uyum göstermektedir. Ayrıca, önerilen modellerin doğruluğunu değerlendirmek için çalışmalarında doğrudan pull-out testleri yapmıştır. Hazırladıkları deneysel modellerin doğruluğunu kontrol etmek ve performanslarını mevcut denklemlerle karşılaştırmak için yürütülen ek deneysel çalışma mevcut denklemlerin aksine, yeni modeller, kendinden konsolidasyonlu betonda donatı bağ gücünü ve geliştirme süresini doğru bir şekilde tahmin edebiliyor.

(**Won et al.**, 2015) hazırladıkları çalışmada, ark tipi çelik fiberin kompozit bir elemanda çekme davranışına bağlı bağ mekanizmasını araştırmışlar. Öngörü modeli geliştirme ve bağ mekanizması analizi, aynı gerilme mukavemetine sahip kanca uçlu tip çelik fiber üzerinde paralel olarak gerçekleştirilmiş. Pull-out testlerini tek taraflı tek fiber yöntem kullanılarak yapmışlar. Ark tipi çelik fiberin, saydam bir epoksi matris kullanılarak pull-out test sonuçlarından bağlanma mekanizması analizi, plastik bükme veya sürtünme kuvvetleri altında pull-out yükünde şiddetli bir düşüş olmadan pull-out direncinin korunduğunu doğrulamış; bu kuvvetler, tamamlanıncaya kadar tüm pull-out aşamalarında aynı anda hareket etmiş. Elde ettikleri deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, kemer tipi çelik fiberin pull-out davranışı üç çekme aşamasına ayırmışlar: bağlama ve pull-out başlatması, bükülme bölümünden geçerken maksimum pull-out yükünün elde edilmesi ve son olarak fiberin kemerden geçtikten sonraki aşama. Kemer tipi çelik fiberin pull-out davranışı için önerilen model, bir çimento matrisi kullanılarak bir pull-out testi ile doğrulanmış. Maksimum kopma direnci ve ara yüzey sertliği, tahmin modeli tarafından verilen değerlerden sırasıyla % 2.0 ve % 17.0 arasında değişmiş ve üç aşamalı çekilme davranışı ile örtüştüğünü gözlemlemişler.

(**Bilek et al.**, 2017) Hazırladıkları deneysel çalışmada, çelik donatı ile üç tip beton arasındaki bağlanma gücü tartışılmaktadırlar. Deneyde üç tip beton numune hazırlandı. İlk tip beton numune Portland çimentosu bazlı numuneler. Bu tip için iki beton numune hazırlandı - ilki düşük çimento içerikli, ikincisi ise nispeten yüksek çimento içerikli. İkinci tip beton numune, cüruf içeren alkali aktif beton numunelerdi ve bir sodyum ve potasyum hidroksit karışımı ile aktifleştirildi. Benzer iki beton numuneler hazırladılar - ilki düşük miktarda bağlayıcı içeren ve ikincisi yüksek miktarda bağlayıcı içeren numuneler. Son olarak, üçüncü tip beton, cüruf ve Portland çimentosu içeren hibrit çimentonu kullanarak tasarladılar ve sodyum karbonat ile aktif ettiler. Daha önceki numunelerde olduğu gibi bu tip için de benzer beton numuneler hazırladılar. Pull-out testi kullanarak çelik donatı ile beton blok arasındaki bağlanma gücü ölçmüşler. Genellikle, alkali aktif betonun, Portland çimentosu bazlı betona kıyasla çelik ile arasında daha iyi bir bağ olduğu görüldü. Hibrit çimento esaslı beton ile çelik arasındaki bağın değerlendirilmesinin çok zor olduğunu belirterek

deney sonuçların sadece çelik ve beton arasındaki bağın değerlendirilmesi için değil, aynı zamanda alkali ile aktive olan veya hibrit çimento bazlı çelik-fiber betonlarının geliştirilmesi için de önemli olduğunu belirterek yaptıkları deneysel çalışmanın önemini bir kez daha vurguladılar.

(**Song et al., 2015**) yaptıkları bir araştırmada beton ve çelik arasındaki bağ-kayma ilişkisini ölçmek için erken yaşta beton üzerine konsantrik pull-out testleri yapmışlar. Farklı beton dayanımları ve beton kaplama-kalınlığı-çelik-çubuk çapı oranlarını dikkate alarak çalışmalarını yapmışlar. Yapışma mukavemetinin beton basınç dayanımı ve kaplama-kalınlığı-çelik-çubuk çapı ile orantılı olduğu tespit edilirken, kayma ile yüksek gerilime ve şekil parametreleri beton basınç dayanımı ve kaplama-kalınlığı-çelik-çubuk çapına olan etkisinin az olduğunu görmüşler. Araştırmacılar çalışmaların kapsamında tam bir bağ-kayma modeli kurdular ve literatürde bulunan benzer deneysel çalışmaların test sonuçlarına göre doğruluğunu ispat etmişler.

(**Prince et al., 2013**) hazırladıkları deneysel çalışma ile geri dönüşümlü beton agrega ile deforme edilmiş çelik çubuk arasındaki bağ davranışını araştırmak istemişler. Hazırladıkları numunelerde 12 mm, 16 mm, 20 mm ve 25 mm çapında deforme edilmiş çelik çubuk ve farklı yüzde miktarı (%0, %25, %50, %75 ve %100) ile geri dönüşümlü beton agrega kullanmışlar. Geri dönüşümlü beton agrega partiküllerinin iç sertleştirme etkisine bağlı olarak, ölçülen bağ gerilmesinin betonun ilgili basınç dayanımı, normalleştirilmesiyle elde edilen bağ kuvvetlerin, tüm geri dönüşümlü beton agrega değişim seviyelerinde, geri dönüşümlü agrega betonu için normal beton agrega' ya kıyasla daha yüksek olduğunu varsaymışlar. Dahası, bağ kuvvetleri geri dönüşümlü beton agrega değişim seviyeleri ile arttığını ve en yüksek değerler geri dönüşümlü beton agrega ile doğal kaba agreganın %100 değişimi ile elde edildiğini görmüşler. Deney verilerinin regresyon analizine dayanarak, geri dönüşümlü agrega betonu ile deforme olmuş çelik çubuklar arasında ampirik bir gerilme-kayma bağ ilişkisi önerilmiş ve 12 mm, 16 mm, 20 mm ve 25 mm çapında deforme çelik çubukların geri dönüşümlü agrega betonuna gömülmüş ankraj uzunlukları, doğal agrega betonundakiyle aynı olabileceğini önermişler.

(**Alberti et al., 2016**) yaptıkları literatür çalışmaları sonucu Poliolefin esaslı makro fiberler, betonun yapısal olarak betonarme takviyesi için iyi performans gösterdiklerini, betonarme çeliklerinkine benzer ancak kimyasal olarak stabil olduklarının kanıtlanmış olduğunu ve son yıllarda çimentolu matrislere yapışmaları, yüzey işlemleri ve kabartmalı şekiller ile geliştirilmiş olduğunun kanaatine varmışlar. Bununla birlikte, pull-out davranışları ve mikro yapısal arayüz özellikleri ile ilgili araştırma eksikliğini fark ederek bu alanda yapılacak mühendislik deneysel çalışmada yapılmasının önemini vurgulayarak bu konuda çalışma yapmışlar. Yaptıkları deneysel çalışmada, test makinesi bir video-extensometre cihazı ile senkronize edilerek pull-out testlerini tasarlamışlar. Testleri, çimento harcı üzerine gömülmüş poliolefin fiberler ve kendiliğinden yerleşen beton numuneler ile yaptılar. Numunelerde altı gömülü uzunluk kullandılar; bunların eğimi 0 derece ile 60 derece arasında değişmekteydi. Deney sonuçları ile, pull-out yükü ve proseste emilen enerji hakkında önemli bilgiler sağlamışlar. Mikroyapısal analizlerle poliolefin ve çimento hamuru arasındaki arayüzün ayrıntılı bir görünümünü sağlamışlar. kalsiyum-silika-hidrat (CSH) jeli ve poliolefin fiberler arasındaki süreklilik, poliolefin fiberler ile çimento hamuru arasında, boşluklar veya süreksizlikler olmadan, sağlam bir arayüz sergilemeyi başarmışlar.

(**Matsumoto et al., 2018**) Aynı anda sıvı su mevcudiyetinde yorulma yüküne maruz kalan deforme olmuş çubukların pull-out davranışını araştırmak için yorulma pull-out testleri yapılmışlar. Deneysel parametreler sıvı suyun varlığı / yokluğu, matris tipi, yükleme şekli ve mekanik bir ankrajın varlığıydı. Deforme olmuş çubuğun etrafındaki matrisin, sıvı su ve yorgunluğun karmaşık etkileşimi ile tortuya dönüştürüldüğü ve deforme olmuş çubuğun çekme arızasının, makro çatlaklara eşlik etmeden meydana geldiği ve böylece, yorgunluk ömrünü önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmişler. Tortu oluşumu ile ilişkili olan kopma başarısızlığı nispeten düşük bir yük seviyesinde meydana gelmiş ve su-çimento oranı yüksek ve ters yük altında olduğunda kopma başarısızlığı meydana gelme eğiliminde olduğunu görmüşler. Diğer bir bulgu, mekanik ankrajların tortu dönüşümünü azaltma etkisine sahip olması ve geri çekilme arızasını önlemede faydalı etkiye sahip olması ile yaptıkları deneysel çalışmanın önemini vurgulamışlar.

(Al-Shannag ve Charif, 2017) yaptıkları deneysel alıma ile doğal hafif agregalar ile yapılan yapısal betona gömülmüş elik donatı çubukların bağ özellikleri, kübik numuneler üzerinde pull-out testleri kullanılarak incelenmişler. ubuk çapının ve beton basınç dayanımının etkisi göz önüne alınarak bir dizi 30 numune hazırlamışlar. Test sonuçları incelenen yapısal hafif betonların yük kayma davranışının, literatürde bildirilen betonların davranışlarıyla oldukça iyi karşılaştırıldığını ve basınç dayanımına, çubuk boyutuna ve gömülü uzunluğa bağlı olduğunu göstermiş. Yapısal hafif betonların bağlanma dayanımı, daha yüksek beton sıkıştırma dayanımı ile artmış, ancak çubuk çapı arttıkça azalmış. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) bağ denklemleriyle ölçülen bağlanma dayanımının karşılaştırılması, tüm durumlar için deneysel bağlanma dayanımı değerlerinin tasarımdakinden daha yüksek olduğunu göstermiş. Bununla birlikte, sonuçlar, normal ağırlığındaki beton bağ formüllerini hafif betonlara uygularken dikkatli kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca, yaptıkları deneysel çalışma doğal hafif agregaların, betonarme elemanların tasarımı için umut verici ve uygun maliyetli bir malzeme olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuş.

2.3 Kompozit elemanlar ve yapılar

Yapı taşıyıcı sisteminde aynı anda betonarme yapı elemanları ile birlikte hem elik yapı elemanları, hem de ahşap yapı elemanları gibi farklı yapı elemanlarının birlikte kullanılarak tasarlanıp yapıldığı binalardır.

Farklı yapı elemanları, aynı taşıyıcı eleman üzerinde aynı anda birlikte kullanılabildiğı gibi, Aynı yapıda olmak üzere farklı elemanlar olarak da kullanılabilmektedir. Örneğin, binanın bir kolonu elik yapı elemanı ile teşkil edildiğı halde diğer kolonu betonarme olabilmektedir. Aynı zamanda bir diğer kolonu da elik yapı elemanı ile betonarme birlikte tasarlanarak oluşturulabilmektedir.

Kompozit yapı sistemleri, betonarme binalara göre yapı zati ağırlığını etkili bir şekilde azalttığı ve sismik yüklere karşı istenilen yapı sünekliğini oluşturmada iyi performans sağladığı için dünyada yüksek yapı (skyscraper) uygulamalarının vazgeçilmez taşıyıcı sistemi haline gelmiştir.

Kompozit yapılarda kolon, kiriş, döşeme gibi taşıyıcı elemanlar kompozit olarak tasarlandığında “kompozit kolon”, “kompozit kiriş”, “kompozit döşeme” olarak anılırlar.

Kompozit Kolonlar: Kompozit kolonlar üç şekilde teşkil edilebilmektedir;

1- Betona gömülü yapısal çelik elemanlar ile teşkil edilmiş kompozit kolonlar.

2- İçine beton doldurulan kapalı kutu çelik kesitlerle teşkil edilmiş kompozit kolonlar.

3- Gövde boşlukları betonla doldurulan yapısal çelik kesitlerle teşkil edilen yarı gömme kompozit kolonlar.

Yüksek duktilite ve eğilme rijitliklerinden dolayı sismik tasarım gerektiren yapılarda tercih edilirler.

Kompozit kirişler: Taşıdıkları betonarme döşeme ile birlikte çalışan yapısal çelik elemanlarının oluşturduğu karma kirişlere kompozit kirişler denilir.

Kompozit olarak teşkil edilmeyen yapısal çelik elemanlarından oluşan çelik kirişlere göre aynı taşıma kapasitesine sahip olan bir kompozit kirişteki çelik eleman daha hafiftir. Ayrıca döşeme betonu da ölü yük olmaktan çıkartılarak faydalı hale getirilmektedir. Böylece yalın çelik taşıyıcı bir kirişe göre kompozit kiriş daha ucuza mal edilebilmektedir.

Kompozit Döşemeler: Atölye ortamında hazırlanan kolon ve kirişlerle oluşturulan çerçeve sistemin yanında kalıp yapılarak teşkil edilen betonarme döşemeler dezavantaj oluşturmakta ve sıkıntılı olmaktadır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak üzere hem kalıp olarak kullanılabilecek, hem betonarme döşemenin donatısı görevini üstlenecek, hem de kalıp iskelesi yapmaksızın uygun açıklıklarda taze betonun yükünü ve çalışma yükünü taşıyabilecek şekilde tasarlanan döşeme sistemlerine kompozit döşemeler denilmektedir.

Genellikle kompozit döşemelerde trapez kesitli galvanizli sac kullanılmakta olup, hem kalıp olarak hem de döşeme donatısı olarak çalıştırılmaktadır.

Dünyadaki gelişmiş ülkelerde yoğun olarak kullanılan kompozit yapı tekniği, özellikle deprem aktiviteleri yüksek bölge ve ülkelerde nerdeyse kurtarıcı olmaktadır ve mühendisler hayal ettikleri yükseklikte yapıları gönül rahatlığı içinde tasarlamaktadırlar. Kompozit Yapıların avantajlarını sıralamak gerekirse;

Kompozit yapılar, betonarme yapılara göre %40 daha hafif olabilmektedir. Bu da oluşacak muhtemel depremde daha az deprem yükü demektir.

Kompozit yapılar yüksek düktil özelliğinden dolayı, deprem kuvvetlerine karşı daha sünek davranış gösterebilmektedir.

Kompozit yapılarda ana taşıyıcı sistem atölye ortamında hazırlandığı için kalite kontrol derecesi yüksek olmaktadır.

Kompozit yapılarda, yalın çelik yapılara oranla %20 daha az yapısal çelik kullanılabilir.

Sadece yapısal çelik kullanılarak yapılan çok katlı çelik yapıların döşemesi beton olarak teşkil edilecekse, kalıp kurulması gerektiğinden betonarme bina yapımından farkı kalmadığı gibi üstüne fazladan çelik yapı maliyeti binmektedir. Eğer hafif prefabrik malzemeler ile döşeme yapılacaksa bu da alışlagelmiş kullanım şartlarına uymadığından işletme sorunları ile karşılaşmakta ve daha pahalıya mal olabilmektedir.

Sadece yapısal çelik kullanılarak yapılmaya çalışılan çok katlı yapılarda, yapısal çelik elemanlarla bodrum kat teşkili zor ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle bodrum katlar betonarme olarak yapılmakta ve çelik yapı, betonarme yapı üzerine monta edilmektedir. Bu durumda bodrum kattaki betonarme yapı, çelik yapının kaidesi olarak çalışmakta ve kolon kesitleri çok büyük çıkmaktadır. Bu da yapı maliyetini aşırı derecede artırdığı gibi, profesyonelliğe sığmayan bir

özüm olmaktadır. Hatta altta fazladan kullanılan betonarme ile üst elik yapının yerine betonarme yapı bile yapılabilir.

Kompozit yapılar, yapısal elik ile betonarme birlikte kullanılarak yapıldığından yerel, alışılmış inşaat malzemeleri ile daha rahat uyum sağlamak ve pahalı ve az bulunan malzemelerin kullanımını gerektirmemektedir.

Kompozit yapılarda, kalıp çok az olduğu için ahşap kereste kullanımı yok denecek kadar azdır. Bu da evre dengesi açısından son derece önemli bir duyarlılıktır.

Kompozit yapılar, betonarme yapılara oranla %50 daha az beton tükettikleri için imento ve betona gelen mevsimsel ve spekülatif fiyat artışlarından daha az etkilenirler. (**Shim** ve Park, 2017) Betonarme (RC) duvarlar ve yüksek binalardaki elik kirişler arasında bir derz oluşturmak için, gömülü plakanın etrafındaki betona, köşebent plakaların kaynak yapması sırasında uzun süre (6-48 saat) kaynak ısısından oluşan hasar göz arda edilemez. Literatür taraması kaynak ısısı nedeniyle ortaya çıkan beton hasarının değeriendirilmesi konusunda yetersizliği; ayrıca, şantiyede inşaat işçileri hasarı en aza indirecek net bir çözümüne sahip olmamaları araştırmacıları bu konuda bir çalışma yapmalarına neden olmuştur. Yatıkları deneysel çalışmada, uzun süre (yaklaşık 6 saat) şantiyede kaynak yapılmasının, yüksek katlı bir binadaki gömülü plakalar ve yüksek mukavemetli beton üzerindeki etkisini analiz etmek için farklı ayrıntılara sahip beş yapıım yöntemi test edilmiştir. Farklı yapı ayrıntılarına sahip beş numune dört maddeyle test edilmiş ve analiz edilmiştir: 1) sıcaklık dağılımı ölçümleri, 2) basınç dayanımı testleri, 3) nötralizasyon testleri ve 4) atlakların özellikleri. Deneysel sonuçlara dayanarak, uzun süre yerinde kaynağa maruz kalan uygun yapıım yöntemlerinin seçiminin, elik levhadan betona kaynak ısı transferini en aza indirmek için gömülü elik levha çevresinde bir boşluk oluşturmak olduğu bulunmuştur.

(Sarhan et al., 2018) hazırladıkları bir teknik notta, betonarme elemanlarda damalı çelik levha donatılarının kiriş-ucu yöntemine göre bağlanma davranışları ile ilgili deneysel bir çalışma sunmaktadır. Damalı çelik plakanın pastilleri, çelik cıvataların kullanımı ve beton kaplama kalınlığının bağlanma davranışına olan etkileri incelenmişler. Deneysel program kiriş-ucu çekme elemanı olarak tasarlanmış beş numune içermekte olduğunu kayıt etmişler. Tüm numuneler için 80 mm-merkezden merkeze etriye parçaları kullanılmış. İlk numune deforme olmuş bir çelik çubuk ile güçlendirilmiş, geri kalan numuneler ise çelik plakalarla güçlendirilmiş. Düz bir çelik levha ile güçlendirilmiş olan hariç tüm örnekler, yarma çatlaklarının eşlik ettiği çekme ile başarısız olmuş. Damalı çelik plakanın pastilleri, pürüzsüz çelik plaka ile güçlendirilmiş numuneye kıyasla nihai çekme başarısızlığı yükünü %80 artırmış. Ayrıca, bir çelik levha ile güçlendirilmiş beton elemanın çekme dayanımı yükünün, beton kaplamanın kalınlığından önemli ölçüde etkilenebileceğini bulmuşlar. Diğer iki önemli bulgu ise, çelik levha takviyeli beton elemanın nihai kayması, deforme olmuş bir çelik çubuğun takviye ettiği numunenin kaymasından çok daha az olduğu ve çelik levha takviyeli beton elemanın daha sonrasındaki davranışı, deforme olmuş bir çelik çubuğun takviye ettiği numuneden çok daha sünek olmasıdır. Mevcut test sonuçları ile dört noktalı bükme testlerine tabi tutulan betonarme kirişleri içeren önceki test sonuçları arasındaki karşılaştırmalar, kiriş ucu yönteminin, damalı çelik plakanın bağ mukavemeti ile donatı çubukların bağ mukavemetini karşılaştırmak için uygun bir yöntem olamayabileceğini görmüşler.

(Huang et al., 2019) çelik beton kompozit kirişin, monte edilmiş beton köprü güverteleri ile uzun vadeli davranışı, yeni-eski beton yaşı farkı göz önüne alındığında, monolitik beton köprü güverteleri ile kompozit kirişin davranışından farklı olmalıdır. Dökme işleminden sonra bağlantı yerlerine sahip, basitçe desteklenmiş iki T-şekilli çelik-beton kompozit kirişler, prekast plakalar ve dökülme sonrası eklemler arasındaki beton yaşı farkının uzun vadeli performanslarına etkisini değerlendirmek için tasarlanmış ve test etmişler. 223 günlük uzun vadeli performans testleri, sırasıyla eşit olarak dağılmış yük ve eksenel yüke maruz kalan her iki kompozit kirişler üzerinde gerçekleştirilmiş. Çekme ve sürünme testleri de aynı seri ile hazırlanmış beton prizmalarda ve test

kirişlerinin dökülme sonrası derzlerinde yapılmış. Ayrıca, prekast plakalar ve dökülme sonrası eklemler arasındaki somut yaş farkını dikkate alan artımlı bir sürünme ve büzülme modeli, yaşa göre düzeltilmiş efektif modül yöntemi ve deformasyona dayanan uzun süreli bir monte edilmiş kompozit giriş performans modeli ile geliştirilmiş. Deney sonuçlarını, yaş farkını görmezden gelen geleneksel yöntemle öngörülen sonuçlarla karşılaştırmışlar ve sonuçlar, yaş farkını dikkate alarak önerilen modele dayanarak hesapladılar. Sonuçların karşılaştırılması, önerilen modelden elde edilen sonuçların test sonuçlarıyla iyi uyushuğunu ve yaş farkını görmezden gelen geleneksel yöntemin, sünme ve birleştirilmiş beton destelerin büzülmesinin etkisini ciddi şekilde hafife alacağını göstermekte olduğunu görmüşler. Önerdikleri model, dökülme sonrası derzlerde betonun normal stresinin zamanla basınç gerilmesinden çekme gerilmesine kadar gelişebileceğini göstermektedir. Ayrıca, mühendislik uygulamasında monte edilmiş kompozit girişte dökme sonrası bağlantıların çatlama olayı, önerilen model ile anlaşılabilir.

(**Biscaia** ve Chastre, 2018) Fiber Takviyeli Polimerlerle (FRP) Dıştan Takviyeli Betonarme (EBR) yapılar son yüzyılın sonundan beri çalışılmış ve kullanılmıştır. Ancak, performansı arttırmak için birkaç konunun daha iyi çalışılması gerektiğini, Dıştan Takviyeli Betonarme, Fiber Takviyeli Polimer kompozitler ile güçlendirilmiş Betonarme (RC) yapılarda kullanılan ankraj levhalarının boyut etkisi, ankraj levhası üzerine uygulanacak harici baskı gerilmesi ve bu bölgenin sayısal simülasyonu daha dikkatli olması gereken konulardan bazıları olduğunu düşünen araştırmacılar, Fiber Takviyeli Polimer-beton ara yüzünün ankraj plakası bölgesindeki performansını netleştirmek için çalışma yapmışlar. Yaptıkları bu çalışmada, erken parçalanmayı önlemek için Dıştan Takviyeli Betonarme sistemlerinin ankraj plakasına Fiber Takviyeli Polimer kompozitleri ile birlikte uygulanması gereken dış basınç stresinin miktarını tahmin etmek için bir tasarım metodolojisi önermişler. Fiber Takviyeli Polimer kompozit'ine uygulanan dış basınç stresinin, Dıştan Takviyeli Betonarme sistemine sıkılmış mekanik bir ankraj sistemi tarafından üretilen etkiyi simüle etmesini amaçlamışlar. Tasarım teklifinden elde edilen sonuçlar, sayısal olanlarla karşılaştırıldığında, Fiber Takviyeli Polimer-beton arayüzlerin

bağlanma dayanımı iyileşmesinin öngörülmesinde yeterince etkili olduğunu görmüşler.

(Sihao **Wang** ve arkadaşları, 2017) Oluklu çelik ağı kompozit kiriş, otoyol ve demiryolu köprülerinde yaygın olarak uygulanan üstün özelliklere ve maliyet etkinliğine sahip umut verici beton-çelik hibrid yapılardan biridir. Beton plakalar ve oluklu çelik ağ arasındaki bağlantı, bu tür kompozit yapının önemli bir parçasıdır. Oluklu çelik ağlar ve beton alt levha arasındaki eklem yapısı için betonun dökülme kalitesini ve dayanıklılığını arttırmak için, oluklu çelik ağların iç tarafına alt levha yerleştirmenin geçerliliği yapılan çalışmalarla teyit edilmiş ve delikli levha bağlayıcılarla yeni bir eklem yapısı önermişler. Kaynak genişliği ve plaka kalınlığı da dâhil olmak üzere farklı parametrelerle önerilen eklem yapısı üzerinde itme testleri, kayma mukavemeti, kayma sertliği, arıza modları ve bağlı kayma özelliklerini incelemek için yapmışlar. Daha sonra, çelik ve beton ara yüz arasındaki doğrusal olmayan ve doğrusal olmayan teması göz önünde bulunduran üç boyutlu sonlu eleman modelleri, push-out testleriyle oluşturulmuş ve doğrulanmış. Daha sonra geometrik yapıların (perfore çelik levhanın genişliği, yüksekliği ve kalınlığı gibi) ve çelik yapı mukavemeti ve betonarme dayanımı gibi malzeme parametrelerinin eklem yapısının nihai kopma mukavemeti ve arıza modu üzerindeki etkilerini daha fazla araştırmak için parametrik çalışmalar yapmış. Analitik sonuçlar, kesme yükleme kapasitesinin, kalınlık, delikli plakanın genişliği ve yüksekliği ve betonun basınç dayanımı ile arttığını göstermiş. Bununla birlikte, çelik akma dayanımı, delikli inşaat demiri varlığı veya yokluğu, eklem yapısının nihai kesme dayanımı üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu görülmüş. Son olarak, kesme kapasitesinin tahmin denklemleri sağlanmış ve deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırmışlar. Hesaplanan kesme kapasitesi, deneysel ve sayısal olanlarla iyi anlaşır ve sağlanan analitik denklemlerin bu tür yeni eklem yapısı için kesme kapasitesini doğru şekilde tahmin edebileceğini gözlemlemişler.

3 KOMPOZİT ELEMANLARIN BİRLEŞMESİ

Bu çalışmada yüksek basınç dayanımlı beton içine gömülü bağlantı elemanı görevi gören, aderans kuvvetlerini arttırmak için çeşitli formlarda üzerine çentikler açılmış çelik levha ile arasındaki sıyrılma davranışı çekme etkisi altında deneysel olarak incelenmiştir.

Yüksek taşıma kapasitesi gerektiren yapılarda kullanılan yüksek performanslı beton (özel beton) çelik bağlantı elemanları ile entegre edilerek istenilen taşıyıcı eleman imal edilmektedir. Yüksek performanslı beton ile çelik elemanların arasındaki aderans özel beton-çelik malzeme kullanılarak elde edilen imalatın dayanımını belirlemektedir. Bu çalışmada özel beton ile imal edilmiş kiriş elemanlara saplanmış çelik elemanlar çekilerek (pull out testi) sıyrılma davranışı incelenmiştir.

Deneysel çalışma için üç farklı numune hazırlandı. Numuneler iki farklı elemanlardan oluşmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş ve kirişin içine gömülü çelik levha. Hazırlanan bütün numunelerde betonarme kirişin geometrik özellikleri aynıdır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen çelik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır. Deney için kullanılan 20mm saç levhanın de geometrik özellikleri (levhanın üzerine açılan çentiklerin şekli) her iki numune için aynı olarak alındı.

3.1 Deney malzemeleri ve özellikleri

Deneysel çalışma için 3 numune hazırlandı. Hazırlanan numunelerin çelik levha özelliği her 3 numune için aynı seçilmiştir. Betonarme kirişin malzeme özellikleri ise her 3 numune için farklı olarak alınmıştır. Kontrol numune diye adlandırdığımız ilk numunenin betonarme kiriş yüksek dayanımlı olarak seçilmiştir. İkinci numune lifli olarak adlandırıldı. Bu numunenin betonarme

kirişin betonu ise yüksek dayanımlı beton olarak seçildi. Betonun içine uzunluğu 40mm ile 60mm arasında değişen çelik lifler kullanılmıştır. Çelik lif dozajı bir metre küp betonun içine 1kg'dır.

İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır. Lifli beton; çimento, agrega ve çoğunlukla süreksiz liflerin su ile karıştırılmasıyla meydana gelen beton olarak tanımlanmaktadır.

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını artıran faktörler darbe etkisine karşı dayanımını da artırır.

Son numene de lifsiz olarak adlandırılmıştır. Bu numunenin betonarme kiriş özellikleri lifli numune ile aynıdır, sadece bu numunenin içine çelik lifler eklenmemiştir.

Tablo 3.1 Kullanılan çimentonun özellikleri

No	Adı	2 günlük basınç dayanımı (MPa)	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	28 günlük basınç dayanımı (MPa)	SO ₃ (%)	MgO (%)	Cl (%)
1	CEM I 42.5R	28.7	44.4	52.9	2.8	1.1	0.009
2	TS EN 197-1:2012	≥ 20	-	62.5-42.5	≤ 4.0	-	≤ 0.10

Tablo 3.2 Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikler

Bileşen	Silis dumanı
Yapısı	Küresel
Tane Çapı(μm)	0.1-0.2
Yoğunluğu (g/cm^3)	2.2
Özgül Yüzey (cm^2/g)	130.000-280.000
SiO_2	93-95
C	0.8-1.0
Fe_2O_3	0.4-1.0
Al_2O_3	0.4-1.4
MgO	1.0-1.5
CaO	0.6-1.0
Na_2O	0.1-0.4
K_2O	0.5-1.0
SiO_2	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	0.5-1.0

Tablo 3.3 Çelik levhanın özellikleri

Çelik sınıfı	Min. Akma dayanımı (N/mm^2)	Çekme dayanımı (N/mm^2)	Min. Uzama (%)
St-44	255	410-560	22

3.2 Beton Basınç Deneyi

Deney için hazırlanan elemanların beton basınç dayanımını elde etmek için, numunelerin hazırlaması sırasında, her bir numuneden (lifli ve lifsiz) 3'er adet küp numuneler alındı. Alınan numunelerin alanı $150 \times 150 \text{ mm}^2$ 'dır. Toplamı 6 adet olan bu küp numuneler gerekli dayanımı almak için 28 gün kür havuzda bekletildi. Hazırlanan küp numuneler TS3502 ve TS EN 12390-3 şartnamelerine göre beton basınç ve çekme dayanımı ve elastisite modülleri belirlemek için tek eksenli basınç deneylerine tabi tutuldu ve böylece beton basınç ve çekme dayanımı ve elastisite modülleri elde edildi. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de basınç deney sonrası deney elemanların şekli gösterilmektedir. Basınç dayanımı ve elastisite modülünün belirlenebilmesi amacıyla düşeyde iki, yatayda bir adet sekil değiştirme ölçümü yapabilen kompressometre ve 2500 kN kapasiteli pres kullanılmıştır. Beton basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları bilgisayar programı vasıtasıyla elde edilmiştir. Bütün deney elemanlarında aynı tip C30 beton sınıfı kullanılmıştır. Tablo 3.4'te basınç testleri sonucu elde edilen ortalama silindir basınç dayanımları görülmektedir.



Şekil 3.1 Lifsiz beton numunelerin deneyden sonraki hali



Şekil 3.2 Lifli beton numunelerin deneyden sonraki hali

Tablo 3.4 Beton basınç deney sonucu

Numune numarası	Malzeme bilgisi	Elde edilen kapasite (kN)	Elde edilen basınç dayanımı (MPa)
1	Lifli beton	1750	77.78
2	Lifli beton	1663	73.91
3	Lifli beton	1637	72.76
Ortalama basınç dayanımı(MPa)			74.82
4	Lifsiz beton	1849	82.18
5	Lifsiz beton	1841	81.82
6	Lifsiz beton	1737	77.20
Ortalama basınç dayanımı(MPa)			80.40

3.3 Beton Çekme Dayanımı

Betonların çekme dayanımları TS500 – 2000 standardı tarafından önerilen denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}}$$

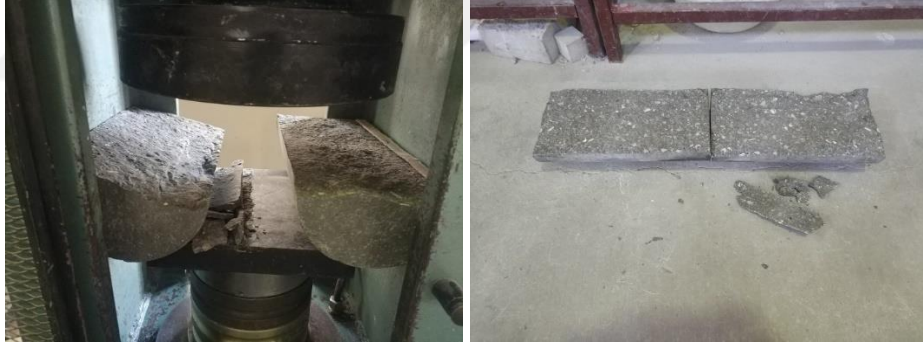
$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{74.82} = 3.0275 \text{ MPa} \quad (\text{Lifli beton})$$

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{80.40} = 3.1383 \text{ MPa} \quad (\text{lifsiz beton})$$

Aynı zamanda her iki tür betondan 3'er adet silindirik numune alındı ve yarmada çekme testi yapıldı. Test sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.5 yarmada çekme testi sonuçları

Numune	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Beton Çekme Dayanımı (MPa)
Geleneksel beton	80.40	3.02
Lifli beton	74.82	6.65



Şekil 3.3 Lifsiz beton numunelerin çekme testi sonrası durumları



Şekil 3.4 Lifli beton numunelerin çekme testi sonrası durumları

3.4 Kompozit Numunelerin Tasarımı

Hazırlanan her üç kompozit numuneler ‘Çelik Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları (2016)’ ve Eurocode 4 yönetmelik kurallarına göre tasarlanmıştır.

3.4.1 Detaylandırma Kuralları

Betona gömülü kompozit elemanların oluşturulmasında aşağıda verilen kurallara uyulmuştur.

(a) Çelik çekirdek ile buna en yakın boyuna donatı çubuğu arasındaki uzaklık donatı çapının 1.5 katından ve 40 mm’ den az olmamalıdır.

(b) Kompozit en kesitin birden fazla sayıda gömülü çelik profil içermesi halinde, beton dökümünden önce her bir elemanın tekil olarak burkulmasının önlenmesi için, bu elemanların bağ levhaları, örgü çubukları veya benzeri elemanlarla birbirlerine bağlanmaları gerekmektedir.

3.4.2 Malzeme Sınırları

Kompozit elemanları oluşturan beton, beton çeliği ve yapısal çelik dayanımları ile ilgili “Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” şartları aşağıda açıklanmıştır.

(a) Kompozit elemanların kapasitelerinin hesabında kullanılan karakteristik beton basınç dayanımı, f_{ck} , normal betonlar için 20MPa ile 70MPa, hafif betonlar için 20MPa ile 40MPa arasında olacaktır.

(b) Beton çeliğinin karakteristik akma dayanımı, F_{ys} , 500MPa ile sınırlıdır.

(c) Yapısal çelik elemanların karakteristik akma dayanımı, F_y , 460MPa ile sınırlıdır.

3.5 Betona Gömülü Kompozit Eleman

3.5.1 Minimum kurallar

Betona gömülü kompozit elemanların aşağıdaki minimum kuralları sağlaması gerekmektedir.

(a) Yapısal çelik çekirdeğin en kesit alanı, toplam kompozit en kesit alanının en az %1'i kadar olmalıdır.

(b) Kompozit kesitte boyuna ve enine donatı kullanılmalıdır. Enine donatı etriye veya spiral fret şeklinde olabilir. Etriye kullanılması durumunda 10 mm çapında etriyeler en fazla 300 mm aralıkla, 12 mm veya daha büyük çaplı etriyeler en fazla 400 mm aralıkla teşkil edilmelidir. Etriye aralığı kompozit elemanın en küçük kenar uzunluğunun 0.5 katından daha fazla olamaz.

3.6 Deney Elemanların Hazırlanması

3.6.1 Giriş

Deneyisel çalışma için üç farklı numune hazırlandı. Numuneler iki farklı elemanlardan oluşmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş ve kirişin içine gömülü çelik levha. Hazırlanan bütün numunelerde betonarme kirişin geometrik özellikleri aynıdır. Yüksek dayanımlı betonarme kiriş iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen çelik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır. Deney için kullanılan 20mm saç levhanın de geometrik özellikleri (levhanın üzerine açılan çentiklerin şekli) her üç numune için aynı olarak alındı.

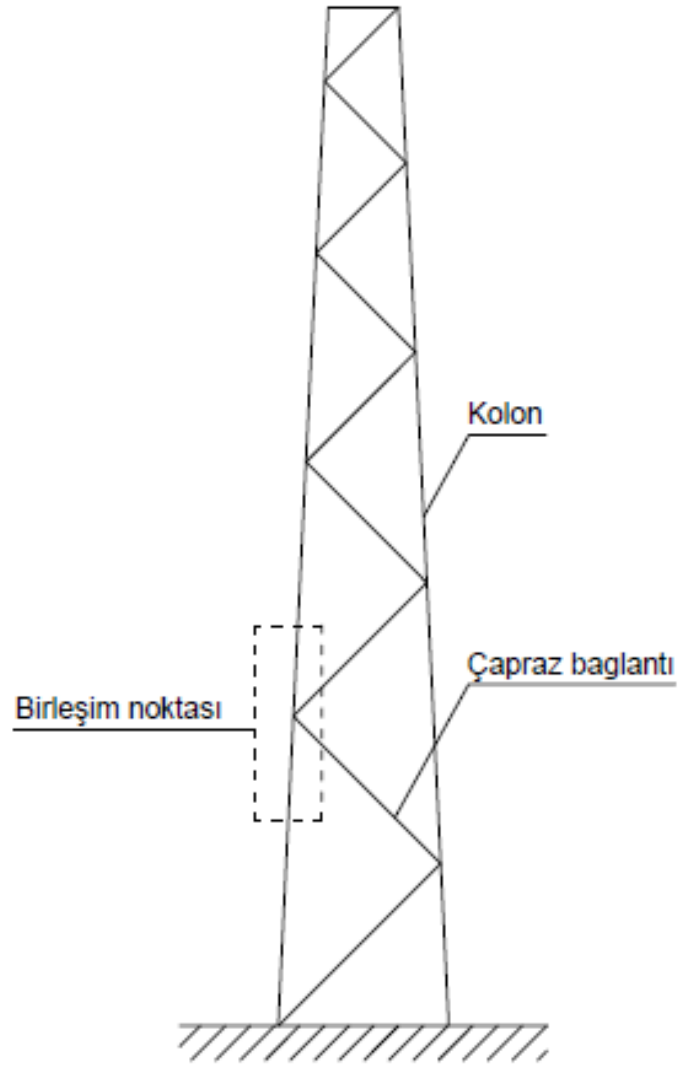
Bu tip elemanların uygulaması daha çok betonarme rüzgâr kulelerinde görülmektedir. Pervane ve motor bölümünü yerden güvenli bir yükseklikte

alışmasını sağlar. Kule, rüzgâr türbinlerinde nacelle ve rotoru taşır. Kuleler genellikle tûp şeklinde elik, kafes yapılı veya betonarme olarak inşa edilir. Halat destekli direk tipi kuleler genellikle küçük türbin uygulamalarında kullanılır.

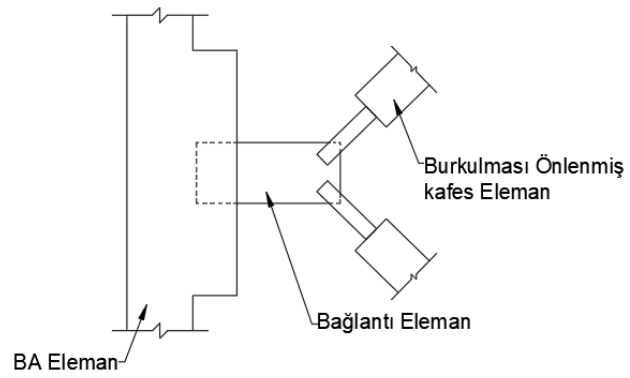
Kompozit elemanlardan oluşan rüzgâr türbinleri betonarme rüzgâr türbinlerine nazaran yaklaşık %40 daha düşük zati ağırlığa sahip olabilmektedir. Yapının zati ağırlığı daha düşük olmak sismik yüklere karşı istenilen yapı sünekliğini oluşturmada iyi performans sağlamak ve aynı zamanda oluşacak muhtemel depremde daha az deprem yükü demektir.

Tûp şeklindeki kule şekli en çok tercih edilen kule şeklidir. En temel avantajları maliyetlerinin düşük olmasıdır. Benzer boyutlarda bir tûp kulenin hemen hemen yarısı kadar malzeme ve yapım maliyeti vardır. Birçok küçük türbin halat destekli direk tipi kule kullanılarak inşa edilir. En büyük avantajı ağırlığının çok az ve maliyetlerinin çok düşük olmasıdır. Dezavantajları ise araziye kurulum zorluğu ve tarım alanlarının kullanımını engellemesidir. Ancak betonarme rüzgâr kuleleri son olarak kullanılmaya başlanmıştır. elik kulelere nazaran daha düşük işçilik yeteneğı ile yapılabilen bu kuleler aynı zamanda elik sanayisinin de çok gelişemediğı ülkelerde de kullanılabilmektedir. elik kulelere nazaran gelen yüklere daha fazla dayanıklı olup aynı zaman ısı dayanımı açısından da çok ciddi bir avantaj sağlamaktadır.

Bütün deney numuneleri öncelikler bilgisayar ortamında tasarlanıp malzeme özellikleri ve detayları hazırlanmıştır. Daha sonra numuneler Ege Üniversitesi İnşaat bölümünde hazırlanmıştır. Hazırlanan her numunede beton basınç, çekme ve eğilme testleri için öncelikle farklı küçük numuneler alındı.



Şekil 3.5 Rüzgâr Türbin Yapı Sistemi



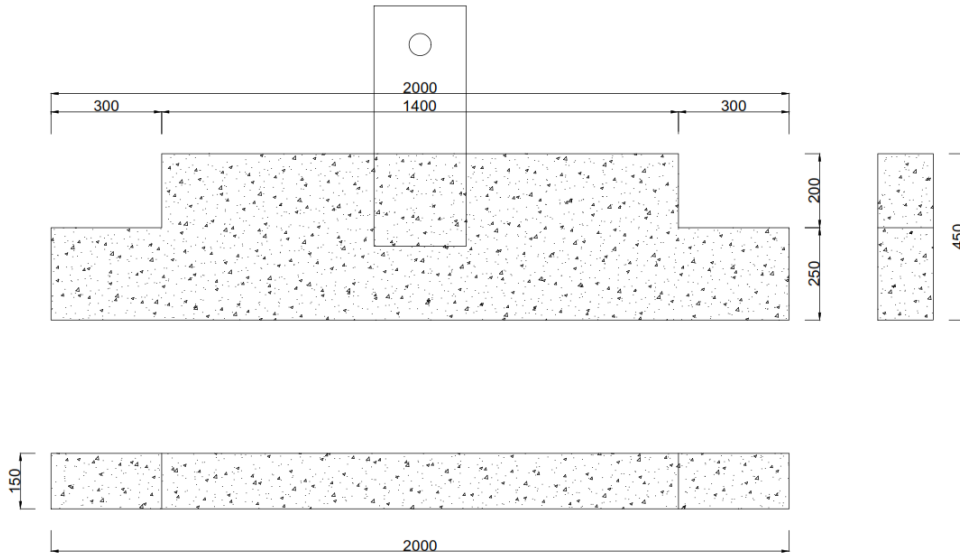
Şekil 3.6 Betonarme-Çelik Birleşim Noktası

3.6.2 Deney Numunenin hazırlanması (KN)

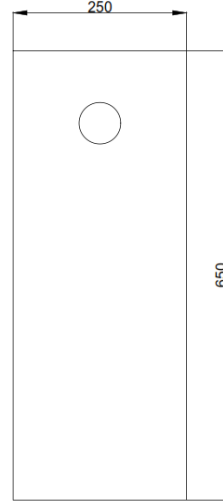
Kontrol numunenin yüksek dayanımlı betonarme kiriş elemanı iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen çelik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır.

Tablo 3.6 Kontrol numunenin beton reçetesi

Malzeme Adı	Ağırlık (Kg)	Ağırlıkça Oran (%)
Çimento	414	16.81
Silika Fum	36	1.46
Su	137	5.56
Agrega (0-3)	1084	44.01
Agrega (15-20)	788	31.99
Katkı	4.16	0.17
TOPLAM	2463.16	100

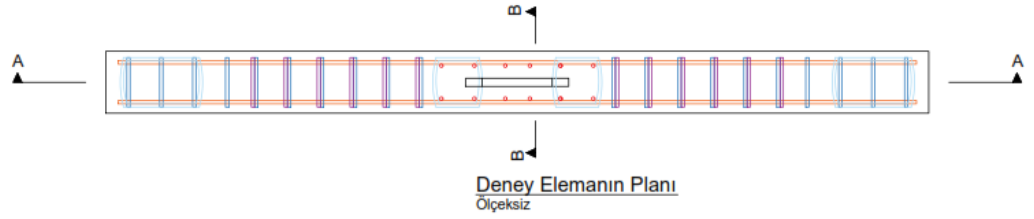


Şekil 3.7 Kontrol numune

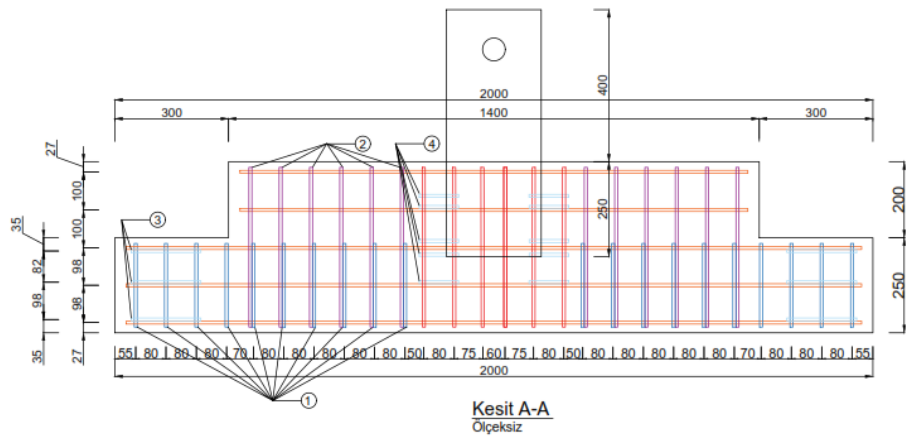


Şekil 3.8 Kontrol numunenin içine gömülü çelik levha

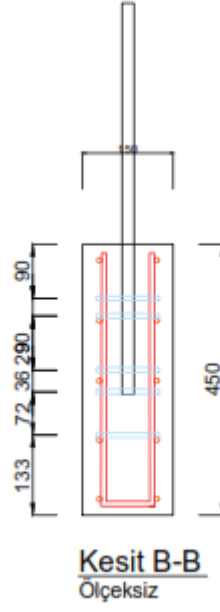
Numunenin içinde kullanılan donatı Ø8 nervürlü çelik donatılardır. Deney için kullanılan 20mm sac levhanın sabit durabilmesi için birleşim noktasında ek bir donatı eklendi. Bu numune için kullanılan çelik sac levhada herhangi bir çentik veya kesik verilmemiş olup düz çelik sac levha kullanılmıştır.



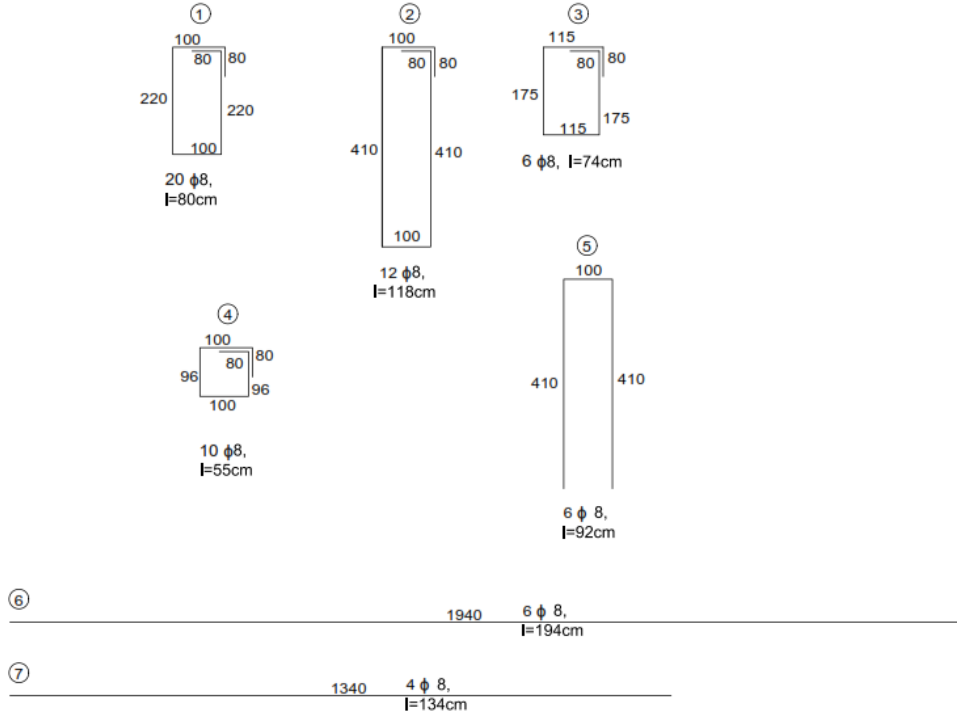
Şekil 3.9 Kontrol Numune donatı detayı planı



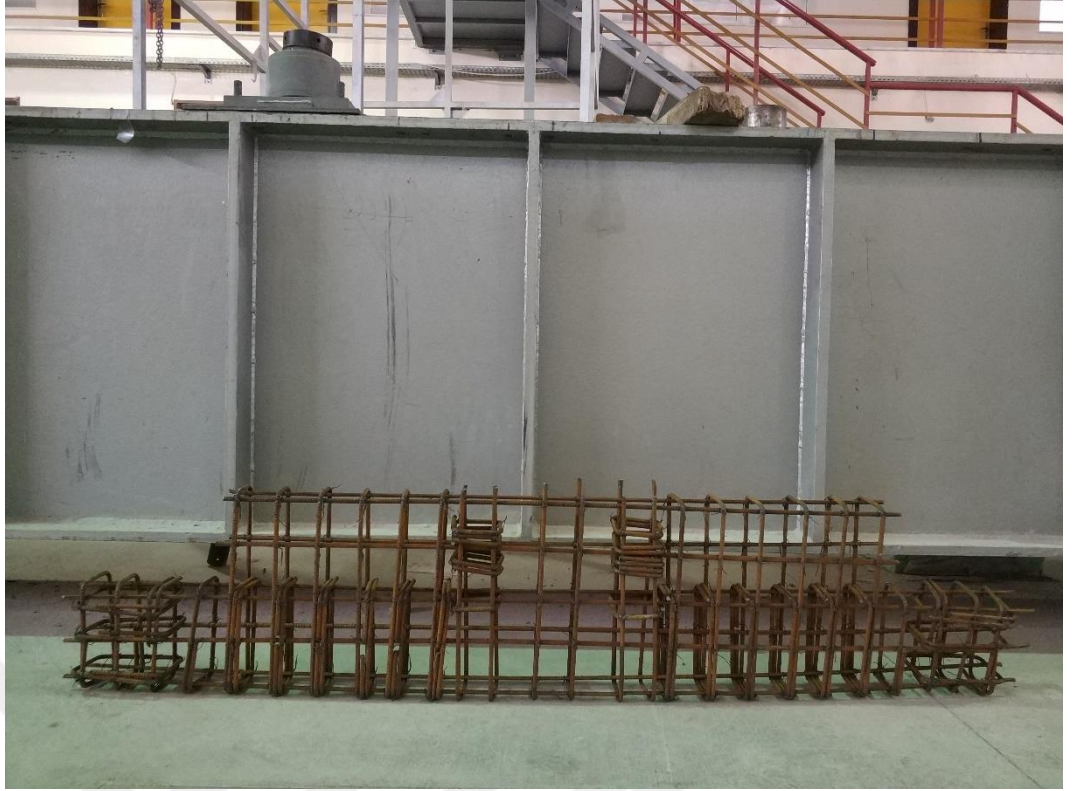
Şekil 3.10 Kontrol Numune kesit A-A



Şekil 3.11 Kontrol Numune kesit B-B



Şekil 3.12 Kontrol Numune donatı detayı



Şekil 3.13 Deney elmanın donatı yapısı



Şekil 3.14 Deney elmanın kalbı



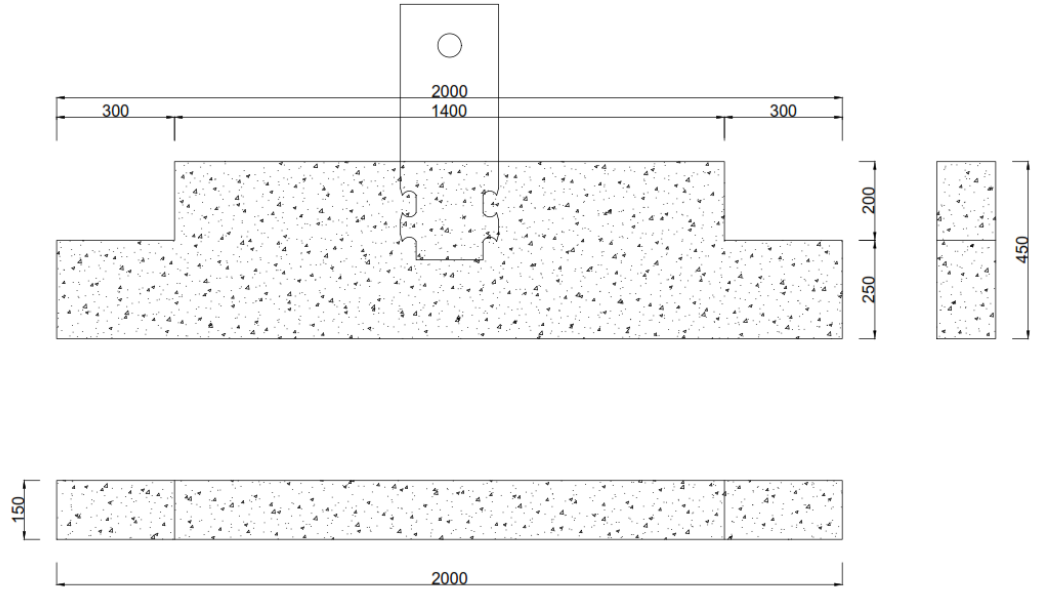
Şekil 3.15 Deney elemanın kürlenmesi



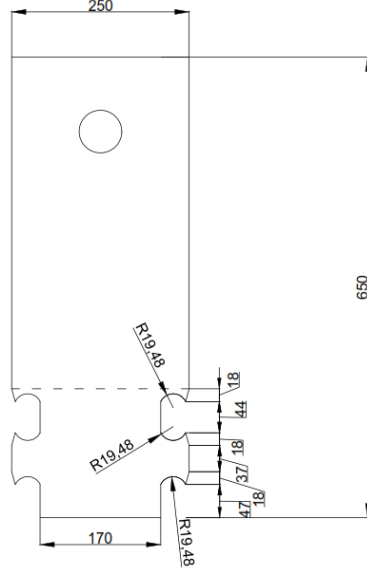
Şekil 3.16 Deney elemanı görüntüsü

3.6.3 Deney Numunenin Hazırlanması (N-1)

Numune 1'in yüksek dayanımlı betonarme kiriş elemanı yine kontrol numunede olduğu gibi iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen çelik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır.

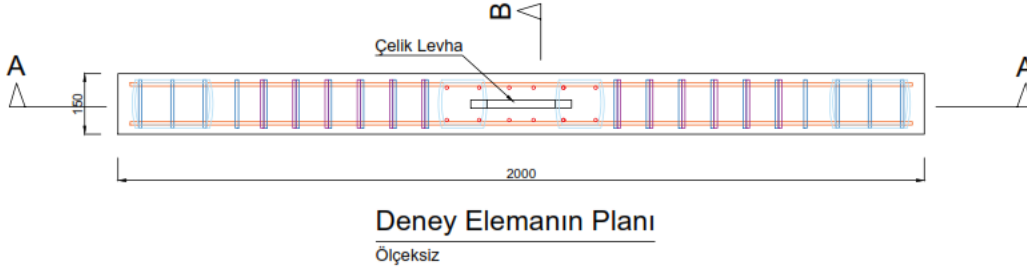


Şekil 3.17 Deney numune-1

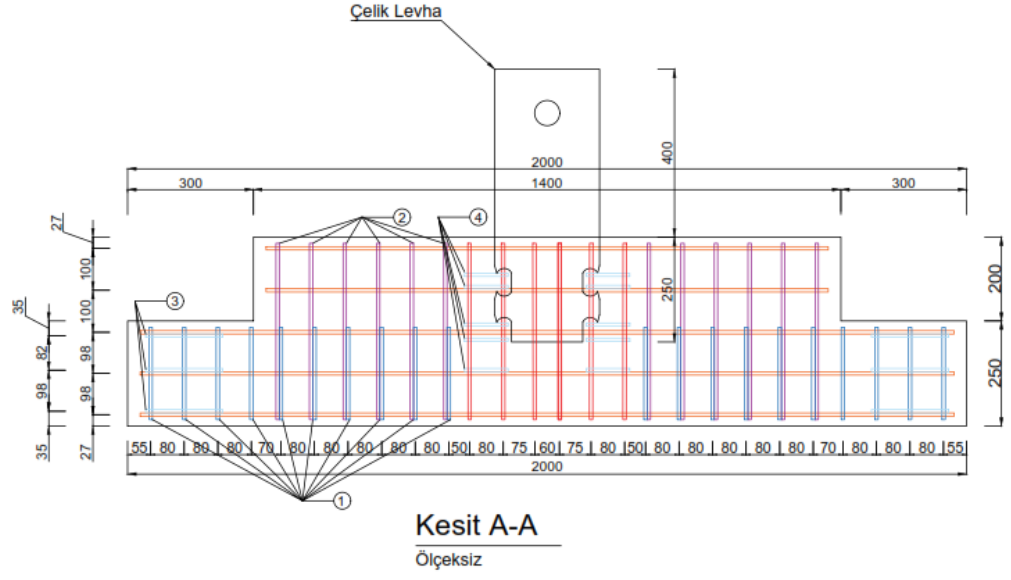


Şekil 3.18 Deney elemanı - 1 içine gömülü çelik levha

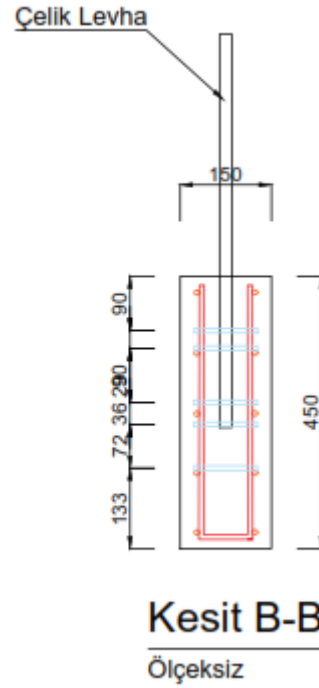
Numunenin içinde kullanılan donatı Ø8 nervürlü çelik donatılardır. Deney için kullanılan 20mm sac levhanın sabit durabilmesi için birleşim noktasında ek bir donatı eklendi. Bu numune için kullanılan çelik sac levha çentik olup belli geometrik kesikler verilmiştir.



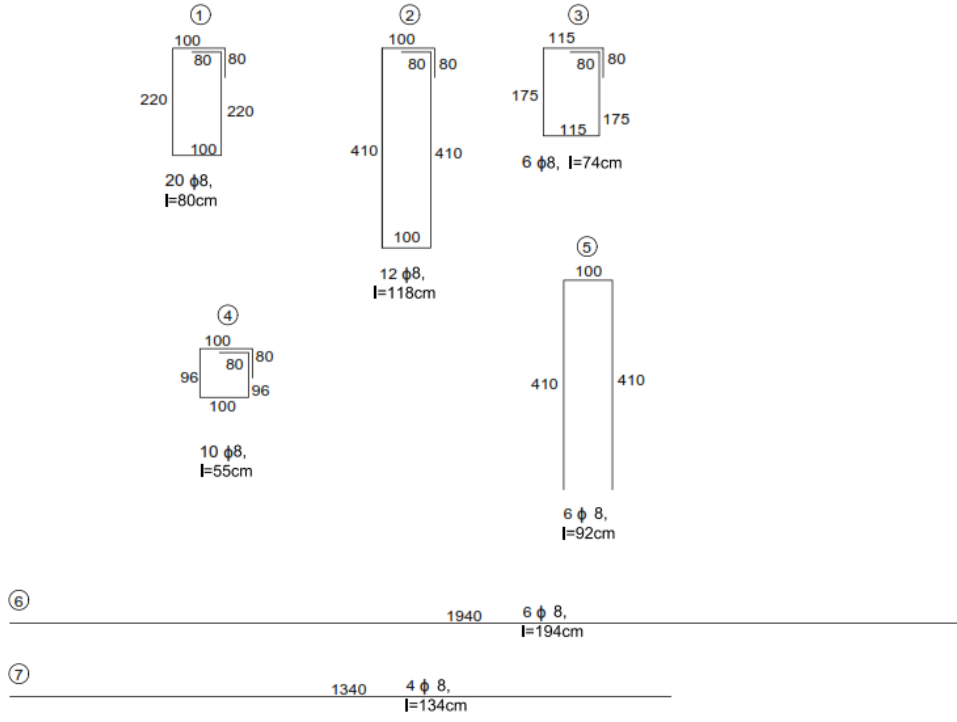
Şekil 3.19 Deney Elemanı - 1 donatı detayı planı



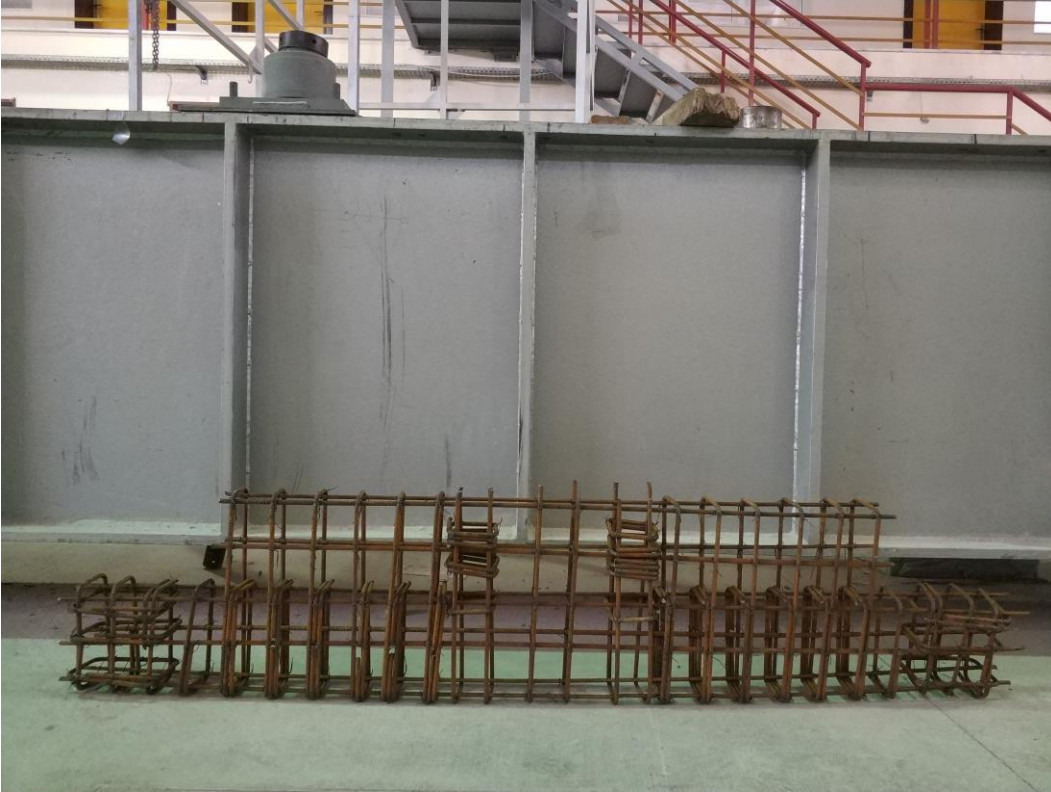
Şekil 3.20 Deney Elemanı - 1 kesit A-A



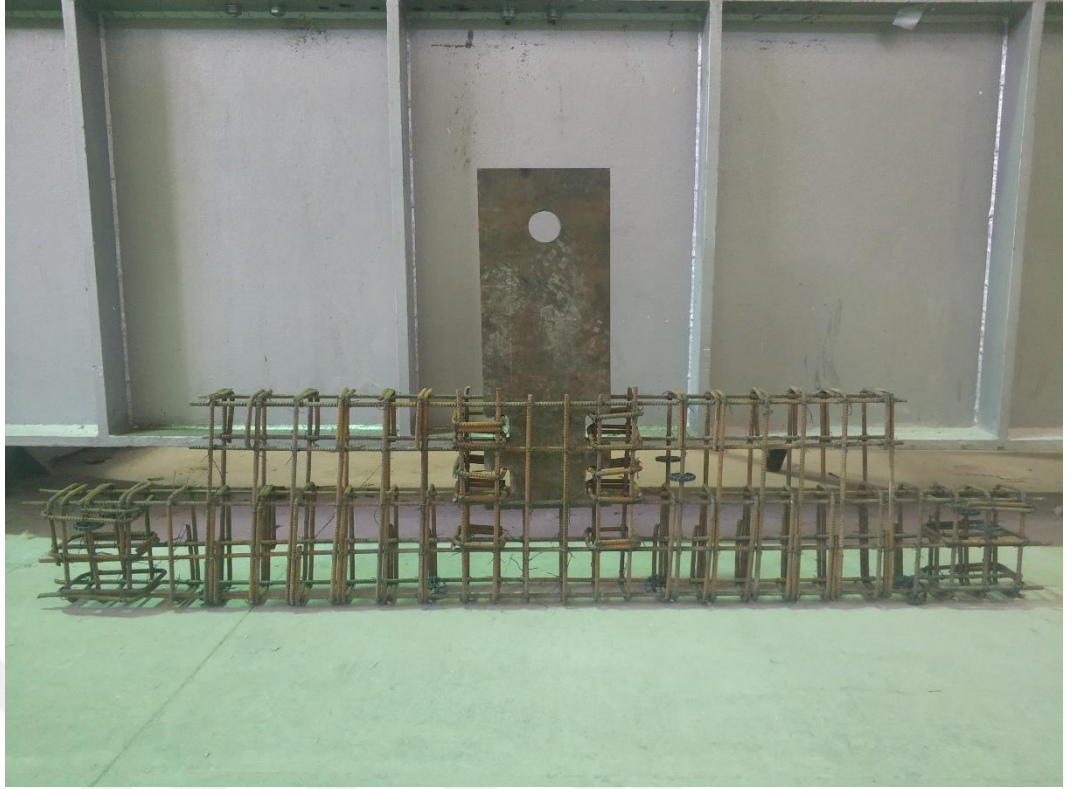
Şekil 3.21 Deney Elemanı - 1 kesit A-A



Şekil 3.22 Deney Eleman - 1 donatı detayı



Şekil 3.23 Deney elemanı - 1 donatı yapısı

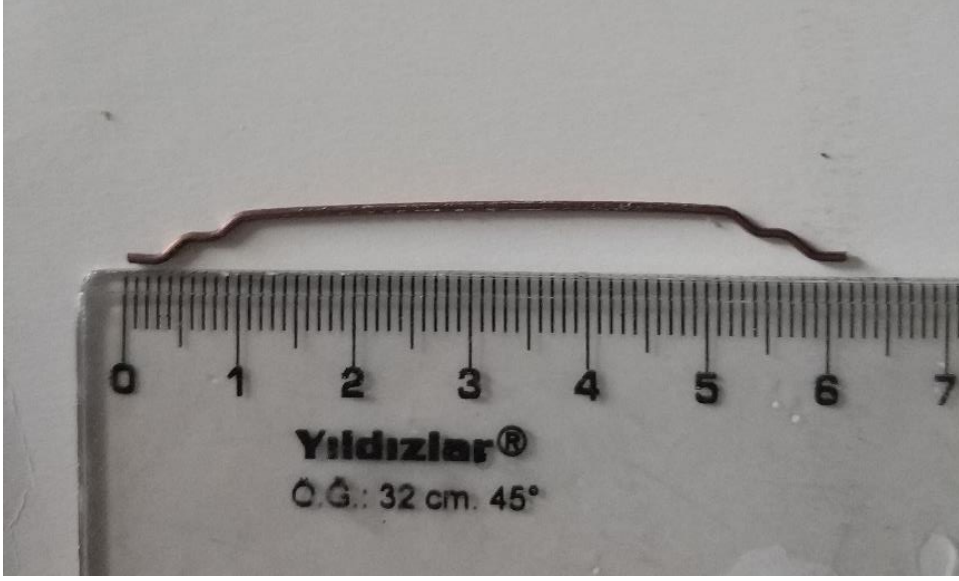


Şekil 3.24 Çentikli levha ile donatı arasındaki bağlantı

Bu numunede beton karışım içinde %0.5 oranında 6cm uzunluğunda çift kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Numune içinde kullanılan çelik lif BEKAERT firmasının DRAMIX® 5D 65/60BG marklı çelik lifleridir. Tablo 3.7’de çelik lifin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.7 DRAMIX® 5D 65/60BG çelik lifin karakteristik özellikleri

Nominal çekme dayanımı (N/mm ²)	2300
Elastisite Modülü (N/mm ²)	200000
Taşıma gücü sınır durumuna karşılık gelen birim şekil değiştirme	6.00%
Tel grubu	5D
Uzunluk (mm)	60
Çap (0.9mm)	
Boy/Çap Oranı	65
TS En 14889-1'e göre minimum dozaj (kg/m ³)	15



Şekil 3.25 DRAMIX® 5D 65/60BG Çelik Lif



Şekil 3.26 Lifli beton hazırlanması

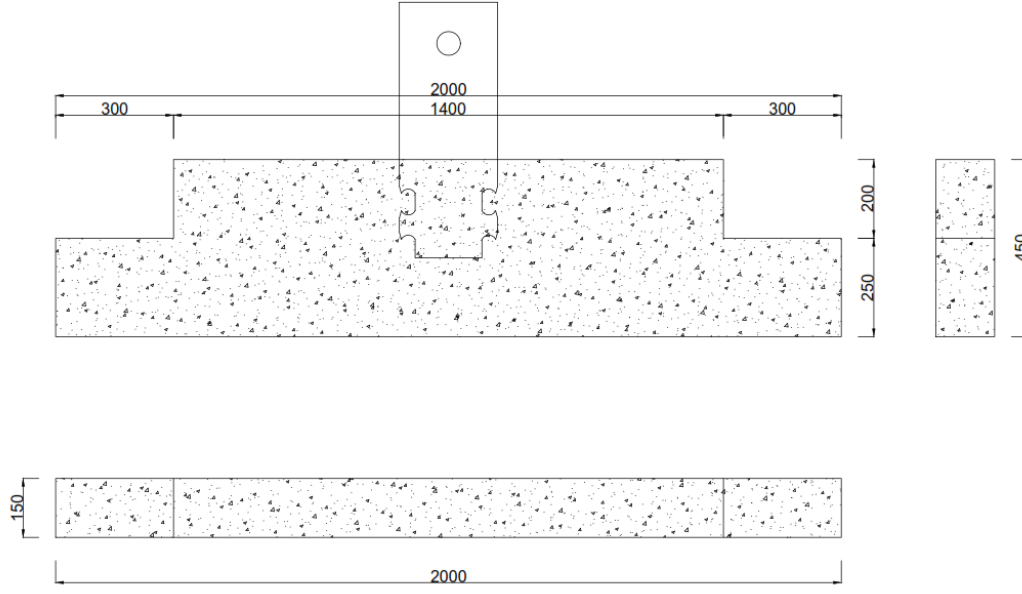
Deney elemanı – 1'in beton karışım oranı aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.8 Deney eleman -1 beton re etesı

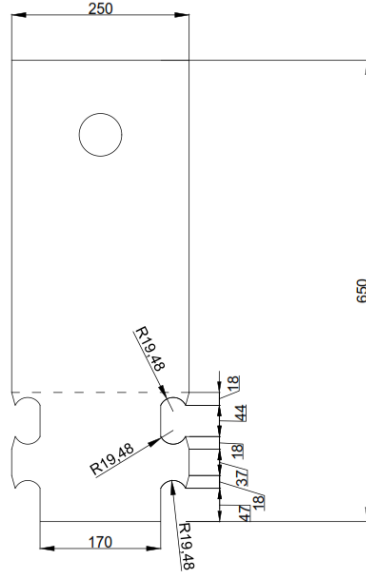
Malzeme Adı	Ağırlık (Kg)	Ağırlıkça Oran (%)
Çimento	414	16.72
Silika Fum	36	1.45
�elik Lif	12.50	0.50
Su	137	5.53
Agrega (0-3)	1084	43.79
Agrega (5-15)	788	31.83
Katkı	4.16	0.17
TOPLAM	2475.66	100

3.6.4 Deney Numunenin Hazırlanması (N-2)

Numune 2'nin yüksek dayanımlı betonarme kiriş elemanı yine kontrol numunede olduğu gibi iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Kirişin ilk kısmın ebatları 2000x150x250 mm ancak ikinci kısmı ise aynı kirişin üstüne ilave bir betonarme parça olarak görünen  elik levhanın saplanmış kısmıdır. İkinci parçanın ebatları de 1400x150x200 olarak alınmıştır. Yüksek dayanımlı betonarme kirişin beton döküm işlemi tek bir seferde olduğu için kirişin tamamı tek bir parça halinde çalışmaktadır. Numunenin içinde kullanılan donatı Ø8 nervürlü  elik donatılardır. Deney için kullanılan 20mm sa  levhanın sabit durabilmesi için birleşim noktasında ek bir donatı eklendi. Bu numune için kullanılan  elik sac levha çentik olup belli geometrik kesikler verilmiştir. Bununla birlikte beton karışımın içinde  elik lifler oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmesi için kullanılmıştır.



Şekil 3.27 Deney eleman – 2



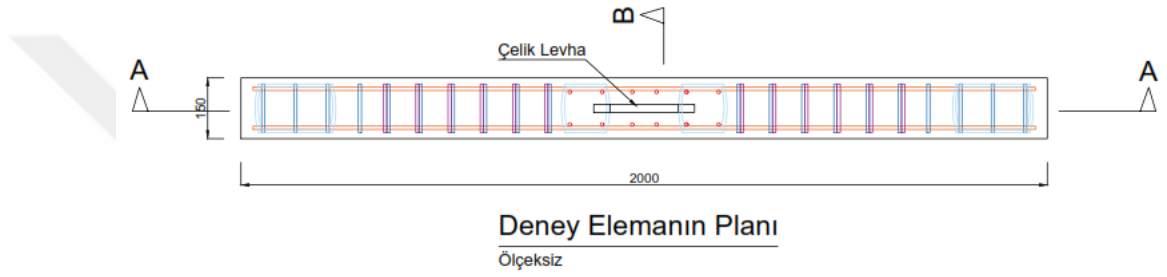
Şekil 3.28 Deney eleman - 2 içine gömülü çelik levha

Deney numunelerin beton karışım oranları, numunenin geometrik şekli ve donatı detayı aşağıda verilmiştir.

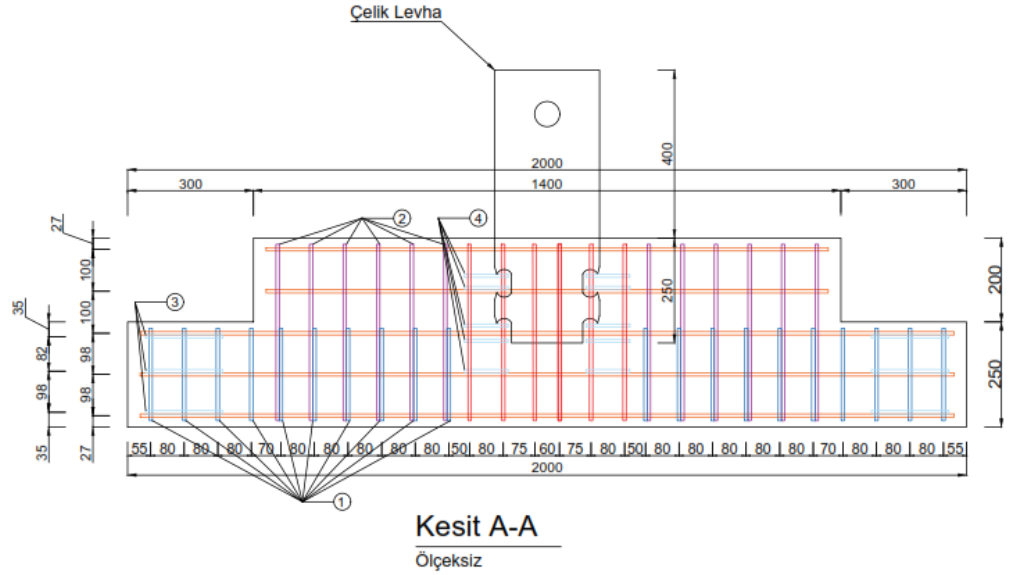
Tablo 3.9 Deney elemanı- 2 beton re etesı

Malzeme Adı	Ağırlık (Kg)	Ağırlıkça Oran (%)
Çimento	414	16.81
Silika Fum	36	1.46
Su	137	5.56
Agrega (0-3)	1084	44.01
Agrega (5-15)	788	31.99
Katkı	4.16	0.17
TOPLAM	2463.16	100

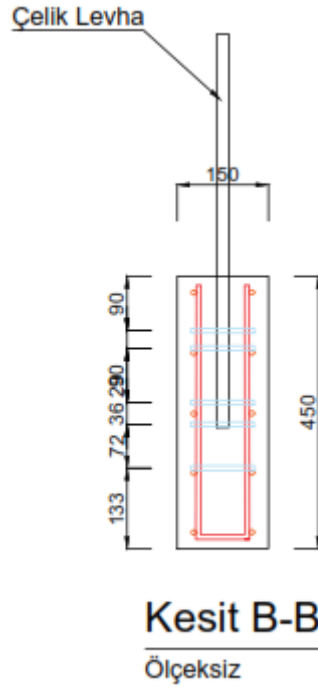
Elemanların geometrik şekli ve donatı detayı aşağıda verilmiştir.



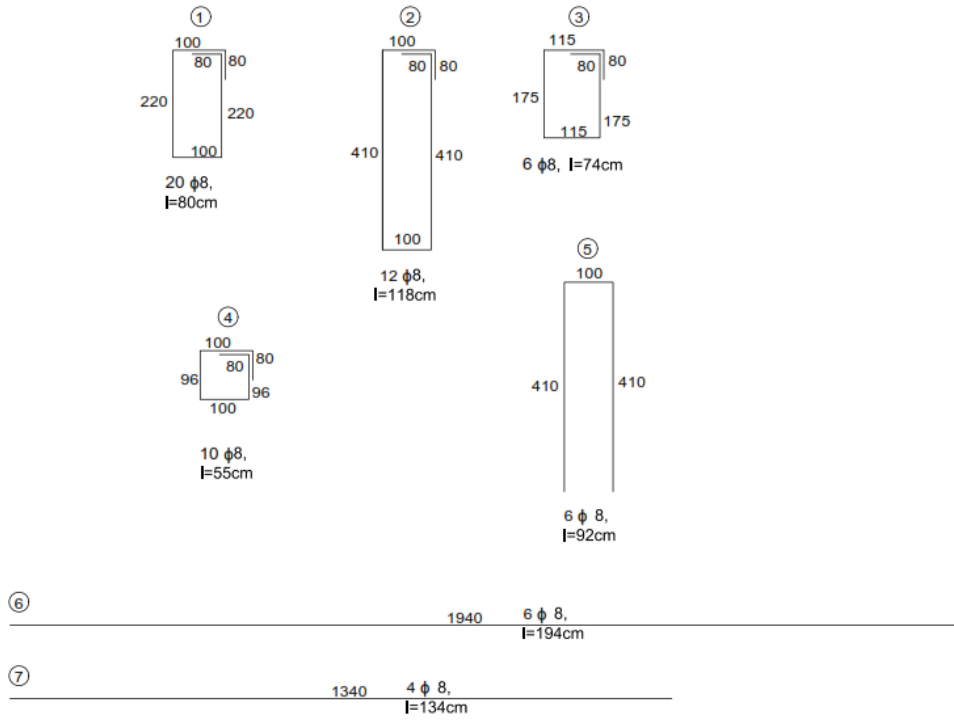
Şekil 3.29 Deney Elemanı- 2 plan g r n    



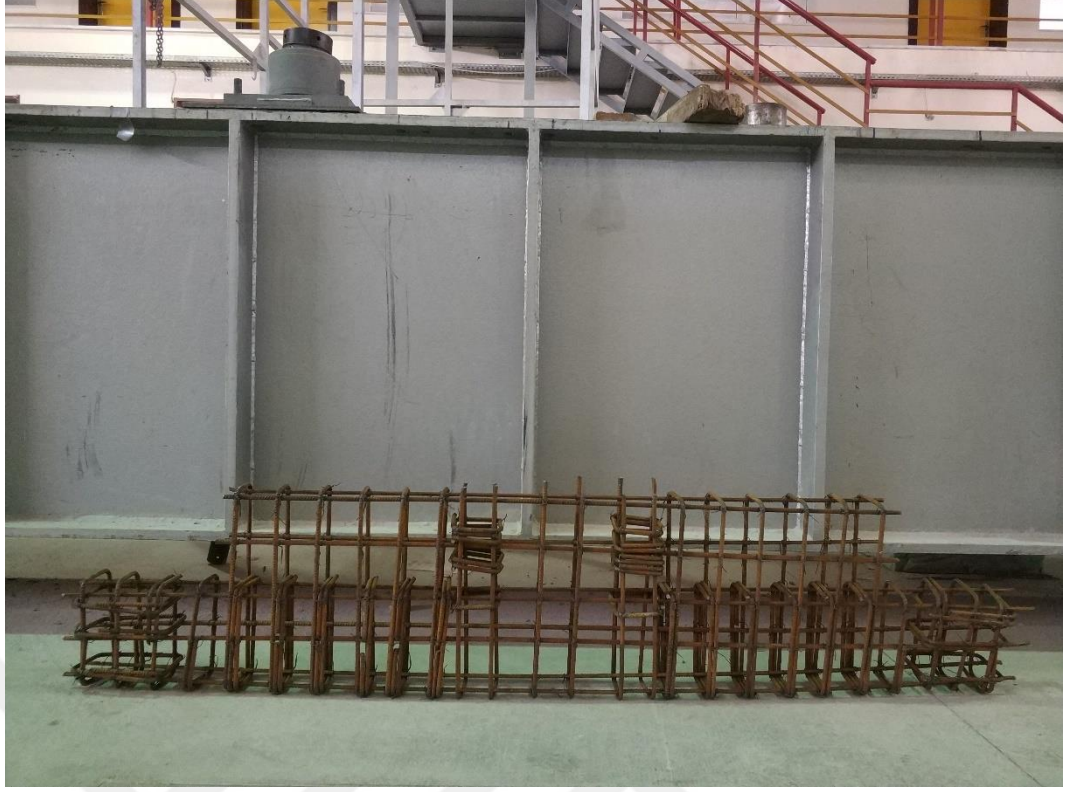
Şekil 3.30 Deney Elemanı - 2 A-A kesiti



Şekil 3.31 Deney Elemanı- 2 B-B kesiti



Şekil 3.32 Deney Elemanı- 2 donatı yapısı



Şekil 3.33 Deney elamanının donatı yapısı



Şekil 3.34 Çentikli levha ile donatı arasındaki bağlantı

4 Deneylerin Yapılışı

4.1 Çekme sistemi

Hazırlanan bütün deneysel numuneler Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarı'nda test edilmiştir. Laboratuvar içinde test için kullanılan deney platformun, deneysel numunelerin yerleştirilmemiş halinin genel görüntüsü

Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Deneysel elemanın deney platformunun içinde yerleştirilmesi Şekil 4.2'de verilmiştir. Deneysel numunenin üzerinde yerleştirdiği ve deneysel çalışmanın yapıldığı bu deney düzeneği ACI 374.1.1.05 yönetmelik şartına uygun bir şekilde tasarlanmış ve test işlemi yapılmıştır.

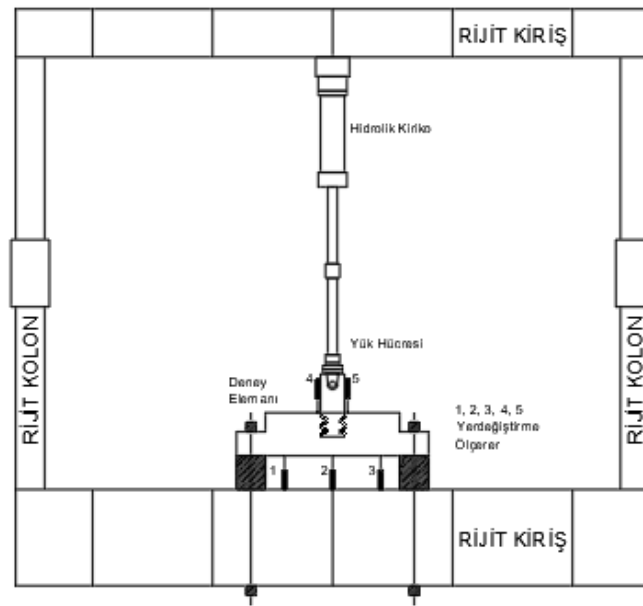
Çekme çerçevesi kapalı bir çerçeve sistemi olup yüksek dayanımlı kirişten oluşan iki adet rijit çelik kolon ve iki adet rijit kirişten oluşmaktadır. Yüksek dayanımlı rijit kolonların ebatları 300x400 mm ve rijit çelik kirişlerin ebatları ise 680x1000 mm olup içi dolu çelik malzemesinden oluşmaktadır. Kolonlar arası net açıklık 6000 mm'dir.

Deneysel çalışmanın doğru bir şekilde ilerleyebilmesi için deney numunelerin deney platformunda sabit bir şekilde durması gerekirdi. Numunelerin platforma sabit durması için uygun mafsallı çelik mesnetler tasarlanıp çekme deney platformuna bağlanmıştır. Çelik çerçevenin üst kirişinde bağlı mafsallı çekme/yükleme sistemi vasıtasıyla deney elemanına tersinir – tekrarlı yük uygulanmıştır. İki hareketli mafsallar, mafsallar arasında yer alan hidrolik kriko ve yük hücresinden çelik rijit platformun çekme/yükleme sistemi oluşmaktadır. Bu yük hücresi 500 kN basınç ve 300 kN çekme kapasitesine sahip olup hidrolik kriko 500 mm genliğe sahiptir. Deney elemanlarına bu sistem vasıtasıyla yük verilmiştir. Rijit çelik platformun üst kirişinde bulunan bu hidrolik kriko ile deney elemanında bulunan çelik sac levhayı çekerek arasındaki aderans ölçülmüştür.

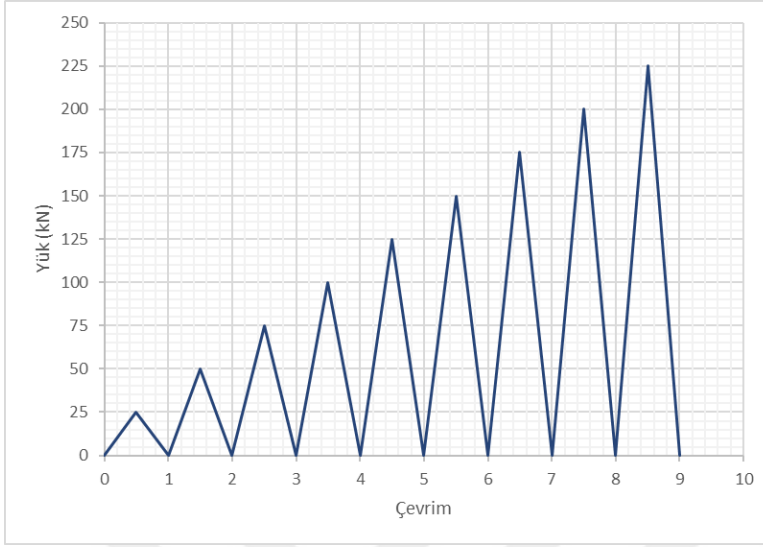
Rijit çelik platform ve platformun yükleme sistemi elektrik motorlar vasıtasıyla çalışmaktadır. Bu elektrikli motorlar değişebilen bir frekans seviyesine sahip olup istenilen frekans seviyede ayarlanabilmektedir. Bütün ayarlamalardan sonra deneysel çalışma düzenli bir şekilde ilerleyip deney elemanlarında oluşan çatlak gelişimleri ve yer değiştirmeler gözlenebilecek şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Deney Platformunun Genel Yerleşimi



Şekil 4.2 Deney Elemanların Yükleme Düzenneği



Şekil 4.3 yükleme çevrimi

4.2 Deney Elemanının Kurulumu

Deneysel çalışma rijit çelik platform üzerinde yapılmıştır. Deney elemanı çelik platform üzerinde sabitlenmiştir. Platformun üst kirişinde bulunan hidrolik kriko vasıtasıyla deney elemanına sabit ve düzenli bir şekilde deney boyunca aksenal çekme kuvveti uygulanmıştır. Şekil 4.2’te deney elemanının deney düzeneği üzerinde yerleştirilmiş hali gösterilmiştir.

4.3 Veri Toplama Sistemi

Deney elemanların üzerinde elemanlarda oluşacak deplasmanları ölçmek için deplasman ölçerler (LVDT) yerleştirilmiştir. Deneysel çalışma süresince yük hücresinden, gerinim ölçerden ve deplasman ölçerlerden elde edilen bütün verileri bilgisayar programına aktarmak veri toplama cihazı kullanılmıştır. Test boyunca her biri 8 kanallı 1 adet veri toplama cihazı kullanılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi için de kullanılmış bu veri toplama cihazlarında TestLAB-BASIC veri toplama yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 4.4 Veri Toplama Cihazı

4.3.1 Deplasman Ölçerin Yerleşimi

Deneysel çalışmada yapılan yükleme sonuca deney elemanlarında oluşacak deplasman ve deformasyonları gözlemlenebilmek için elemanların belli yerlerinde deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Bu deplasman ölçerlerin yerlerini şekil 4.5'te görebilirsiniz. Şekilde görüldüğü gibi iki adet deplasman ölçer çelik sac levha için konulmuştur. Üç adet deplasman ölçer de betonarme kirişin yapacağı deplasmanı ölçmek için deney elemanın alt kısmına yerleştirilmiştir. Rijit çelik platformun üst kirişinde bulunan hidrolik krikoyla çekilen çelik sac levha da oluşacak yer değiştirmeyi deney elemanının üstünde yerleştirdiğimiz iki adet deplasman ölçerler kayıtlı etmekte ve veri toplama cihazına aktarılmaktadır. Aynı şekilde, yapılan bu yükleme nedeniyle betonarme kirişte de oluşacak herhangi bir deplasmanı ve deformasyonu elemanın alt kısmında yerleştirdiğimiz üç adet deplasman ölçer kayıtlı etmekte ve veri toplama cihazına aktarmaktadır. Bütün veriler toplandıktan sonra yapılan test sonucunun değerlendirilebilmesi için yük-deplasman grafiği çizilmektedir.



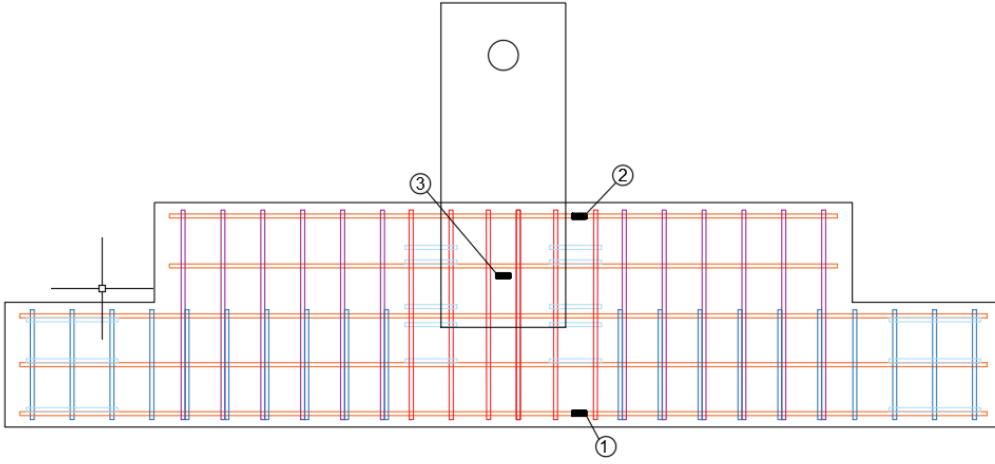
Şekil 4.5 Potansiyometrik Cetveller

4.3.2 Gerinim ölçer (strain gauge)

Hazırlanan deney elemanda çelik levhanın çekme sonucu çelik levhada ve levha ile temasta olan donatı da meydana gelen birim deformasyonların belirlenmesi amacıyla çelik levhada ve donatıda gerinim ölçerler yerleştirildi. Bu gerinim ölçerler %15 birim deformasyon kapasitesine sahip (Şekil 5.6). Gerinim ölçerlerin yerleşimi şekil 5.7’de verilmiştir.

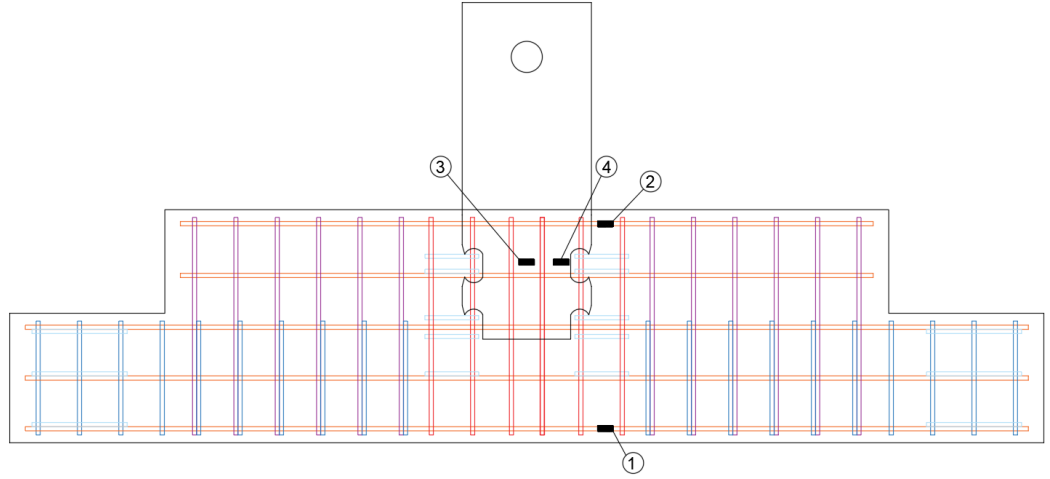


Şekil 4.6 Gerinim ölçer (Strain Gauge)

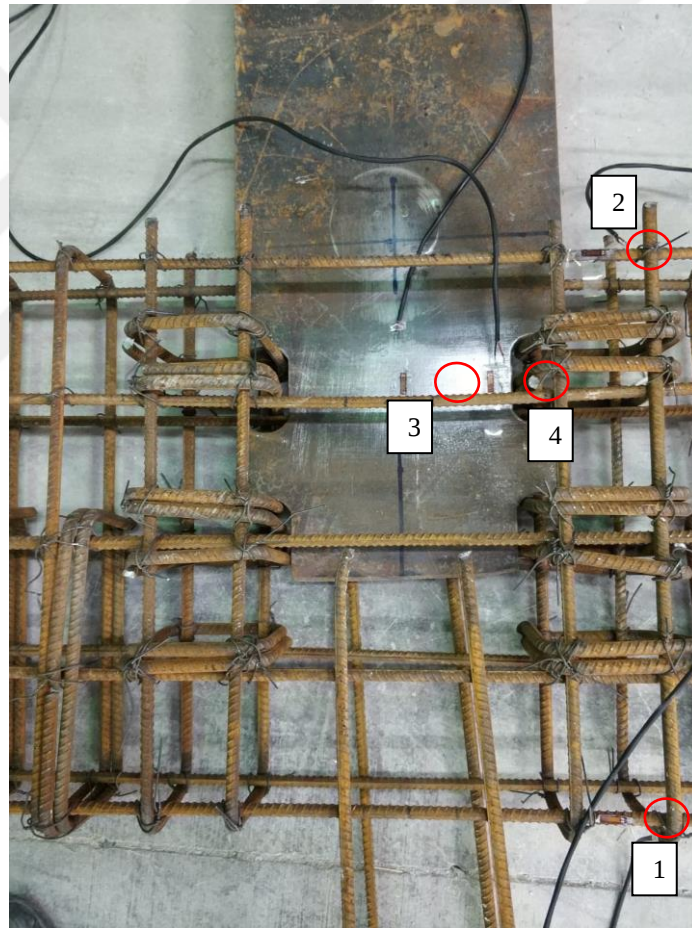


Şekil 4.7 Kontrol numunede strain gauge lokasyonları

1. Strain gauge -1 (alt boyuna donatı)
2. Strain gauge -2 (üst boyuna donatı)
3. Strain gauge-3 (levhanın orta kısım)



Şekil 4.8 Deney elemanı- 2'de strain gauge lokasyonları



Şekil 4.9 Gerinim Ölçerlerin yerleşimi

1. Strain gauge -1 (alt boyuna donatı)
2. Strain gauge -2 (üst boyuna donatı)
3. Strain gauge-3 (levhanın orta kısım)
4. Strain gauge-4 (levhanın sağ kısım)

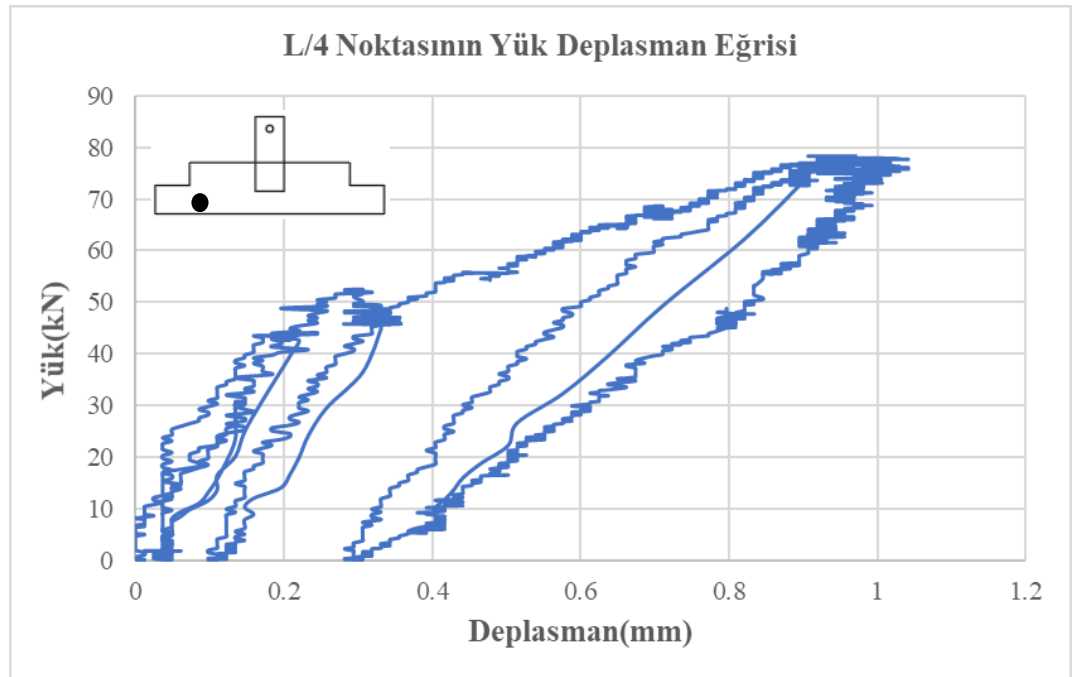
5 Sonuç ve Değerlendirme

5.1 Kontrol Numune (KN)

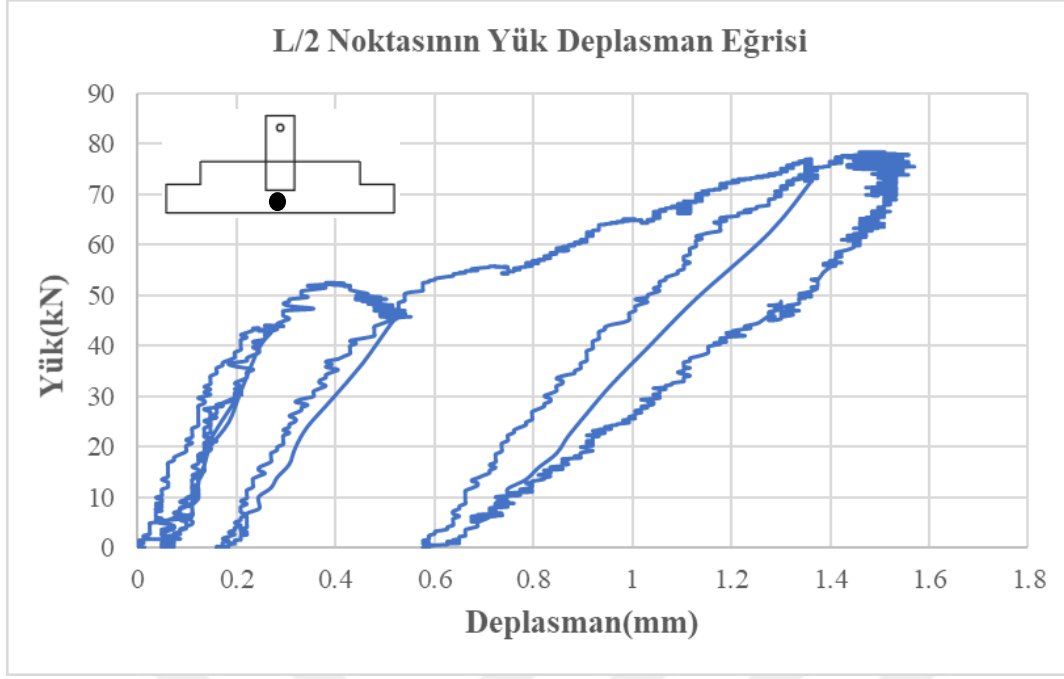
Kontrol numune deney platformuna yerleştirildi. Yükleme sonucu betonarme kirişin yapacağı deplasmanı gözlemlemek için kirişin iki noktasında ($L/4$ ve $L/2$) deplasman ölçerler yerleştirildi. Bununla birlikte çelik levhanın yükleme sonucu sıyrılma davranışını gözlemleyebilmek için de levhanın bir yüzeyinde deplasman ölçer yerleştirildi. Deney yükleme – boşaltma şeklinde 25 kN’luk yük artışı ile yapıldı. Yükleme – boşaltma yapılırken yük miktarı, betonarme kirişin yükleme sonucu yaptığı deplasman ve çelik levhanın sıyrılma miktarı bilgisayar tarafından kayıt edildi. Yüklemenin ilk çevriminde betonarme kiriş elemanında herhangi bir çatlak gözlemlenmedi. Ancak betonarme kirişin her iki noktasında yerleştirilen deplasman ölçerler 0.05mm’lik bir deplasman kaydetmiştir. Çelik levhada gözle görülebilir sıyrılma davranışı göstermemiştir. Yükleme ikinci çevrime yükseldiğinde (50kN) betonarme kirişte ilk kılcal çatlaklar görülmeye başladı. Betonarme kirişin $L/4$ noktası yaklaşık 0.27mm deplasman yapmıştır. $L/2$ noktası ise 0.38mm deplasman yapmıştır. Çelik levha da ilk sıyrılmalar gözlemlemeye başlandı. 50kN yükleme ile çelik levha 0.23mm sıyrılma yapmıştır. Üçüncü çevrimde (75kN) ise çelik levhanın sıyrılması çok hızlı bir şekilde arttı. Yükleme 75 kN’dayken betonarme kirişin $L/4$ noktasında 0.90mm deplasman yapılmıştır. Kirişin orta noktasında ise 1.36mm deplasman görülmüştür. Çelik levha 55kN yükleme ile 1.23mm sıyrılma gösterilmiştir. Yüklemenin artması ile levhanın sıyrılması çok hızlı bir şekilde gelişmiştir. Yükleme 75kN’e çıkınca çelik levha 15.13mm sıyrılma yapmıştır. Dördüncü çevrim yüklemesinin başında kontrol numunede çelik levha sıyrılması artmaya devam etmiştir. Kontrol numune maksimum yükleme (78.23kN) aldıktan sonra çelik levha 17.92mm sıyrılma yapmıştır. Bu miktar sıyrılmadan sonra kontrol numune sıyrılmada göçme yapmıştır. Maksimum yüklemede betonarme kirişin $L/4$ noktasında 0.97mm deplasman gözlemlenirken orta noktada ise 1.51mm deplasman gözlemlemiştir. Maksimum yüklemeden sonra boşaltmaya geçmiş ve yük boşaltma sonunda (5.31kN) çelik levha 162.59mm sıyrılma yapmıştır. Deney sırasında betonarme kiriş elemanın $L/4$ noktasında kaydedilen maksimum deplasman 1.04mm’dir. Kirişin orta noktası ise 1.57mm deplasman yapmıştır.



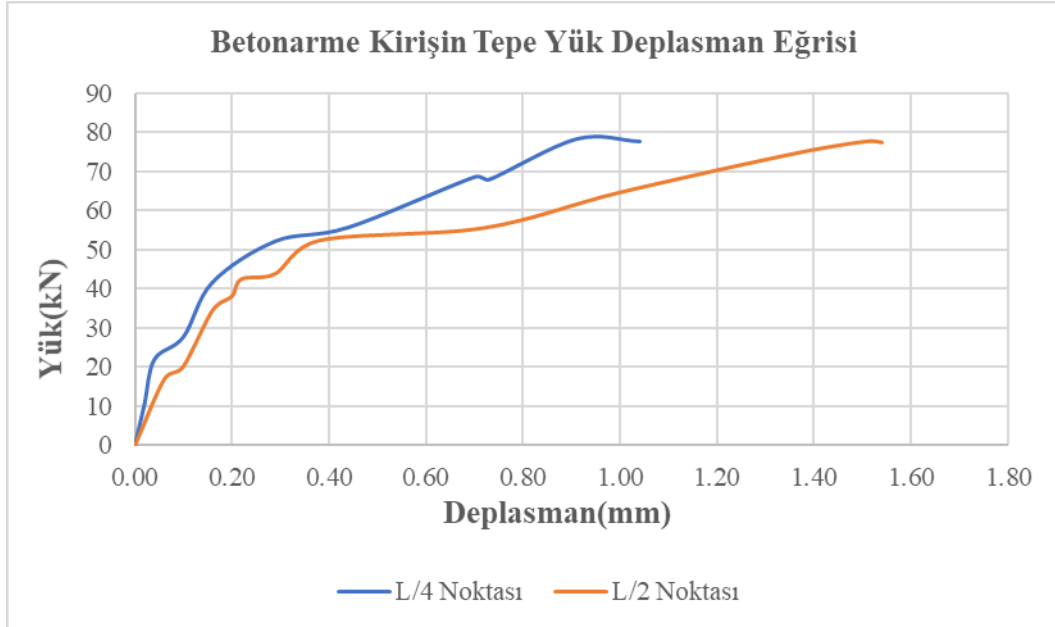
Şekil 5.1 Kontrol numunenin deney platformuna yerleşimi



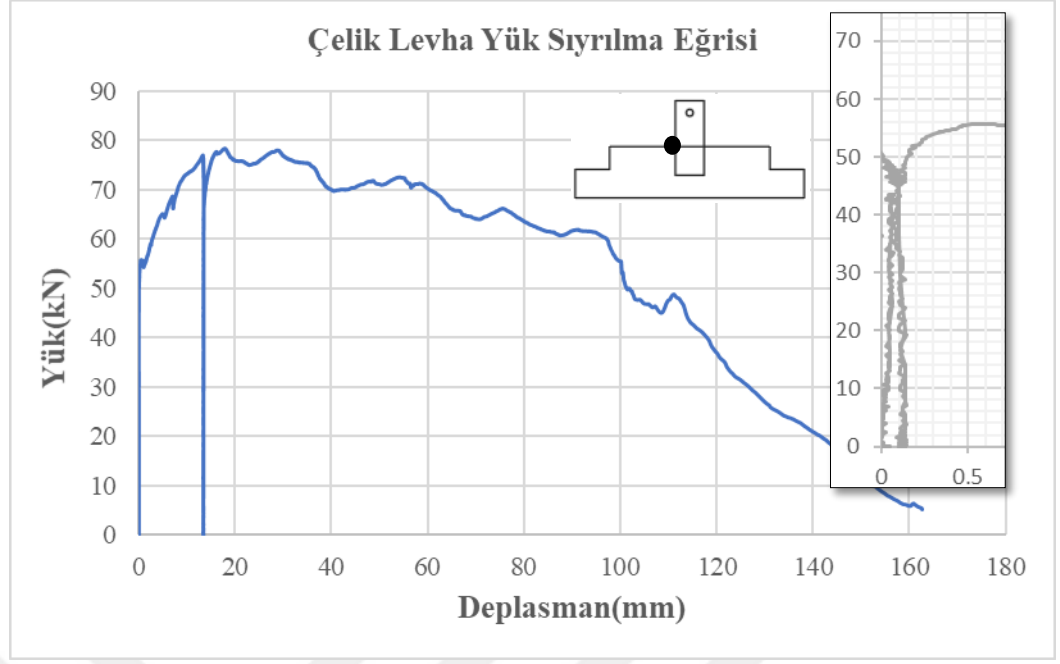
Şekil 5.2 KN'nin L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



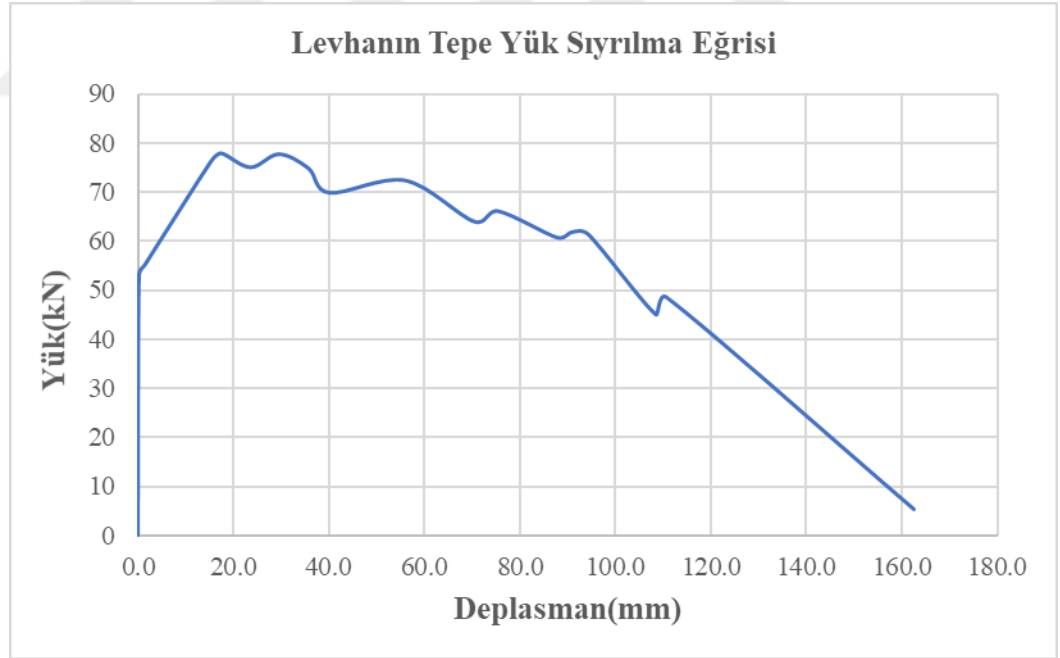
Şekil 5.3 KN'nin L/2 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



Şekil 5.4 KN'nin tepe yük-deplasman eğrisi



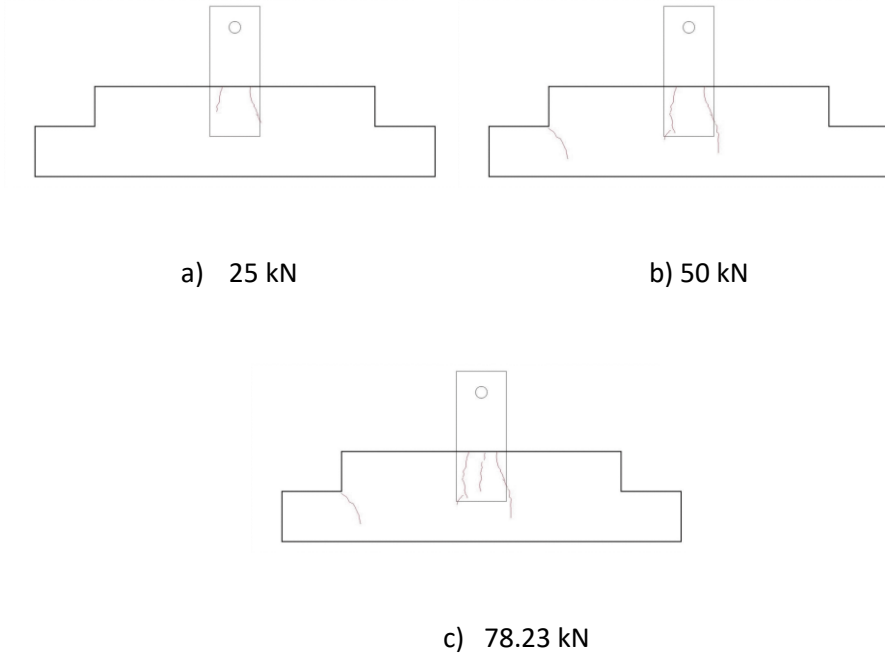
Şekil 5.5 KN'nin levha yük-sıyrılma eğrisi



Şekil 5.6 KN'nin levha tepe yük-sıyrılma eğrisi



Şekil 5.7 KN'nin deney sonrası hali



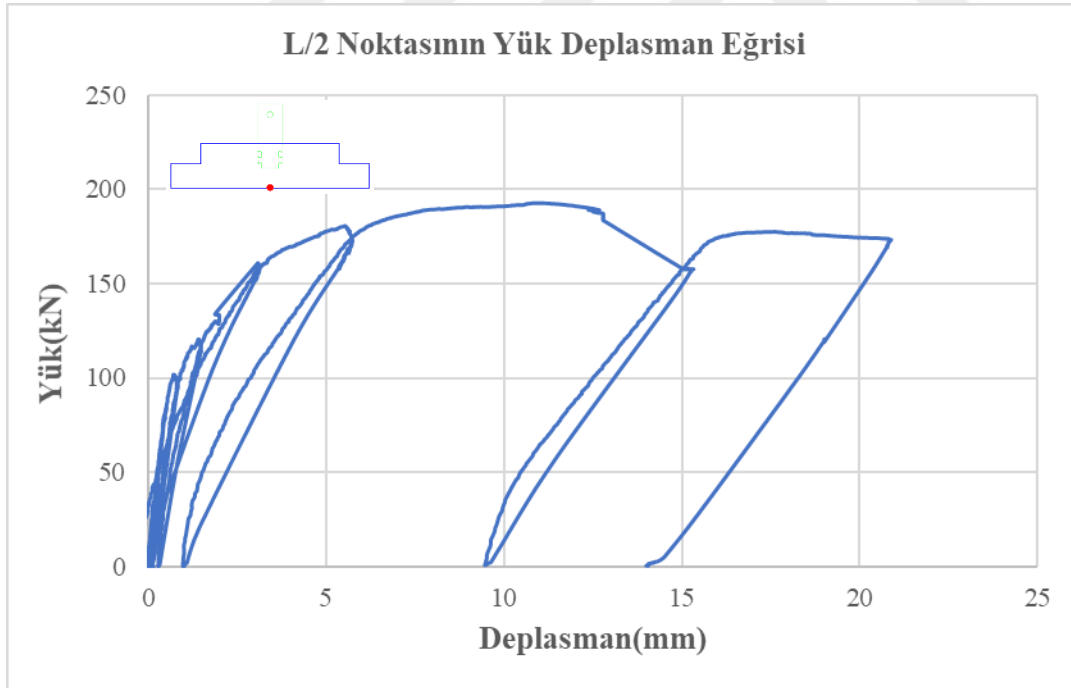
Şekil 5.8 Kontrol numuneye ait çatlakların gelişimi

5.2 Deney Elemanı – 1 (N-1, Lifli)

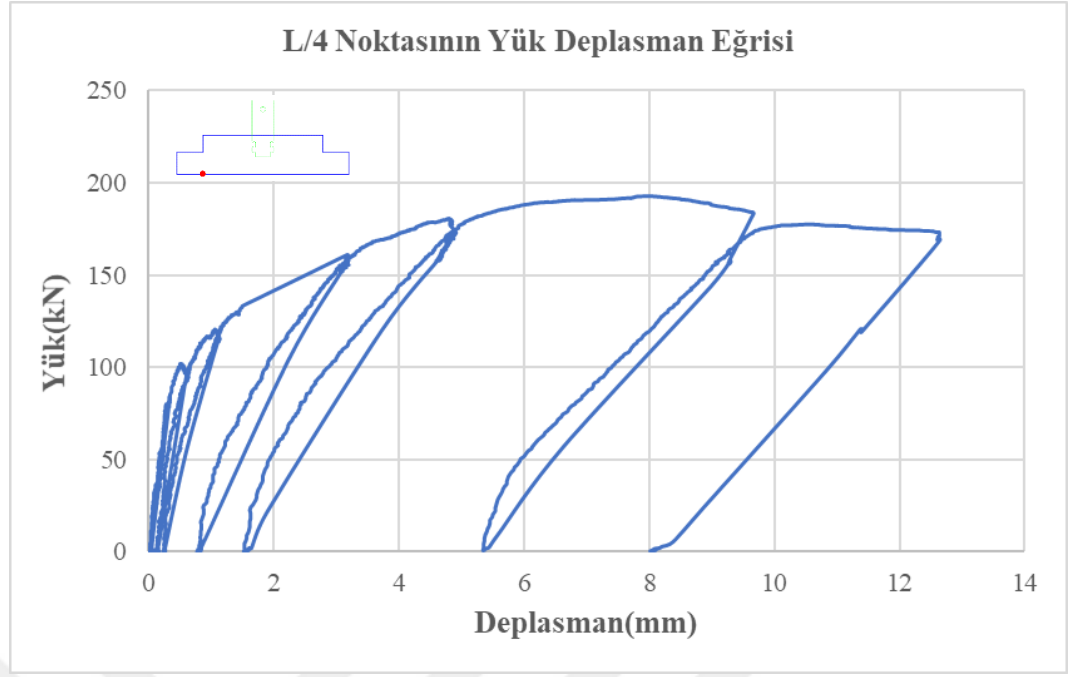
Deney Elemanı – 1 deney platformuna yerleştirildi. Betonarme kirişin yükleme sonucu yapılacağı deplasmanı gözlemlemek için üç yerde deplasman ölçerler yerleştirildi. Deplasman ölçerler sırası ile betonarme kirişin $L/4$, $L/2$ ve $3L/4$ noktalarında yerleştirildi. Çelik levhanın de sıyrılma davranışını çelik levhanın iki yanında yerleştirilen deplasman ölçerlerle kaydedildi. Deney yükleme – boşaltma şeklinde 25 kN yük artışı ile yapıldı. Yüklemenin ilk iki çevriminde (50kN) betonarme kirişin herhangi bir bölgesinde herhangi bir çatlak oluşmadı. İkinci çevrimin sonunda betonarme kirişin $L/4$ noktasında 0.28mm, $L/2$ noktasında 0.29mm ve $3L/4$ noktasında 0.19mm deplasman oluşmuştur. Çelik levhanın her iki yanı ise 0.14mm sıyrılma yapmıştır. Yüklemenin artması ile betonarme kirişin deplasmanı artmaya devam etmiştir. Üçüncü çevrimde (75kN) betonarme kirişte kılcal çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Yükleme 74kN da iken ilk kılcal çatlaklar kaydedildi. Bu çevrimin sonunda betonarme kirişin $L/4$ noktası 0.40mm, $3L/4$ noktası 0.32mm ve $L/2$ noktası ise 0.65mm deplasman yapmıştır. Çelik levhanın sağ yanı 0.23mm ve sol yanı ise 0.21mm sıyrılma göstermiştir. Yüklemenin artması ile çelik levhanın sıyrılması ve betonarme kirişin deplasmanı artmaya devam etmiştir. Yükleme sekizinci çevrime gelince deney elemanı – 1 maksimum alabileceği çekme yükünü (192.79kN) aldıktan sonra yük boşaltmaya başlamıştır. Ancak bu yük sonucu da çelik levha betonarme kirişten sıyrılmamıştır. Yükleme 192.79 kN deyken betonarme kirişin $L/4$ noktası 7.92mm, $3L/4$ noktası 4.71mm ve $L/2$ noktası ise 11.16mm deplasman yapmıştır. Çelik levhanın sağ yanı 0.64mm ve sol yanı ise 1.13mm sıyrılma yapmıştır. Sekizin çevrim tamamen sıfırlayınca dokuzuncu çevrim başlatıldı. Yüklemenin artması ile deney elemanı – 1 de sıyrılma ve deplasman artmaya devam etmiştir. Ancak dokuzuncu çevrim yüklemesi sona gelmeden 172.73kN yükleme ile deney elemanı – 1 eğilmede göçme yapıştır. Deney elemanı – 1 göçme yaptıktan sonra maksimum deplasman ve sıyrılmaya ulaşmıştır. Çelik levhadaki çentiklerden dolayı levha maksimum 10.85mm sıyrılma yapmış ve betonarme eleman göçmüştür. Betonarme kirişin $L/4$ noktası 12.65mm, $3L/4$ noktası 7.94mm ve orta noktası ise 20.88mm deplasman yaparak göçmüştür. Çelik levhanın her iki yanı birbirine benzer sıyrılma davranışı göstererek 10.85mm sıyrılma yapmıştır.



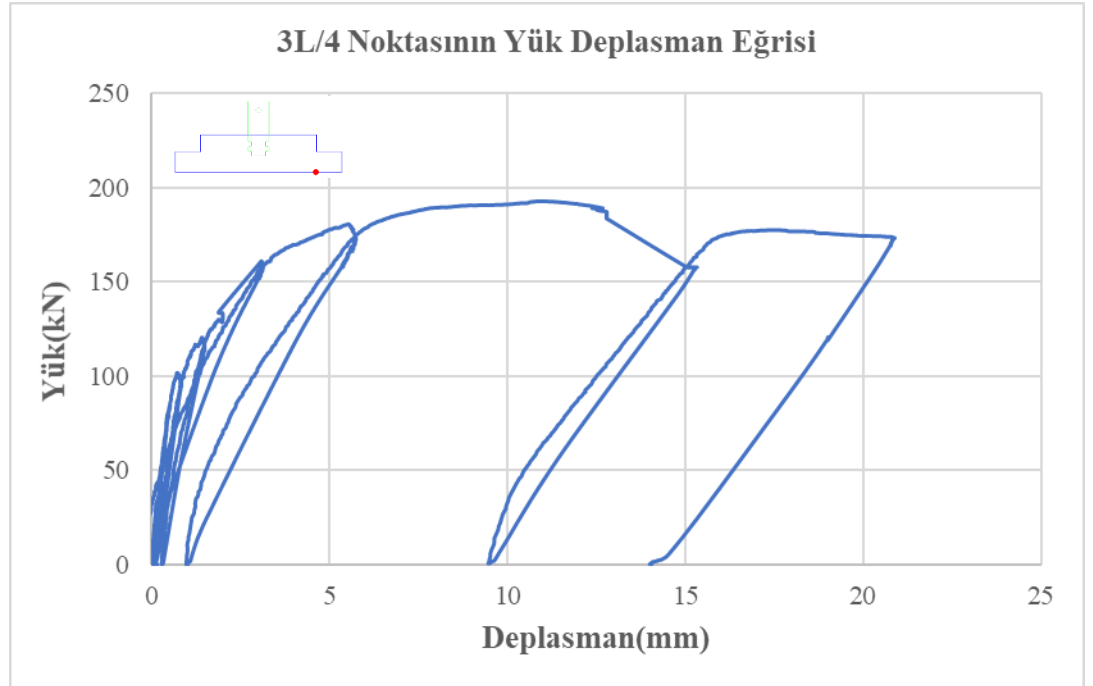
Şekil 5.9 N-1'in deney platformuna yerleşimi



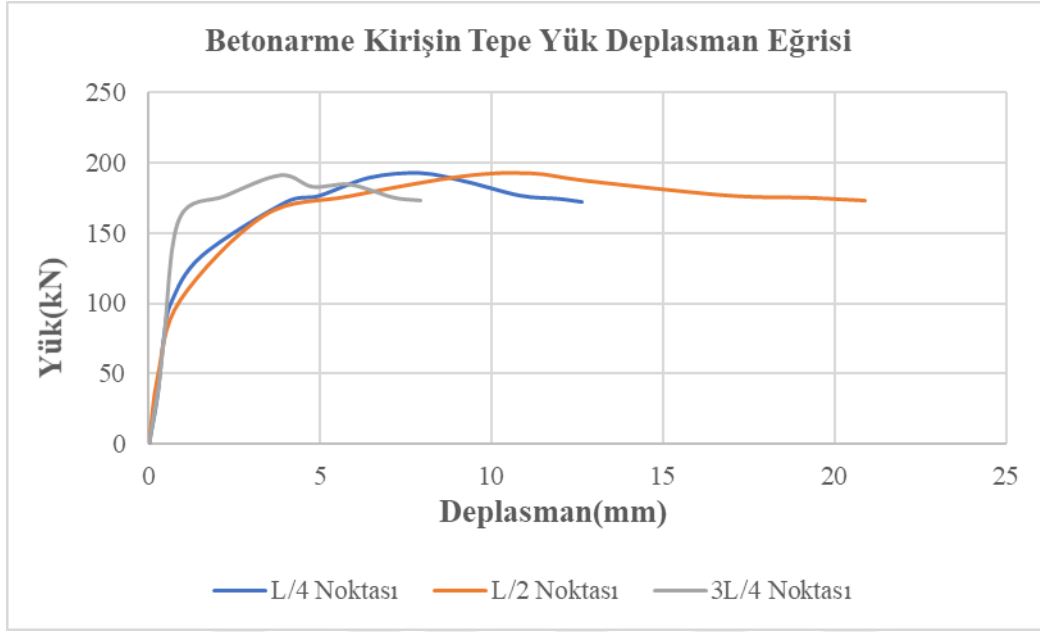
Şekil 5.10 N-1'in L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



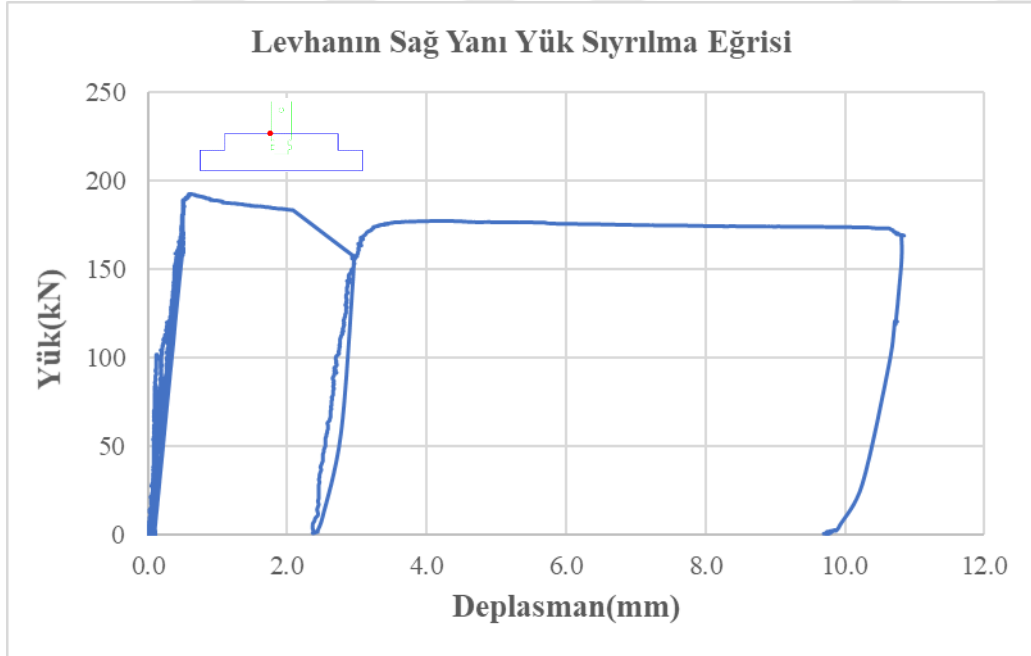
Şekil 5.11 N-1'in L/2 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



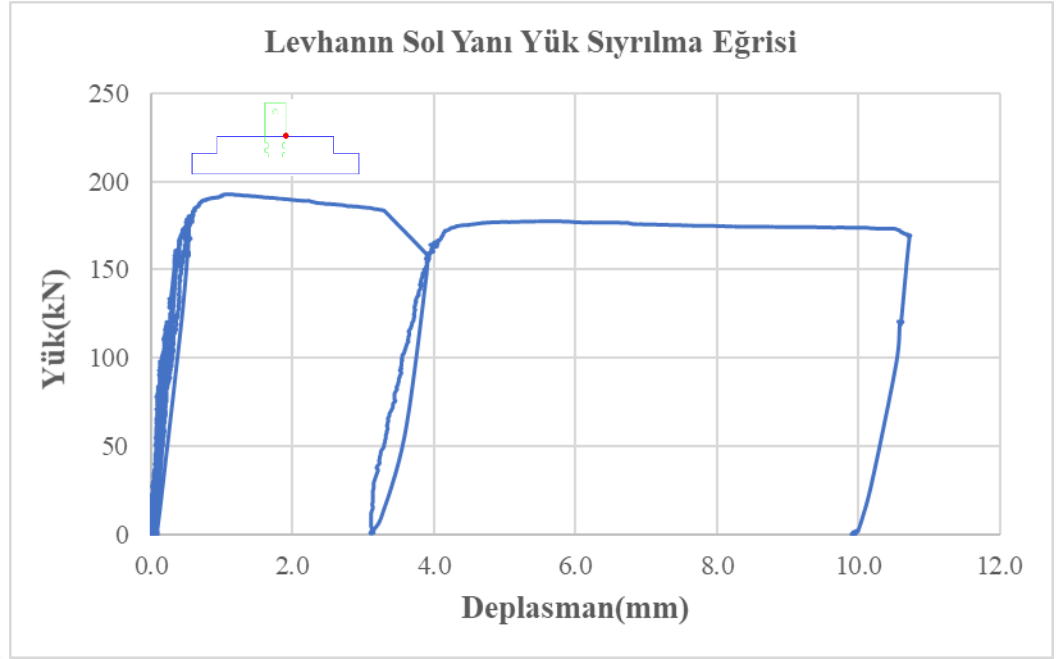
Şekil 5.12 N-1'in 3L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



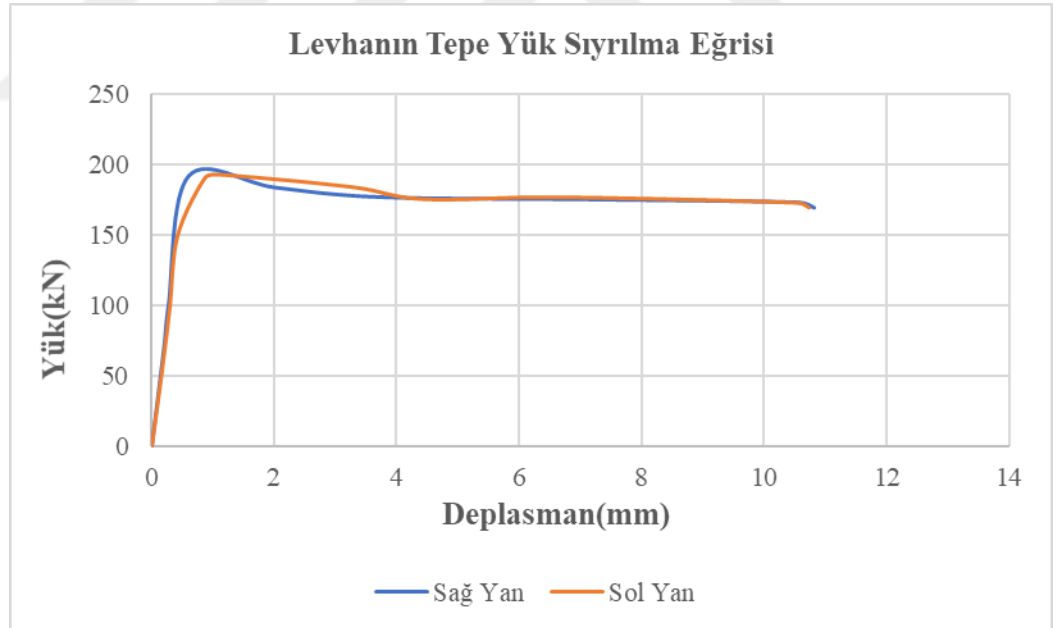
Şekil 5.13 N-1'in tepe yük-deplasman eğrisi



Şekil 5.14 N-1'in levha sağ yanı yük-sıyrılma eğrisi



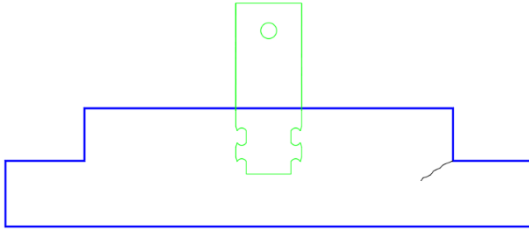
Şekil 5.15 N-1'in levha sol yanı yük-sıyırılma eğrisi



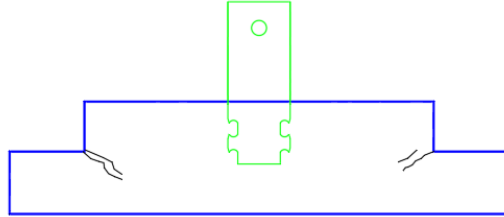
Şekil 5.16 N-1'in levha tepe yük-sıyırılma eğrisi



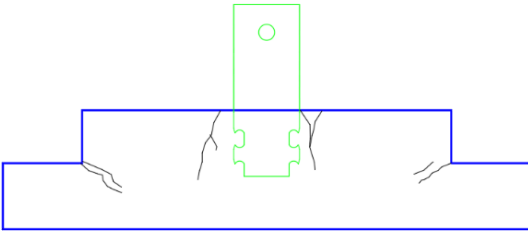
Şekil 5.17 N-1'in deney sonrası hali



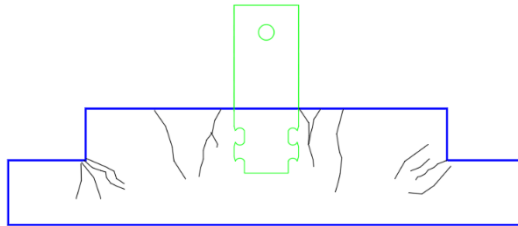
a) 75 kn



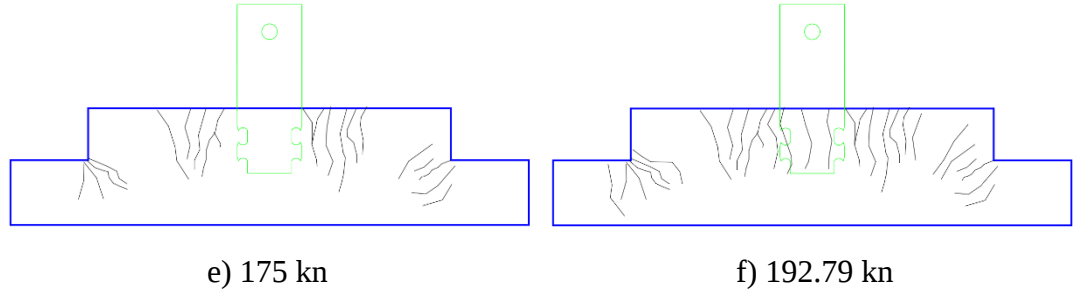
b) 100 kn



c) 125 kn



d) 150 kn



Şekil 5.18 Deney elemanı- 1'in çatlak gelişimi

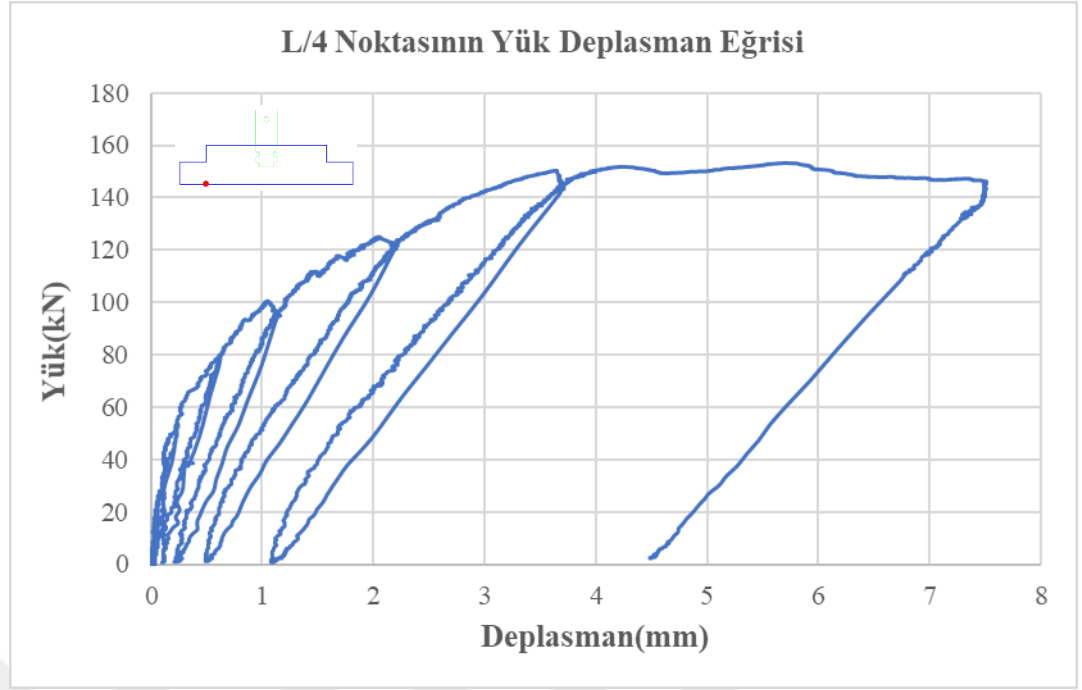
5.3 Deney Elemanı – 2 (N-2, Lifsiz)

Deney Elemanı – 2 deney platformuna yerleştirildi. Betonarme kirişin yükleme sonucu yapılacağı deplasmanı gözlemlemek için üç yerde deplasman ölçerler yerleştirildi. Deplasman ölçerler sırası ile betonarme kirişin $L/4$, $L/2$ ve $3L/4$ noktalarında yerleştirildi. Çelik levhanın de sıyrılma davranışını çelik levhanın iki yanında yerleştirilen deplasman ölçerlerle kaydedildi. Deney yükleme – boşaltma şeklinde 25 kN yük artışı ile yapıldı. Yüklemenin ilk iki çevriminde (50kN) betonarme kirişin herhangi bir bölgesinde herhangi bir çatlak oluşmadı. İkinci çevrimin sonunda betonarme kirişin $L/4$ noktasında 0.23mm, $L/2$ noktasında 0.32mm ve $3L/4$ noktasında 0.26mm deplasman oluşmuştur. Çelik levhanın her iki yanı ise 0.09mm sıyrılma yapmıştır. Yüklemenin artması ile betonarme kirişin deplasmanı artmaya devam etmiştir. Üçüncü çevrimde (75kN) betonarme kirişte kılcal çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Yükleme 71kN da iken ilk kılcal çatlaklar kaydedildi. Bu çevrimin sonunda betonarme kirişin $L/4$ noktası 0.59mm, $3L/4$ noktası 0.78mm ve $L/2$ noktası ise 0.48mm deplasman yapmıştır. Çelik levhanın sağ yanı 0.27mm ve sol yanı ise 0.16mm sıyrılma göstermiştir. Yüklemenin artması ile çelik levhanın sıyrılması ve betonarme kirişin deplasmanı artmaya devam etmiştir. Yükleme yedinci çevrime gelince deney elemanı – 2 maksimum alabileceği çekme yükünü (153.21kN) aldıktan sonra yük boşaltmaya başlamıştır. Ancak bu yük sonucu da çelik levha betonarme kirişten sıyrılmamıştır. Yükleme 153.21 kN deyken betonarme kirişin $L/4$ noktası 5.74mm, $3L/4$ noktası 6.18mm ve $L/2$ noktası ise 9.89mm deplasman yapmıştır. Çelik levhanın sağ yanı 0.80mm ve sol yanı ise 7.07mm sıyrılma yapmıştır. Deney elemanı – 2 yedinci çevrimi tam bitirmeden maksimum yüklemeden sonra boşaltmaya başlamıştır. Yedinci çevrimin yük boşaltma

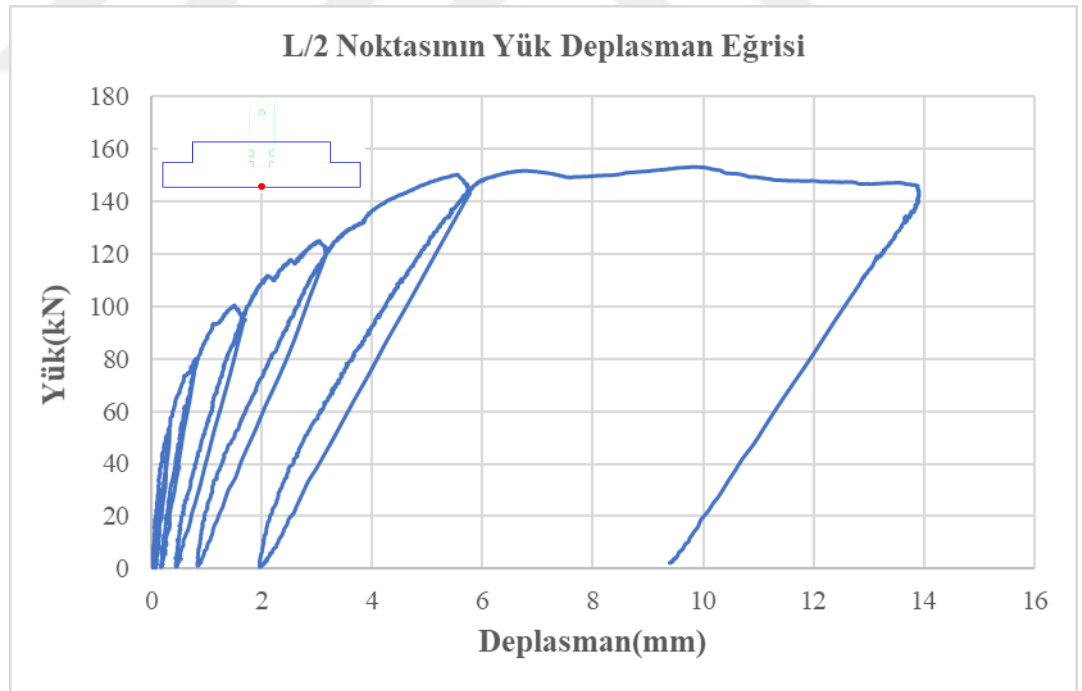
sırasında, yük 145.32kN'e düşüncü, deney elemanı – 2 eğilmede göçme yapmıştır. Deney elemanı – 2 göçme yaptıktan sonra betonarme kiriş eleman maksimum deplasman ve çelik levha maksimum sıyrılmaya ulaşmıştır. Çelik levhadaki çentiklerden dolayı levha maksimum 34.32mm sağ yandan ve 17.24mm sol yandan sıyrılmaya yapmış ve betonarme eleman göçmüştür. Betonarme kirişin L/4 noktası 7.51mm, 3L/4 noktası 8.05mm ve orta noktası ise 13.91mm deplasman yaparak göçmüştür. Çelik levhanın her iki yanı birbirine benzer sıyrılmaya davranışı göstererek 10.85mm sıyrılmaya yapmıştır.



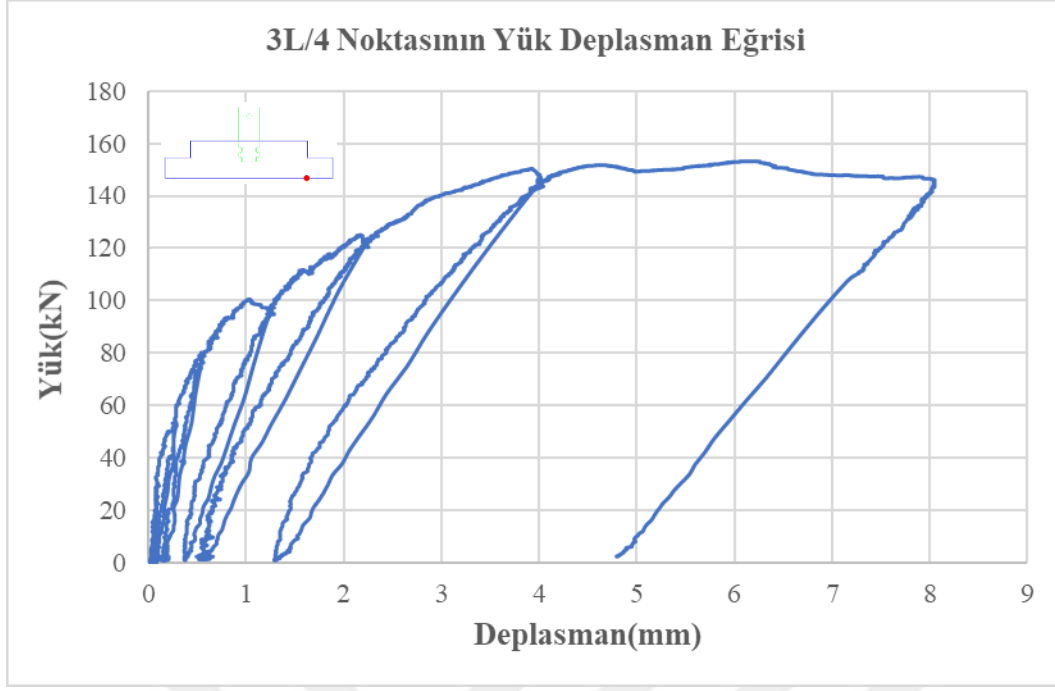
Şekil 5.19 N-2'nin deney platformuna yerleşimi



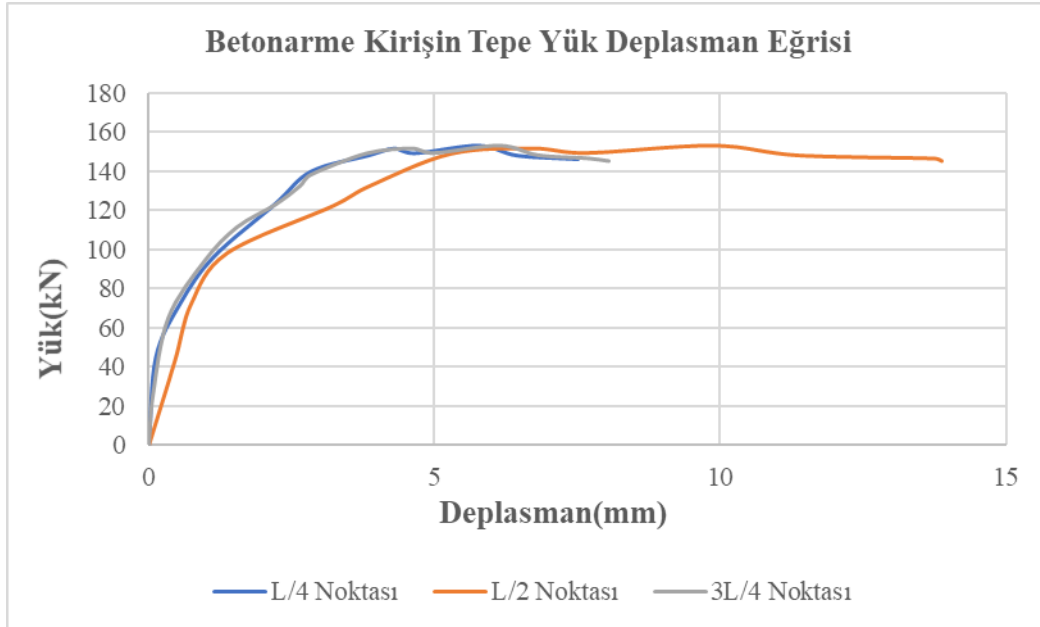
Şekil 5.20 N-2'nin L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



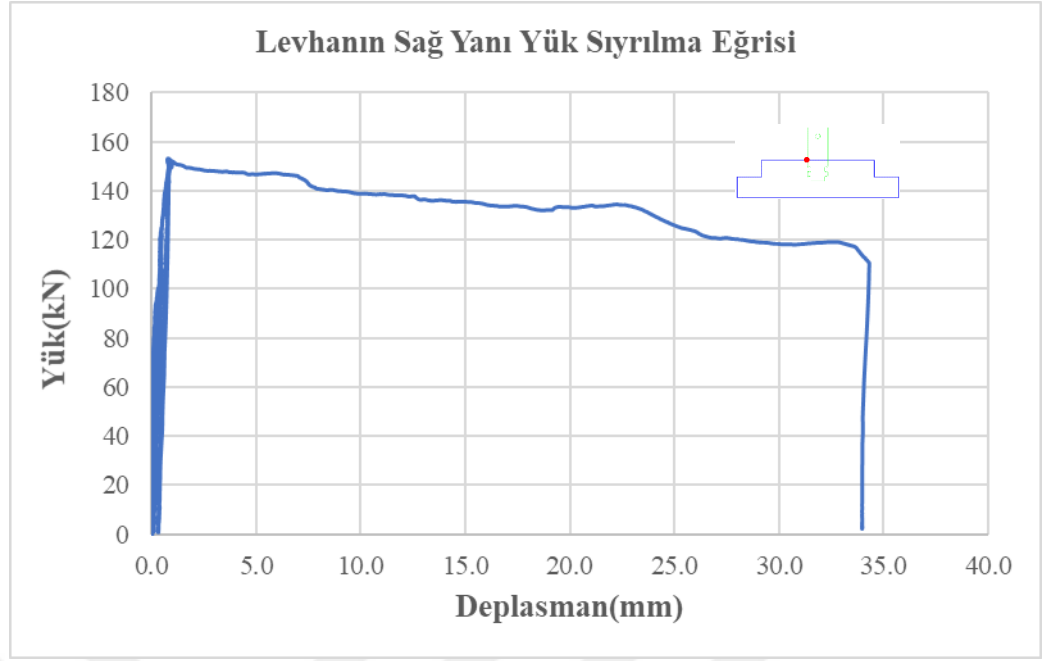
Şekil 5.21 N-2'nin L/2 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



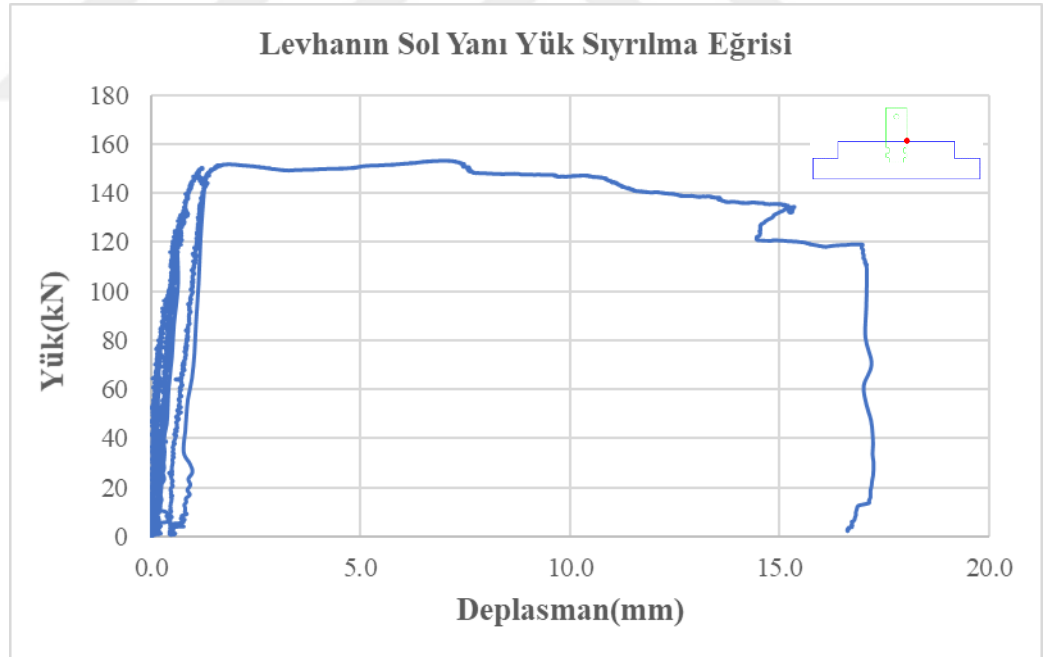
Şekil 5.22 N-2'nin 3L/4 noktasındaki yük-deplasman eğrisi



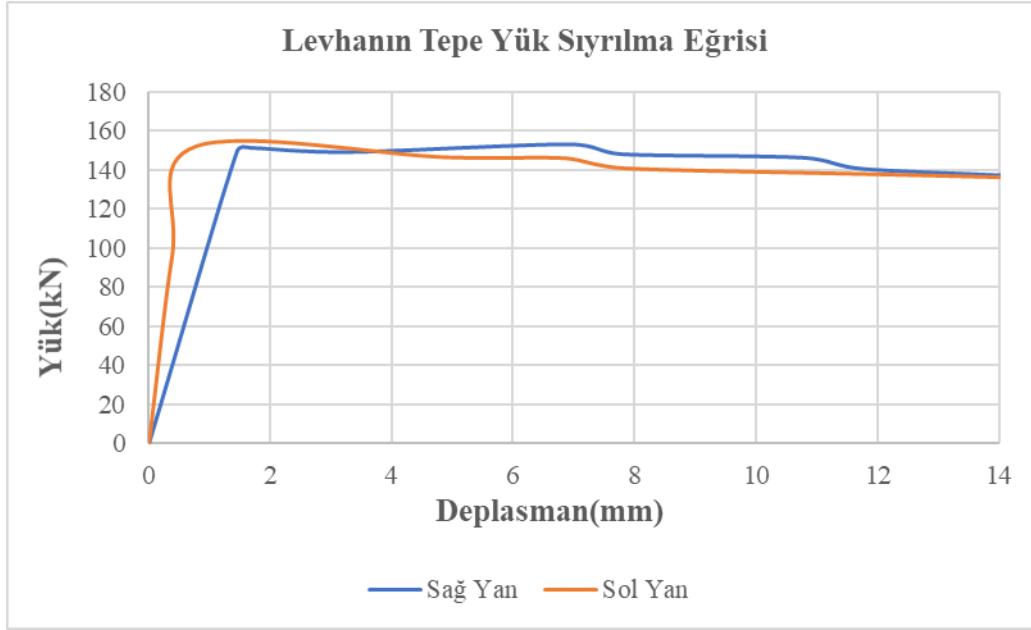
Şekil 5.23 N-2'nin tepe yük-deplasman eğrisi



Şekil 5.24 N-2'nin levha sağ yanı yük-sıyırılma eğrisi



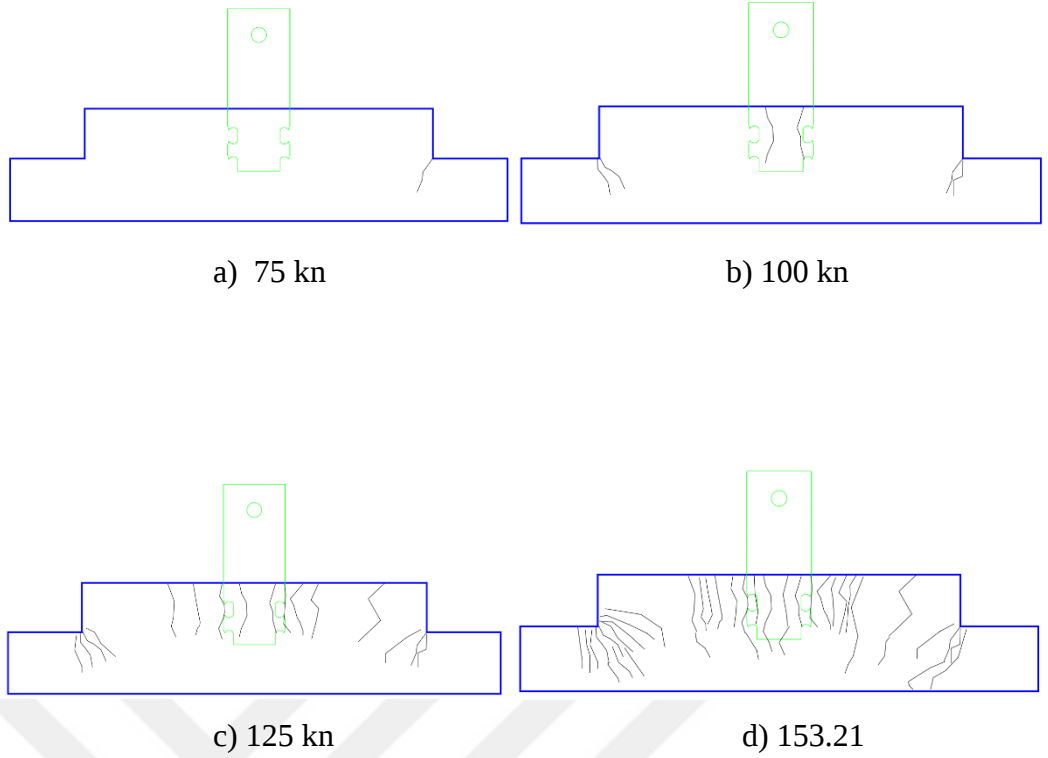
Şekil 5.25 N-2'nin levha sol yanı yük-sıyırılma eğrisi



Şekil 5.26 N-2'nin levha tepe yük-sıyırılma eğrisi



Şekil 5.27 N-2'nin deney sonrası hali

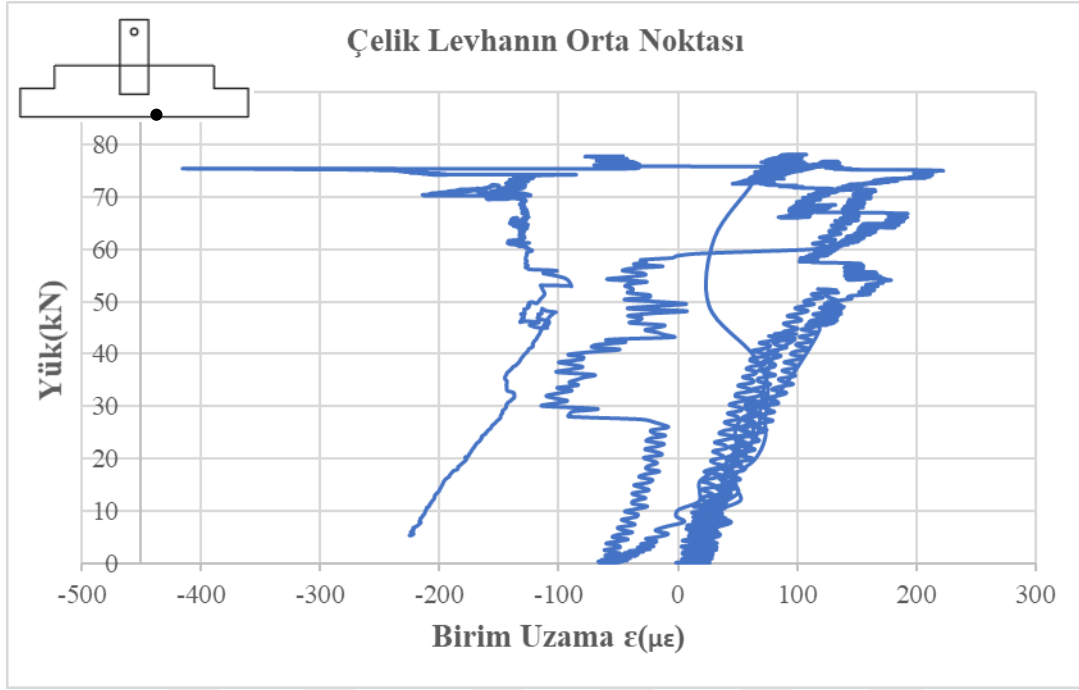


Şekil 5.28 Deney elemanı- 2'nin çatlak gelişimi

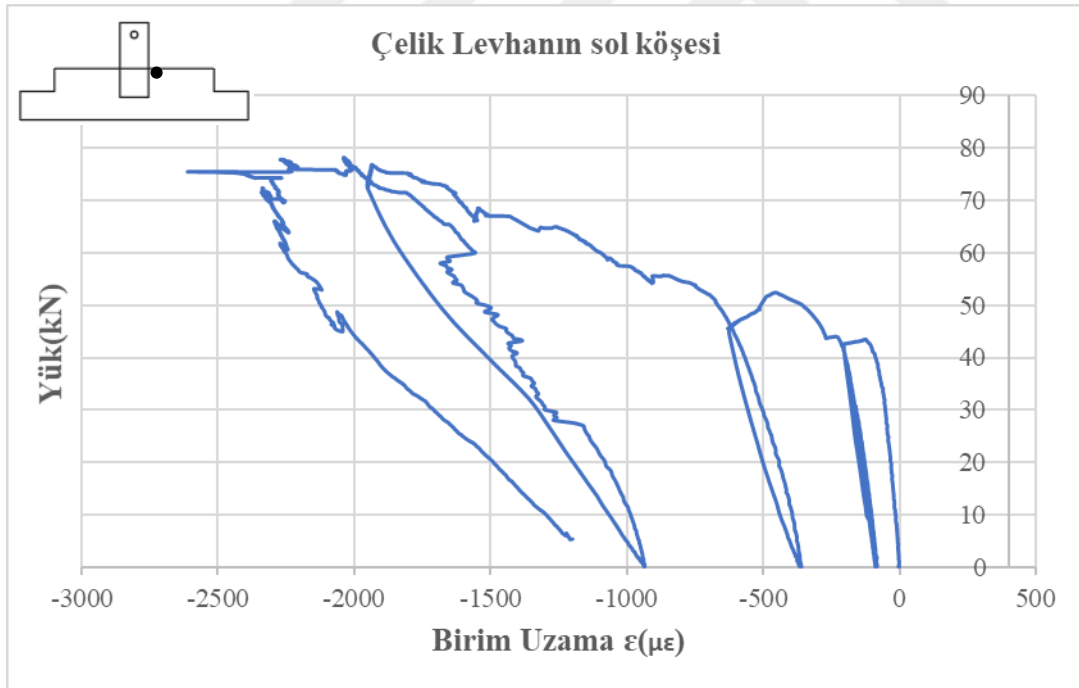
5.4 Yük birim şekil uzama

Kontrol numunenin çelik levhasına ve alt ve üst donatıya yerleştirilen gerinim ölçerlerden alınan verileri sonucu şekil 6.29'da verilmiştir. Şekil 6.29 ve 6.30'da gösterilen grafikler sırasıyla alt ve üst donatıya yerleştirilen gerinim ölçerin sonucudur. Şekil 6.31 ise çelik levhanın orta kısmında yerleştirilen gerinim ölçerden alınan verilerin sonucudur. Gerinim ölçerden alınan verilerle yüke karşı çelik gerinme (uzama) davranışı tespit edildi. Şekillerde gösterilen strainlerin pozitif değerleri gerilme çekme ve negatif değerleri ise gerilme basınç olarak tanımlanmıştır.

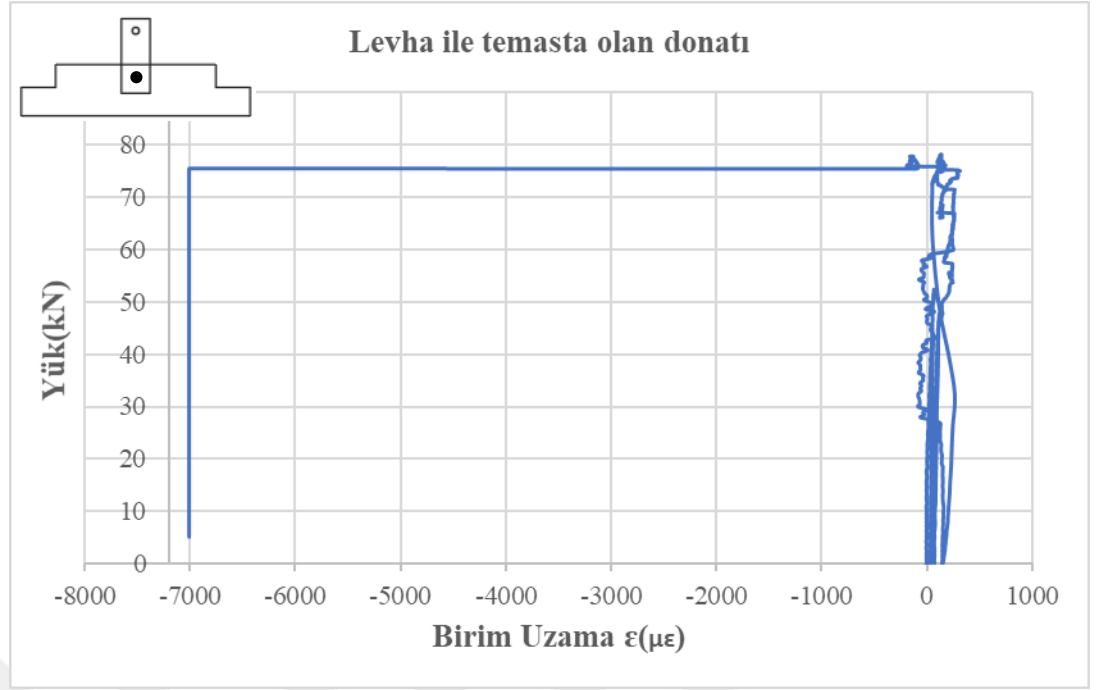
Kontrol elemanın verilerini karşılaştırmak amacıyla deney elemanı – 2 (lifsiz) ye gerinim ölçerler yerleştirildi. Deney elemanı – 2'nin çelik levhasının orta kısmında ve sağ köşesinde birer gerinim ölçer yerleştirildi. Aynı zamanda, alt ve üst donatıya da gerinim ölçer yerleştirildi. Böylece çelik levha ve donatının yükleme sonucu birim uzama deformasyonunu inceldik. Deney elemanı – 2 den elde edilen veriler sonucu şekil 6.32'de gösterilmiştir.



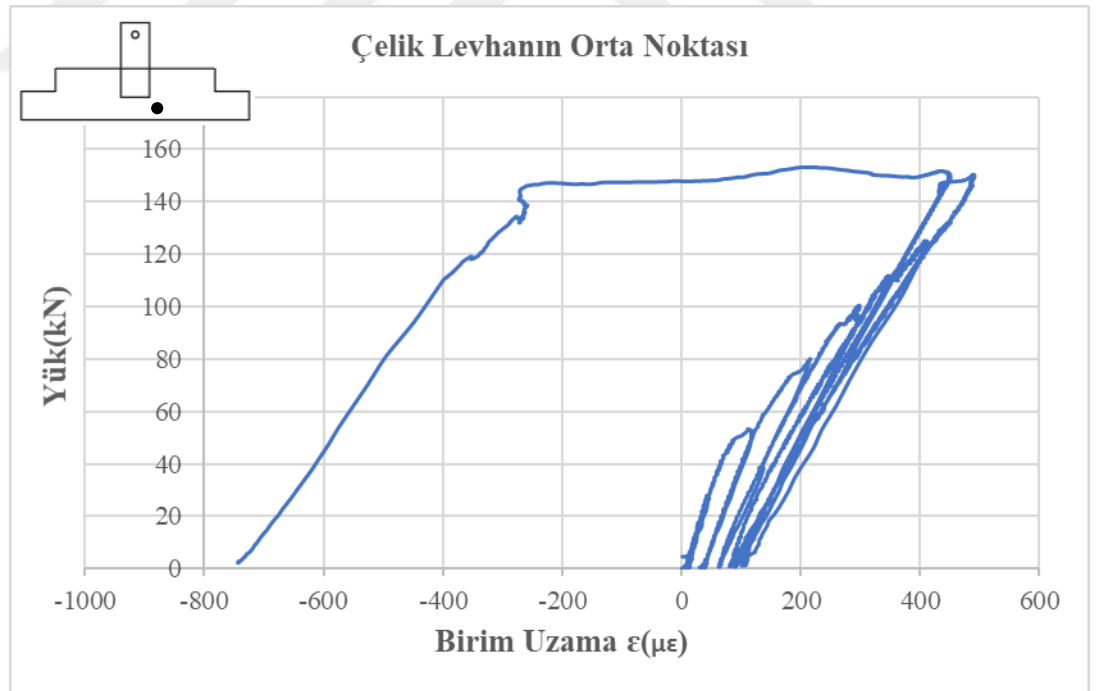
Şekil 5.29 KN'nin alt donatı yük-birim uzama eğrisi



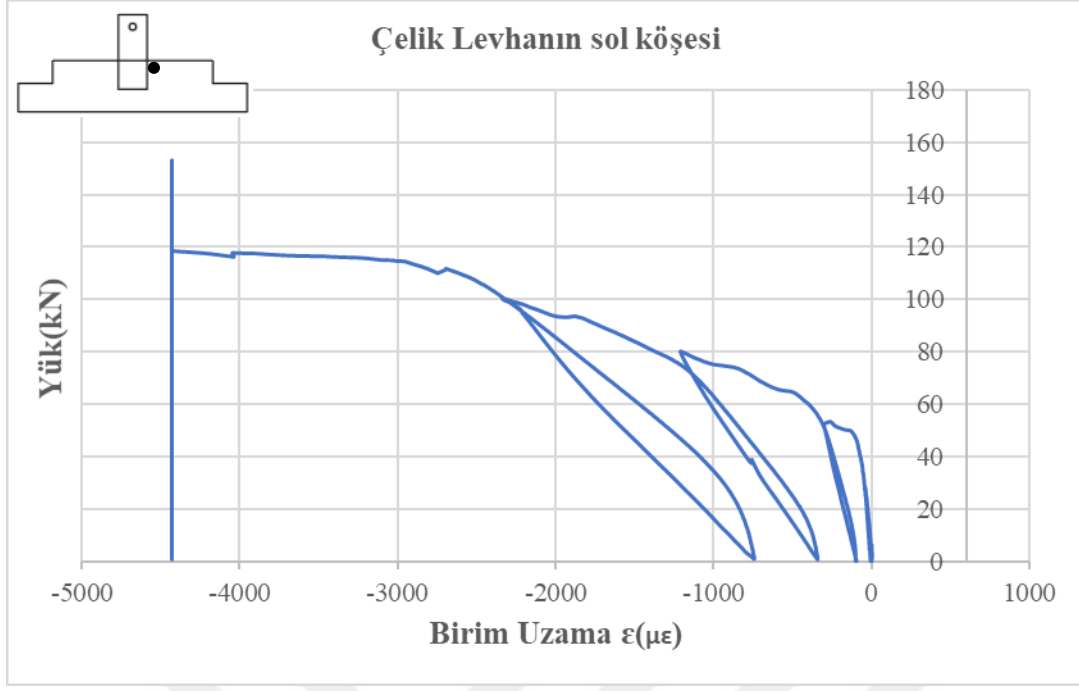
Şekil 5.30 KN'nin üst donatı yük-birim uzama eğrisi



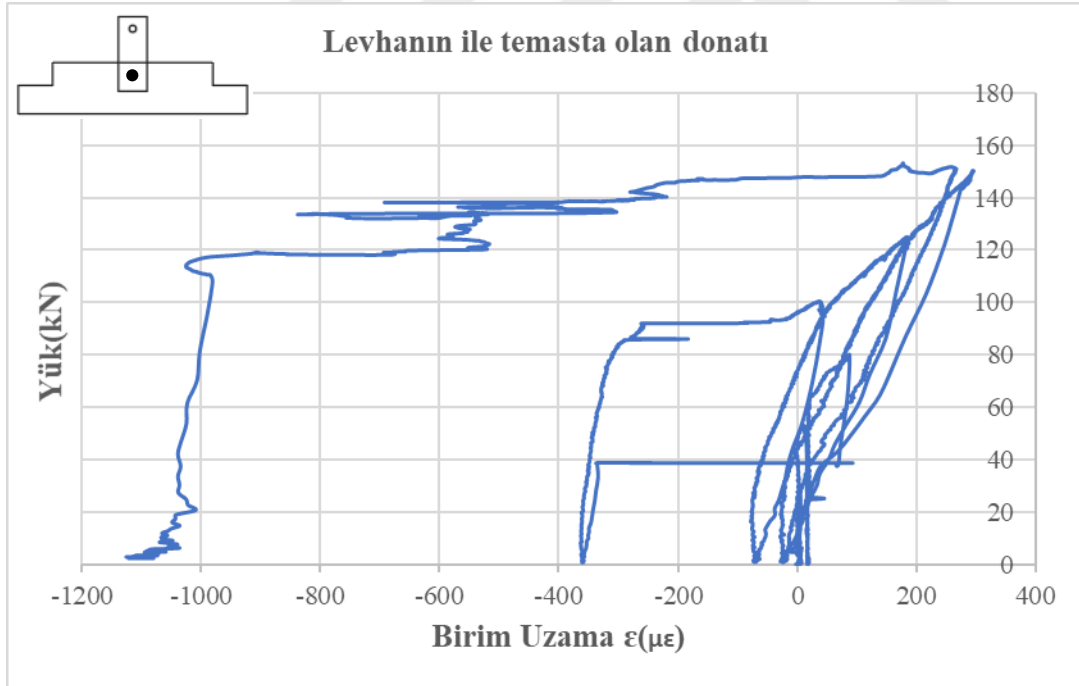
Şekil 5.31 KN'nin çelik levha yük-birim uzama eğrisi



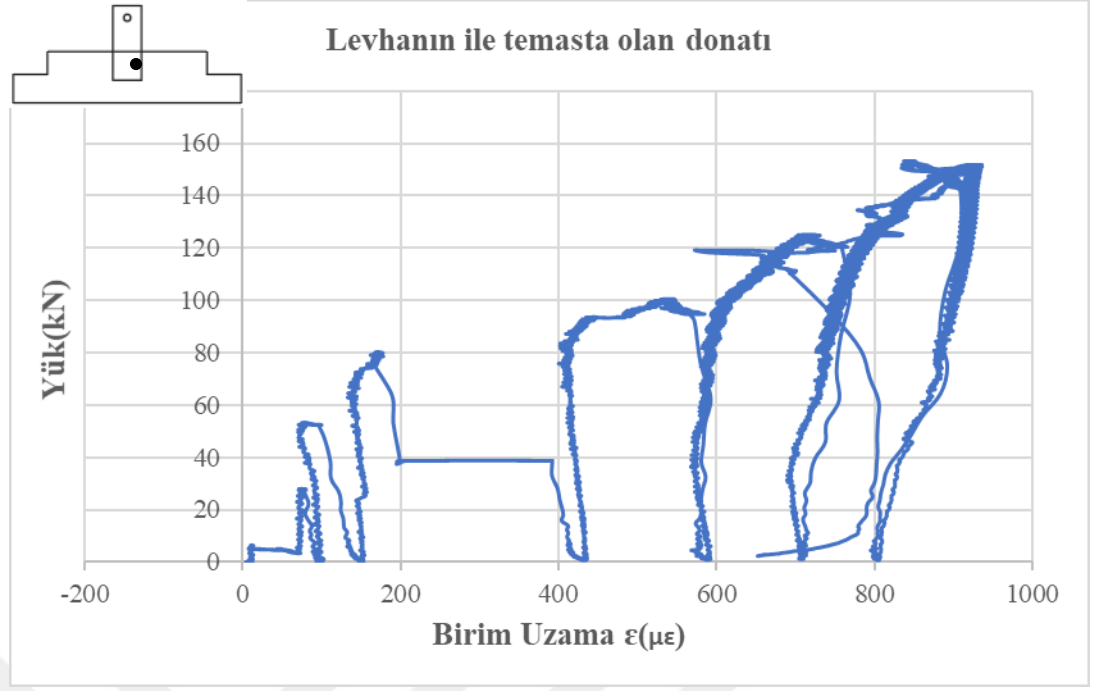
Şekil 5.32 N-2'nin alt donatı yük-birim uzama eğrisi



Şekil 5.33 N-2'nin üst donatı yük-birim uzama eğrisi



Şekil 5.34 N-2'nin levha orta kısmın yük-birim uzama eğrisi



Şekil 5.35 N-2'nin levha sağ kısmın yük-birim uzama eğrisi



Şekil 5.36 deney sonrası donatı ve levhanın deformasyonu



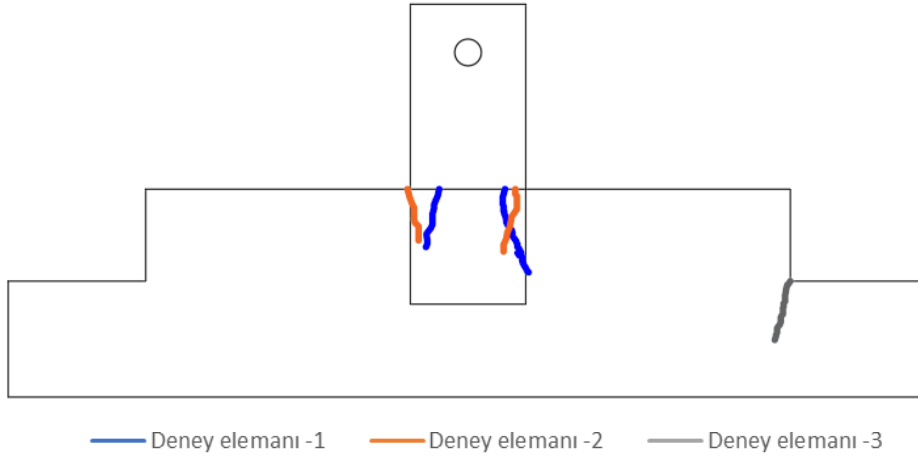
Şekil 5.37 deney sonrası donatıların deformasyonu

6 DENEY SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde deney elemanların sıyrılma davranışı, aldığı maksimum yük, betonarme elemanının çatlak davranışı ve her numunenin göçme şekli birbirleri ile karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilecektir.

Her üç elemanın malzeme özelliği ve levhanın geometrik farkından dolayı deney aşamasında numuneler birbirinden farklı davranış göstermiştir. Kontrol elemanın 'de ilk kılcal çatlaklar yükleme birinci çevrimdeyken çelik levhanın 25 kN'luk çekmesi ile meydana gelmiştir. Deney elemanı-1'de (yüksek dayanımlı lifli beton eleman) ise çatlaklar yükleme üçüncü çevrimdeyken çelik levhanın 74 kN'luk çekmesi ile meydana gelmiştir. Deney elemanı – 2 (lifsiz beton eleman) de Deney elemanı-1'e benzer bir davranış sergilemiştir. Bu numunede de yükleme üçüncü çevrimdeyken çelik levhanın 71 kN'luk çekmesi ile ilk kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir.

Kontrol numune 'de ilk çatlaklar elemanın orta bölgesinde oluşmuştur. Bu elemanda ilk çatlak oluştuğu anda betonarme elemanın orta kısmında 0.6mm'lik bir deplasman meydana gelmiştir. Bu elemanın çelik levhasında ise deneysel çalışmanın bu aşamasında 0.05 mm'lik bir sıyrılma kaydedilmiştir. Deney elemanı-1'de ise ilk çatlaklar mesnet bölgesinde oluşmuştur. Bu elemanda ilk çatlak oluştuğu anda betonarme elemanının orta kısmında 0.65mm'lik bir deplasman meydana gelmiştir. Bu elemanın çelik levhasında ise deneysel çalışmanın bu aşamasında 0.23mm'lik bir sıyrılma kaydedilmiştir. Deney elemanı-2'de de ilk çatlaklar elemanın orta bölgesinde oluşmuştur. Bu elemanda ilk çatlak oluştuğu anda betonarme elemanının orta kısmında 0.78mm'lik bir deplasman meydana gelmiştir. Bu elemanın çelik levhasında ise deneysel çalışmanın bu aşamasında 0.27mm'lik bir sıyrılma kaydedilmiştir. Deney elemanları üzerinde oluşan ilk çatlaklar Şekil 6.1'de her bir numune için farklı renklerde olmak üzere gösterilmiştir. Numuneler üzerinde oluşan ilk çatlaklara sebep olan yük ve bu yüke karşılık gelen numune ortasındaki deplasman ve levhadaki sıyrılma miktarları özet olarak Tablo 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 Deney elemanlarının üzerinde oluşan ilk çatlakların lokasyonları

Tablo 6.1 Deney elemanların ilk çatlak şekillerini özetleyen tablo

Deney elemanı no	İlk çatlak yükü (kN)	İlk çatlakın oluştuğu andaki yer değiştirme (mm)	İlk çatlakın oluştuğu andaki sıyrılma (mm)	İlk çatlak oluşan bölge
Kontrol numune	25	0,6	0.05	Orta
Deney elemanı-1	74	0.65	0.23	Mesnet
Deney elemanı-2	71	0.78	0.27	Orta

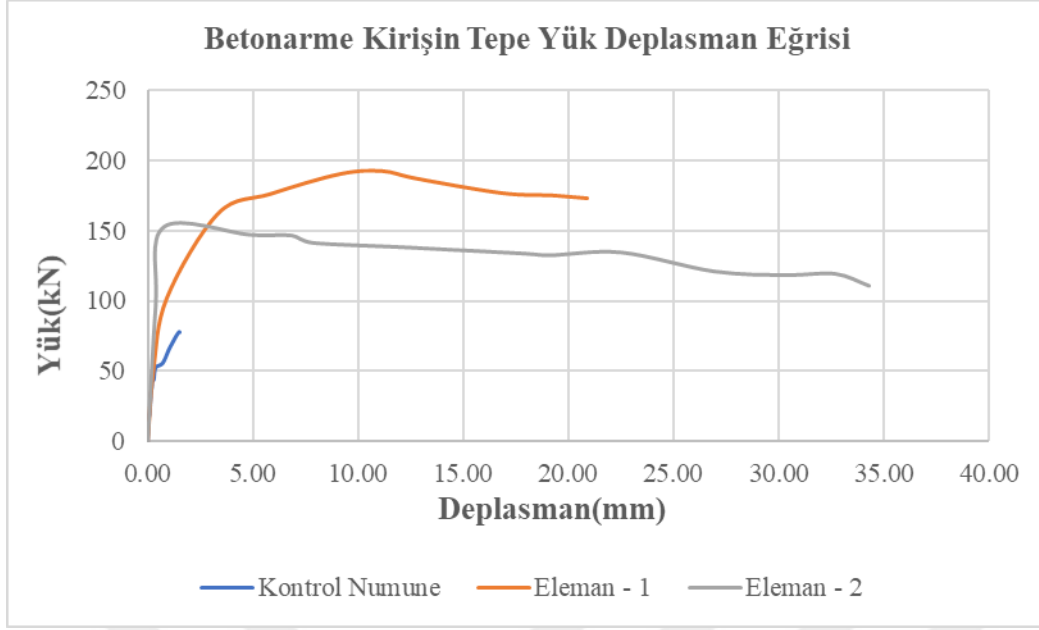
Kontrol numune 'de çelik levhanın düz olması ve beton ile çelik levha arasında sürtünmeyi artırıcı herhangi bir etken olmadığı için çok düşük yüklerde sıyrılmalar meydana gelmiştir. Çelik levhanın betonarme elemanın içinden sıyrılmaması betonda oluşan çatlaklar nedeniyle gerçekleşmiştir. Deney elemanı-1'de ise çelik levhanın çentikli olması ve çelik levhanın çentikleri arasına ek etriyeler konulmasından dolayı sıyrılma büyük yüklerde çok az olacak şekilde gerçekleşmiştir. Deney elemanı-2'nin çelik levha-betonarme arasındaki aderansı çelik levhanın çentikleri ve çentikler arasına konulan ek donatılardan dolayı kontrol numune 'den daha iyi bir davranış göstermiştir. Aynı durum Deney elemanı-1 içinde geçerli olmuştur. Deney elemanı-1'nin betonu çelik liflerle donatılandırıldığı için yük taşıma kapasitesi Deney elemanı-1'den %25.83 kadar fazla sonuç vermiştir. Betonun içindeki çelik lifler betonarme elemanın çekme dayanımını artırmış ve çelik levha ve betonarme arasındaki aderansın da artmasına neden olmuştur.

Kontrol numunenin aldığı maksimum yük 78.23 kN'dur. Bu yükleme ile betonarme elemanın orta bölgesinde 1.51 mm'lik bir deplasman meydana gelmiştir. Bununla birlikte çelik levha 17.91 mm sıyrılma yapmıştır. Bu aşamadan sonra çelik levha betonun içinden tamamen sıyrılmış ve kontrol numune 'de sıyrılmada göçme meydana gelmiştir. Deney elemanı-1'nin aldığı maksimum yük 192.79 kN'dur. Bu yükleme ile betonarme elemanın orta bölgesinde 20.88 mm'lik bir deplasman meydana gelmiştir. Bununla birlikte çelik levha 10.85 mm sıyrılma yapmıştır. Bu aşamadan sonra çelik levha betonun içinden daha fazla sıyrılma yapmadan Deney elemanı-1'de eğilmede göçme meydana gelmiştir. Deney elemanı-2'nin aldığı maksimum yük 153.21 kN'dur. Bu yükleme ile betonarme elemanın orta bölgesinde 34.32 mm'lik bir deplasman meydana gelmiştir. Bununla birlikte çelik levha 13.91 mm sıyrılma yapmıştır. Bu aşamadan sonra çelik levha betonun içinden daha fazla sıyrılma yapmadan Deney elemanı-2'de de eğilmede göçme meydana gelmiştir.

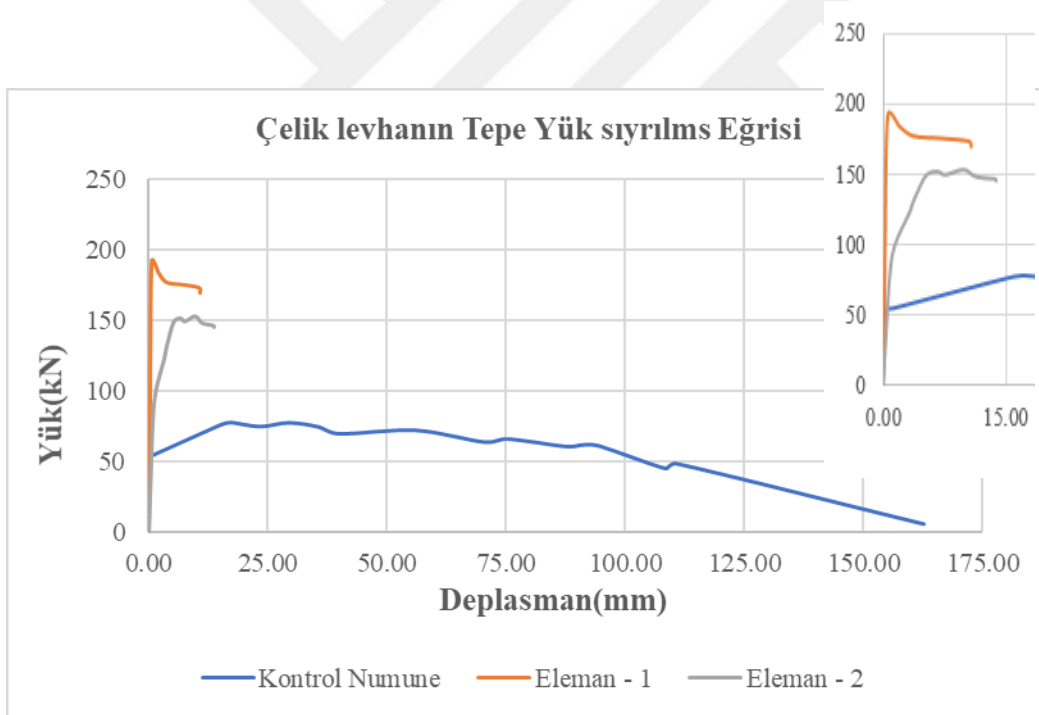
Kontrol numunenin çelik levha-betonarme arasındaki aderansın arttırmak için alınmış bir önlem olmadığından çelik levha tamamen sıyrılmıştır. Bu elemandaki çelik levha ile beton arasındaki aderans kuvveti pür sürtünme kuvvetidir. Deney elemanı-1'in çelik levha-betonarme arasındaki aderans levhada açılmış olan çentikler ve bu çentiklerin kenetlendiği donatılar sayesinde artırılmış olmasından dolayı çelik levha sıyrılmamıştır. Bu etki Deney elemanı-2 içinde geçerlidir, bununla beraber bu deney eleman- 1 için çelik lif katkılı betonun da çekme kapasitesinin artmasına katkısı olmuştur. Tüm deney elemanlarına ait numunelerin orta noktasındaki yük-deplasman grafikleri şekil 7.2'de ve çelik levha sıyrılma grafikleri ise Şekil 6.3'te verilmiştir. Deney elemanlarının göçme şekillerinin özeti Tablo 6.2'de gösterilmiştir

Tablo 6.2 Deney elemanlarına ait göçme şekillerini özetleyen Tablo

Deney elemanı no	Tepe yükü (kN)	Tepe yükü anındaki yer değiştirme (mm)	Tepe yükü anındaki sıyrılma (mm)	Göçme şekli
Kontrol numne	78.23	1.51	17.91	Sıyrılma
Deney elemanı-1	192.79	20.88	10.85	Eğilme
Deney elemanı-2	153.21	34.32	13.91	Eğilme



Şekil 6.2 Deney elemanların L/2 noktasındaki tepe yük-deplasman eğrisi



Şekil 6.3 Deney elemanların levha tepe yük-sıyrılma eğrisi

7 NUMERİK ANALİZ

7.1 Genel

Bilgisayar tabanlı programların gelişmesi bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile hızla artmaktadır. Sonlu elemanlar analiz yazılımları da bu alanda gelişmektedir. Bilgisayar tabanlı yazılım programları (sonlu elemanlar yazılımları) ile yapılan modelleme ve simülasyonları problem çözümlerinde daha hızlı, yüksek doğruluk, çok az maliyetle yapılabilmekte ve doğrusal olmayan analizinde ve analiz sonucunda görsel sonuçlar sunmaktadır. Bu alanda yapılan modeller ve simülasyonların doğruluğu, analiz sonuç doğruluğu açısından önemlidir.

Bilgisayar tabanlı sonlu elemanlar analiz programlarında beton/betonarme malzemesinin modellenmesi, malzemenin karmaşık yapısı nedeniyle oldukça zordur. Yapılan simülasyonda beton modelinin basınç ve çekme, elastik ve plastik şekil değiştirme davranışı gösterebilmelidir. Betonun hem elastik hem elastik olmayan bir davranış içeren tam basınç davranışı modellenmelidir. Yapılan beton modelin gerilme altında doğru bir davranış gösterebilmek için malzemedeki uzama, kopma ve yerel bağ etkilerini doğru şekilde tanımlamak gerekmektedir. Bahedilen bütün bu parametreleri doğru tanımlayabilmek dolayısıyla daha gerçekçi bir sonuç elde etmek için beton malzemesinin basınç ve çekme gibi testlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Şermet, 2018).

Malzeme deney sonuçlarından elde edilen verileri modellemede kullanarak analizlerin gerçek davranışı tanımlanması hedeflenmiştir. ABAQUS/CAE 2018, bilgisayar tabanlı sonlu elemanlar analiz yazılımlarından biri olarak, araştırma çalışmalarında ve mühendislik işlerinde yaygın olarak kullanılan bir yazılım programıdır. Mevcut diğer yazılımlara göre birçok avantajı vardır. Diğer bilgisayar tabanlı yazılım programlara kıyasla en önemli avantajı, malzeme modellerinin kolaylıkla tanımlanması, eleman kontak problemlerinin kolaylıkla tespit edilmesi, lineer olmayan analizlerin kısa zaman alması, gelişmiş kırılma ve göçme algoritmalarının olmasıdır. Belirtilen bu özellikler, betonarme elemanların modellenmesinde oldukça kolaylıklar

sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında da nümerik analizler ABAQUS/CAE 2018 programı kullanılarak yapılmıştır (Şermet, 2018).

Yapılan analitik çalışma ile kontrol numune ve deney elemanı – 2’yi simule edecek şekilde modelleme yapıldı. Her iki model için tanımlanan beton, donatı ve çelik levha için aynı malzemele kullanıldı. Sonlu elemanları analiz programına tanımlanan malzeme bilgileri ACI yönetmeliğine uygun tanımlandı ve ACI’de belirtilen malzeme parametreleri kullanıldı.

Modellenen kompozit elemanın bentonarme kirişin iki düşey yer değiştirmeleri engelleyecek şekilde sabit mesnetli olarak bağlanmıştır. Çelik profilin üst kısmından çekme yükü verilmiştir. Tanımlanan çekme yükü düzgün bir şekilde çelik profilin her kısmına dağılması için, çelik profile yük gelen yüzeyine referans noktası tanımlanıp interaction sekmesinde coupling etkileşimi tanımlanmıştır. Bununla birlikte, modellenen donatılar betonun içinde yine interaction sekmesinden embedded etkileşimi ile tanımlanmıştır. Çelik levha ile bentonarme kirişin temasta olduğu bölge için kontak tanımlanması yapılmıştır. Kontak tanımlanmasında kullanılan sabit değerler ACI’den alınmıştır.

7.2 Plastik beton hasar tanımlanması

ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı (SIMULIA, 2018), beton elemanlar için üç farklı çatlak modelinden birini kullanarak olabilecek hasarın simüle edilmesini sağlamaktadır: Bunlar; smeared crack concrete modeli (beton dağılı çatlak modeli), (2) brittle crack concrete modeli (gevrek çatlak beton modeli) ve concrete damaged plasticity modelidir (plastik beton hasar modeli). Bu çalışmada, belirtilen modellerden, plastik beton hasar modeli seçilmiştir. Çünkü bu model, hem çekme hem de basınçta hasar karakteristikleri dâhil olmak üzere betonun tam elastik olmayan davranışını temsil etme potansiyeline sahiptir. Plastik beton hasar modeli, betondaki iki ana hasar mekanizmasının çekme kırılması ve basınç ezilmesi olduğunu varsayar. Bu modelde, tek eksenli gerilme ve basınç davranışı hasarlı plastisite ile karakterize edilmiştir. Plastik beton hasar modeli, hem statik hem de dinamik yükleme dâhil olmak üzere herhangi bir yükleme kombinasyonu altında bentonarme yapıların analizi için

faydalı olmaktadır (“Abaqus Analysis User Manual – Abaqus Version 2018” [Abaqus Manual], 2018).

7.3 Beton

Modelde kullanılan beton malzemesi properties sekmesinden modele tanımlandı. Beton malzemesi için kullanılan parametreler, beton yoğunluğu, betonun elastik davranışı ve son olarak da beton hasar plastisitesidir. Beton hasar plastisitesi için iki farklı parametre tanımlandı. Biri basınç etkisi altındaki beton hasar davranışı sabitleri, ve çekme etkisi altındaki beton hasar davranışı. Böylelikle, yapılan yükleme sonucu betonarme elemanda oluşan hasarlar incelenebilir hale gelmektedir.

7.3.1 Çekme gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi

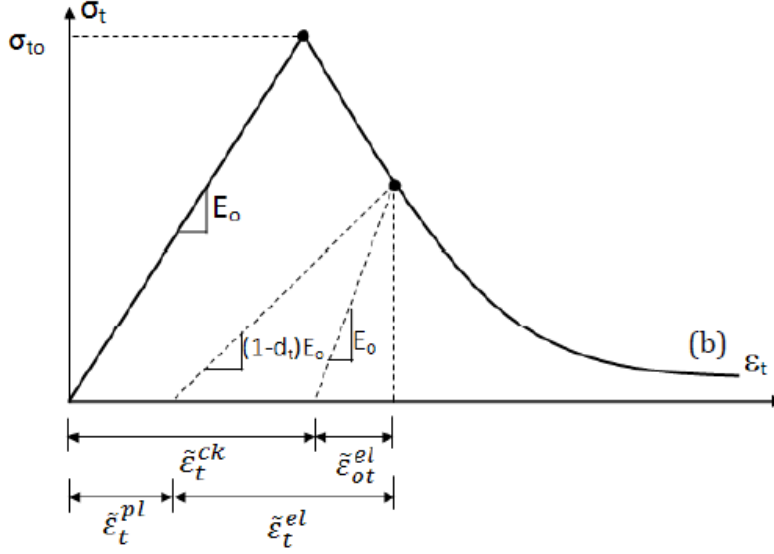
Betonarme elemanın ABAQUS'te tam gerilme davranışını simüle etmek için Şekil 7.1'e benzer gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi kullanılır. Bu modeli geliştirmek için kullanıcı, ilgili beton sınıfı için elastisite modülü (E_0), gerilme (σ_t), çatlama uzaması (ε_t^{ck}) değerlerini ve hasar parametre değerlerini (d_t) girmelidir. Çatlama uzaması (ε_t^{ck}), aşağıdaki denklem 7.1 kullanılarak toplam şekil değiştirmeden hesaplanır :

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{ot}^{el} \quad (7.1)$$

$\varepsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0}$ hasarsız malzemeye karşılık gelen Elastik uzama, ε_t = toplam çekme uzaması.

ABAQUS (SIMULIA, 2018), aşağıda denklem 7.2 'de hesaplanan plastik gerilme değerlerini (ε_t^{pl}) kullanarak hasar eğrisinin doğruluğunu kontrol eder. Negatif ve / veya azalan plastik gerilme değerleri, analiz sırasında hata mesajı vermesine neden olur (Abaqus Manual, 2018).

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{(1-d_t)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (7.2)$$



Şekil 7.1 ABAQUS'te betonun çekme altında gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi (Abaqus Manual, 2018)

7.3.2 Basınç gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi

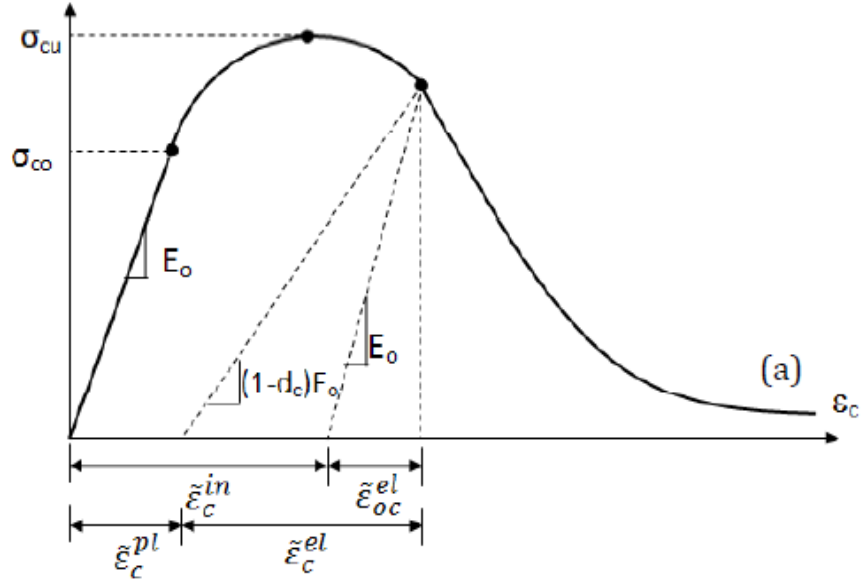
Eğ Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için, gerilmeler (σ_c), elastik olmayan şekil değiştirmeler (ε_t^{in}) ve hasar parametreleri (d_c) girilmelidir. Bu nedenle, toplam şekil değiştirme değerleri denklem 7.3 kullanılarak elastik olmayan şekil değiştirmelere dönüştürülmelidir:

$$\varepsilon_t^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (7.3)$$

Burda,

$\varepsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0}$, ε_{oc}^{el} = Hasarsız malzemeye karşılık gelen elastik şekil değiştirme ve ε_c = toplam çekme şekil değiştirmesidir. Ayrıca, plastik değıştirme değęlerini (ε_c^{pl}) sağlamak için düzeltici önlemler alınmalıdır (Şekil 7.2). Denklem 7.4 ile hesaplanan değęler, artan gerilmeler ile ne negatif ne de azalan değęler olmalıdır. (Abaqus Manual, 2018)

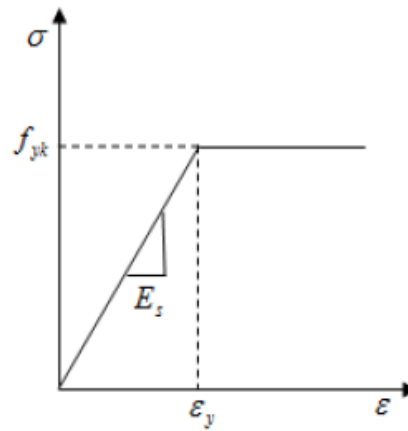
$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (7.4)$$



Şekil 7.2 ABAQUS'te betonun basınç altında gerilme – birim şekil değiştirme ilişkisi (Abaqus Manual, 2018)

7.4 Donatı çeliği

Donatı çubukları için elasto – plastik malzeme kabulü yapılmıştır. St37 çeliğin ABAQUS/CAE 2018 programına elastik ve plastik özellikleri tanımlanmıştır. Çekme testleri sonucu elde edilen akma dayanımı, kopma dayanımı ve elastisite modülleri programa yüklenmiştir. Şekil 7.3'te örnek donatı çeliği çekme gerilme – şekil değiştirme ilişkisi gösterilmiştir.

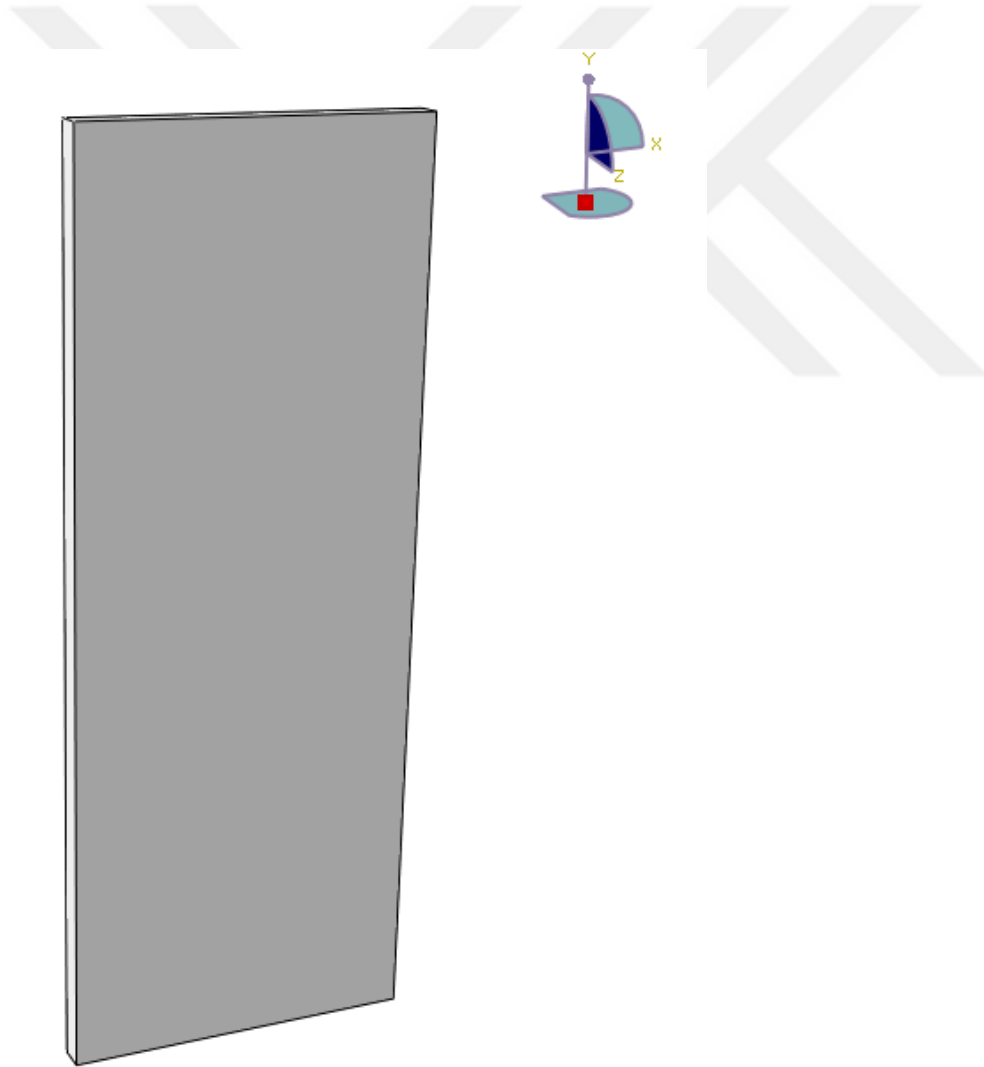


Şekil 7.3 Çelik çekme gerilme – birim şekil değiştirme grafiği

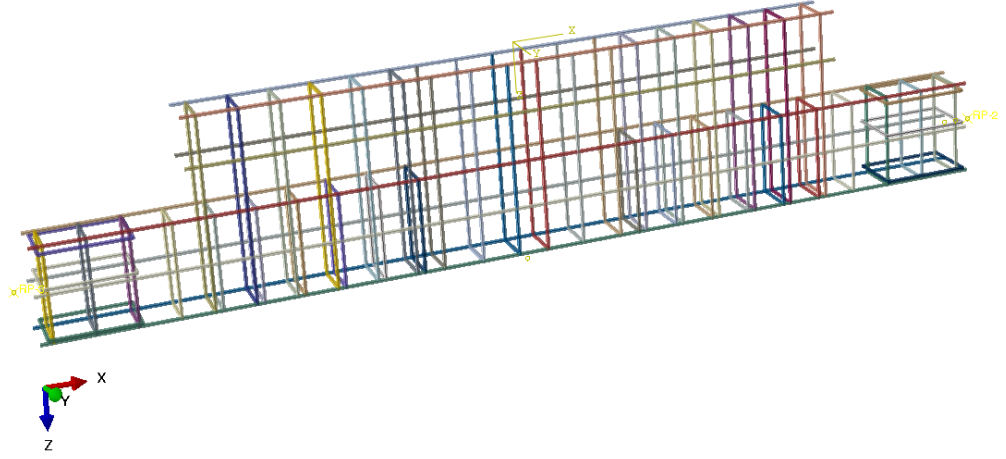
7.5 Deney elemanlarının sonlu eleman (FEM) modelleri ve analiz sonuçları

7.5.1 Model – 1 (Kontrol Numune)

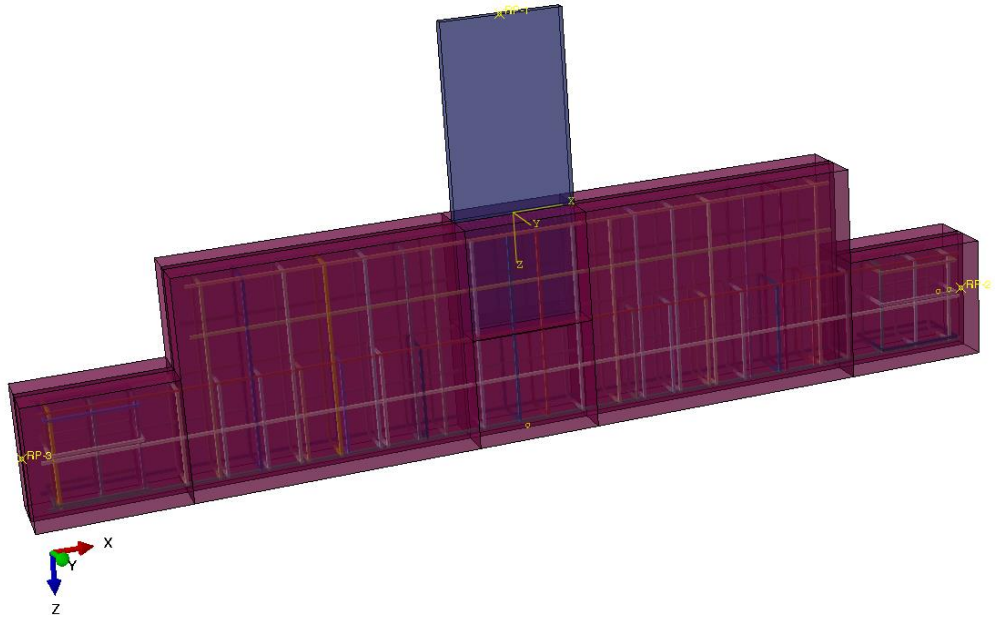
Model – 1’de kontrol numune simüle edildi. Öncelikle her eleman için Part sekmesinden yeni eleman tanıtıldı. Çelik levha için 3D deforme olabilen katı extruded bölüm seçilde. Bölüm düzenleme kısmında elemanın boyutu ve kalınlığı deneysel kontrol numunenin ölçü değerleri girildi. Aynı işlem beton eleman için de yapıldı. Donatı ve etriye elemanlar için 3D deforme olabilen tel seçilde ve her donatı tipi için ölçüler ayarlandı.



Şekil 7.4 Model - 1 çelik levha (düz levha, Kontrol numune)



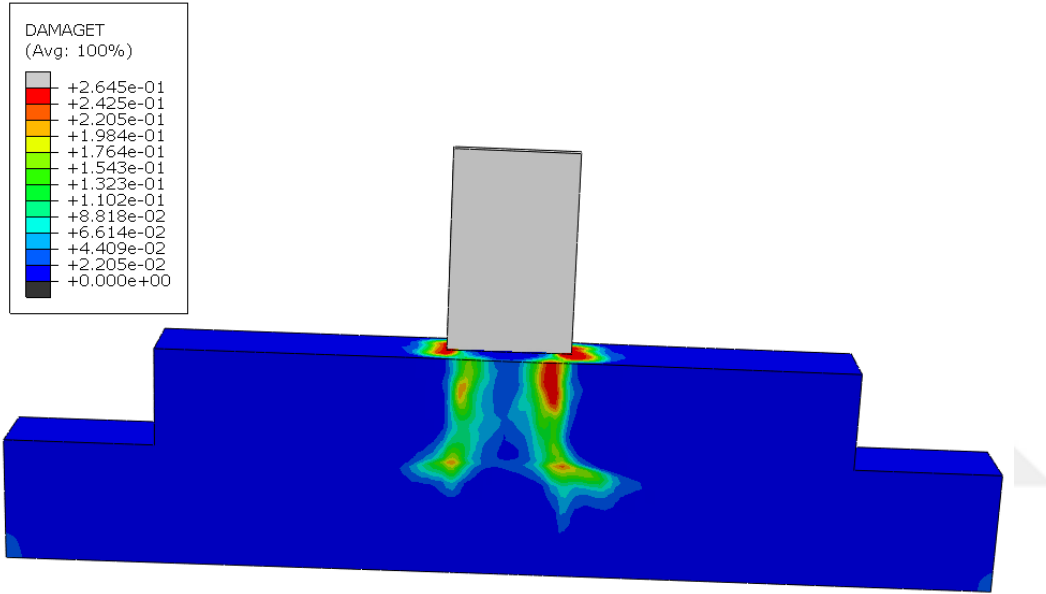
Şekil 7.5 Model - 1 donatı ve etriyelerin montajlanmış hali



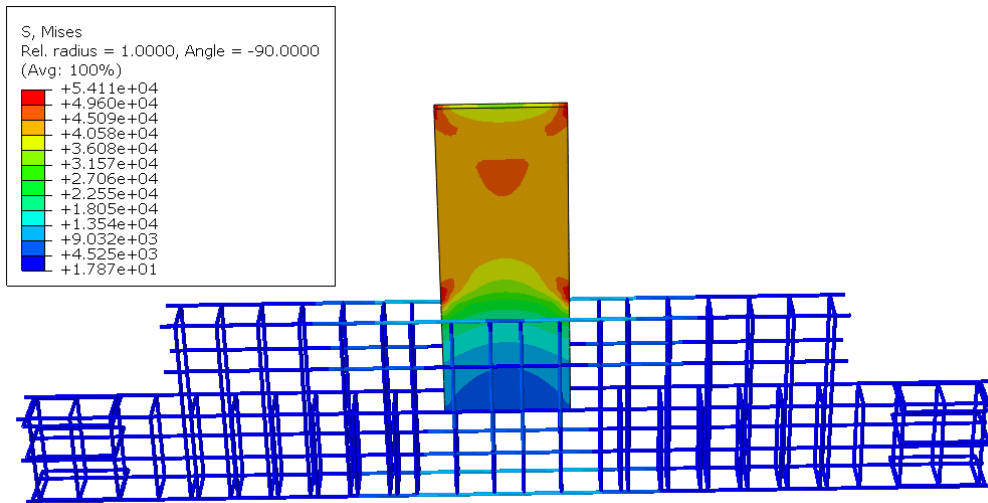
Şekil 7.6 Model - 1 tüm elemanların montajı

İkinci adımda, Property sekmesinden, modellenen her eleman için malzemeler tanıtıldı. Beton eleman için basınç ve çekme test sonuçlarından elde edilen verilere uygun basınç ve çekme değerleri girildi. Ve bunlarla birlikte hasar parametreleri de tanıtıldı. Çelik levha ve donatı elemanlar için de st37 çelik değerleri girildi. Donatı ve etriye elemanlar için Ø8 nervürlü çelik donatı tanıtıldı. Üçüncü adımda, Assembly sekmesinden, her üç eleman montaj edildi. Çelik levha ile betonun kontakt noktasında ayrı alanlar tanıtıldı. Donatı ve etriye elemanlara da gömülü eleman seti tanıtıldı. Dördüncü adımda, Step sekmesinden, modelin çalıştırma aşamaları tanıtıldı. Beşinci adımda, Interaction

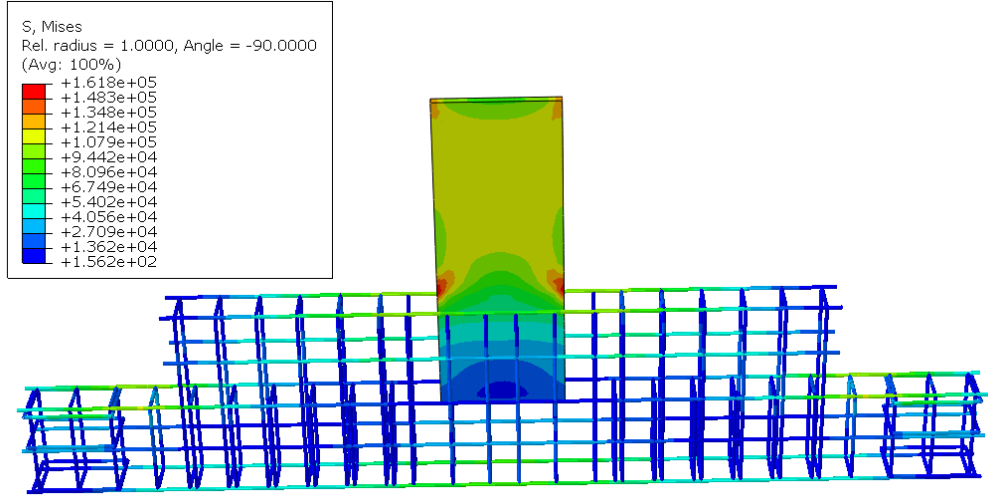
sekmesinden, mesnetler tanıtıldı, donatı ve etriye elemanlar betonun içinde gömülü eleman olarak tanıtıldı ve levha ile beton arasındaki temas noktasında uygun kontakt tanıtıldı. Altıncı adımda, Load sekmesinden, çelik levhaya çekme yüklemesi verildi. Yedinci adımda, Mesh sekmesinden, bütün elemanlar için meşler yapıldı. Yapılan meşleri kontrol edildi ve herhangi bir uyarı ve hata görülmedi. Sekizinci adımda, Job sekmesinden, hazırlanan model çalıştırıldı ve son olarak dokuzuncu adımda, Visualization sekmesinden, model sonucu kontrol edildi.



Şekil 7.7 Model - 1 göçme öncesi hasar gelişimi

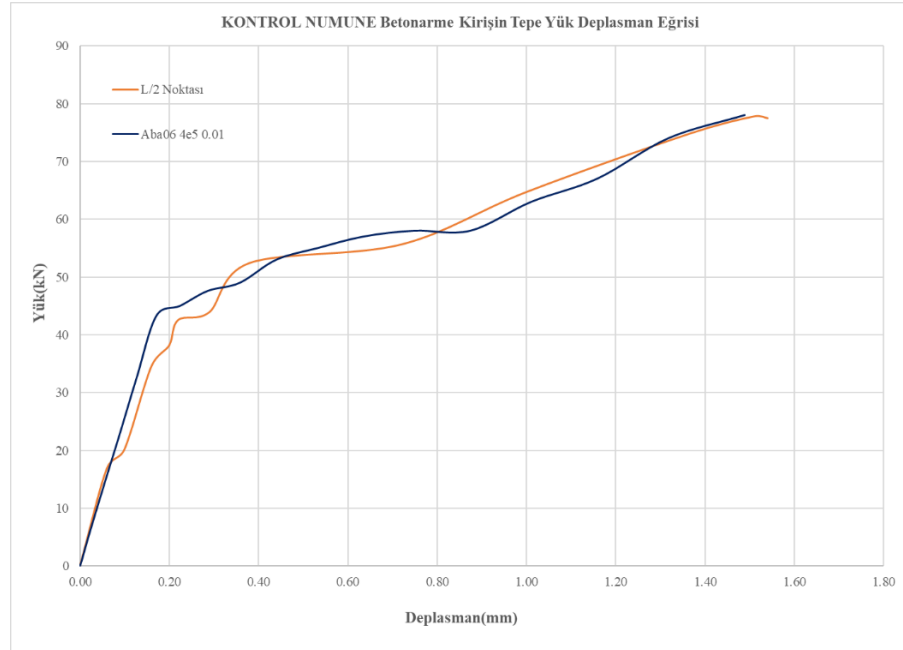


Şekil 7.8 yükleme 25-50kN arası gerilme simülasyonu



Şekil 7.9 yükleme 50-80kN arası gerilme simülasyonu

Yüklemenin ilk aşamalarında yüklemden dolayı gerilmeler levhada oluşmakta ve yükleme arttıkça bu gerilmeler bütün donatılara dağılmaktadır. Yükleme 23.17kN'deyken beton elemanda çekme yüklemesi sonucu ilk hasarlar betonarme elemanın orta kısmında görülmeye başlamış ve yine yükleme devam ederken hasar oluşumu beton kirişin orta bölgesinde artmaktadır. Yükleme arttıkça oluşan hasarlar sadece orta bölgelerinde artmakta ve bu yükleme sonucu çelik levha betonun içinden sıyrılmakta ve model – 1'de sıyrılmada göçme yaşanmaktadır.



Şekil 7.10 Kontrol numune ile Model - 1'in yük-deplasman karşılaştırması

Elde edilen bu sonuçlar, deneysel çalışmadaki Kontrol numune ile aynı sonuçlar gözlemlemektedir. Model – 1’de oluşan çatlaklar Kontrol numunede olduğu gibi orta bölgesinde oluştu. Kontrol numune sıyrılmada göçme yaşandığı gibi Model – 1’de de sıyrılmada göçme yaşandı. Bunlarla birlikte Deneysel çalışmadaki Kontrol numune ile Model – 1’in yük deplasman grafiğinin sonuçları birbirlerine benzerdir. Abaqus 2018’de hazırlanan Model – 1’den elde edilen bütün sonuçlar deneysel çalışmadaki Kontrol numune sonuçlarıyla karşılaştırdığımızda, sonuçların birbirleri ile tutarlı olduğunu göstermiştir.

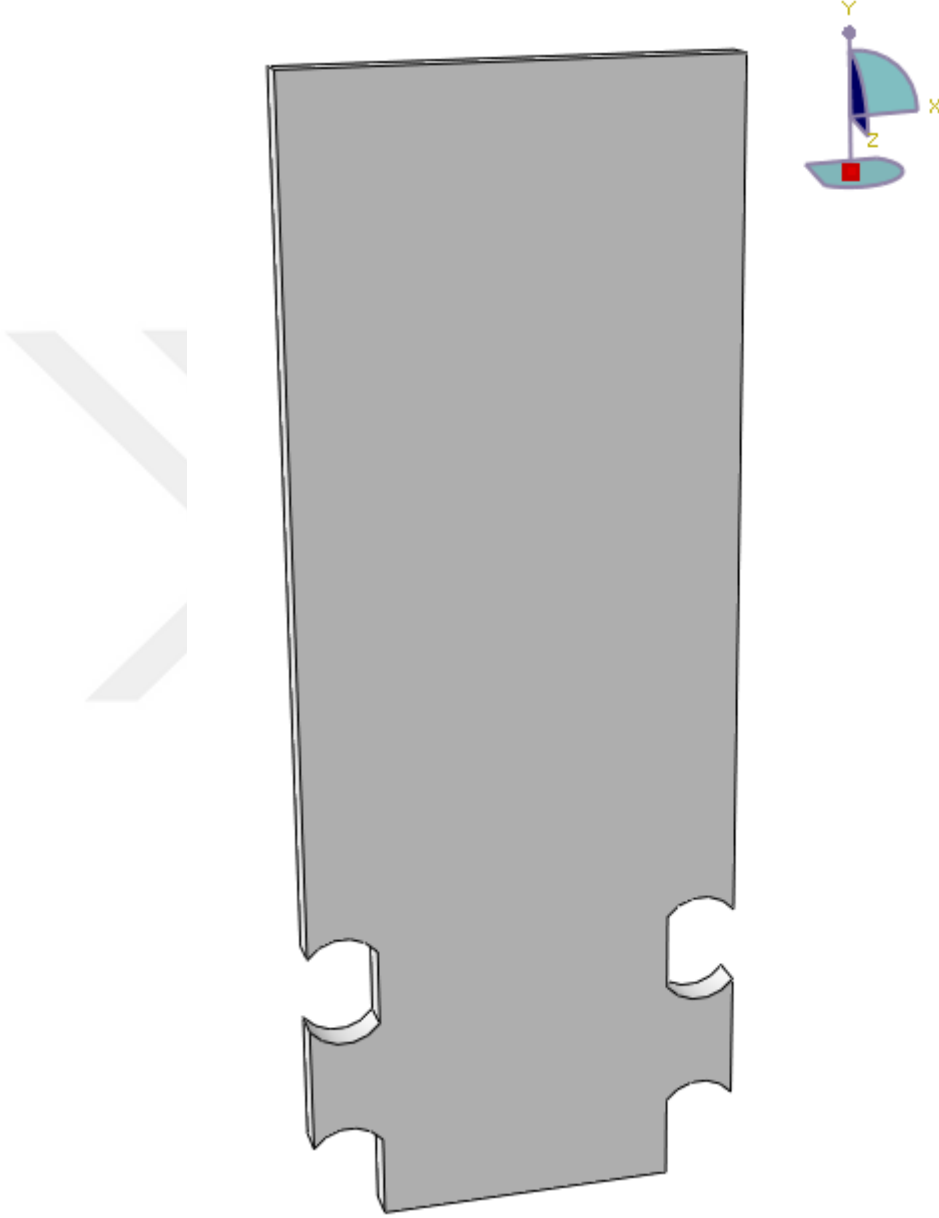
Tablo 7.1 Kontrol numune ile Model - 1 sonuçların karşılaştırılması

Eleman tanımı	İlk çatlak yükü (kN)	İlk çatlak oluşan bölge
Deney elemanı	25	Orta
Abaqus 2018 Model - 1	23.1692	Orta

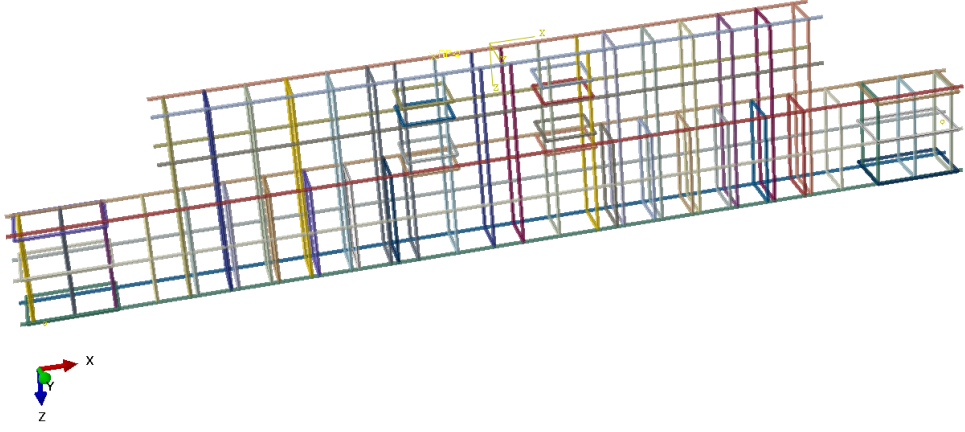
7.5.2 Model – 2 (Deney Elemanı – 2)

Model – 2’de Deney Elemanı - 2 simüle edildi. Öncelikle her eleman için Part sekmesinden yeni eleman tanıtıldı. Çelik levha için 3D deforme olabilen katı extruded bölüm seçilde. Bölüm düzenleme kısmında elemanın boyutu ve kalınlığı Deney Elemanı – 2’nin ölçü değerleri girildi. Aynı işlem beton eleman için de yapıldı. Donatı ve etriye elemanlar için 3D deforme olabilen tel seçilde ve her donatı tipi için ölçüler ayarlandı. İkinci adımda, Property sekmesinden, modellenen her eleman için malzemeler tanıtıldı. Beton eleman için basınç ve çekme test sonuçlarından elde edilen verilere uygun basınç ve çekme değerleri girildi. Ve bunlarla birlikte hasar parametreleri de tanıtıldı. Çelik levha ve donatı elemanlar için de st37 çelik değerleri girildi. Donatı ve etriye elemanlar için Ø8 nervürlü çelik donatı tanıtıldı. Üçüncü adımda, Assembly sekmesinden, her üç eleman montaj edildi. Çelik levha ile betonun kontakt noktasında ayrı alanlar tanıtıldı. Donatı ve etriye elemanlara da gömülü eleman seti tanıtıldı. Dördüncü adımda, Step sekmesinden, modelin çalıştırma aşamaları tanıtıldı. Beşinci adımda, Interaction sekmesinden, mesnetler tanıtıldı, donatı ve etriye elemanlar betonun içinde gömülü eleman olarak tanıtıldı ve levha ile beton arasındaki temas noktasında uygun kontakt tanıtıldı. Altıncı adımda, Load sekmesinden, çelik levhaya çekme yükleme verildi. Yedinci adımda, Mesh sekmesinden,

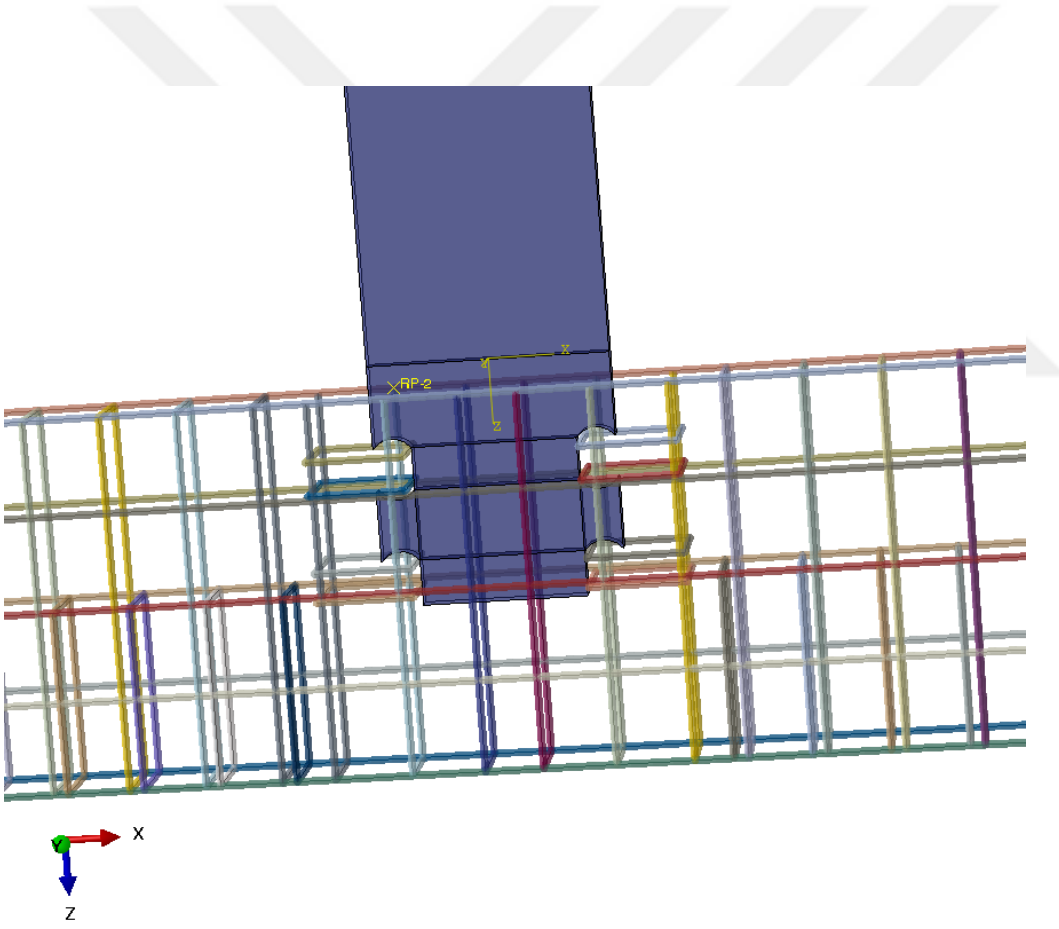
bütün elemanlar için meşler yapıldı. Yapılan meşleri kontrol edildi ve herhangi bir uyarı ve hata görülmedi. Sekizinci adımda, Job sekmesinden, hazırlanan model çalıştırıldı ve son olarak dokuzuncu adımda, Visualization sekmesinden, model sonucu kontrol edildi.



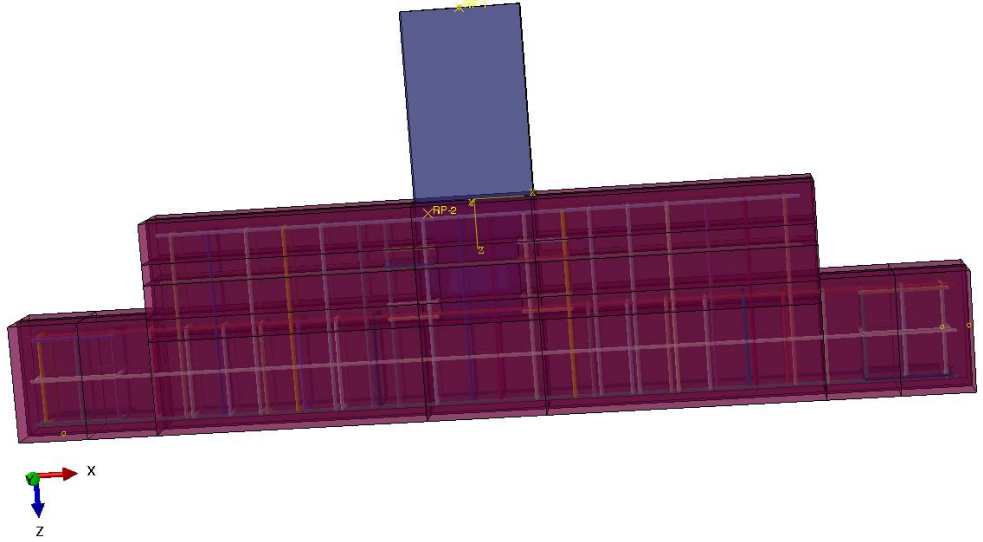
Şekil 7.11 Model - 2 çelik levha (çentikli levha, Deney Elemanı - 2)



Şekil 7.12 Model - 2 donatı ve etriyelerin montajlanmış hali

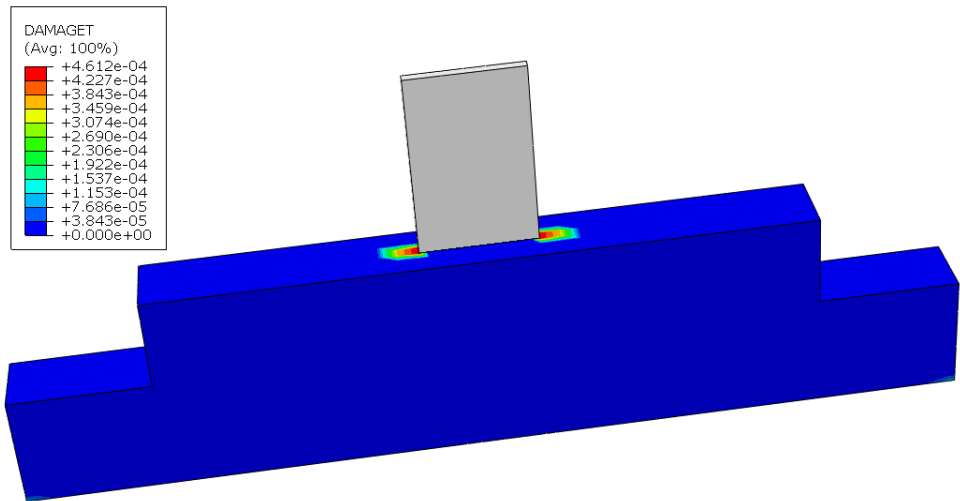


Şekil 7.13 Çentikli levha, donatılar ve etriyelerin montajı

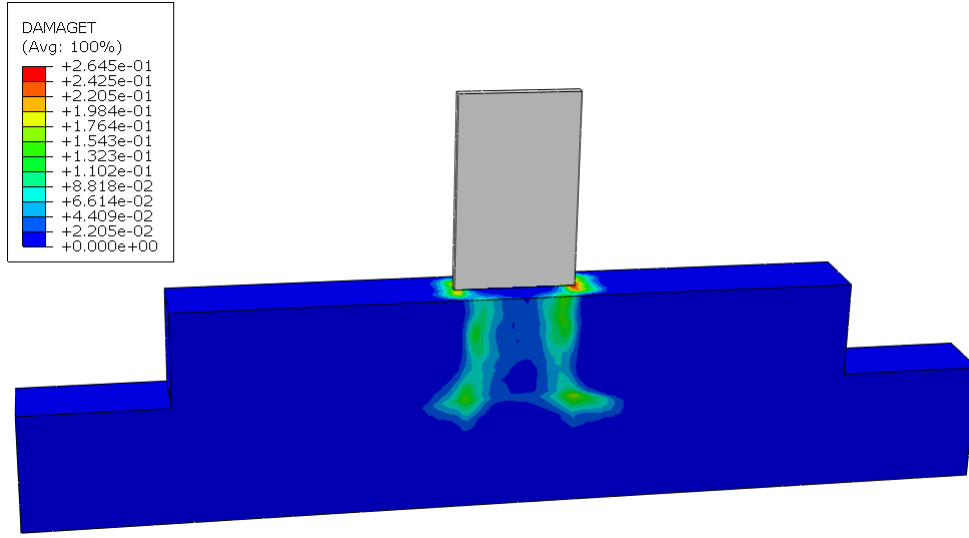


Şekil 7.14 Model - 2 tüm elemanların montajı

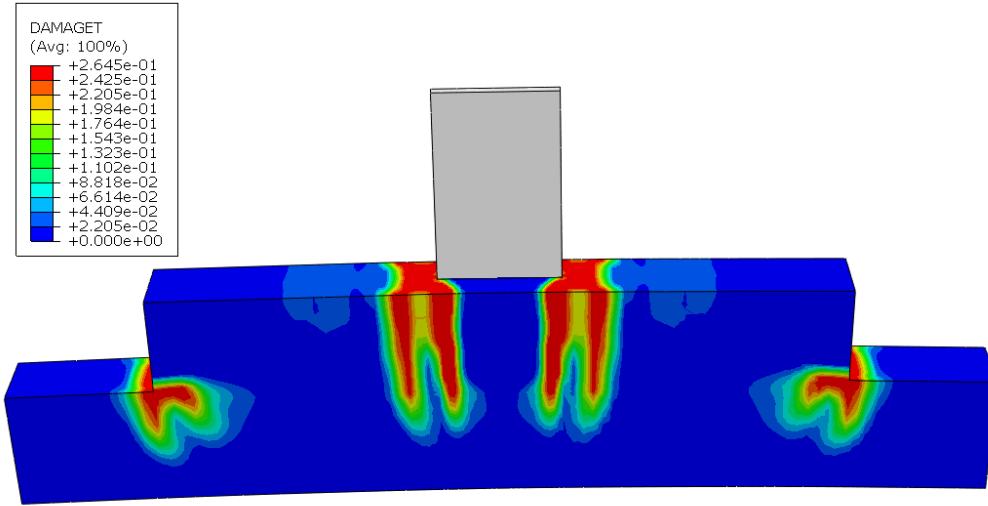
Yüklemenin ilk aşamalarında yüklemden dolayı gerilmeler levhada oluşmakta ve yükleme arttıkça bu gerilmeler bütün donatılara dağılmaktadır. Yükleme 76.09kN'deyken beton elemanda çekme yüklemesi sonucu ilk hasarlar betonarme elemanın orta kısmında görülmeye başlamış ve yine yükleme devam ederken hasar oluşumu beton kirişin orta bölgesinde artmaktadır. Yükleme arttıkça oluşan hasarlar betonarme kirişin orta bölgelerinde ve mesnetlerde artmakta ve bu yükleme sonucu çelik levha betonun içinden sıyrılmamakta, beton eleman eğilmekte ve model – 2'de eğilmede göçme yaşanmaktadır.



Şekil 7.15 Model - 2 ilk çatlak



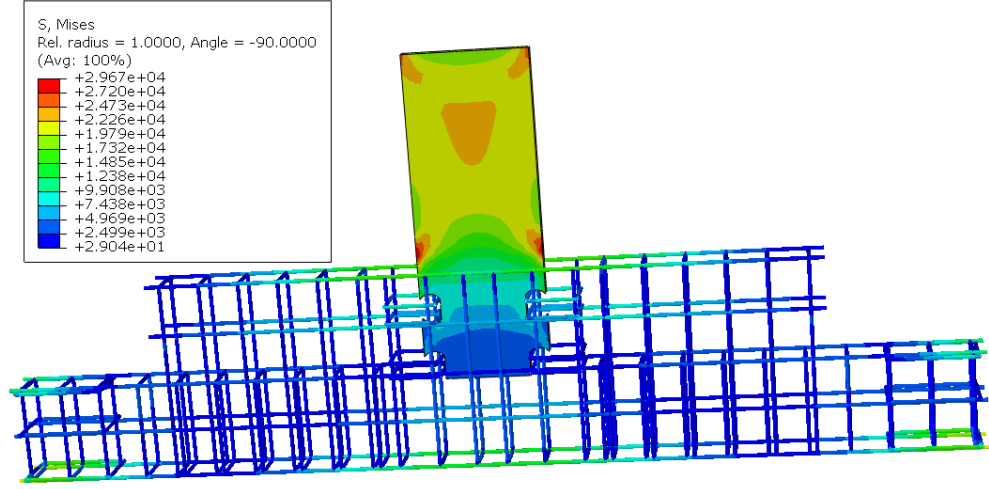
Şekil 7.16 Model - 2 çatlak gelişimi



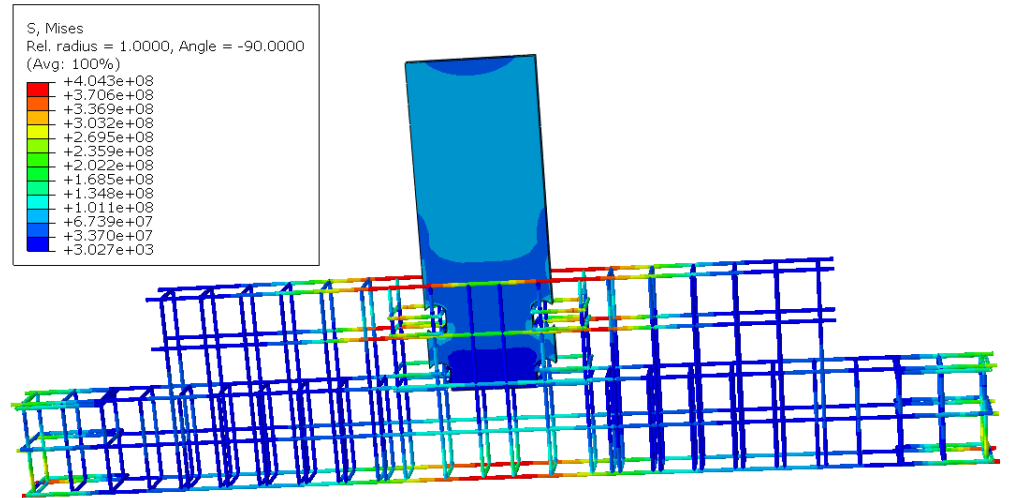
Şekil 7.17 Model - 2 göçme öncesi çatlak simülasyonu

Elde edilen bu sonuçlar, deneysel çalışmadaki Deney Elemanı - 2 ile aynı sonuçlar gözlemlenmektedir. Model – 2’de oluşan çatlaklar Deney Elemanı – 2’de olduğu gibi orta bölgesinde ve mesnetlerin etrafında oluştu. Deney Elemanı - 2 eğilmede göçme yaşandığı gibi Model – 2’de de eğilmede göçme yaşandı. Bunlarla birlikte Deneysel çalışmadaki Deney Elemanı - 2 ile Model – 2’in yük deplasman grafiğinin sonuçları birbirlerine benzerdir. Abaqus 2018’de hazırlanan Model – 2’den elde edilen bütün sonuçlar deneysel çalışmadaki Deney Elemanı

- 2 sonuçlarıyla karşılaştırdığımızda, sonuçların birbirleri ile tutarlı olduğunu göstermiştir.



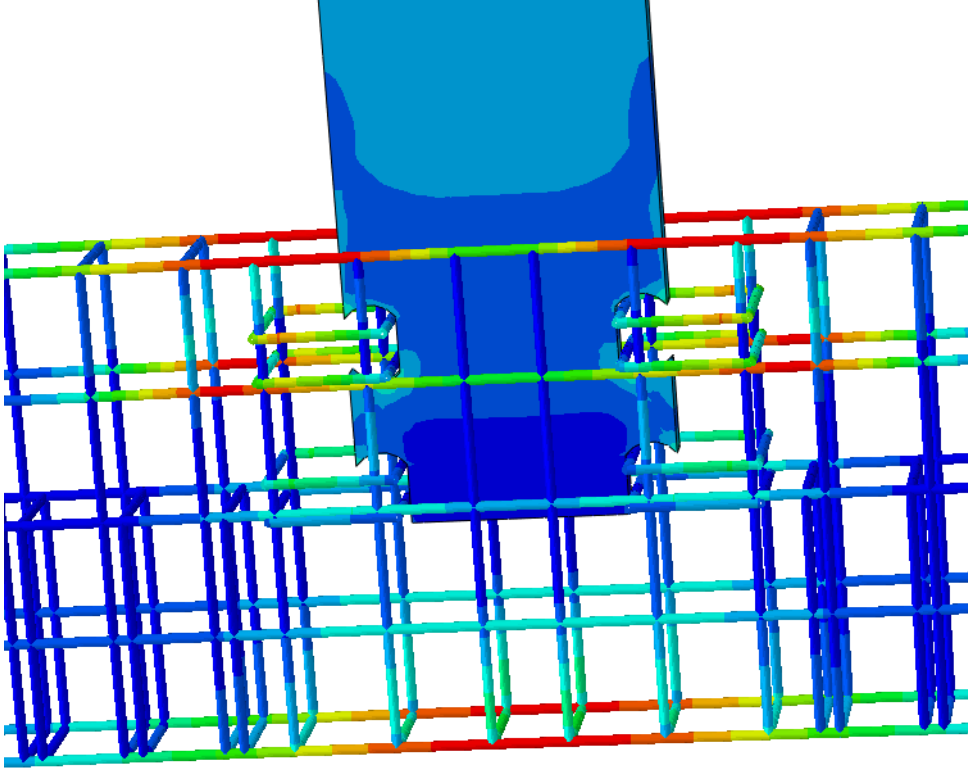
Şekil 7.18 Model - 2 yükleme 50-80kN arası gerilme simülasyonu



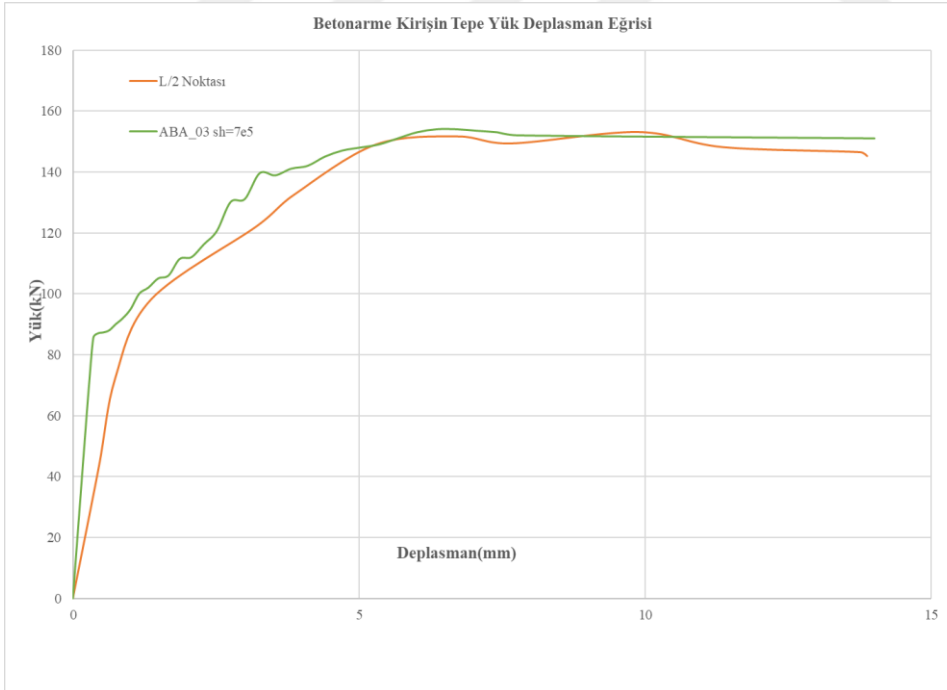
Şekil 7.19 Göçme öncesi gerilme simülasyonu

Tablo 7.2 Deney Elemanı - 2 ile Model - 2 sonuçların larşılaştırılması

Eleman tanımı	İlk çatlak yükü (kN)	İlk çatlka oluşan bölge
Deney elemanı	71	Orta
Abaqus 2018 model	76.0887	Orta



Şekil 7.20 Gerilme simülasyonunun yakınlaştırılmış hali



Şekil 7.21 Deney Elemanı - 2 ile Model - 2'nin yük-deplasman karşılaştırması

8 SONUÇLAR

Bu tez çalışması betonarme prefabrik kafes yapıların betonarme kafes taşıyıcı sistem ile çelik profilin kompozit bir yapı olarak imalat edilmesi durumunda betonarme ile çelik profile arasındaki düğüm noktalarının yük taşıma kapasitelerinin artırılması için uygulanan çeşitli yaklaşımların deneysel olarak incelenmesini kapsamaktadır. Bu amaçla düğüm noktasının tasarımında kullanılan düz ve çentikli formlardaki çelik levha bağlantı elemanının betonarme kafes elemandan sıyrılması ve aralarındaki aderans incelenmiştir. Deneysel çalışma için lifli ve lifsiz beton ve düz ve çentikli çelik levha formu kullanılmıştır. Çekme deneyi sonuçları yük-deplasman, çatlak oluşumu ve sıyrılma açısından kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmayı güçlendirmek için sonlu elemanlar bilgisayar tabanlı Abaqus 2018 yazılım programı vasıtasıyla analitik bir çalışma da yapıldı. Yapılan her deneysel ve analitik çalışma birbirleriyle karşılaştırıldı. Bu kıyaslama sonuçları aşağıdaki gibidir:

- Deney elemanlarında kullanılan lifsiz betonun ortalama basınç dayanımı 78MPa, çelik lifli betonda ise ortalama basınç dayanımı 80MPa'dır.
- Düz levha ile betonarme birleşimlerinde düğüm noktası yük taşıma kapasitesi çentikli levha ve betonarme birleşimlerine göre %150 daha düşüktür.
- Düz levha kullanılan deney elemanında sıyrılma gerçekleşirmiş ancak çentikli levha kullanılan birleşimlerde sıyrılma gerçekleşmemiştir.
- Çentikli levha kullanılan deney elemanları yükleme sonucu eğilmede göçme gerçekleşmişken, düz levha kullanılan kontrol numunede ise çelik levha tamamen sıyrılmış ve sıyrılmada göçme gerçekleşmiştir.
- Lifli beton ile çentikli levha birleşimi ile hazırlanan deney elemanlarında çekme yükü taşıma kapasitesi lifsiz beton ve

çentikli levha ile hazırlanan elemanlarına göre %25.83 daha fazladır.

- Lifli beton ve çentikli levha kullanılarak imal edilen elemanlarda çatlaklar levha etrafında yoğunlaşmasına karşılık lifsiz betondan üretilmiş elemanlarda bütün elemana yayılmıştır (Şekil 5.18 ve Şekil 5.28).
- Çentikli levha kullanılarak imal edilen birleşimlerde levha çentikleri ile kenetlenmiş olduğu donatılarda herhangi bir deformasyon oluşmamıştır.
- FEM sonlu elemanlar esaslı bilgisayar tabanlı Abaqus programında yapılan modelleme sonucunda düz levhalı modelde sıyrılmada göçme gerçekleşmiştir.
- FEM analizleri sonucu çentikli levha modelinde ise eğilmede göçme gerçekleştirilmiştir.
- Deneysel ve FEM analizleri sonucu çentikli levhalı eleman, düz levhalı elemana kıyasla %103.9 oranında aderans artışı gerçekleştirilmiştir.
- Deneysel ve FEM analizleri sonucu düz levhalı elemanda çatlaklar levhanı etrafında gerçekleştirilmiştir.
- Deneysel ve FEM analizleri sonucu çentikli levhalı elemanda çatlaklar levhanın etrafında ve mesnetlerde gerçekleştirilmiştir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Birol, T. ve Yavaş, A., 2017, Betonarme kirişlerde ultra yüksek dayanımlı beton kullanımının eğilme performansına etkisi, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, XX(X), XX-XX.

Türker, K., Birol, T., Yavaş, A. ve Hasgöl, U., 2016, Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerde Etkin Çelik Lif Tipi İncelemesi, AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) 037201: 776-785.

Shen, D., Shi, X., Zhang, H., Duan, X. ve Jiang, G., 2016, Experimental study of early-age bond behavior between high strength concrete and steel bars using a pull-out test, Construction and Building Materials 113: 653–663.

Roy, M., Hollmann, C. ve Kay W., 2017, Influence of volume fraction and orientation of fibers on the pullout behavior of reinforcement bar embedded in ultra high performance concrete, Construction and Building Materials 146: 582–593.

McSwain, A.C., Berube, K.A., Cusatis, G. ve Landis, E.N., 2018, Confinement effects on fiber pullout forces for ultra-high-performance Concrete, Cement and Concrete Composites 91: 53–58.

Kubissa, W., Simon, T., Jaskulski, R., Reiterman, P. ve Supera, M., 2018, Ecological high performance concrete, Procedia Engineering 172 : 595 – 603.

Tai, Y.S. ve El-Tawil, S., 2017, High loading-rate pullout behavior of inclined deformed steel fibers embedded in ultra-high performance concrete, Construction and Building Materials 148: 204–218.

Nieuwoudt, P.D. ve Boshoff, W.P., 2016, Time-dependent pull-out behaviour of hooked-end steel fibres in concrete, Cement and Concrete Composites 79: 133-147.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Durmuş, A., Dahil H. ve Arslan M.E., 2006, Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 441 - 2006/1: 42-54.

Döndüren, M. S., Çöğürçü, M. T. ve Altın, M., 2006, Betonla donatı arasındaki aderans davranışının deneysel incelenmesi, S. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergi., c21, s3-4.

Diab, A. M., Elyamany H. E. Hussein, M.A. ve Al Ashy, M., 2014, Bond behavior and assessment of design ultimate bond stress of normal and high strength concrete, Alexandria Engineering Journal 53, 355-371.

Sulaiman, M. F. Ma, C., Apandi, N. M., Chin, S., Awang, A. Z., Mansur, S. A., Omar, W., 2017, A Review on Bond and Anchorage of Confined High-Strength Concrete, Structure 11, 97-109.

Alkaysi, M., El-Tawil S., 2017, Factors affecting bond development between Ultra High Performance Concrete (UHPC) and steel bar reinforcement, Construction and Building Materials 144, 412-422.

Torre-Casanova, A., Jason, L., Davenne, L. ve Pinelli, X., 2013, Confinement effects on the steel–concrete bond strength and pull-out failure, Engineering Fracture Mechanics 97, 92–104.

Delhomme, F., Roure, T., Arrieta, B. ve Limam, A., 2015, Static and cyclic pullout behavior of cast-in-place headed and bonded anchors with large embedment depths in cracked concrete, Nuclear Engineering and Design 287: 139–150.

Mousavi, S. S., Dehaestani, M. ve Mousavi, K. K., 2017, Bond strength and development length of steel bar in unconfined self-consolidating concrete, Engineering Structures 131, 587–598.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Won, J., Lee, J. ve Lee., S., 2015, Predicting pull-out behaviour based on the bond mechanism of arch-type steel fibre in cementitious composite, Composite Structures 134, 633–644.

Bilek, V., Bonczkova, S., Hurta, J., Pytlík, D. ve Mrovec, M., 2017, Bond Strength Between Reinforcing Steel and Different Types of Concrete, Procedia Engineering 190, 243 – 247.

Song, X., Wu, Y., Gu, X. ve Chen, C., 2015, Bond behaviour of reinforcing steel bars in early age concrete, Construction and Building Materials 94, 209–217.

Prince, M. J. R. ve Sing, B., 2013, Bond behaviour of deformed steel bars embedded in recycled aggregate Concrete, Construction and Building Materials 49: 852–862.

Alberti, M.G., Enfedaque, A., Galvez, J.C. ve Ferreras, A., 2016, Pull-out behaviour and interface critical parameters of polyolefin fibres embedded in mortar and self-compacting concrete matrixes, Construction and Building Materials 112: 607–622.

Matsumoto, K., Yamaguchi, H. ve Nagai, K., 2017, Fatigue pull-out failure of deformed bars in concrete under the effect of liquid water, Cement and Concrete Composites.

Al-Shannag, M.J. ve Charif, A., 2018, Bond behavior of steel bars embedded in concretes made with natural lightweight aggregates, Journal of King Saud University – Engineering Sciences 29: 365–372.

Shim, H.B. ve Park, H.S., 2017, Experimental tests on construction methods for a joint between concrete wall and steel girder involving long-time onsite welding, Construction and Building Materials 154: 600–608.

KAYNAKLAR DİZİNİ(DEVAM)

Sarhan, M.M., Hadi, M.N.S. ve Teh, L.H., 2018, Bond behaviour of steel plate reinforced concrete beams, *Construction and Building Materials* 189: 751–756.

Huang, D., Wei, J., Liu, X., Du, Y. ve Zhang, S., 2019, Experimental study on influence of post-pouring joint on long-term performance of steel-concrete composite beam, *Engineering Structures* 186: 121–130.

Biscaia, H.C. ve Chastre, C., 2018, Design method and verification of steel plate anchorages for FRP-to-concrete bonded interfaces, *Composite Structures* 192: 52–66.

Wang, S., He, J., Liu, Y., Li, C. ve Xin, H., 2018, Shear capacity of a novel joint between corrugated steel web and concrete lower slab, *Construction and Building Materials* 163: 360–375.

Şermet, F., 2018, Kompozit Kolon – Betonarme Kiriş Birleşim Noktasının Tersinir Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışının Deneysel Ve Nümerik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 185s.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konumu belirleme aşamasındaki tavsiyeleri ile daha sonrasında deney aşamasında ayırmış oldukları değerli zamanları ve konu hakkındaki bilgileriyle bana yol göstermesi nedeniyle danışman hocam olan SAYIN Doç. Dr. Bengi ARISOY'a yapmış olduğum deneyler sırasında benden zaman ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam SAYIN Doç. Dr. Emre ERCAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.





ÖZGEÇMİŞ

Faysal NORİ 1993 yılında Afganistan'ın Mezar-i-Şerif şehrinde doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini Murtaza İnternational okulunda tamamlamıştır. Lise öğrenimi sırasında UNESCO tarafından düzenlenen Güney Asya fen olimpiyatlarından gümüş madalyası kazanmıştır. İmkanları kısıklı olan çocuklara 2010 – 2012 arasında Mezar-i-Şerif kentinde ingilizce, matematik, fen ve bilgisayar derslerin eğitimine destek olmuştur.

Üniversite giriş sınavında Afganistan genelinde ilk 50'ye girip yurt dışı üniversite eğitim bursunu Afganistan devleti tarafından kazanmıştır. 2013 yılında izmir Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başlamış olup 2017 yılında mezun olmuştur. Lisans olup aynı yıl Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.