

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

**BETONARME KİRİŞLERİN ALÜMİNYUM BAL PETEĞİ KOMPOZİT  
PANELLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**BETÜL BERKTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2019**

Tezin Başlığı: Betonarme Kirişlerin Alüminyum Bal peteği Kompozit Paneller İle Güçlendirilmesi

Tezi Hazırlayan: Betül BERKTAŞ

Sınav Tarihi: 01/07/2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek İnaşat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Sınav Jüri Üyeleri

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZ** .....

İnönü Üniversitesi

**Prof. Dr. Paki TURĐUT** .....

İnönü Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Atilla KUMBASAROĞLU** .....

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

**Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL**

Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Betonarme Kirişlerin Alüminyum Bal peteği Kompozit Paneller İle Güçlendirilmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Betül BERKTAŞ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BETONARME KİRİŞLERİN ALÜMİNYUM BAL PETEĞİ KOMPOZİT PANELLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Betül BERKTAŞ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

64 + xi sayfa

2019

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Yaşar AYZ

Betonarme kirişler, daha yüksek yüklere maruz kaldıklarında veya eğilme mukavemetleri eğilme kapasitesinin altına düştüğünde güçlendirilmelidir. Bu çalışmada kirişin eğilme kuvvetine karşı güçlendirilmesi araştırılmıştır. Özellikle son yıllarda kirişin güçlendirilmesi üzerine farklı malzemeler ile çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada güçlendirme için alüminyum bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Bal peteği kompozit panellerin yapısı iki yüzey arasına yerleştirilen hafif ve petek görüntüsündeki çekirdek bölgesinden oluşmaktadır. Deneysel çalışma için güçlendirme yapılmamış üç adet referans kiriş ve beş adet güçlendirme yapılmış kiriş olmak üzere toplam sekiz adet kiriş hazırlanmıştır. Kirişler 150\*250 mm boyutlarında 2400 mm uzunluğunda betonarme olarak laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerden üçü, kompozit panelin üç farklı kalınlığı ile kiriş üzerine epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılarak hazırlanmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerin ikisi ise kompozit panelin iki farklı kalınlığı ile kiriş üzerine poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılarak hazırlanmıştır. Çalışmada panel kalınlığı değişiminin ve yapıştırıcı farkının güçlendirme üzerinde etkisinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Hazırlanan kirişler dört noktalı eğilme deneylerine tabi tutulmuştur. Alüminyum bal peteği kompozit panel kullanımının kirişlerin taşıyabileceği maksimum yük miktarını %25 ile %40 arasında artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca kirişlerin güçlendirilmesinde levha yapıştırıcısı seçiminin etkili olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarında alüminyum bal peteği kompozit panelin güçlendirilme konusunda oldukça olumlu sonuçlar verdiği ve kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum sandviç panel, Bal peteği panel, Kirişlerin güçlendirilmesi, Eğilme deneyi

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH ALUMINUM HONEYCOMB COMPOSITE PANELS**

**Betul BERKTAS**

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

64 + xi sayfa

2019

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yaşar AYZ

Reinforced concrete beams must be reinforced when they are subjected to higher loads or when the bending forces are higher than their bending resistance. In this study, the strengthening of the beam against bending forces were investigated. Especially recently, various studies have been carried out with different materials on the strengthening of the beams. In this study, aluminum honeycomb composite panel was used for reinforcement. The structure of the honeycomb composite panels consists of a light and honeycomb core area placed between the two surfaces. For the experimental study, eight beams were prepared, three of them were non-reinforced used as reference and the five beams were reinforced. The beams were prepared in the laboratory as 150 \* 250 mm in dimensions and 2400 mm in length. The reinforced beams were prepared by bonding them with epoxy based adhesive on the beam with three different thicknesses of the composite panel. Two of the reinforced beams were prepared by bonding with a polyurethane-based adhesive on the beam with two different thicknesses of the composite panel. In this study, it was aimed to reveal the effect of changing in panel thickness and different adhesive on strengthening. The prepared beams were subjected to four point bending test. It has been determined that the use of aluminum honeycomb composite panels increases the maximum load by 25% to 40% that the beams can carry. In addition, it has been determined that the adhesive type is important in strengthening of the beams. The results of this experiment suggest that the aluminum honeycomb composite panels have very promising results in terms of strengthening the beams and they might be used.

**Keywords:** Aluminum sandwich panel, Honeycomb panel, Reinforcement of beams, Bending test

## TEŞEKKÜR

Tezimin başından sonuna kadar benden yardımlarını esirgemeyen ve tecrübeleriyle beni yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZ' a teşekkürlerimi ve saygılarımı arz ederim.

Tezimin deney aşamasında laboratuvar ortamında bana yol gösteren ve yardımcı olan hocam Öğr. Grv. Mahmut BAŞSÜRÜCÜ' ye;

Lisans döneminde başlayan dostluğumuzu yüksek lisans süresince devam ettirdiğimiz ve bu süreç boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Edahan KOÇ' a;

Eğitim hayatım boyunca bana her konuda destek veren kıymetli Annem'e ve Babam'a; Ayrıca yüksek lisans süresince benden desteğini hiç esirgemeyen ve her daim yanımda olan değerli Eşim'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi İÜ-BAP 2017/717 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi' ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bal Peteği (honeycomb) Kompozit Panel Nedir?.....	1
1.1.1. Bal peteği kompozit panellerin uygulama alanları.....	2
1.1.2. Bal peteği kompozit panellerin özellikleri.....	3
1.2. Güçlendirmenin Önemi.....	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
2.1. Bal Peteği Kompozit Panel Çalışmaları.....	7
2.2. Kiriş Güçlendirme Çalışmaları.....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Deney Malzemeleri ve Özellikleri.....	14
3.1.1. Bal peteği kompozit panel.....	14
3.1.2. Kalıp.....	15
3.1.3. Donatı.....	16
3.1.4. Beton.....	17
3.1.5. Yapıştırıcı.....	17
3.2. Deney elemanlarının hazırlanması.....	18
3.2.1. Kiriş kalıplarının hazırlanması.....	18
3.2.2. Kiriş donatılarının hazırlanması.....	19
3.2.3. Kiriş betonun dökümü.....	20
3.2.4. Numune alımı:.....	21
3.2.5. Yapıştırma tekniği.....	22
3.2.5.1. Kompozit panel yüzeyinin hazırlanması.....	22
3.2.5.2. Beton yüzeyinin hazırlanması.....	23
3.2.5.3. Epoksi Yapıştırıcının Hazırlanması.....	23
3.2.5.4. Epoksi Bazlı Yapıştırıcı ile Panel Yapıştırma.....	24
3.2.5.5. Poliüretan bazlı yapıştırıcı ile panel yapıştırma.....	26
3.2.6. Kirişlerin isimlendirilmesi.....	27
3.2.7. Deney düzeneği ve yükleme.....	31

3.2.8. Ölçüm yöntemi.....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	34
4.1. Numune Kırımı .....	34
4.2. Donatı Çeliği Çekme Deneyi .....	35
4.3. KY-1, KY-2 ve KY-3 (Kontrol Kirişler) Eğilme Deneyi .....	36
4.3. SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 (Güçlendirilmiş Kirişler) Eğilme Deneyi .....	39
4.4. SN-HB6ve SN-HB15 (Güçlendirilmiş Kirişler) Eğilme Deneyi.....	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	58
6. KAYNAKLAR .....	61





## SİMGELER DİZİNİ

### Kısaltmalar

CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
CFST	Beton Dolgulu Çelik Boru
EB-FRP	Dışa Bağlı Fiber Takviyeli Polimer
FRP	Fiber Takviyeli Polimer
HB	Bal petekli (Honeycomb) Panel
HCP	Hibrit Kompozit Levha
LVDT	Deplasman Ölçüm Aleti
MWCNT	Karbon Nano Tüp Takviyeli Yapıştırıcı
PP	Polipropilen
SN-HB15	Oto-silikon Yapıştırıcılı 15 mm Kalınlıklı Bal peteği Kompozit Panel
SN-HB6	Oto-silikon Yapıştırıcılı 6 mm Kalınlıklı Bal peteği Kompozit Panel
SR-HB10	Sikadur-31 Yapıştırıcılı 10 mm Kalınlıklı Bal peteği Kompozit Panel
SR-HB15	Sikadur-31 Yapıştırıcılı 15 mm Kalınlıklı Bal peteği Kompozit Panel
SR-HB6	Sikadur-31 Yapıştırıcılı 6 mm Kalınlıklı Bal peteği Kompozit Panel

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Altıgen hücreli petekli yapı.....	1
Şekil 1.2. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi.....	2
Şekil 1.3. Petekli kompozit panelin uçak parçalarında kullanımı,.....	3
Şekil 1.4. Petekli kompozit panelin güneş panelinde kullanımı .....	3
Şekil 1.5. Bal peteği çeşitleri.....	4
Şekil 3.1. Bal peteği Kompozit Panel çekirdek genişliği.....	14
Şekil 3.2. Bal peteği Kompozit Panel ölçüleri .....	15
Şekil 3.3. Bal peteği kompozit panel genel görünüşü.....	15
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan kalıplar .....	16
Şekil 3.5. Kiriş Donatısı .....	16
Şekil 3.6. Kalıp hazırlanması .....	19
Şekil 3.7. Donatı hazırlanması .....	20
Şekil 3.8. Beton dökümü.....	21
Şekil 3.9. Numune alımı .....	21
Şekil 3.10. Panel yüzeyinin temizlenmesi.....	22
Şekil 3.11. Yapıştırılmaya hazır paneller.....	22
Şekil 3.12. Beton yüzeyinin yapıştırılmaya hazırlanması.....	23
Şekil 3.13. Yapıştırıcı bileşenleri .....	24
Şekil 3.14. Yapıştırıcının hazırlanması .....	24
Şekil 3.15. Yapıştırıcının panel üzerine uygulaması.....	25
Şekil 3.16. Kirişin ters çevrilerek panelin sıkıştırılması .....	25
Şekil 3.17. Panel üzerine poliüretan bazlı yapıştırıcı uygulanması .....	26
Şekil 3.18. Panelin kirişe yüzeyine sıkıştırılması .....	26
Şekil 3.19. Kirişlerin isimlendirilmesi .....	27
Şekil 3.20. Yalın Kiriş Deney Düzeneği .....	29
Şekil 3.21. Güçlendirilmiş Kiriş Deney Düzeneği.....	30
Şekil 3.22. Eğilme Deney Düzeneği .....	31
Şekil 3.23. Yükleme Düzeneği .....	33
Şekil 4.1. Beton numunesinin test görüntüsü.....	34
Şekil 4.2. Donatı çeliği çekme deneyi.....	35
Şekil 4.3. Donatı çeliği Gerilme-Uzama grafikleri .....	35
Şekil 4.4. Güçlendirilme işlemi yapılmamış kirişlerin yükleme öncesi fotoğrafları.....	36

Şekil 4.5. Güçlendirilme işlemi yapılmamış kirişlerin yükleme sonrası fotoğrafları.....	37
Şekil 4.6a. Kontrol kirişlerin Yük-Deplasman grafikleri.....	38
Şekil 4.6b. Kontrol kirişlerin Moment-Deplasman grafikleri.....	38
Şekil 4.7. SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 deney öncesi fotoğrafları .....	40
Şekil 4.8. SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 deney sonrası fotoğrafları .....	41
Şekil 4.9a. SR-HB6 Yük-Deplasman grafiği .....	42
Şekil 4.9b. SR-HB6 Moment-Deplasman grafiği .....	42
Şekil 4.10a. SR-HB10 Yük-Deplasman grafiği .....	43
Şekil 4.10b. SR-HB10 Moment-Deplasman grafiği .....	43
Şekil 4.11a. SR-HB15 Yük-Deplasman Grafiği .....	44
Şekil 4.11b. SR-HB15 Yük-Deplasman Grafiği .....	44
Şekil 4.12a. SR-HB6, SR-HB10 VE SR-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri.....	46
Şekil 4.12b. SR-HB6, SR-HB10 VE SR-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri.....	46
Şekil 4.13. SN-HB6 ve SN-HB15 deney öncesi fotoğrafları.....	47
Şekil 4.14. SN-HB6 ve SN-HB15 deney sonrası fotoğrafları.....	48
Şekil 4.15a. SN-HB6 Yük-Deplasman Grafiği .....	49
Şekil 4.15b. SN-HB6 Yük-Deplasman Grafiği.....	49
Şekil 4.16a. SN-HB15 Yük-Deplasman Grafiği .....	49
Şekil 4.16b. SN-HB15 Yük-Deplasman Grafiği.....	50
Şekil 4.17a. SN-HB6 ve SN-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri .....	51
Şekil 4.17b. SN-HB6 ve SN-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri.....	51
Şekil 4.18a. SR-HB6 ve SN-HB6 Yük-Deplasman Grafiği .....	53
Şekil 4.18b. SR-HB6 ve SN-HB6 Moment-Deplasman Grafiği .....	53
Şekil 4.19a. SR-HB15 ve SN-HB15 Yük Deplasman Grafiği.....	53
Şekil 4.19b. SR-HB15 ve SN-HB15 Moment- Deplasman Grafiği .....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Epoksi Yapıştırıcı Özellikleri .....	17
Çizelge 3.2. Poliüretan bazlı yapıştırıcının özellikleri .....	18
Çizelge 3.4. Deney elemanlarının özellikleri ve isimlendirme .....	27
Çizelge.4.1. Küp numunelerin 7 günlük ve 28 günlük kür sonunda kırım değerleri.....	34
Çizelge 4.2. Kontrol kirişlerin akma yükü-çekme mukavemeti ve deplasman değerleri.....	38



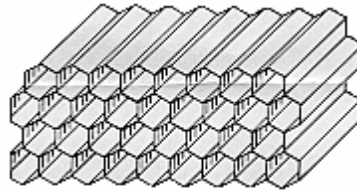
## 1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe taşıyıcı sistemi betonarmeden oluşan yapılarda çeşitli sebeplerden dolayı kesme sorunları ile karşılaşmaktadır. Bu yapıların kirişlerinde moment kapasiteleri yeterli olmasına rağmen kesme dayanımında yetersiz kalması eleman üzerinde gevrek kesme kırılmalarına neden olmaktadır. Bu açıdan kesme ve eğilme dayanımına katkı sağlayacak güçlendirme çeşitleri büyük önem taşımaktadır (Altın ve Anıl, 2003).

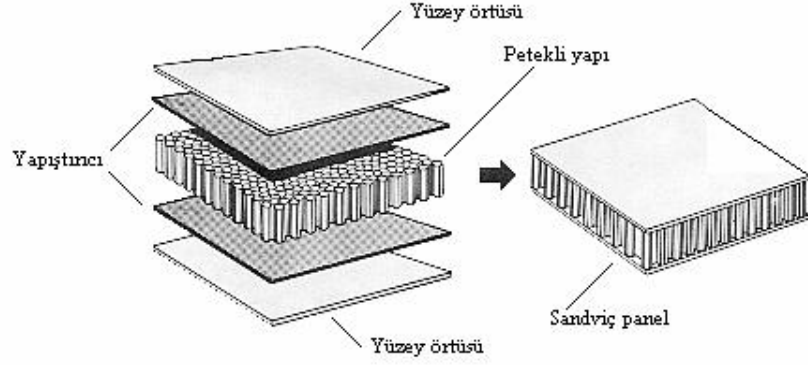
Bal petekli (honeycomb) kompozit paneller, çarpma ve darbe sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği ve bu kuvvet karşısında süneklik gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılır. Hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli yapılar yerleştirilir. Tabakalar arasına petekli yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme dayanımının artmasını sağlar. Oldukça hafif sistem olan bu sandviç yapıyı elde etmek için, bal peteği şeklindeki çekirdek kısmın iki yüzeyine istenilen kalınlıktaki plaklar yapıştırılır (Güler ve Ulay, 2009; Arslan ve Kaman, 2002).

### 1.1. Bal Peteği (honeycomb) Kompozit Panel Nedir?

Bal peteği kompozit panellerin geçmişi oldukça eskiye aittir. İlk defa 1845 yılında yumurta taşıma kutusunda kullanılmaya başlayan paneller daha sonra 1919 yılında havacılık sektöründe kullanılmaya başlanmıştır. 1940 yılından sonra havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde, yüksek sertliği ve düşük ağırlığı nedeniyle sivil uçak sanayi sektörü dâhil olmak üzere çok sayıda uçak parçası üzerinde kullanılmıştır. Bal petek yapısının dış yüzeylere yapıştırılması oldukça zor olmasına rağmen üstün mukavemet/ağırlık oranı nedeniyle son yıllarda ön planda olan bir malzemedir (Güler ve Ulay, 2009). Şekil 1.1 ve Şekil 1.2.'de bal peteği kompozit panel şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Altıgen hücreli petekli yapı (Arslan ve Kaman, 2002)



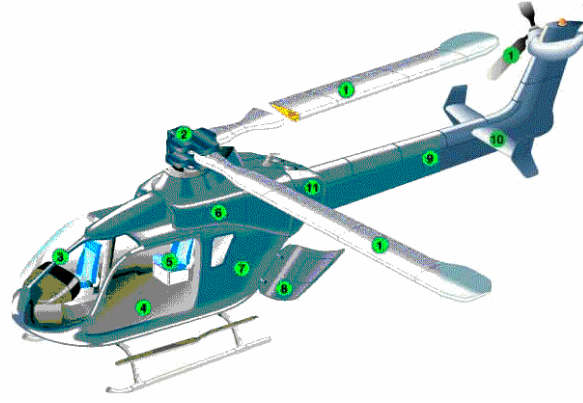
Şekil 1.2. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi (Arslan ve Kaman, 2002)

Sandviç yapıların, geleneksel yapılara göre hafiflik, yüksek mukavemet, enerji absorpsiyonu ve çok işlevlik gibi birçok özelliği ön plana çıkmaktadır. Zırhlama tabakaları olarak patlayıcı ve darbeli yüklere direnmek için yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Sandviç çekirdekleri, patlayıcı ve darbeli yüklemelerin enerji emiliminde önemli rol oynamaktadır (Wang vd., 2017).

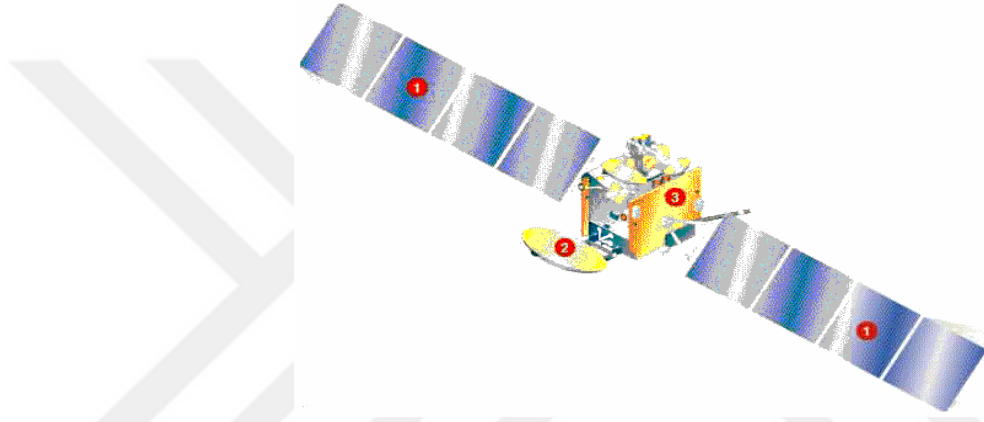
Ayrıca bal peteği kompozit paneller, düşük kütleler için yüksek eğilme kabiliyeti sayesinde yaygın olarak uzay yapılarında kullanılır. Yapısal tasarımı daha da optimize etmek için, bal peteği panellerde yüksek modüllü kompozitler gibi ileri malzemeler kullanılmaktadır. Geleneksel bal peteği sandviç panellerindeki alüminyum alaşımlı yüzey levhaları, lifli kompozit malzemelerle değiştirilmektedir. Bu özellik sayesinde güneş panelleri, antenler gibi yapısal elemanlar için de kullanılabilir (Renji,1996).

### 1.1.1. Bal peteği kompozit panellerin uygulama alanları

Bal peteği kompozit paneller, yapılarda dış cephe kaplamasında, çatı panelleri ve tavan panellerinde, ıslak zeminlerde, duvarlarda, levhalarda ve kapılarda, gemilerin ve yatların güvertelerinde, kamara bölmelerinde ayrıca iç dekorasyon panellerinde, metro ve raylı sistemlerin iç dekorasyonlarında, yürümeye elverişli zemin panellerinde ve iyi izolasyon özelliğiyle spor salonlarında ve havaalanlarında kullanılabilir (Güler ve Ulay, 2009). Ayrıca inşaat kalıplarında ve destek parçalarında kullanılmaktadır. Kompozit panel kullanılan uçak parçalarının bazıları Şekil 1.3.'de ve kompozit panel kullanılan güneş paneli parçalarının bazıları Şekil 1.4.'de gösterilmiştir.



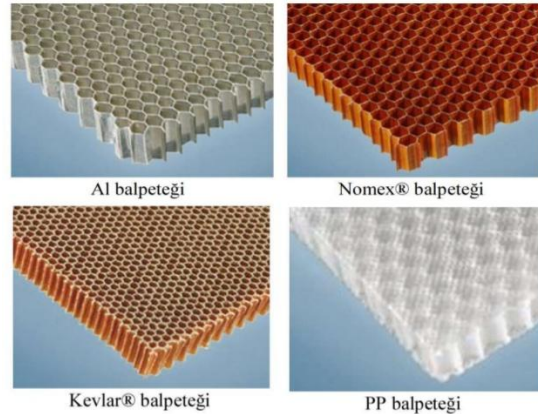
Şekil 1.3. Petekli kompozit panelin uçak parçalarında kullanımı, Kanat, Gövde, Kargo kapıları, Kuyruk: Epoksi-karbon kompozit, Cam elyaf petekli yapı. (Arslan ve Kaman, 2002)



Şekil 1.4. Petekli kompozit panelin güneş panelinde kullanımı, 1. Güneş panelleri, 2. Yansıtıcı antenler ve 3. Gövde: Alüminyum petekli yapı ve epoksi-karbon kompozit. (Arslan ve Kaman, 2002)

### 1.1.2. Bal peteği kompozit panellerin özellikleri

Bal peteği kompozit paneller; yüksek mukavemetli, hafif, yüksek nem ve korozyona dayanıklı, yangına dayanıklı, ısı ve ses izolasyon etkisine sahip, kimyasal maddelere karşı dirençli, bakteri ve mantar direncine sahip, kolay temizlenebilir malzemelerdir (Güler ve Ulay, 2009). Bal peteği kompozit panelin bazı çeşitleri Şekil 1.5.'de verilmiştir.



Şekil 1.5. Bal peteği çeşitleri (Anonim2)

## 1.2. Güçlendirmenin Önemi

Beton yüksek basınç mukavemeti ve nispeten düşük çekme mukavemeti ile bilinmektedir. Bu nedenle kalın duvarlar, barajlar ve nükleer santraller gibi kütle beton yapılar, malzemelerin hidrasyonundan kaynaklanan termal genişleme ile çatlakların oluşmasına eğilimlidir (Zhong vd., 2017). Taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan birçok betonarme yapı farklı nedenlerden kaynaklanan kesme problemleri ile karşı karşıyadır. Genelde bu yapıların kirişlerinde moment kapasiteleri yeterli olmasına rağmen kesme dayanımında eksik kalması gevrek kesme kırılmasına yol açmaktadır (Altın ve Anıl, 2003). Betonarme kirişler, daha yüksek yüklere maruz kaldıklarında ve yeterince güçlendirilmediğinde veya eğilme kuvvetleri eğilme kapasitesinin altına düştüğünde güçlendirme gerektirmektedir (Breveglieri, 2014).

Betonarme kirişlerin güçlendirilmesi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri mantolama yöntemidir. Bu yöntemde kirişin alt yüzüne ve/veya üst yüzüne yeni bir betonarme katman eklenir. Yeni boyuna donatılar eski donatılara 'U' ve 'Z' şeklindeki donatılar ile bağlanır. Bu yöntem hem güçlendirme olarak hem de sünek kırılmayı sağlaması açısından başarılı olsa bile uygulaması oldukça zordur. Donatıların birbirine kaynaklanması ve yerleştirilen betonun sıkıştırılması uygulamadaki zorluğun nedenlerinden biridir (Uysal, 2006).

Kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan bir diğer yöntem kiriş yüzlerine karbon-lif kumaşlar yapıştırılarak iyileştirme yöntemidir. Bu yöntemde genellikle amaçlanan dayanımlara ulaşılmasına rağmen yeterli bir süneklik elde edilemediği görülmüştür. Ayrıca karbon lifli kumaşların oldukça pahalı olması ve ülkemize yurt



dışından ithal edilmesi dezavantaj oluşturan nedenlerdendir. Bu sakıncalarına rağmen ülkemizde son dönemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Uysal, 2006).

Güçlendirmede diğer bir yöntem ise kirişe çelik plakalar yapıştırılmasıdır. Son yıllarda çelik levhalar kullanılarak kirişlerin güçlü yapıştırıcılarla güçlendirilmesi yöntemi yaygın araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Bu metotla güçlendirmenin uygulamadaki kolaylığı ve ekonomik maliyet oluşturması bu yöntemi cazip kılmaktadır (Altın ve Anıl, 2004). Ancak çelik levhalarla güçlendirilmiş kirişlerde de önemli süneklik sorunları meydana geldiği görülmüştür. Çalışmalarda çelik levhalar için önerilen uç bağlantılarının levhadaki yükü kiriş uçlarına aktarmada yetersiz kaldığı ve ilerleyen yük aşamalarında levha ucunun kirişten aniden ayrılarak gevrek bir şekilde kırıldığı görülmüştür. Bu açıdan güçlendirmenin ne tür bir malzeme ile yapılması gerektiği büyük önem taşımaktadır (Aykaç ve Özbek, 2011).

Betonarme kirişlerin kesme kapasitesinin, dışa bağlı fiber takviyeli polimer (EB-FRP) yöntemi kullanılarak arttırılabileceği yapılan çalışmalarda doğrulanmaktadır. Bununla birlikte, genellikle bu tür sistemlerin başarısızlığının başlıca nedeni olan bağların kopması (yapışmanın azalması), böyle bir güçlendirme yönteminin etkinliğini azaltacaktır (Ebead ve Saeed, 2013). Bu nedenle güçlendirme teknikleri kullanılırken dikkat edilmesi gereken bir husus da yapıştırma (birleştirme) basamağının doğru uygulanması ve yapıştırıcının doğru seçilmesidir.

Kompozit malzemelerin ortaya çıkması ile betonarme kirişlerin kesme ve eğilme değerinin artırılmasına yönelik yeni yöntemler araştırılmıştır. Yüksek mukavemet oranı, yüksek dayanıklılık, kullanım kolaylığı, düşük iş gücü gibi sebeplerden dolayı kompozit malzemeler ile güçlendirme geliştirilebilir bir alan oluşturmaktadır (Breveglieri vd., 2014). Petek yapılı kompozit paneller bu alana önderlik edecek bir malzeme sunmaktadır. Ancak petek yapılı kompozit panel seçiminde belirlenen levhanın mekanik özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bu özellikleri kompozit panelin çekirdek kısmının malzemesi ve yüzey örtüsünün malzemesi belirlemektedir. Özellikle yüzey örtü malzemesi, petek yapılı kompozit levhaların eğilme dayanımı üzerinde önemli role sahiptir (Solmaz vd., 2010).

Bu çalışmada taşıyıcı elemanlardan biri olan kirişlerin güçlendirilmesi incelenmiştir. Güçlendirme çalışması için son yıllarda ön plandaki malzemelerden biri olan bal petekli (honeycomb) kompozit paneller kullanılmıştır. Yüzey örtüsü ve çekirdek malzemesi olarak alüminyum seçilmiştir. Kirişlerin eğilme kuvvetine karşı güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle bal peteği kompozit paneller kirişlerin alt yüzeyine uygulanmıştır. Deney elemanı olarak üç adet referans kiriş ve beş adet güçlendirilmiş kiriş kullanılmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerden üçünün güçlendirme malzemesi 6 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıklardaki bal peteği kompozit paneldir. Panel ile kiriş arasındaki yapıştırıcı malzemesi ise epoksi bazlı yapıştırıcıdır. Güçlendirilmiş kirişlerden ikisinin güçlendirme malzemesi 6 mm ve 15 mm kalınlıklardaki bal peteği kompozit paneldir. Panel ile kiriş arasındaki yapıştırıcı malzemesi ise poliüretan bazlı yapıştırıcıdır. Hazırlanan kirişler dört noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar yük-deplasman ilişkisi ve moment-deplasman ilişkisi bakımından incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde bal peteği kompozit panel ve kirişlerin güçlendirilmesi ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### 2.1. Bal Peteği Kompozit Panel Çalışmaları

Literatürde bal peteği kompozit malzemeler ile ilgili oldukça geniş araştırmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda bal peteği kompozit panellerle birlikte farklı sandviç yapılar için mekanik ve dinamik davranışlar araştırılmıştır. Çalışmalarda sandviç yapıyı oluşturan alt ve üst yüzey tabakalarının malzeme özelliklerinin değişimi, çekirdek malzemesinin geometrik yapısının değişimi gibi konular hem farklı yöntemlerle hem de deneysel olarak incelenmiştir (Şakar vd., 2010).

Paik vd. (1999) tarafından bal peteği kompozit paneller ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın amacı bal peteği çekirdekli alüminyum sandviç panellerin mukavemet özelliklerini teorik ve deneysel olarak araştırmaktır. Alüminyum petek-çekirdekli sandviç panel örneği üzerinde üç nokta eğilme, aksel basınç ve yanal basınç yüklerinde bir dizi mukavemet testi gerçekleştirilmiştir. Karşılık gelen yük bileşenine tabi tutulan petek sandviç panellerin eğilme deformasyonu, burkulma, maksimum dayanım ve basınç mukavemetini analiz etmek için basitleştirilmiş teoriler uygulanmıştır. Alüminyum sandviç panellerin yapısal bozulma özellikleri incelenmiştir.

Arslan ve Kaman (2002) tarafından alüminyum, bakır, kâğıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneysel sonucu petek yapılı kompozitlerin, maksimum dayanım, kırılma ve deformasyon değerleri ve enerji absorbe özellikleri basınç ve çarpma yükleri altında elde edilmiştir. Sonuç olarak et kalınlığı fazla olan panellerin maksimum dayanım değerlerinin daha büyük olduğu, et kalınlığı sabit tutulup hücre boyutu artırıldığında maksimum dayanım değerinin arttığı görülmüştür. Aynı et kalınlığında ve hücre boyutunda bakır petek yapılı panel alüminyum petek yapılı panelden daha fazla dayanım sergilediği görülmüştür. Ayrıca cam elyaf ve kâğıt/polyester kompozit petek yapılı paneller kıyaslandığında cam elyaf panelin daha yüksek bir dayanım sergilediği ancak alüminyum ve bakır panellere göre daha düşük şekil değiştirmeye

sahip oldukları görülmüştür. Çarpma deneyi sonucunda ise aynı hücre boyutuna sahip alüminyum panellerde et kalınlığı arttıkça çökmelerin azaldığı, aynı et kalınlığına sahip olduğu durumlarda ise hücre boyutu arttıkça çökmelerin arttığı elde edilmiştir. Aynı et kalınlığına ve hücre boyutuna sahip bakır ve alüminyum paneller karşılaştırıldığında aynı enerjiyi alüminyum petekli panel daha fazla çökme ile karşıladığı görülmüştür. Cam elyaf panellerde çok az çatlak görülürken kâğıt panelde hücre kalınlığı boyunca çatlağın yayıldığı görülmüştür.

Şakar vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada bal peteği sandviç kompozit yapıların dinamik analizi incelenmiştir. Bu çalışmada bal peteği kompozit panellerin serbest titreşim analizleri yapılmıştır. Panelin alt ve üst levhalarının özelliklerinin (katman sayısı gibi) ve çekirdek malzemenin yüksekliğinin titreşim altındaki etkileri incelenmiştir. Çalışmada yapılan analizler ANSYS paket programı aracılığıyla incelenmiştir. Nümerik analizler parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak sandviç yapıyı meydana getiren alt ve üst kompozit levhaların fiber yönelmelerinin ve çekirdek yüksekliğinin doğal frekanslar üzerinde en etkili parametreler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca levha kalınlığının değişimi sonuçları değiştirdiğinden bir parametre olarak ele alınabilmektedir.

Solmaz vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada bal peteği yapılı kompozit levhaların eğilme davranışları incelenmiştir. Bal peteği kompozit panelin yüzey örtüsü polyester/cam fiber olarak seçilirken çekirdek malzemesi olarak kâğıt ve alüminyum seçilmiştir. Bal peteği kompozit levhaların çekirdek kısmının farklı hücre boyutlarındaki davranışları parametre olarak alınmıştır. Hücre yüksekliği olarak 5, 15, 25 mm tercih edilmiştir. Hacimce değiştirilmeyen levhalar üç nokta eğilme deneyine maruz bırakılmıştır. Deneyde hücre yoğunluğu ve petek malzemesinin eğilme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Sonuçta levhaların eğilme dayanımı, petek hücrelerin kayma rijitlikleri ve kayma modülü tespit edilmiştir. Hücre yoğunluğu arttıkça kayma rijitliklerinde artış tespit edilmiştir. Ancak hücre boyutunun artması (yükseklik) maksimum kritik yük değerinin azalmasına yani eğilme dayanımında düşüşe sebep olduğu görülmüştür. Kâğıt hücreli levhaların eğilme dayanımlarının alüminyum hücrelilere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Alüminyum hücreli levhalarda yük uygulanan bölge civarında bölgesel hücre ezilmesi ve kayma

hasarları, kâğıt hücreli levhalarda ise bu hasarlara ek olarak bölgesel çatlaklar ve kısmen yüzey örtüsü/hücre ayrılması gözlemlendiği belirtilmiştir.

Akkuş vd. (2015) tarafından bal peteği kompozit yapıların çoklu regresyon tahmin modeli çalışılmıştır. Saf epoksi ve %1 çok duyarlı karbon nano tüp (mwcnt) takviyeli yapıştırıcı ile farklı hücre genişliği ve farklı yükseklikteki numuneler yapıştırılarak üretilen alüminyum bal peteklerinin üç nokta eğilme deneyleri yapılmıştır. Hücrelerde 10 mm ve 30 mm olarak iki farklı yükseklik tercih edilirken hücre genişliği olarak dört farklı değer kullanılmıştır. Deney sonuçlarında hücre genişliği sabit tutulduğunda hücre yüksekliği arttıkça eğilme kuvvetinde artma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı hücre yüksekliği için bakıldığında hücre genişliği arttıkça eğilme kuvvetinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca %1 mwcnt takviyeli yapıştırıcı kullanılarak deneye tabi tutulan numunelerin eğilme kuvvetlerinin saf epoksiye göre düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

Akkuş vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada alüminyum bal peteği yapılarında darbe mukavemeti tahmini için regresyon modeli oluşturulmuştur. Daha önceki çalışmada olduğu gibi saf epoksi ve %1 çok duyarlı karbon nano tüp (mwcnt) takviyeli yapıştırıcı ile farklı hücre genişliği ve farklı yükseklikteki numuneler yapıştırılarak alüminyum bal petekleri üretilmiştir. MINITAB<sub>14</sub> programından yararlanılarak I. dereceden regresyon ve logaritmik regresyon modeli oluşturulmuştur.  $F_{epoksi}$  ve  $F_{CNT}$  için oluşturulan regresyon modellerinde deney sonuçlarına en yakın sonuçlar I. dereceden regresyon modeliyle elde edilmiştir. Oluşturulan regresyon modelleri ile en etkin parametrenin hücre genişliği olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada bal peteği sandviç yapıların düşük hız etkisi altında mekanik davranışının büyük önem taşıdığını belirtilmiştir. Çalışmada düşük hız etkisine maruz kalan yüzey deformasyonu üzerine ve enerji absorpsiyonu üzerine deneysel ve sayısal bir araştırma yapılmıştır. Darbenin hızlanma zayıflatma sürecini kaydetmek için yüksek hızlı bir kamera sistemi kullanılmış, panelin yüzey profillerini ölçmek için ise bir projeksiyon profili sistemi kullanılıp nihai girintinin derinliği elde edilmiştir. Üç boyutlu bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar modeli ile deney sonuçları doğrulanmıştır.

Girinti özellikleri ve enerji absorpsiyonu analiz edilerek deney verileri elde edilmiştir. Ayrıca petek çekirdeğinin ve yüzey levhalarının enerji absorpsiyonuna katkısı analiz edilmiştir. Sonuçta petek çekirdeğinin, enerji emiliminde baskın bir rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

Zhao vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada titanyum alaşımlı plakalar ve aramid bal peteği çekirdekleri yoğun darbeli yüklemeye tabi tutulmuştur. Ayrıca kompozit sandviç panellerin deformasyon / arıza modları ve darbe direnci deneysel olarak araştırılmıştır. Sandviç paneller ile levhalar arasındaki yapısal bozulma direnci karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak darbe hızının sandviç panellerin dinamik tepkileri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

## **2.2. Kiriş Güçlendirme Çalışmaları**

Kiriş güçlendirmesine yönelik bir takım çalışmalar literatürde yerini almaktadır. Arslan (1991) tarafından betonarme kirişlerin çelik levha ile güçlendirmesiyle ilgili bir yüksek lisans tezi hazırlanmıştır. Çalışmada bir kiriş yalın, altı kiriş güçlendirilmiş ve iki kiriş onarılmış olarak kullanılmıştır. Çalışmada parametre olarak yöntemin etkinliği, güçlendirme levhası uzunluğu (kısa ( $l=120$  cm), uzun ( $L=240$  cm)), güçlendirme levhası kalınlığı (0.2 ve 0.4 cm), güçlendirme levhası ucunun durumu (kaynaklı, yapıştırma veya boşta bırakılması), yüksüz onarım ve yüklü onarım ele alınmıştır. Kirişlere sadece moment etkisi oluşturacak şekilde yük uygulanmıştır. Kirişlerin yük-çökme ve moment-eğrilik grafiklerinden davranışları incelenmiştir. Çalışmada 300 cm uzunluğunda 15\*25 cm boyutlarında olan kirişler 0,2\*15 cm veya 0,4\*15 cm'lik çelik levhalarla güçlendirilmiştir. Betonarme kirişlerde çekme donatısı olarak 2 $\Phi$ 14 ( $A_s$ : 3,08 cm<sup>2</sup>), basınç donatısı olarak 2 $\Phi$ 10 ( $A'_s$ : 1,57 cm<sup>2</sup>) ve etriye boyutu  $\Phi$ 6/125 cm kullanılmıştır. Deney sonuçları dayanım, süneklik, enerji tüketimi, ve rijitlik bakımından irdelenmiştir. Sonuç olarak güçlendirme levhası başlığı tutulmuş kirişlerin ve yüksüz onarım yapılmış kirişlerin daha iyi davranış gösterdiği elde edilmiştir. Kısa levha ( $l=120$  cm) ile yapılan güçlendirmenin yetersiz kaldığı görülmüştür. Ayrıca en iyi sonuçların alındığı deney elemanında güçlendirmede amaçlanan dayanım sağlanmış ancak akma sonrası davranışın betonarme kirişinki kadar iyi olması sağlanamamıştır.

Betonarme kirişlerin güçlendirmesi ile alakalı Altın ve Anıl (2004) tarafından yapılan çalışmada dıştan çelik levha yapıştırılması denenmiştir. Kesme dayanımlarının az olduğu kirişlerin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kesme açıklığı boyunca çelik levha yapıştırılarak güçlendirme ve çelik lamalarla güçlendirme olmak üzere iki farklı çelik levha uygulaması görülmektedir. Epoksi kullanılarak çelik levha yapıştırılması ile kesme dayanımı, rijitliği, enerji tüketimi, göçme biçimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalardan yararlanılarak betonarme kesitlerin kesme kapasitelerine yönelik analitik yaklaşımlar geliştirilmiş ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmada mesnetler arası açıklığı 3800 mm olan aynı boyuna donatılı, T-kesitli 11 adet kiriş kullanılmıştır. Kiriş yan yüzeylerine ve çelik levhalara 1.5 mm kalınlığında epoksi sürülmüştür. Yapıştırma işlemi sonunda 15 gün bekletilmiş ve 4 nokta yükleme şartları altında test edilmiştir. Sonuç olarak güçlendirilmiş tüm kirişlerde kesme dayanımı artmış, süneklik gelişmiş ve kirişler eğilme kırılması şeklinde göçmüştür. Hesaplanan analitik eşitlikler deney sonuçlarıyla uyum göstermiştir.

Uysal (2006) tarafından betonarme kirişlerin güçlendirmesiyle ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın çelik levha ile güçlendirme yapan diğer çalışmalardan farkı betonarme kirişi delikli çelik levha ile güçlendirilmeye çalışılmasıdır. Delikli çelik levha kullanımının nedeni sünekliği artırarak gevrek kırılmayı önlemektir. Çalışmada birisi referans olmak üzere dokuz adet deney elemanı kullanılmıştır. Deneylerde 200\*300 mm boyutunda, 4.5 m uzunluğunda kirişler kullanılmıştır. Çekme donatısı olarak 3  $\Phi$ 14, basınç donatısı olarak 2  $\Phi$ 10 ve etriye olarak  $\Phi$ 18/100 mm kullanılmıştır. Beton sınıfı C20 seçilmiştir. Parametre olarak; süneklik ve yüzeyler arası yük aktarımı, çelik levha alanı ve kalınlığı (3 mm ve 6 mm), yapıştırma yöntemi (alt veya yan yüzeyler), yan yüzlere tespit edilen levhanın uzunluğu ve aralarında oluşturulan derz aralıklarının değişimi, bazı kirişlere çelik bulonlar ile destek sağlama ele alınmaktadır. Deney elemanları dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları dayanım, süneklik, enerji tüketimi, ve rijitlik bakımından irdelenmiştir. Yalın kirişin dayanımına bakıldığında 123 kN değerinde akma sınırına ulaşmış ve 150 kN maksimum yük ile yüklendiği görülmüştür. Güçlendirilmiş deney elemanlarından 207 kN ile en yüksek akma sınırına ulaşan kirişin, sadece alt yüzeyden epoksi ile yapıştırılmış 6 mm kalınlıkta delikli çelik levha ile güçlendirilmiş kiriş olduğu görülmüştür. 241 kN ile en yüksek

maksimum yükü elde etmiş kiriş ise alt yüzeyden hem epoksi ile yapıştırılmış hem de bulonlar ile desteklenmiş 6 mm kalınlıkta delikli çelik levha ile güçlendirilmiş kiriş olduğu görülmüştür. Sünekliğe genel olarak bakıldığında tüm elemanlarda alt sınır olan 4-5 değerinden çok daha büyük değerler olarak elde edilmiştir. Deney elemanlarının toplam enerji kapasiteleri elemanlara ait yük deplasman eğrisinin altında kalan alanlardan hesaplanmıştır. Eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olarak hesaplarda daha gerçekçi olan yük-deplasman grafiklerinin eğimleri kullanılmıştır. Tüm elemanların yalın kirişe oranla daha rijit davrandıkları görülmüştür.

Aykaç ve Özbek (2011) tarafından T-kesitli betonarme kirişlerin çelik levhalar ile güçlendirilmesi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada eğilmeye karşı güçlendirmenin yanı sıra yeterli sünekliğe ulaşılması için bir uç bağlantısı araştırılmıştır. Bu bağlantıya ulaşılması için otuz adet deney elemanı kullanılmış ve uygulanabilir bir uç bağlantısı geliştirilmiştir. Çalışmanın içeriğinde ikisi karşılaştırma kirişi olmak üzere 8 adet betonarme kiriş ele alınmıştır. Kirişlerden üç tanesi sadece eğilmeye karşı diğer üç tanesi ise hem eğilmeye hem de kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Deneylerde boyutu 200\*500 mm, 4.5 m uzunlukta T-kesitli kiriş kullanılmıştır. Çekme donatısı 3Φ14, basınç donatısı 2 Φ10 seçilmiştir. Deneyde hem eğilmeye karşı güçlendirmeler hem de kesmeye karşı güçlendirmeler yapıldığından etriye aralıkları deney elemanlarında değişiklik göstermiştir. Tabla kalınlığı 100 mm, tabla genişliği 400 mm olarak seçilmiştir. Parametre olarak; dayanım türü (kesme ve/veya eğilme), kiriş üst yüzeyinde basınç levhası olup olmadığı, levhanın yapıştırılma türü (epoksili veya epoksisiz), kesmeye karşı önlem alınıp alınmadığı kullanılmıştır. Tüm elemanlarda aynı uç bağlantısı kullanılmıştır. Deney esnasında betonarme kirişler iki noktalı yükleme altında bırakılarak eğilmesi sağlanmıştır. Çalışmanın sonucunda dayanım referans kirişe göre yaklaşık iki buçuk kat artmış ve elemanların son derece sünek davrandığı gözlenmiştir. Referans kirişin akma değeri 117 kN, maksimum taşıdığı yük 135 kN olarak elde edilmiştir. Deney elemanlarından en yüksek değerleri veren kiriş; 309 kN akma sınırı ve 350 kN maksimum yük taşıması ile hem alt yüzeyden hem de üst yüzeyden epoksi ile çelik levhanın yapıştırıldığı ayrıca üst levhası tabliyeye bulonlanmış olan kiriş elemanı olduğu görülmüştür.



Bir diğerk güçlendirme çalışması Al Zand vd. (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada çelik boru içi beton ile doldurulmuş (CFST) kiriş tipi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) levhalar kullanılarak CFST kirişlerinin güçlendirme davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel numuneleri dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, CFRP katmanlarının artmasıyla güçlendirilmiş kirişin moment kapasitesi, enerji soğurma kapasitesi ve bükülme sertliğinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir.

Baghi vd. (2016) tarafından hibrid kompozit levhalar (HCP) ile betonarme kirişlerin güçlendirilmesi deneysel olarak ve analitik modelleme ile araştırılmıştır. HCP, Near Surface Mounted tekniğine (NSM) göre betonarme kirişlerin kenarlarına uygulanan Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) laminatlarla güçlendirilmiştir. HCP'lerin verimliliğini incelemek için yedisi dikdörtgen kesitli, on tanesi T kesiti toplam 17 betonarme kiriş test edilmiştir. HCP'lerin kirişlerin beton yüzeyine uygulanması için iki farklı yöntem incelenmiştir. Bunlardan biri epoksi yapıştırıcı kullanmak, diğeri ise epoksi yapıştırıcıya ek olarak mekanik ankrajlar kullanmaktır. Sadece epoksi yapıştırıcı kullanıldığında, HCP'lerin kesme güçlendirmesine katkısı, güçlendirilmiş kirişlerin beton yüzeyinin gerilme mukavemeti ile sınırlandırılmıştır. Epoksi yapıştırıcıya ek olarak mekanik ankrajlar uygulandığında HCP'lerin kesme potansiyeli büyük ölçüde artmıştır. Ayrıca HCP'ler ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerinin kayma direncini tahmin etmek için bir analitik model önerilmiştir. Analitik modelin HCP'lerle güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kayma direncini iyi doğrulukla öngördüğü gösterilmiştir.

Güçlendirmede bir diğerk çalışma Waal vd. (2017) tarafından Avustralya, Queensland'da 60 yıllık ön gerilmeli betonarme köprünün döşemesi üzerinden yapılmıştır. Çalışmada ön gerilmeli betonarme döşemenin eğilme kapasitesi ve eğilme dayanımının artırılmasına yönelik iki farklı fiber takviyeli polimerli(FRP) güçlendirme tekniği kullanılmıştır. Köprüden alınan üç tane ön gerilmeli betonarme güverte ünitesinden biri kontrol numunesi olarak test edilirken diğerk ikisi de iki farklı FRP güçlendirme tekniği ile güçlendirilmiştir. İki teknik olarak kullanılan FRP güçlendirmesi, sınırdaki yükleri %10 ve %31 oranında artırırken, nihai gücü %54 ve %105 artırdığı görülmüştür.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

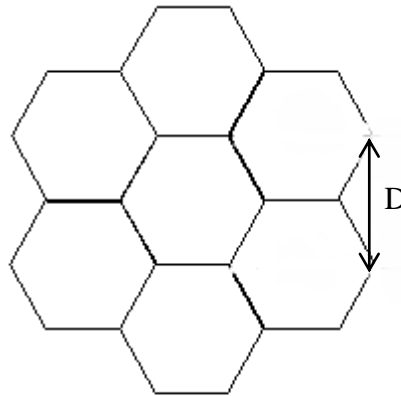
Bu bölümde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin özellikleri ve deney aşamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Deneyde kullanılan kirişlerin ve panellerin boyutları, sayıları geniş bir literatür araştırmasından sonra seçilmiştir.

#### 3.1. Deney Malzemeleri ve Özellikleri

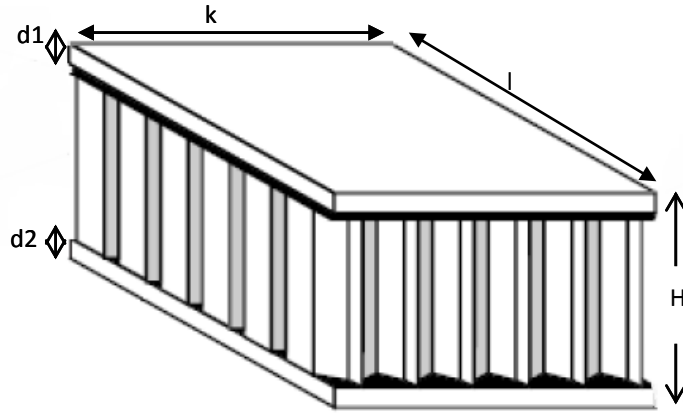
##### 3.1.1. Bal peteği kompozit panel

Bal peteği kompozit panellerin, çarpma ve darbe sonucu ortaya çıkan enerjiyi absorbe ettiği ve bu kuvvetler karşısında esneyebildiği için iyi bir destek tabaka oluşturacağı düşünülmektedir. Ayrıca levhalar arasında petekli yapının bulunması yapının atalet momentini ve eğilme dayanımını artırması öngörülmektedir.

Panel kalınlığı ile güçlendirme arasındaki orantıyı belirlemek çalışmamızdaki amaçlardan biridir. Bu nedenle kirişler altına yapıştırılan levha kalınlığı değişken olarak ele alınmıştır. Deneylerde 6 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıklarda bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. Betonarme kirişin alt yüzeyine uygulanacak olan panel uzunluğu  $l$ : 2100 mm ve panel genişliği  $k$ : 150 mm olarak belirlenmiştir. Bal peteği kompozit panelin boyutları Şekil 3.1. ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.3.’de bal peteği kompozit panelin genel görünüşü mevcuttur.



Şekil 3.1. Bal peteği Kompozit Panel çekirdek genişliği (D, Çekirdek genişliği: 10,39 mm)



d1 (Üst levha): 1 mm

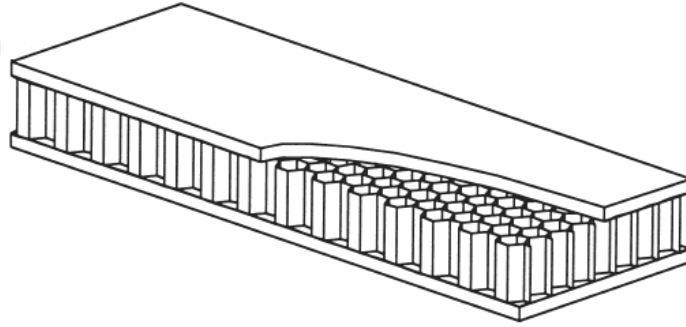
d2 (Alt levha): 1 mm

H (Yükseklik): 6 mm, 10 mm, 15 mm (değişken)

k (Genişlik): 150 mm

l (Uzunluk): 2100 mm

Şekil 3.2. Bal peteği Kompozit Panel ölçüleri (Şakar vd., 2010)



Şekil 3.3. Bal peteği kompozit panel genel görünüşü (Solmaz vd., 2010)

### 3.1.2. Kalıp

Deneyde kullanılan 8 adet kiriş için plywood kalıplar hassas ölçüler ile imal edilmiş ve laboratuvar ortamında montajı gerçekleştirilmiştir. Tek seferde beton dökümü için alt kalıpları sabit plywood ölçüsü kullanılıp ara bölmeler kiriş boyutlarında hazırlanmıştır. Kalıp imalatı Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Denejde kullanılan kalıplar

### 3.1.3. Donatı

Denejde kullanılan donatılar şantiye ortamında hazırlanıp laboratuvar ortamına taşınmıştır. Üretilen kiriş 150x250x2400 boyutlarında planlanmıştır.

Betonarme kirişin çekme donatısı olarak  $2\Phi 14$  ( $A_s: 3,08 \text{ cm}^2$ ), basınç donatısı olarak  $2\Phi 10$  ( $A_s: 1,57 \text{ cm}^2$ ) nervürlü demir kullanılmıştır. Herhangi bir kesme sorunuyla karşılaşılması için  $\Phi 8/150$  etriye kullanılmıştır. Denejde kullanılan donatı görseli Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kiriş Donatısı

### 3.1.4. Beton

Deney elemanlarının beton karışım oranı (çimento-kum-agrega) 1:1,5:3 oranıyla hazırlanmış ve C20/25 beton sınıfı kullanılmıştır.

### 3.1.5. Yapıştırıcı

Deneyde betonarme kiriş ile kompozit panel arasındaki bağlantıyı sağlayacak olan yapıştırıcı olarak yapılan araştırma sonucunda “Sikadur-31” isimli epoksi bazlı yapıştırıcı ve poliüretan bazlı yapıştırıcı seçilmiştir. Epoksi yapıştırıcının özellikleri firmadan temin edilmiş olup Çizelge 3.1.’de verilmiştir. Poliüretan bazlı yapıştırıcı çeşidi olarak Würth konstrüksiyon yapıştırıcısı kullanılmıştır. Teknik özellikleri web sitesinden temin edilmiş olup Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Epoksi Yapıştırıcı Özellikleri

<b>Renk</b>	A bileşeni: beyaz/ B bileşeni: koyu gri/ A+B bileşeni: beton gri			
<b>Kimyasal yapı</b>	Epoksi reçine			
<b>Karışım oranı</b>	A bileşeni: B bileşeni=3:1 ağırlıkça veya hacimce			
<b>Yüzey, ortam ve malzeme Sıcaklığı</b>	+10 °C ile +30 °C arasında olmalıdır.			
<b>Yoğunluk</b>	~1.65 kg/l (A+B bileşenlerinin karışımı) (+20 °C ‘de)			
<b>Termal Genleşme Katsayısı</b>	1 °C için $5.0 \cdot 10^{-5}$ (Sıcaklık Aralığı -20 °C ile +40 °C)			
<b>Basınç Dayanımı</b>	Kür sıcaklığı			
	Kür süresi	+20 °C	+10 °C	
	1 gün	40-45 N/mm <sup>2</sup>	35-40 N/mm <sup>2</sup>	
	10 gün	60-70 N/mm <sup>2</sup>	50-60 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Eğilmede Çekme Dayanımı</b>	Kür sıcaklığı			
	Kür süresi	+10 °C ile 20 °C		
	10 gün	30-40 N/mm <sup>2</sup>		
<b>Çekme Dayanımı</b>	Kür sıcaklığı			
	Kür süresi	+10 °C ile 20 °C		
	10 gün	15-20 N/mm <sup>2</sup>		
<b>Yapıma Dayanımı</b>	Kür süresi	Sıcaklık	Yüzey	Yapışma dayanımı
	10 gün	+10 °C ile 20 °C	Kuru Beton	>4 N/mm <sup>2</sup>
	10 gün	+10 °C ile 20 °C	Çelik	15 N/mm <sup>2</sup>

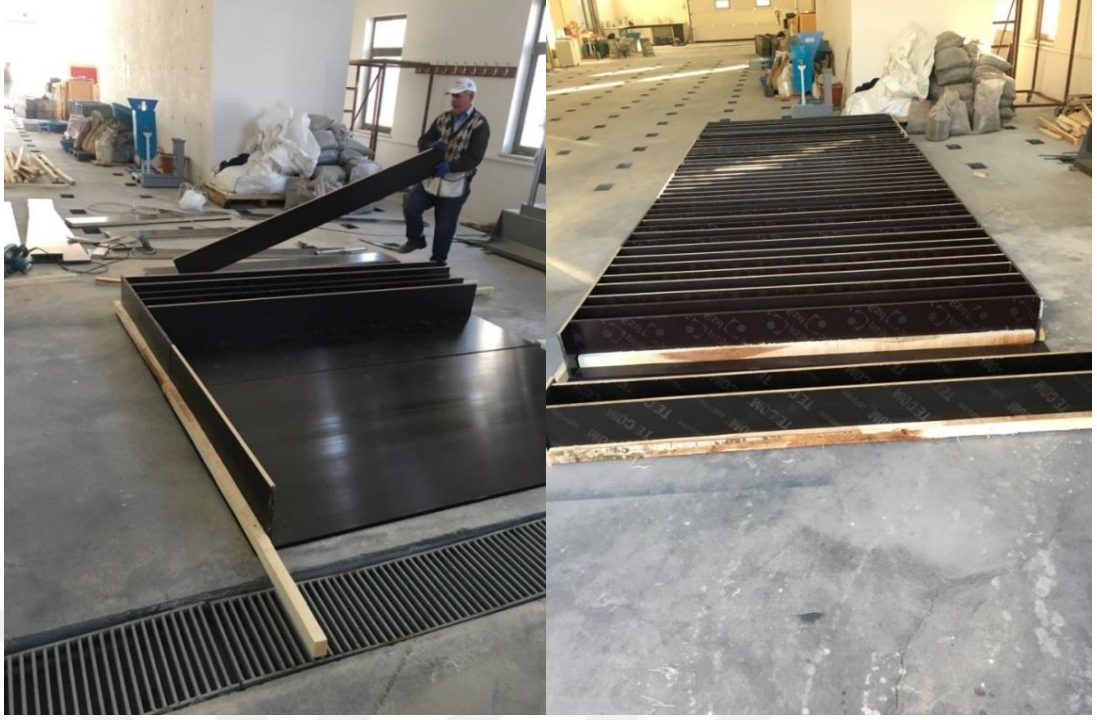
Çizelge 3.2. Poliüretan bazlı yapıştırıcının özellikleri (Anonim1)

<b>Kullanım alanları</b>	Metal, boyanmış yüzeyler, ahşap, taş, beton ve plastik (polyester ve sert PVC) gibi zemin malzemelerinde
<b>Min. Uygulama kalınlığı</b>	3 mm
<b>Kimyasal baz</b>	Tek bileşenli poliüretan
<b>Min./maks. yüzey oluşturma süresi</b>	45-60 dak
<b>Tam kürlenme hızı/koşullar:</b>	3 mm/d / 23°C ve %50 bağıl nem, nemle kürlenme
<b>Tam sertleşme/kürleşme koşulları</b>	23°C ve %50 bağıl nem, nemle kürlenme
<b>Min. germe dayanımı</b>	1.8 N/mm <sup>2</sup>
<b>Çekme dayanımı koşulları</b>	DIN 53504 ile uyumlu
<b>Yırtılmaya karşı min. boyuna direnç</b>	6 N/mm
<b>Yırtılmaya karşı direnç koşulları</b>	DIN 53515 ile uyumlu
<b>Kopma anındaki uzama</b>	500 %
<b>Kopma anındaki uzama/koşullar</b>	500 % / DIN 53504'e uygun
<b>Özgül hacim direnci koşulları</b>	DIN 53482 ile uyumlu
<b>Min./maks. işlem sıcaklığı</b>	5 ile 35 °C
<b>Min./maks. sıcaklık direnci</b>	-40 ile 90 °C
<b>Min. parlama noktası</b>	70 °C
<b>Camlaşma sıcaklığı/koşulları</b>	-45 °C / DIN 53445'e uygun
<b>Silikon içermez</b>	Evet
<b>Dayanıklı olduğu ortamlar</b>	Su, Kireç suyu, Genel atık su, Zayıf asitler, Zayıf alkali çözeltileri, Tuzlu su

### 3.2. Deney elemanlarının hazırlanması

#### 3.2.1. Kiriş kalıplarının hazırlanması

Deneyde kullanılan 8 adet kiriş için plywood kalıplar laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Kalıpların alt yüzeyleri için sabit plywood kalıpları kullanılmış ve 2400 mm boyunda 250 mm yüksekliğinde ara kesitler 150 mm eni sağlayacak şekilde atılmıştır. Kalıp hazırlama resimleri Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kalıp hazırlanması

### 3.2.2. Kiriş donatılarının hazırlanması

Deneyde kullanılan 8 adet kirişin donatıları hazırlanarak kiriş kalıplarına yerleştirilmiştir. 150x250 mm boyut, 2400 mm uzunluğa sahip kirişlerin tümünde basınç donatısı olarak 2 $\Phi$ 10, çekme donatısı olarak 2 $\Phi$ 14 nervürlü demir kullanılmıştır. Oluşacak kesme kuvvetine karşı  $\Phi$ 8/150 etriye kullanılmıştır. Donatı korozyonunu önlemek için paspayı bırakılmıştır. Beton paspayı 25 mm olması için plastik paspayı malzemesi kullanılmıştır. Betonarme kiriş elemanlarının taşınabilmesi için kirişlerin üst yüzeyine 2 adet kanca atılmıştır. Kiriş donatılarının hazırlanma görselleri Şekil 3.7 'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Donatı hazırlanması

### 3.2.3. Kiriş betonun dökümü

Hazırlanan kiriş kalıplarının beton döküm işlemi santralden temin edilen C20/25 sınıfı hazır beton ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması için vibratör kullanılmıştır. Beton döküm resimleri Şekil 3.8.' de verilmiştir.





Şekil 3.8. Beton dökümü

#### 3.2.4. Numune alımı:

Deneyde kullanılan C20/25 tipi betonun basınç dayanımını test etmek için 6 adet küp numune alınmıştır. A, B, C olarak isimlendirilen 3 küp numune 7 gün; D, E, F olarak isimlendirilen 3 küp numune ise 28 gün sonunda basınç dayanımı testine maruz bırakılmıştır. Numune alım görselleri Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Numune alımı

### 3.2.5. Yapıştırma tekniği

#### 3.2.5.1. Kompozit panel yüzeyinin hazırlanması

Panel yüzeyinin pürüzlü bir yüzeye dönüştürülmesi için spiral yardımıyla tel fırça ile kazınmıştır. Daha sonra yağ tabakasından arındırmak için dimetil keton (aseton) ile yüzey temizlenmiştir. Panelin yüzeyinin kazıma işlemi Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Ayrıca 3 farklı kalınlıktaki panellerin temizlenme görseli şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



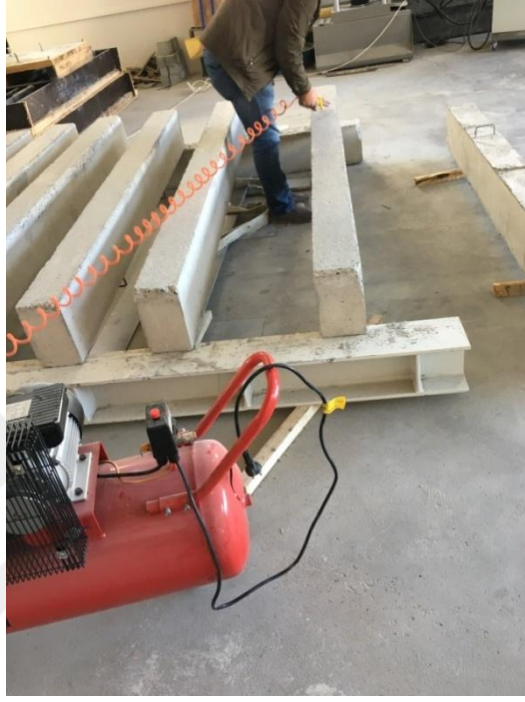
Şekil 3.10. Panel yüzeyinin temizlenmesi



Şekil 3.11. Yapıştırılmaya hazır paneller

### 3.2.5.2. Beton yüzeyinin hazırlanması

Beton yüzeyi önce basınçlı hava püskürtülerek temizlenmiş ve toz ve atıklardan arındırılmıştır. Daha sonra dimetil keton (aseton) ile silinerek temizlenmiştir. Bu işlem Şekil 3.12 'de gösterilmiştir.



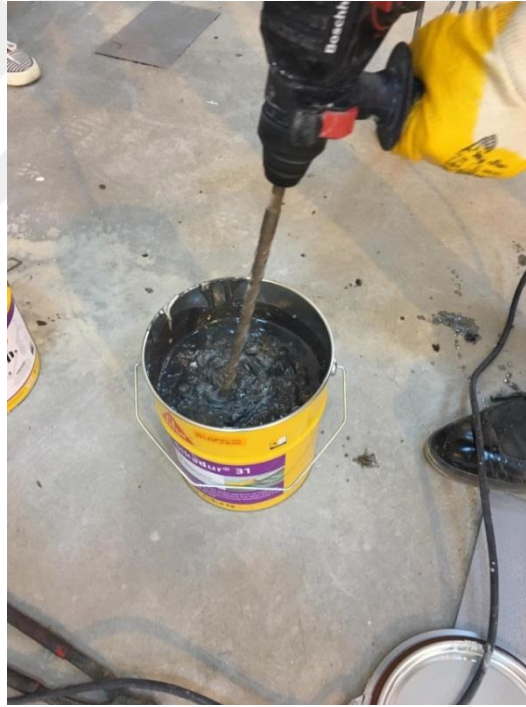
Şekil 3.12. Beton yüzeyinin yapıştırılmaya hazırlanması

### 3.2.5.3. Epoksi Yapıştırıcının Hazırlanması

Epoksi yapıştırıcı bileşenleri belirtildiği şekilde 3:1 oranında karıştırılmıştır. Bu karışım 600 devirde elektrikli karıştırıcı ile düzgün bir kıvam elde edilip rengi grileşinceye kadar karıştırılmıştır. Bu işlem Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Yapıştırıcı bileşenleri



Şekil 3.14. Yapıştırıcının hazırlanması

#### 3.2.5.4. Epoksi Bazlı Yapıştırıcı ile Panel Yapıştırma

Hazırlanan yapıştırıcı beton yüzeyine yaklaşık 1 mm kalınlığında sürülmüştür. Bal peteği kompozit panel beton yüzeyine aynı anda temas edecek şekilde konulmuş ve ters çevrilerek betonarme kirişin kendi ağırlığıyla sıkışması sağlanmıştır. Yapılan işlem Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.‘da gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Yapıştırıcının panel üzerine uygulaması



Şekil 3.16. Kirişin ters çevrilerek panelin sıkıştırılması

### 3.2.5.5. Poliüretan bazlı yapıştırıcı ile panel yapıştırma

Yapıştırılmaya hazır 6 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıklarındaki panellerin yüzeyine poliüretan bazlı yapıştırıcı yaklaşık 3 mm kalınlığında aralıklı olarak sürülmüştür. Levha bal peteği kompozit panel üzerine yapıştırılmış ve üzerine ağırlık konularak sıkıştırma sağlanmıştır. Kiriş üzerine yapıştırma görseli Şekil 3.17.'de, sıkıştırma görseli ise Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Panel üzerine poliüretan bazlı yapıştırıcı uygulanması



Şekil 3.18. Panelin kirişe yüzeyine sıkıştırılması

### 3.2.6. Kirişlerin isimlendirilmesi

Hazırlanan kirişler ters çevrilerek yüklemeye hazır hale getirilmiştir. Yapıştırıcı türüne ve panel kalınlığına göre isimlendirilmiştir. İsimlendirme görseli Şekil 3.19.'da gösterilmiştir. Ayrıca isimlendirilen kirişlerin ayrıntılı bilgileri çizelge 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.19. Kirişlerin isimlendirilmesi

Çizelge 3.4. Deney elemanlarının özellikleri ve isimlendirme

KİRİŞ ADI	YAPIŞTIRICI TÜRÜ	İŞLEM TÜRÜ	LEVHA KALINLIĞI (mm)	LEVHA YAPIŞTIRMA YÜZEYİ
KY1, KY2, KY3	-	-	-	-
SR-HB6	Sikadur-31 Epoksi	Güçlendirme	6	Alt
SR-HB10	Sikadur-31 Epoksi	Güçlendirme	10	Alt
SR-HB15	Sikadur-31 Epoksi	Güçlendirme	15	Alt
SN-HB6	Poliüretan bazlı yapıştırıcı	Güçlendirme	6	Alt
SN-HB15	Poliüretan bazlı yapıştırıcı	Güçlendirme	15	Alt

Elemanların isimlendirilmesinde kullanılan indisler aşağıda sunulmuştur.

KY1, KY2, KY3: Referans olarak kullanılacak yalın kirişlerdir.

SR-HB6: Epoksi bazlı yapıştırıcı(Sikadur-31) ile 6 mm kalınlığında alüminyum bal peteği kompozit panel yapıştırılan kiriş

SR-HB10: Epoksi bazlı yapıştırıcı(Sikadur-31) ile 10 mm kalınlığında alüminyum bal peteği kompozit panel yapıştırılan kiriş

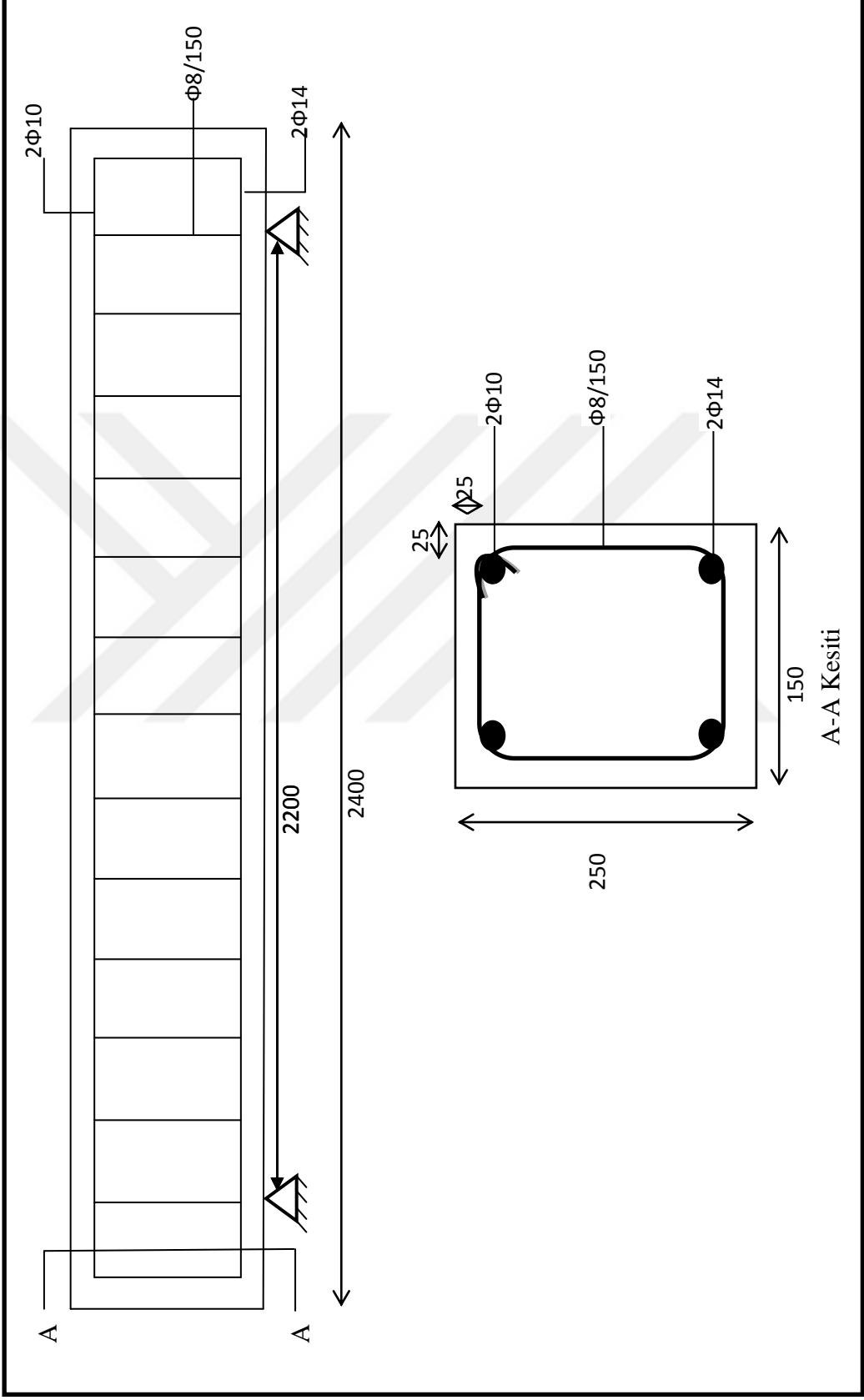
SR-HB15: Epoksi bazlı yapıştırıcı(Sikadur-31) ile 15 mm kalınlığında alüminyum bal peteği kompozit panel yapıştırılan kiriş

SN-HB6: Poliüretan bazlı yapıştırıcı ile 6 mm kalınlığında alüminyum bal peteği kompozit panel yapıştırılan kiriş

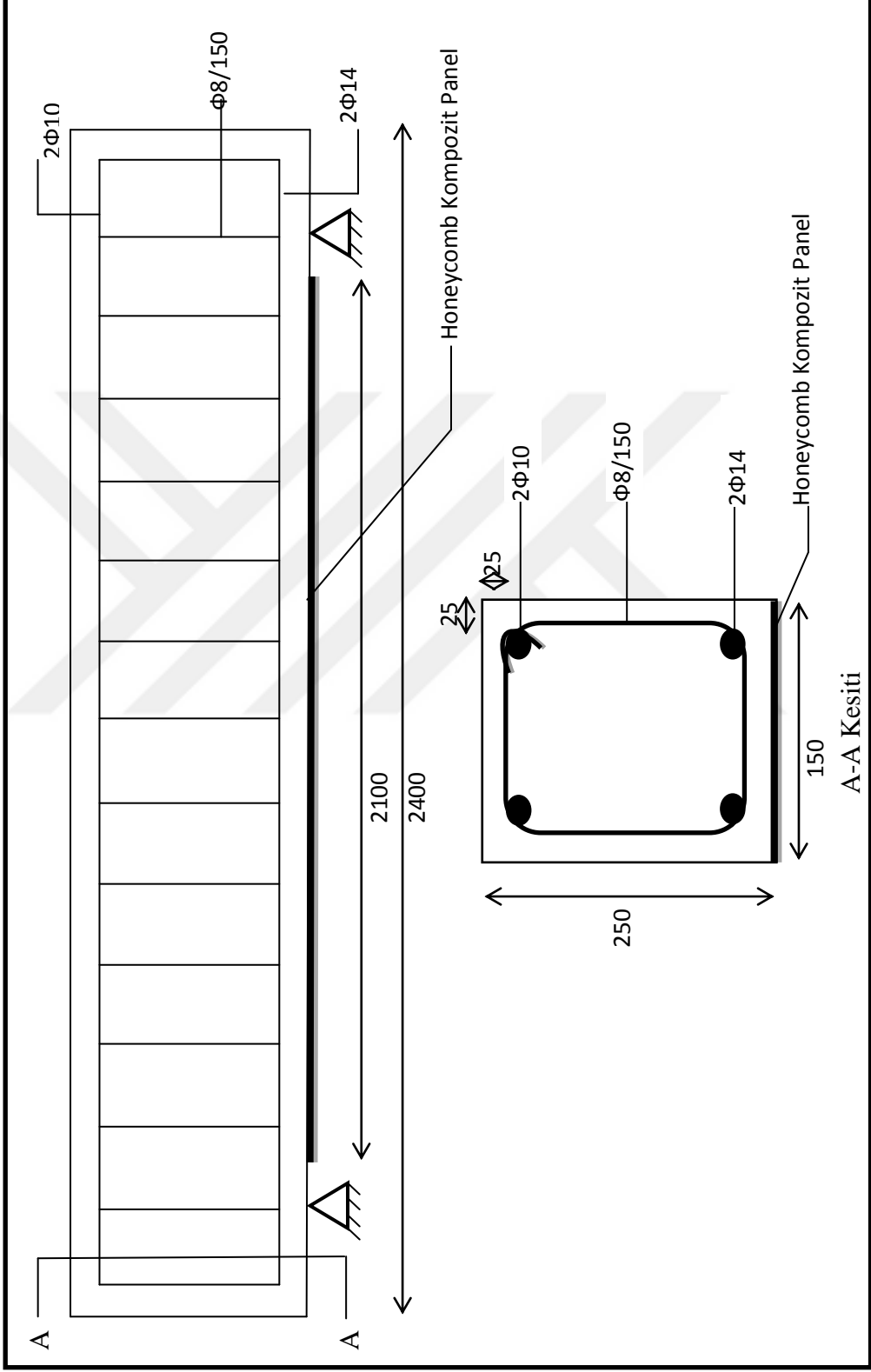
SN-HB15: Poliüretan bazlı yapıştırıcı ile 15 mm kalınlığında alüminyum bal peteği kompozit panel yapıştırılan kiriş

Yüklemeye hazır kirişlerin detayı Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de verilmiştir.





Şekil 3.20. Yalın Kiriş Deney Düzenegi (Uzunluklar mm cinsindedir)



Şekil 3.21. Güçlendirilmiş Kiriş Deney Düzenegi (Uzunluklar mm cinsindedir.)

### 3.2.7. Deney düzeneği ve yükleme

Güçlendirilmiş kirişlerin dayanımlarını ölçebilmek için İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında bulunan çelik yük çerçevesi kullanılmıştır. Bu çerçeve 80 ton kapasiteli olup Şekil 3.22.'de görseli verilmiştir. Yükün büyüklüğü aktüatör üzerinde yerleştirilmiş olan yük hücresi (loadcell) ile ölçülmüştür. Yük hücresi yük yayıcı çelik kirişin tam orta noktasına sabitlenmiştir. Düzenek hazırlandığında yüklemeye başlanmıştır. Yük sıfırdan başlayıp artarak devam etmiş ve göçmeler başladığında yükleme düşüşe geçmeye başladığında sistem durdurulmuştur.

Deplasman değerinin ölçümü LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) aleti ile yapılmıştır. LVDT, kirişlerin altında orta noktasına sabitlenmiştir ve ölçüm değerleri datalogger aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır.



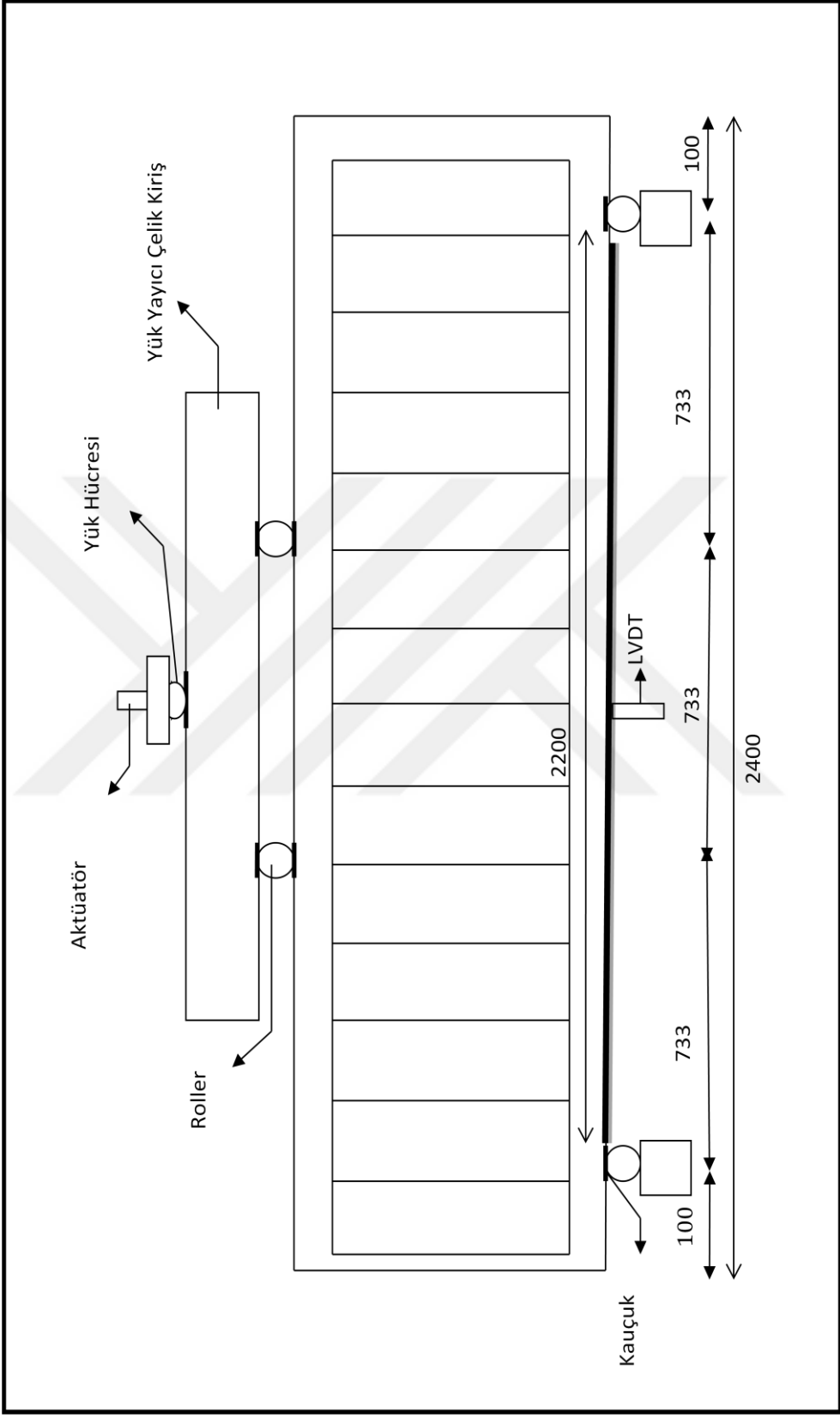
Şekil 3.22. Eğilme Deney Düzeneği

Çalışma kirişlerin sadece eğilme etkisindeki davranışlarını ölçmeye yönelik tasarlanmıştır. Bu nedenle dört noktalı yükleme sistemi oluşturulmuştur. Yüklere mesnetlerde  $L/3$  kadar uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilerek  $P$  büyüklüğündeki tekil yükü  $P/2$  büyüklüğündeki eşit tekil yüklere dönüştürecek ve bu şekilde deney

elemanlarına aktarılacaktır. Yük aktarımı esnasında kirişlerin mesnet bölgelerindeki ezilmeleri önlemek için mesnetler ile kirişlerin alt ve üst yüzeyleri arasına 6 mm kalınlığında 75\*150 mm boyutunda dikdörtgen kauçuk parçalar kullanılmıştır.

### **3.2.8. Ölçüm yöntemi**

Deplasman değerlerinin ölçümü için LVDT kullanılmıştır. LVDT, kirişlerin altında orta noktasına sabitlenmiştir. Yükün büyüklüğü aktüatör üzerinde yerleştirilmiş olan yük hücresi (loadcell) ile ölçülmüştür Saniyede 10 veri okuyan tarayıcıdan geçtikten sonra her yük değeri için deplasman değeri veri toplama kutusunda(datalogger) eş-zamanlı olarak toplanmıştır. Buradan UTEST veri yazılım programı aracılığıyla bilgisayara kaydedilmiştir. Yükleme düzeneği Şekil 3.23'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Yükleme Düzenegi (Uzunluklar mm cinsindedir.)

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde; deneyde kullanılan beton ve donatı özellikleri ayrıca 8 adet deney elemanı üzerinde yapılan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen veriler yer almaktadır.

##### 4.1. Numune Kırımı

Deneyde kullanılan kirişlerin beton dökümünde alınan 3 küp numune 7 gün, 3 küp numune ise 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra kırımı yapılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Ayrıca kırım görselleri Şekil 4.1, Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge.4.1. Küp numunelerin 7 günlük ve 28 günlük kür sonunda kırım değerleri

7 Günlük Dayanım(MPa)			28 Günlük Dayanım(MPa)		
A	B	C	D	E	F
21,2	21,2	20,3	27,0	27,5	28,1

Sonuçlar C20/25 sınıfı betonun 28 günlük ortalama dayanım değeri TS EN 206-1 standardına göre uyum sağlamıştır.



Şekil 4.1. Beton numunesinin test görüntüsü

## 4.2. Donatı Çeliği Çekme Deneyi

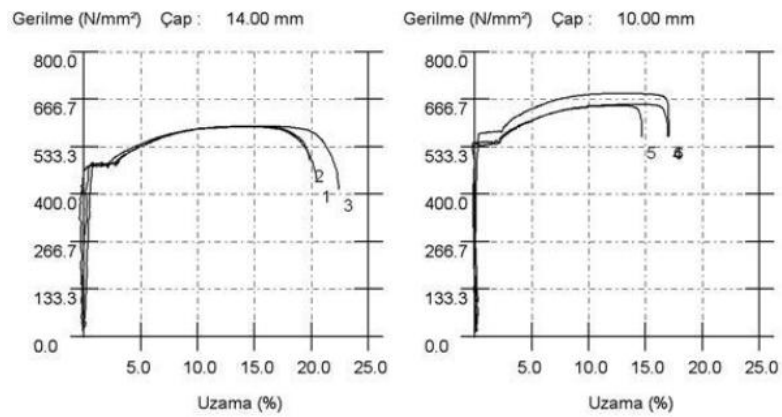
Deney elemanları hazırlanırken Ø10 ve Ø14 donatılardan üçer adet numune alınıp çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler Çizelge 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Donatı çeliği çekme deneyi (Koç, 2018)

Çizelge 4.2. Donatı özellikleri (Koç, 2018)

Numune Adı	Çelik Sınıfı	Numune Çapı (mm)	Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)
1	S420	Ø14	480,69	588,85
2	S420	Ø14	480,31	591,06
3	S420	Ø14	482,78	591,19
4	S420	Ø10	543,69	651,97
5	S420	Ø10	519,36	648,03
6	S420	Ø10	570,57	683,31



Şekil 4.3. Donatı çeliği Gerilme-Uzama grafikleri (Koç, 2018)

### 4.3. KY-1, KY-2 ve KY-3 (Kontrol Kirişler) Eğilme Deneyi

Güçlendirme işlemi yapılmamış olan betonarme kirişler KY-1, KY-2 ve KY-3 olarak isimlendirilmiş ve referans sağlaması açısından deneye tabi tutulmuştur. Kontrol kirişlerin deney öncesi görseli Şekil 4.4.' de verilmiştir.



Şekil 4.4. Güçlendirilme işlemi yapılmamış kirişlerin yükleme öncesi fotoğrafları

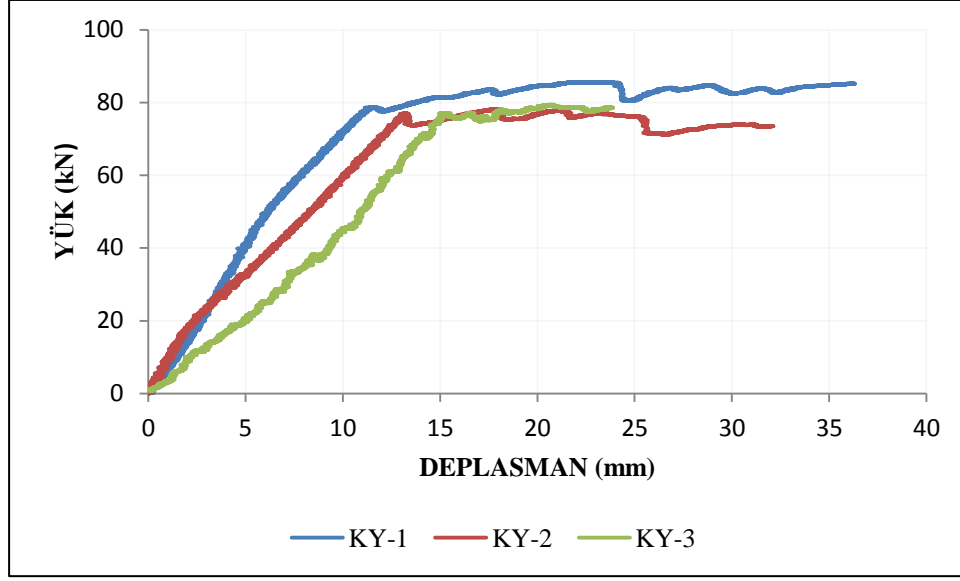
Yükleme işlemi sonrasında kontrol kirişlerin görselleri Şekil 4.5.' de verilmiştir.



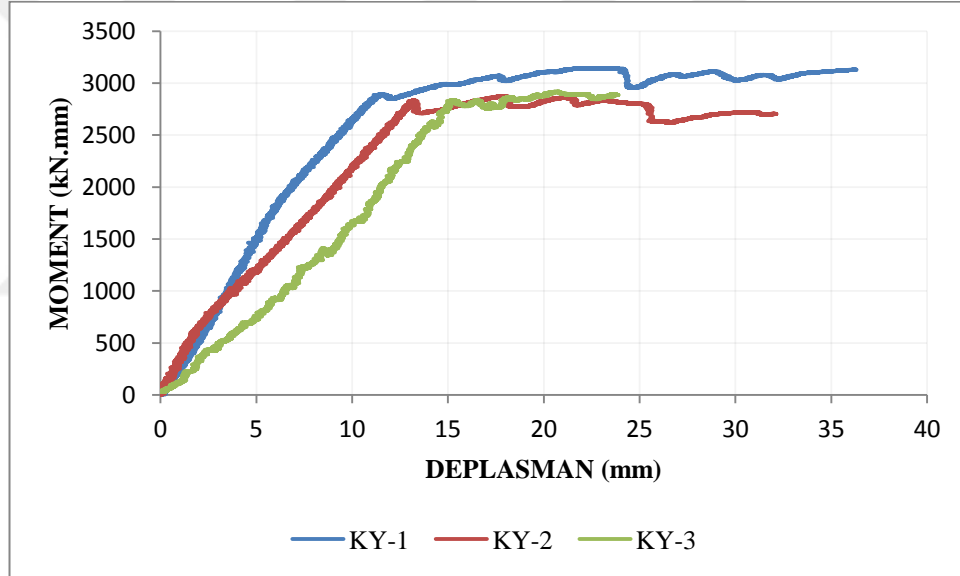


Şekil 4.5. Güçlendirilme işlemi yapılmamış kirişlerin yükleme sonrası fotoğrafları

Kontrol kirişleri, eğilme deneyine maruz bırakılmış ve deney sonucunda elde edilen veriler ile yük-deplasman grafiği ve moment-deplasman grafiği elde edilmiştir. Grafik Şekil 4.6a Şekil 4.6b.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.6a. Kontrol kirişlerin Yük-Deplasman grafikleri



Şekil 4.6b. Kontrol kirişlerin Moment-Deplasman grafikleri

Çizelge 4.2. Kontrol kirişlerin akma yükü-çekme mukavemeti ve deplasman değerleri

	AKMA YÜKÜ (KN)	AKMA YÜKÜ ANINDA DEPLASMAN (mm)	ÇEKME MUKAVEMETİ (KN)	ÇEKME MUKAVEMETİ ANINDAKİ DEPLASMAN (mm)
KY1	78,688	11,48	85,291	24
KY2	77,103	13,17	78,261	17,88
KY3	77,509	14,96	81,116	22,94
Ortalama	77,77	13,2	81,56	21,61

Şekil 4.6 'da 3 kontrol kirişin deney sonucunda göstermiş olduğu yük-deplasman davranışı verilmiştir. Kirişlerin akma değerleri ve akma anındaki deplasman değerleri çizelge 4.2.'de verilmiştir. Bu doğrultuda kontrol kirişlerin homojen bir yapıda hazırlandığı görülmektedir. Üç kirişin ortalama değerleri baz alındığında deneyde kullanılan betonarme kontrol kirişler 77,77 kN değerinde akmaya başlamıştır. Ayrıca akma esnasındaki ortalama deplasman değeri 13,2 mm olarak elde edilmiştir. Yükleme devam ettirilerek kirişlerin taşıdığı maksimum yük ölçülmüştür. Kirişlerin çekme yükü değerleri ve deplasman değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda üç kirişin ortalama taşıdığı maksimum yük değeri 81,56 kN iken bu değere karşılık ortalama deplasman değeri 21.61 mm olarak ölçülmüştür. Bu andan itibaren nihai yüke ulaşan kirişlerde yükleme devam etmiş ancak göçmeler meydana geldiğinden yük değerleri azalmaya başlamış ve sistem durdurulmuştur.

Ortalama enerji absorbe kapasitesi yük-deplasman grafiğinin altında kalan alandan hesaplanmış olup 881,26 kN.mm olarak elde edilmiştir.

#### **4.3. SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 (Güçlendirilmiş Kirişler) Eğilme Deneyi**

6 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıklarda alüminyum bal peteği kompozit paneller kullanılarak epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılarak güçlendirilen kirişler deneye tabi tutulmuştur. Deney öncesi fotoğrafları Şekil 4.7.'de verilmiştir.



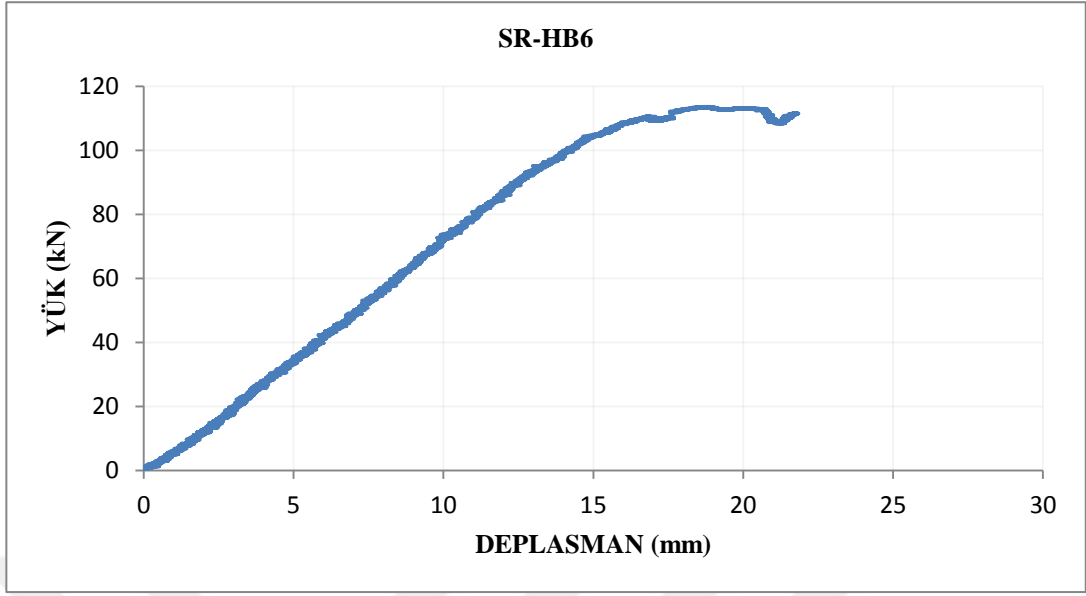
Şekil 4.7. SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 deney öncesi fotoğrafları

Kiriş alt yüzeyine epoksi bazlı yapıştırıcı kullanılarak alüminyum kompozit panelin yapıştırıldığı kirişler eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonrasında kirişlerin görüntüleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.

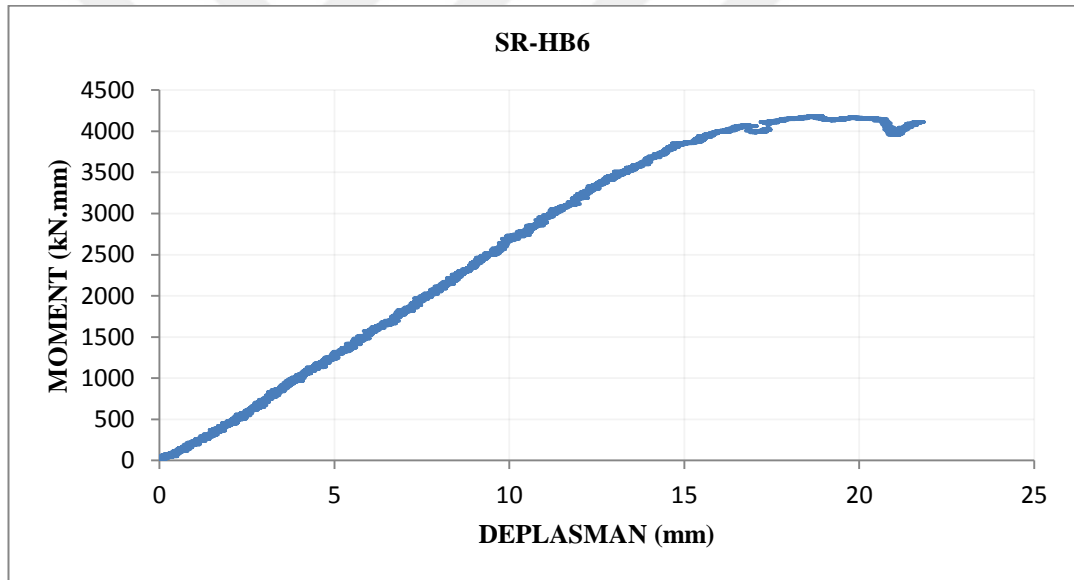


Şekil 4.8. SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 deney sonrası fotoğrafları

Güçlendirilmiş kirişler, dört nokta eğilme testine tabi tutulmuş ve deney sonucunda elde edilen veriler ile yük-deplasman grafiği elde edilmiştir. Grafikler Şekil 4.9a. Şekil 4.10a. ve Şekil 4.11a'da gösterilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler ile moment-deplasman grafiği elde edilmiştir. Grafikler Şekil 4.9b. Şekil 4.10b. ve Şekil 4.11b'de gösterilmiştir.

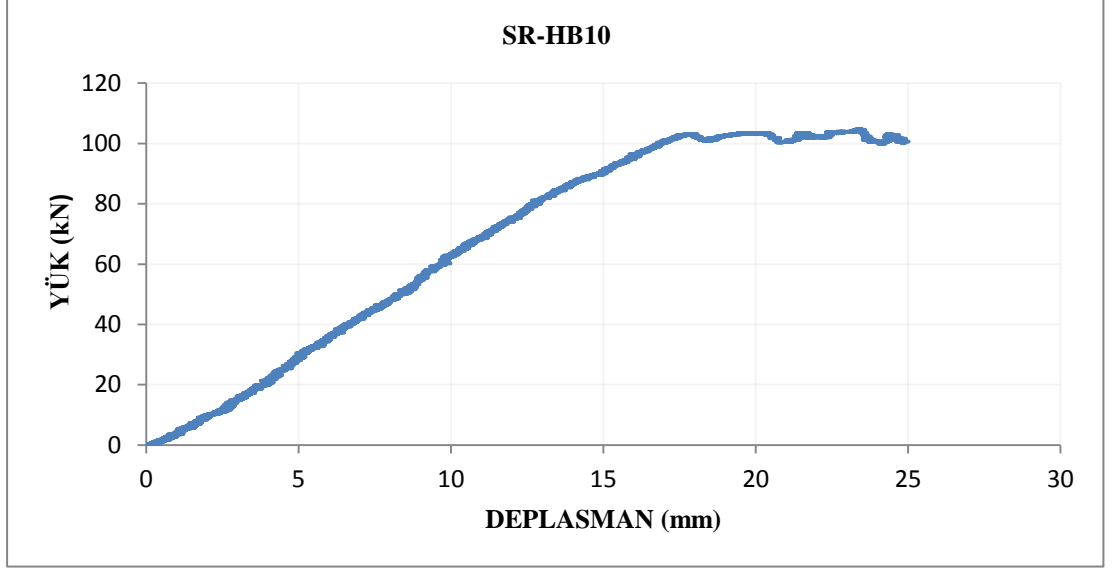


(a)

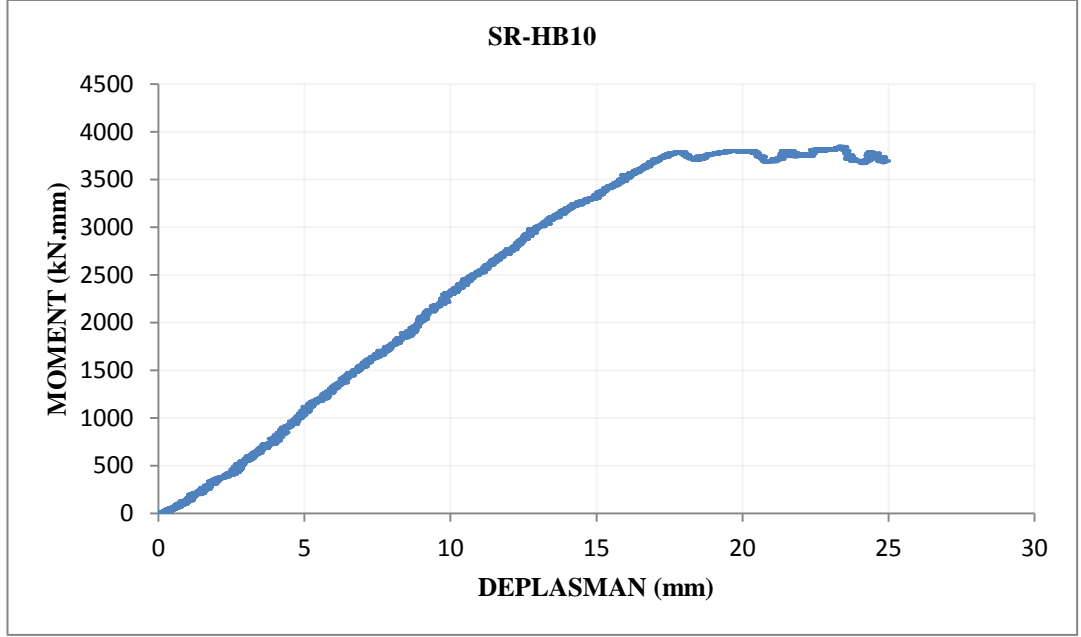


(b)

Şekil 4.9. a. SR-HB6 YüK-Deplasman grafiği b. SR-HB6 Moment-Deplasman grafiği

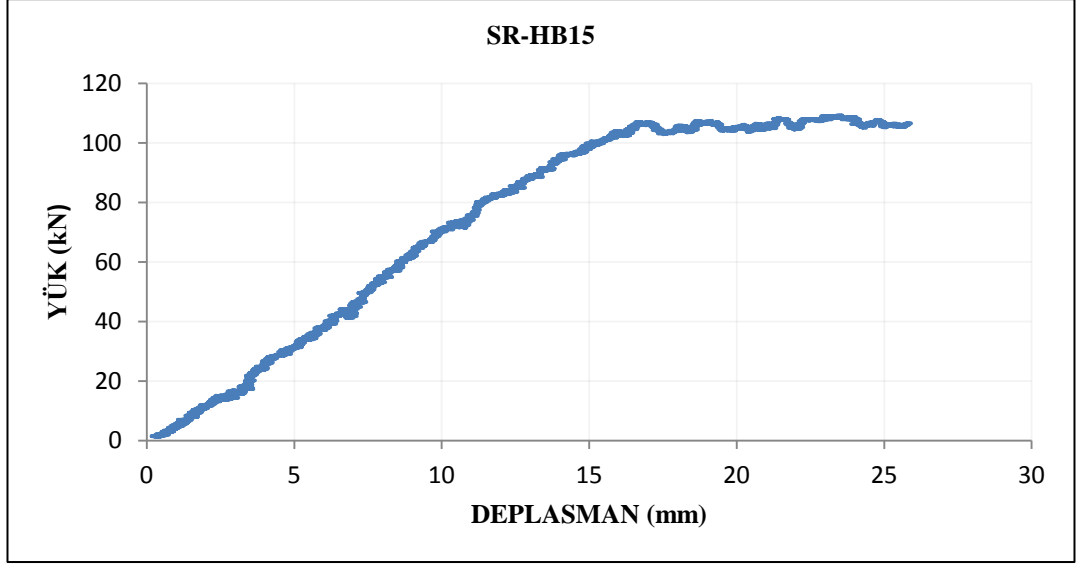


(a)

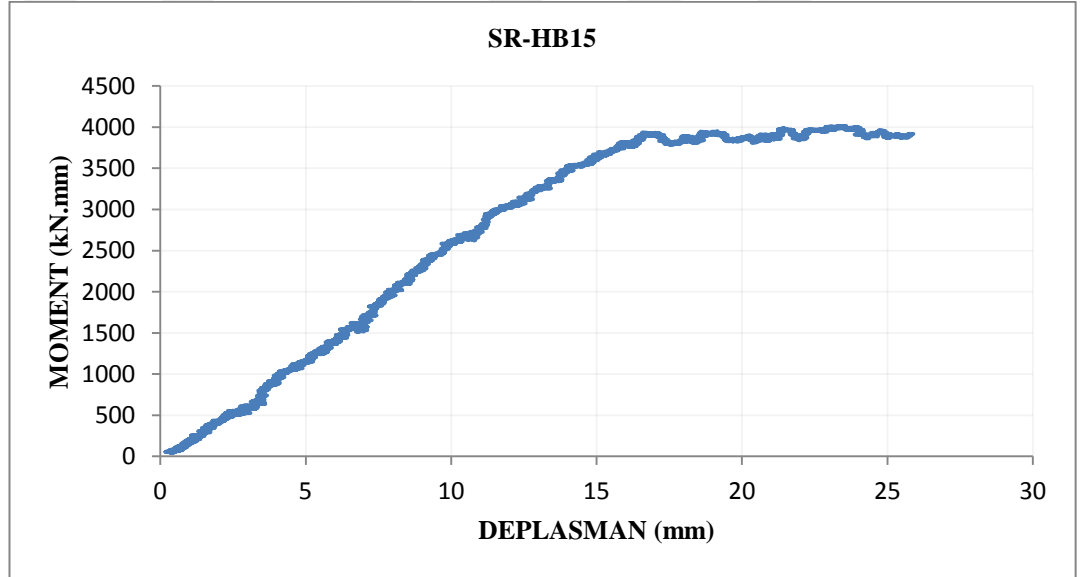


(b)

Şekil 4.10. a) SR-HB10 Yük-Deplasman grafiği b) SR-HB10 Moment-Deplasman grafiği



(a)



(b)

Şekil 4.11. a) SR-HB15 Yük-Deplasman Grafiği b) SR-HB15 Yük-Deplasman Grafiği

Alüminyum honeycomb kompozit panellerin üç kalınlığı da epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve deneye tabi tutulmuştur. Deney sonucunda üç kalınlık için deplasman-yük eğrileri Şekil 4.9a, Şekil 4.10a ve Şekil 4.11a 'de ayrı ayrı verilmiştir.

Paneli 6 mm kalınlığa sahip olan SR-HB6 olarak isimlendirilen deney elemanı 111,77 kN da akma başlamış ve akma anında 16,93 mm deplasman değerine ulaşmıştır. Yükleme devam ettirildiğinde bu deney elemanı 114,64 kN yükünde maksimum yüke ulaşmış ve bu andaki deplasman değeri 18,37 mm olarak okunmuştur. Sonrasında kırı



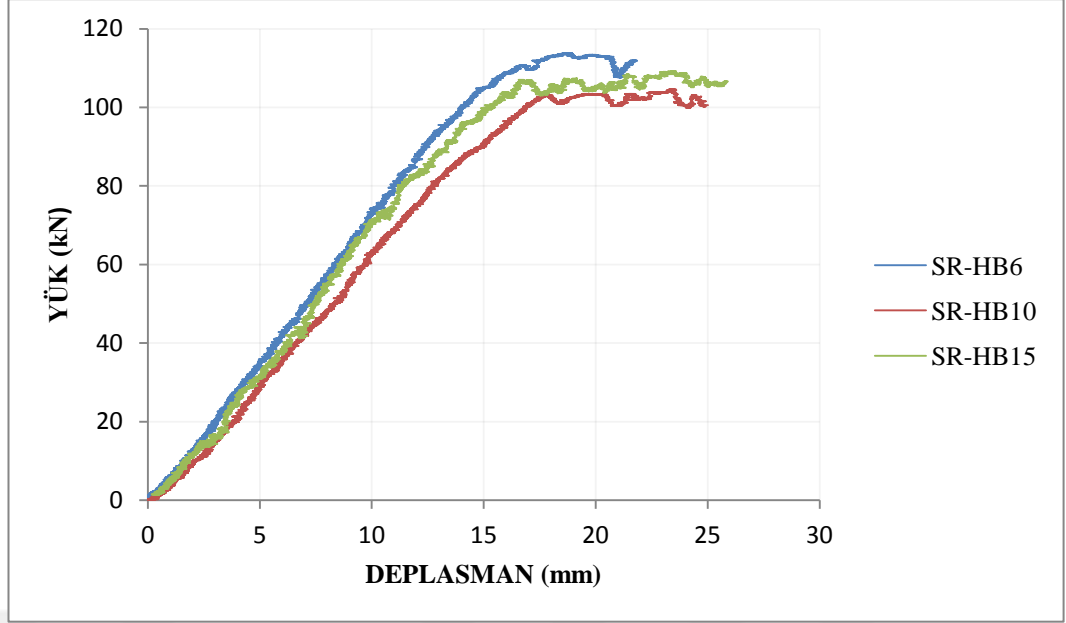
üzerinde göçmeler başlamış ve panel kirişten ayrılmaya başlamıştır. Bu nedenle yükleme durdurulmuştur.

Paneli 10 mm kalınlığa sahip olup SR-HB10 olarak isimlendirilen deney elemanı 103,44 kN yükünde akmaya başlamış ve akma anında 18,44 mm deplasman değerine ulaşmıştır. Yükleme devam ettirildiğinde bu deney elemanı 105,75 kN yükünde maksimum yüke ulaşmış ve bu andaki deplasman değeri 23,92 mm olarak okunmuştur. Aynı şekilde bu kiriş üzerinde de her iki tarafta çatlamlar başlamıştır ve yükleme durdurulmuştur.

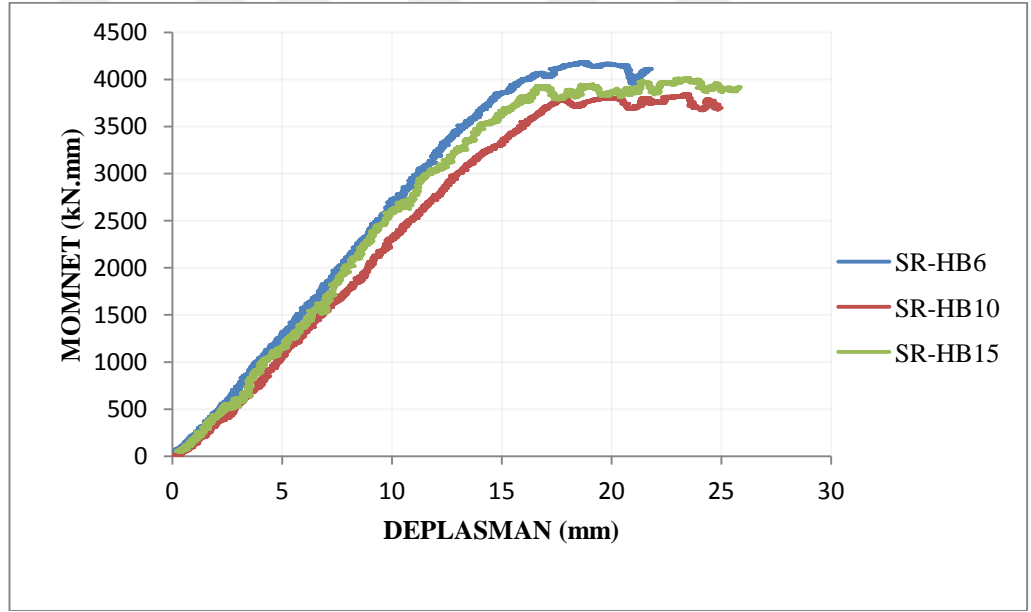
Paneli 15 mm kalınlığa sahip olup SR-HB15 olarak isimlendirilen deney elemanı 108,73 kN yükünde akmaya başlamış ve akma anında 16,56 mm deplasman değerine ulaşmıştır. Yükleme devam ettirildiğinde bu deney elemanı 110,71 kN yükünde maksimum yüke ulaşmış ve bu andaki deplasman değeri 23,70 mm olarak ölçülmüştür. Çatlamalara maruz kalan deney elemanında deplasman değeri artsa da yükleme değeri azaldığından deney durdurulmuştur.

Enerji absorbe kapasitesi yük-deplasman grafiğinin altında kalan alandan hesaplanmış olup SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 için sırasıyla 1052,96 kN.mm, 1264,77 kN.mm ve 1311,91 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Aynı yapıştırıcı ile yapıştırılmış ancak üç farklı kalınlığa sahip panellerin yük-deplasman grafikleri Şekil 4.12a.'da verilmiştir. Moment-deplasman grafiği ise Şekil 4.12b.'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.12. a) . SR-HB6, SR-HB10 VE SR-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri, b) SR-HB6, SR-HB10 VE SR-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri

#### 4.4. SN-HB6ve SN-HB15 (Güçlendirilmiş Kirişler) Eğilme Deneyi

6 mm ve 15 mm kalınlıklarda alüminyum bal peteği kompozit paneller kullanılarak poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılarak güçlendirilen kirişler deneye tabi tutulmuştur. Deney öncesi fotoğrafları Şekil 4.13. 'de verilmiştir.



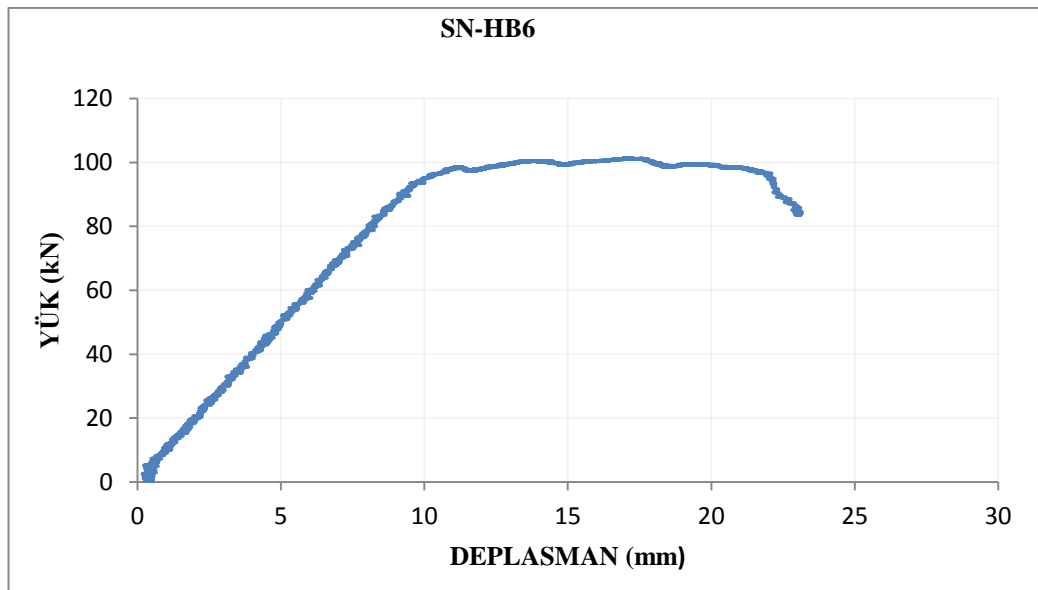
Şekil 4.13. SN-HB6 ve SN-HB15 deney öncesi fotoğrafları

Kiriş alt yüzeyine poliüretan bazlı yapıştırıcı kullanılarak alüminyum kompozit panelin yapıştırıldığı kirişler eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonrasında kirişlerin görüntüleri Şekil 4.14. de verilmiştir.

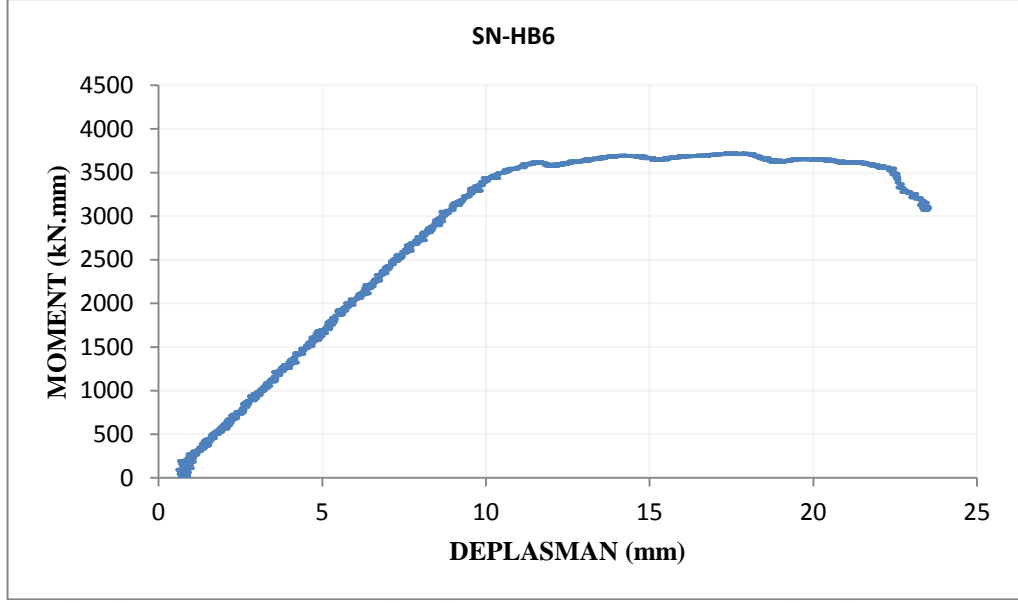


Şekil 4.14. SN-HB6 ve SN-HB15 deney sonrası fotoğrafları

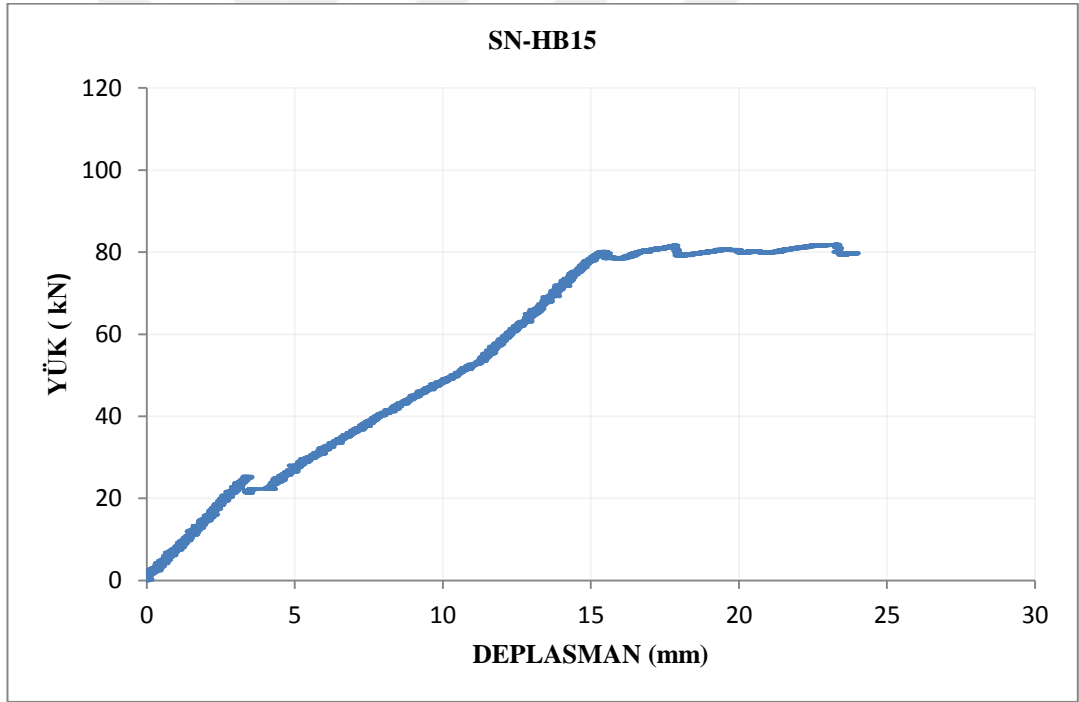
Güçlendirilmiş kirişler, dört nokta eğilme deneyine tabi tutulmuş ve deney sonucunda elde edilen veriler ile yük-deplasman grafiği elde edilmiştir. Grafik Şekil 4.15a. ve Şekil 4.16a.' da gösterilmiştir. Moment-deplasman grafiği ise Şekil 4.15b ve Şekil 4.16b' de verilmiştir.



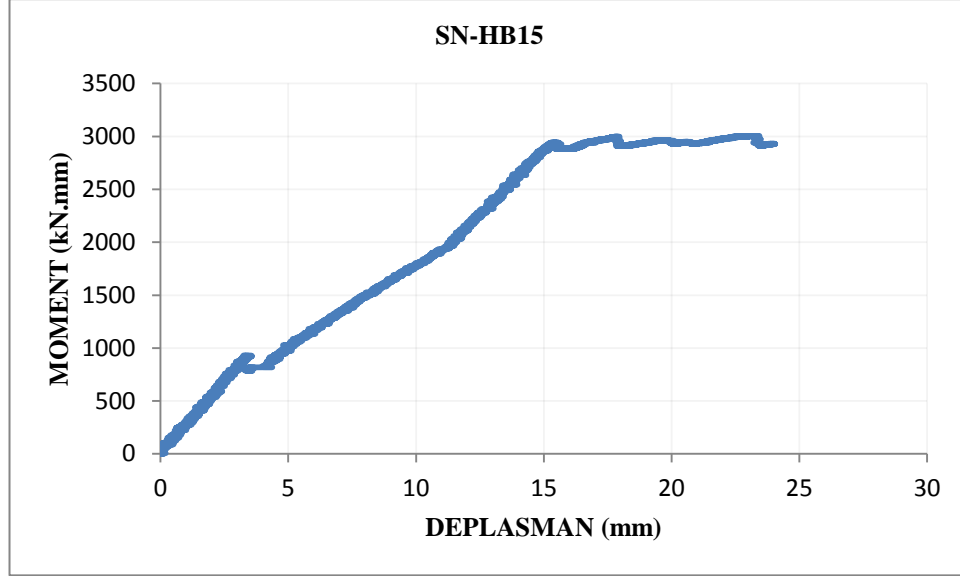
(a)



Şekil 4.15. a) SN-HB6 Yük-Deplasman Grafiği, b) SN-HB6 Yük-Deplasman Grafiği



(a)



(b)

Şekil 4.16. a) SN-HB15 Yük-Deplasman Grafiği, b) SN-HB15 Yük-Deplasman Grafiği

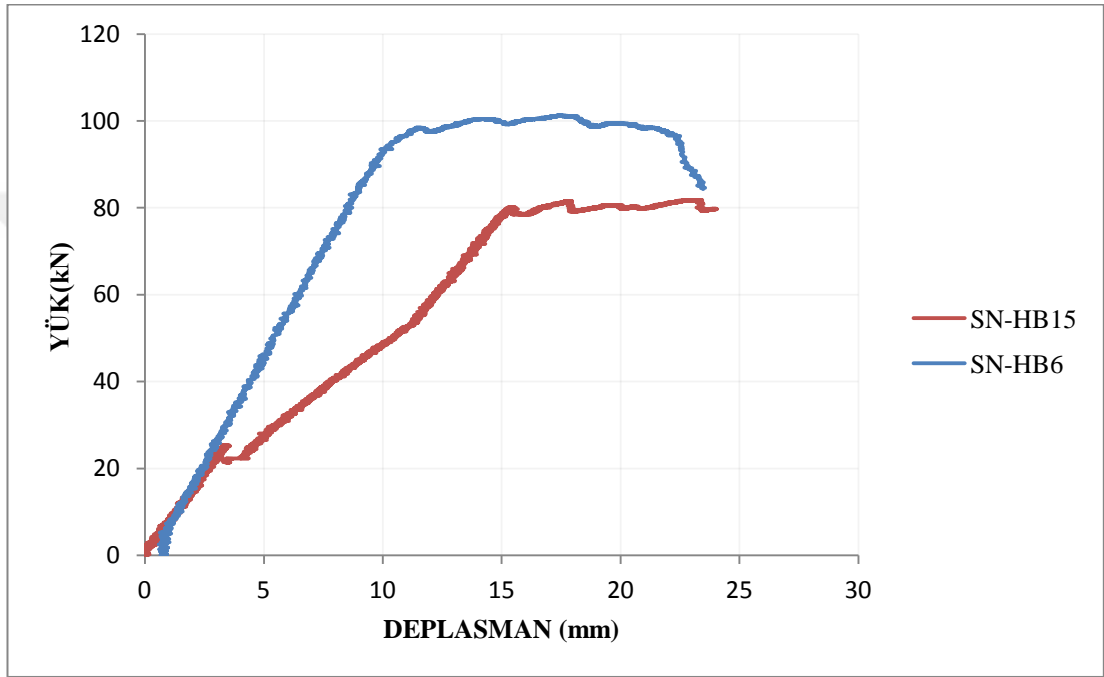
Alüminyum bal peteği kompozit panellerin 6 mm ve 15 mm kalınlığı poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve deneye tabi tutulmuştur. Deney sonucunda iki kalınlık içinde deplasman-yük eğrileri Şekil 4.15a. ve Şekil 4.16a. 'de ayrı ayrı verilmiştir.

Paneli 6 mm kalınlığa sahip olup SN-HB6 olarak isimlendirilen deney elemanı 100,88 kN yükünde akmaya başlamış ve akma anında 13,52 mm deplasman değerine ulaşmıştır. Yükleme devam ettirildiğinde bu deney elemanı 101,54 kN yükünde maksimum yüke ulaşmış ve bu andaki deplasman değeri 17,57 mm olarak okunmuştur. Çatlamalara maruz kalan deney elemanında deplasman değeri artsa da yükleme değeri azaldığından deney durdurulmuştur.

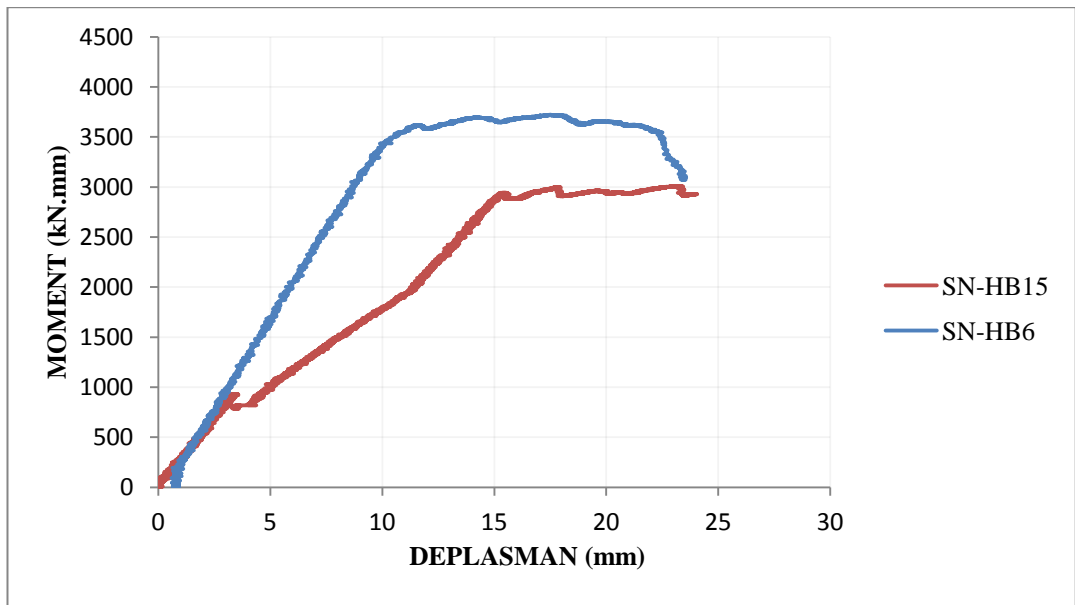
Paneli 15 mm kalınlığa sahip olup SN-HB15 olarak isimlendirilen deney elemanı 80,01 kN yükünde akmaya başlamış ve akma anında 15,31 mm deplasman değerine ulaşmıştır. Yükleme devam ettirildiğinde bu deney elemanı 81,58 kN yükünde maksimum yüke ulaşmış ve bu andaki deplasman değeri 17,96 mm olarak okunmuştur. Sonrasında kiriş üzerinde göçmeler başlamış ve panel kirişten ayrılmaya başlamıştır. Bu nedenle yükleme durdurulmuştur.

Enerji absorbe kapasitesi yük-deplasman grafiğinin altında kalan alandan hesaplanmış olup SN-HB6 ve SR-HB15 için sırasıyla 892,03 kN.mm ve 732,59 kN.mm olarak elde edilmiştir.

Aynı yapıştırıcı ile yapıştırılmış ancak iki farklı kalınlığa sahip panellerin yük-deplasman grafikleri Şekil 4.17a' de verilmiştir. Moment-deplasman grafiği ise Şekil 4.17b.' de verilmiştir.



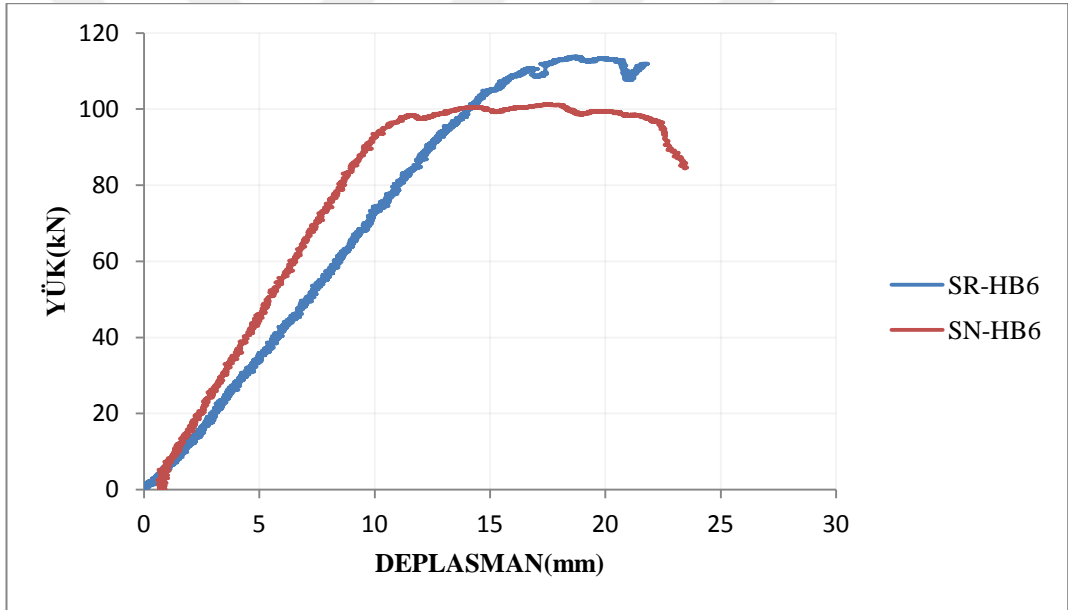
(a)



Şekil 4.17. a) SN-HB6 ve SN-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri, b) SN-HB6 ve SN-HB15 Yük-Deplasman Grafikleri

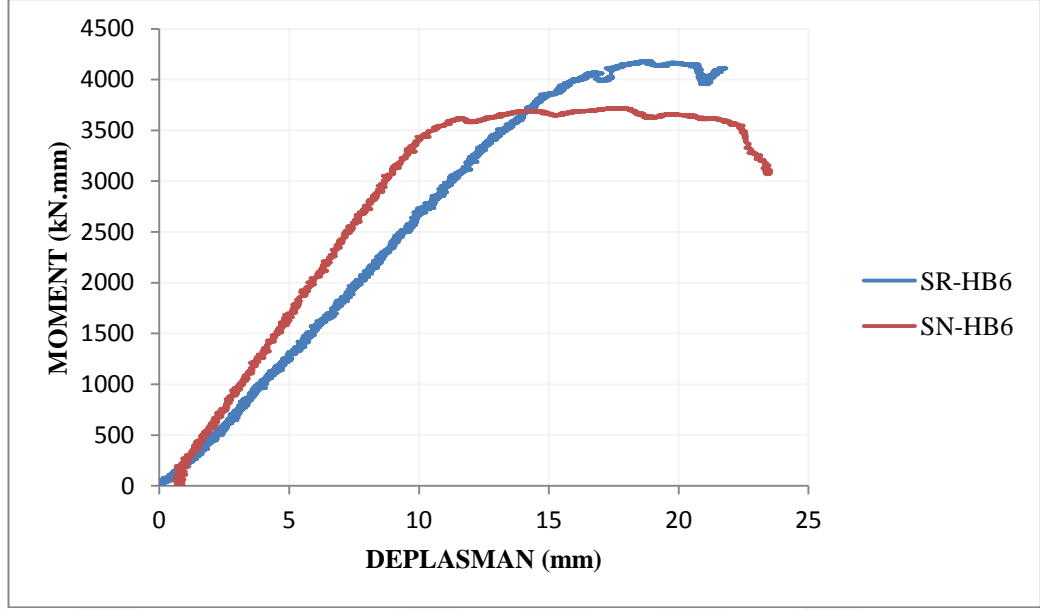
Çalışmada alüminyum bal peteği kompozit paneller içerisinde aynı kalınlığa sahip ancak farklı yapıştırıcılar kullanılarak oluşturulan deney elemanlarının kıyaslaması da yapılmıştır. Bu doğrultuda epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış 6 mm kalınlığındaki kompozit panelli kiriş ile poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış 6 mm kalınlığındaki kompozit panelli kirişin yük-deplasman grafiği karşılaştırması Şekil 4.18a.' da verilmiştir. Moment-deplasman karşılaştırması ise Şekil 4.18b.' de verilmiştir.

Ayrıca yine epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış 15 mm kalınlığındaki kompozit panelli kiriş ile poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış 15 mm kalınlığındaki kompozit panelli kirişin yük-deplasman grafiği karşılaştırması Şekil 4.19a.' da verilmiştir. Moment-deplasman karşılaştırması ise Şekil 4.19b.' de verilmiştir.



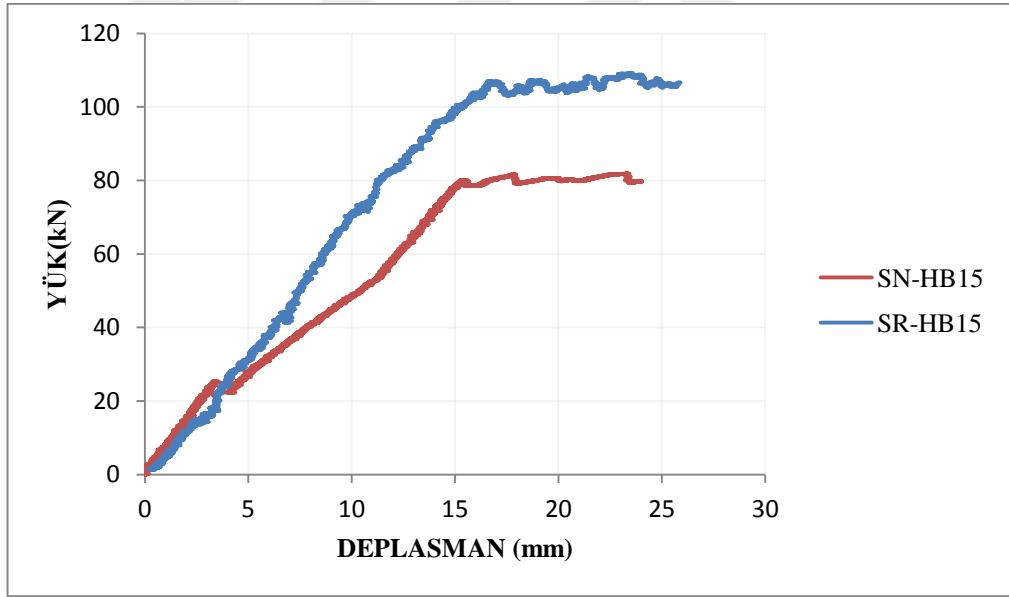
(a)



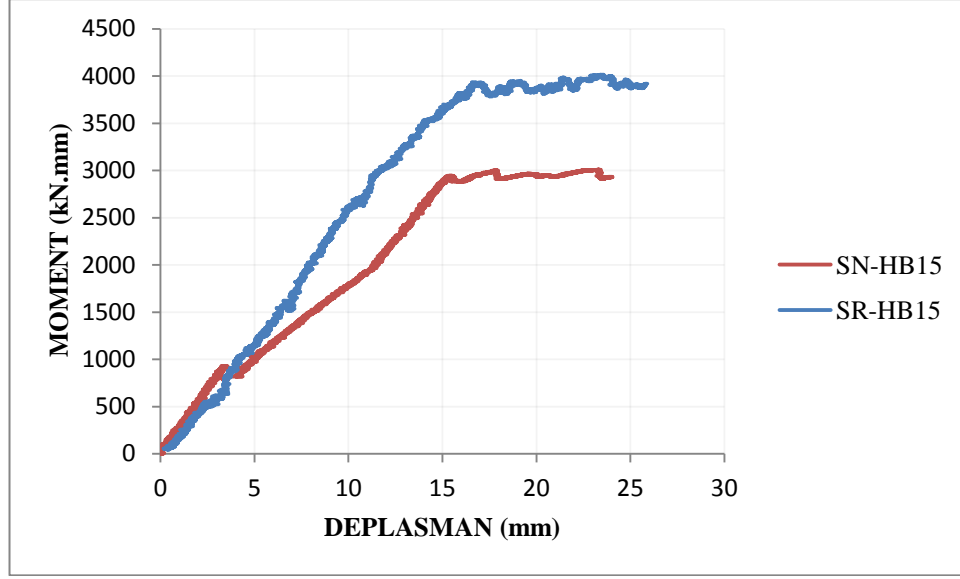


(b)

Şekil 4.18. a) SR-HB6 ve SN-HB6 Yük-Deplasman Grafiği, b) SR-HB6 ve SN-HB6 Moment-Deplasman Grafiği



(a)



(b)

Şekil 4.19. a) SR-HB15 ve SN-HB15 Yük Deplasman Grafiği, b) SR-HB15 ve SN-HB15 Moment- Deplasman Grafiği

Deneysel sonuçlar yapıştırıcı türünün kirişe kazandırdığı güçlendirmede aktif rol aldığı görülmüştür. 6 mm kalınlıklı kompozit panele sahip kirişler için epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılan kirişin poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılan kirişe göre yaklaşık %16 daha fazla yük taşıyabildiği görülmektedir. 15 mm kalınlıklı kompozit panele sahip kirişler için epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılan kirişin poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılan kirişe göre yaklaşık %35 daha fazla yük taşıyabildiği görülmektedir.

Literatür çalışmaları ile karşılaştırma:

Literatürde kiriş güçlendirmesine yönelik çalışmamız ile kıyaslanacak birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan biri Arslan (1991) tarafından kirişlerin çelik levha ile güçlendirilmesi çalışılmıştır. Kiriş boyutlandırılmasında ve donatı seçiminde bu çalışma örnek alınmıştır. Farklı olarak güçlendirmede kullanılan levha uzunluğu kısa ( $l=120$  cm) olarak da deneyler yapılmıştır. Ancak kısa levha ile güçlendirme çalışmalarının olumsuz sonuç verdiği görülmüştür. Çalışmamızdan bir diğer farkı plaka uçları kirişe kaynaklandığında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda çalışmamızda olduğu gibi güçlendirmede amaçlanan dayanım sağlanabildiği belirtilmiştir.

Altın ve Anıl (2004) tarafından yapılan çalışmada kiriş güçlendirilmesi çelik levha kullanılarak yapılmıştır. Çalışmamızdan farklı olarak deney elemanları kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Levhalar yapıştırılarak ve çelik lamalar ile olmak üzere iki farklı yöntem ile kirişe tutturulmuştur. Çalışmada mesnet açıklığı 3800 mm olan 11 adet kiriş kullanılmıştır. Kiriş yan yüzeylerine 1,5 mm kalınlığında epoksi sürülmüştür. Deney elemanları dört noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak tüm kirişlerde kesme dayanımı artmış ve kirişler eğilme kırılması şeklinde göçmüştür.

Uysal (2006) tarafından kirişlerin delikli çelik levhalar ile güçlendirilmesi üzerine bir yüksek tezi hazırlanmıştır. Deneylerde 200\*300 mm boyutunda, 4.5 m uzunluğunda kirişler kullanılmıştır. Çekme donatısı olarak 3Φ14, basınç donatısı olarak 2Φ10 ve etriye olarak Φ18/100 mm kullanılmıştır. Beton sınıfı C20 seçilmiştir. Bu verilere baktığımızda çalışmamız da kullanılan ölçülere göre daha büyük deney elemanları hazırlanmıştır. Yapıştırıcı türü aynı şekilde sikadur-31'dir. Çalışmamızdan farklı olarak deney iki noktalı yükleme deneyi olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonunda yalın kirişin dayanımına bakıldığında 123 kN değerinde akma sınırına ulaşmış ve 150 kN maksimum yük ile yüklendiği görülmüştür. Güçlendirilmiş deney elemanlarından 207 kN ile en yüksek akma sınırına ulaşan kiriş, sadece alt yüzeyden epoksi ile yapıştırılmış 6 mm kalınlıkta delikli çelik levha ile güçlendirilmiş kiriş olduğu görülmüştür. 241 kN ile en yüksek maksimum yükü elde etmiş kiriş ise alt yüzeyden hem epoksi ile yapıştırılmış hem de bulonlar ile desteklenmiş 6 mm kalınlıkta delikli çelik levha ile güçlendirilmiş kiriş olduğu görülmüştür. Sonuç olarak güçlendirme ile akma sınırı yaklaşık %59 artış gösterirken maksimum yük taşıma yaklaşık %60 artış gösterdiği elde edilmiştir. Çalışmamızda olduğu gibi kirişin sadece alt yüzeyine (3 mm kalınlıkta) ve çelik levhanın epoksiyle yapıştırılması ile elde edilen deney numunesi incelendiğinde; akma sınırı yaklaşık %33 artış gösterirken maksimum yük taşıma yaklaşık %36 artış gösterdiği elde edilmiştir.

Aykaç ve Özbek (2011) tarafından da kirişlerin çelik levha ile güçlendirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Deneylerde boyutu 200\*500 mm, 4.5 m uzunlukta T-kesitli kiriş kullanılmıştır. Çekme donatısı 3Φ14, basınç donatısı 2 Φ10 olarak seçilmiştir. Bu çalışmada da betonarme kirişler iki noktalı yükleme

testi uygulanarak bırakılarak eğilmesi incelenmiştir. Deney sonucunda referans kirişin akma değeri 117 kN, maksimum taşıdığı yük 135 kN olarak elde edilmiştir. Deney elemanlarından en yüksek değerleri veren kirişin; 309 kN akma sınırı ve 350 kN maksimum yük taşıması ile hem alt yüzeyden hem de üst yüzeyden epoksi ile çelik levhanın yapıştırıldığı ve ayrıca üst levhası tabliyeye bulunlanmış olan kiriş elemanı olduğu görülmüştür.

Bir diğer güçlendirme çalışması Al Zand (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak CFST kiriş tipi kullanılmıştır. Levha tipi olarak ise karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) levhalar kullanılmıştır. Deney elemanları dört noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak levha kalınlığının artması ile moment kapasitesi, soğurma kapasitesi ve eğilme dayanımının arttığı görülmüştür.

Baghi vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada betonarme kirişler CFRP levhalar ile güçlendirilmiştir. Kirişlerin yedi tanesi dikdörtgen kesitli on tanesi T kesitli seçilmiştir. Levhaların beton yüzeyine uygulanması iki farklı yöntem ile uygulanmıştır. Bunlardan birisi epoksi yapıştırıcısı kullanmak, diğeri ise epoksiye ek olarak mekanik ankrajlar kullanmaktır. Çalışmamızda olduğu gibi sadece epoksi yapıştırıcı kullanıldığında CFRP levhaların kesme güçlendirmesine katkısı, güçlendirilmiş kirişlerin beton yüzeyinin gerilme mukavemeti ile sınırlandırılmıştır. Epoksi yapıştırıcıya ek olarak mekanik ankrajlar uygulandığında CFRP'lerin kesme potansiyeli büyük ölçüde artmıştır.

Bir diğer çalışma Koç (2018) tarafından yapılmıştır. Çalışmada betonarme kirişler bal peteği kompozit panel yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Bu açıdan çalışmamız ile benzerlik göstermektedir. Çalışmamızda kompozit panelin alt ve üst levhası alüminyum iken bu çalışmada levhalar cam takviyeli polimer kaplı alüminyum seçilmiştir. Çalışmada panel üç farklı kalınlıkta kullanılarak çekirdek yüksekliğine bağlı olarak malzeme kalınlığındaki artışın güçlendirmeye etkisi incelenmiştir. Üç adet referans kiriş, dokuz adet ise güçlendirilmiş kiriş olmak üzere on iki adet deney elemanı kullanılmıştır. Hazırlanan deney elemanları dört noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak çekirdek kalınlığı arttıkça, güçlendirilmiş betonarme kirişlerin referans betonarme kirişlerine oranla

taşıyabileceği maksimum yük miktarının %14 ile %25 arasında arttığı belirlenmiştir. Çalışmamızda ise alüminyum bal peteği kompozit panel kullanılarak güçlendirilen kirişlerin taşıyabileceği maksimum yük miktarını referans kirişe göre %25 ile %40 arasında arttığı belirlenmiştir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hafif, esnek ve yüksek mukavemete sahip bal peteği kompozit panel kullanımının iyi bir destek tabaka oluşturacağı için güçlendirme için uygun bir malzeme olacağı düşünülmüştür. Ayrıca levhalar arasında petekli yapının bulunması yapının atalet momentini ve eğilme dayanımını artıracığı düşünülerek güçlendirme elemanı olarak alüminyum bal peteği kompozit panel kullanılmıştır. 2400 mm uzunluğundaki kirişlerin alt yüzeyine 2100 mm uzunluğunda kompozit paneller farklı yapıştırıcılar ile yapıştırılmıştır. Ayrıca bal peteği kompozit panelin çekirdek bölgesinin kalınlığının değişmesi sonucu kirişin nasıl davranacağı belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla kirişler altına yapıştırılan levha kalınlığı parametre olarak ele alınmıştır. Deney içinde 6 mm, 10 mm ve 15 mm kalınlıklarda bal peteği kompozit paneller kullanılmıştır. Deney elemanı olarak beşi güçlendirilmiş, üçü kontrol numunesi kiriş olmak üzere toplam sekiz adet deney elemanı kiriş kullanılmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerden üçü, kompozit panelin üç farklı kalınlığı ile kiriş alt yüzeyine epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılarak hazırlanmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerin ikisi ise kompozit panelin iki farklı kalınlığı ile kiriş alt yüzeyine poliüretan bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan kirişler dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur.

Sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Alüminyum bal peteği kompozit paneller kiriş alt yüzeyine uygulandığında kirişin güçlendirilmesinde olumlu bir rol oynadığı görülmektedir.
- Yapıştırıcı türü epoksi bazlı olan SR-HB6, SR-HB10 ve SR-HB15 elemanları sırasıyla %40,56 , %29,66 ve %35,74 oranında kontrol kirişlere göre maksimum taşıma yükünü artırdığı görülmüştür. Bu sonuçlar kiriş güçlendirme konusunda epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılan alüminyum bal peteği kompozit panellerin etkin bir malzeme oluşturabileceğini göstermektedir.

- Malzemenin kalınlığının artmasının ise güçlendirmeye olumlu bir etkisi olmadığı grlmŖtr. 6 mm panelin güçlendirme için yeterli olduğu görülmektedir.
- YapıŖtırıcı türü poliüretan bazlı olan SN-HB6 deney elemanı kontrol kiriŖe göre maksimum taŖıma yükünü %24,5 artırırken, SN-HB15 deney elemanı maksimum taŖıma yükünü deđiŖtirmemektedir. Bu sonuçlar 6 mm kalınlıkta kompozit panel kullanıldığında kiriŖ güçlendirme konusunda poliüretan bazlı yapıŖtırıcı ile yapıŖtırılan alüminyum bal peteği kompozit panellerin etkin bir malzeme oluŖturabileceđini göstermektedir.
- Bu alıŖmada aynı zamanda aynı panel kalınlığına sahip ancak farklı yapıŖtırıcıların kullanılması sonucu elde edilen deney elemanlarının karŖılaŖtırılması yapılarak güçlendirmede yapıŖtırıcının etkisi araŖtırılmıŖtır. Bu doğrultuda paneli epoksi bazlı yapıŖtırıcı ile kiriŖe yapıŖtırılan SR-HB6 kiriŖi kontrol kiriŖe göre %40,56 maksimum taŖıma yükünü artırırken, paneli poliüretan bazlı yapıŖtırıcı ile kiriŖe yapıŖtırılan SN-HB6 kiriŖi kontrol kiriŖe göre %24,50 maksimum taŖıma yükünü artırdığı grlmŖtr.
- Paneli epoksi bazlı yapıŖtırıcı ile kiriŖe yapıŖtırılan SR-HB15 kiriŖi maksimum taŖıma yükünü %35,74 artırırken paneli poliüretan bazlı yapıŖtırıcı ile kiriŖe yapıŖtırılan SN-HB15 kiriŖi maksimum taŖıma yükünü referans kiriŖe göre deđiŖtirmemektedir. Bu sonuçlara göre epoksi bazlı yapıŖtırıcıların poliüretan bazlı yapıŖtırıcılara göre güçlendirmede daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak SN-HB15 kiriŖin grafikten de anlaŖılacađı gibi güçlendirmeye katkısının olmamasının deneysel hata olduğu kanaatindeyiz.

Çalışmaya ek olarak öneriler aşağıda verilmiştir.

- Çalışmada yükleme devam ettirildiğinde kompozit panelin kirişten ayrıldığı görülmüştür. Bu nedenle farklı yapıştırma tekniği veya ankrajlama yöntemi ile çalışmalar yapılabilir.
- Çalışmada sadece kirişin alt yüzüne panel yapıştırılarak güçlendirmeye katkısı araştırılmıştır. Kirişin yan yüzeyleri de güçlendirilerek kesmeye karşı davranışı araştırılabilir.
- Çalışmada bal petekli kompozit panelin alt ve üst yüzü alüminyum seçilmiştir. Kompozit panelin yüzeyleri ve çekirdek bölgesi farklı malzeme seçilerek çalışma yapılabilir.
- Çalışmada yapıştırıcı olarak epoksi bazlı ve poliüretan bazlı olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kullanılmıştır. Güçlendirmeye katkısına bakıldığında bu yapıştırıcılar arasında farklı oranlar görülmüştür. Bu nedenle kiriş güçlendirmesinde yapıştırıcı seçimi bir parametre olarak kabul edilip farklı içerikli yapıştırıcılar seçilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

Akkuş, H., Düzcükoğlu, H., & Şahin, Ö. (2015). Alüminyum Bal Peteği Yapılarda Oluşan Eğilme Kuvvetlerinin Çoklu Regresyon İle İncelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , **11** (2), 217-223.

Akkuş, H., Düzcükoğlu, H., & Şahin, Ö. S. (2016). Alüminyum Bal Peteği Yapılarında Darbe Mukavemeti Tahmini İçin Regresyon Modeli Oluşturulması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , **9** (3), 102-111.

Aktay, L., Johnson, A. F., & Kröplin, B. (2008). Numerical Modelling Of Honeycomb Core Crush Behaviour. *Eng. Fract. Mech.*, **75** (9), 2616-2630.

Al Zand, A. W., Badaruzzaman, W. H., Mutalib, A. A., & Hilo, S. J. (2016). The Enhanced Performance Of Cfst Beams Using Different Strengthening Schemes Involving Unidirectional. *Eng. Struct.*, **128**, 184-198.

Altın, M. (1991). *Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara .

Altın, S., & Anıl, Ö. (2003). Betonarme Kirişlerin Dıştan Yapıştırılan Çelik Levhalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği Xvii. Teknik Kongresi*. İstanbul.

Anonim1.(2007).[https://Shop.Wurth.Com.Tr/Katalog/16\\_İnşaat/16\\_İnşaat/Assets/Basic-Html/İndex.Html#19](https://Shop.Wurth.Com.Tr/Katalog/16_İnşaat/16_İnşaat/Assets/Basic-Html/İndex.Html#19) (On-Line Access On 16 Dec, 2007).

Anonim2.(2015). <https://Www.Slideshare.Net/Durantuncel1/Balpetei-Kompozitler-56210673>, (On-Line Access On 16 Dec, 2015).

Arslan, M. (1991). Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara* .

Arslan, N., & Kaman, M. O. (2002). Alüminyum, Kağıt Ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi* , **4** (3), 113-123.

Aykaç, S., & Özbek, E. (2011). T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Çelik Levhalar İle Güçlendirilmesi. *İmo Teknik Dergi* , **22** (106), 5319-5334.

Baghi, H., Barros, J. A., & Menkulasi, F. (2016). Shear Strengthening Of Reinforced Concrete Beams With Hybrid Composite Plates (Hcp) Technique: Experimental Research And Analytical Model. *Eng. Struct.*, **125**, 504-520.

Breveglieri, M., Aprile, A., & Barros, J. (2014). Shear Strengthening Of Reinforced Concrete Beams Strengthened Using Embedded Through Section Steel Bars. *Eng. Struct.* , **81**, 76-87.

Ebead, U., & Saeed, H. (2013). Hybrid Shear Strengthening System For Reinforced Concrete Beams: An Experimental Study. *Eng. Struct.*, **49**, 421-433.

Engin, Z. F. (2011). Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Darbe Analizinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum* .

Güler, C., & Ulay, G. (2009). Petekli (Honeycomb) Kompozit Levhalar. *Mobilya Dekorasyon Dergisi* (10), 78-92.

Koç, E. (2018). Betonarme Kirişlerin Cam Takviyeli Polimer Kaplı Alüminyum Bal Peteği (Honeycomb) Kompozitlerle Güçlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya* .

Paik, J. K., Thayamballi, A. K., & Kim, G. S. (1999). The Strength Characteristics Of Aluminum Honeycomb Sandwich Panels. *Thin-Walled Struct.* , **35** (3), 205-231.

Renji, K., Nair, P. S., & Narayanan, S. (1996). Modal Density Of Composite Honeycomb Sandwich Panels. *J. Sound Vib.*, **195** (5), 687-699.

Solmaz, M. Y., Kaman, M. O., Turan, K., & Turgut, A. (2010). Petek Yapılı Kompozit Levhaların Eğilme Davranışlarının. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi* , **22** (1), 1-11.

Şakar, G., Yaman, M., & Bolat, F. Ç. (2010). Bal Peteği Sandviç Kompozit Yapıların Dinamik Analizi. *2. Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi*, (S. 531-540). Balıkesir.

Uysal, A. (2006). Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara* .

Wall, L. D., Fernando, D., Nguyen, V. T., Cork, R., & Foote, J. (2017). Frp Strengthening Of 60 Year Old Pre-Stressed Concrete Bridge Deck Units. *Eng. Struct.*, **143**, 346-357.

Wang, T., Qin, Q., Wang, M., Yu, W., Wang, J., Zhang, J., Et Al. (2017). Blast Response Of Geometrically Asymmetric Metal Honeycomb Sandwich Plate. *Int. J. Impact Eng.*, **105**, 24-38.

Zhang, D., Jiang, D., Fei, Q., & Wu, S. (2016). Experimental And Numerical Investigation On İndentation And Energy Absorption Of A Honeycomb Sandwich Panel Under Low-Velocity İmpact. *Finite Elements İn Analysis And Design* , **117**, 21-30.

Zhao, Y., Sun, Y., Li, R., Sun, Q., & Feng, J. (2017). Response Of Aramid Honeycomb Sandwich Panels Subjected To Intense Impulse Loading By Mylar Flyer. *Int. J. Impact Eng.*, **104**, 75-84.

Zhong, J., Zhou, Y., Bao, Q., Wang, E., & Li, Q. (2017). Strengthening Mechanism Of Channel Steel Plate For Notched Concrete Beams Against Fracture: Test And Numerical Study. *Eng. Fracture Mech.*, **180**, 132-147.

Zhou, G., & Hill, M. D. (2009). Impact Damage And Energy Absorbing Characteristics And Residual In-Plane Compressive Strength Of Honeycomb Sandwich Panels. *J. Sandwich Struct. Mater.*, **11**, 329-356.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Betül BERKTAŞ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** MALATYA – 26/08/1992

**Adres:** Tecde mah. İsmetpaşa cad. Ravzagül evleri.

**E-Posta:** [betul\\_ongenli@hotmail.com](mailto:betul_ongenli@hotmail.com)

**Lisans:** İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

### Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Aralık 2015 – Çarşı inşaat / Şantiye Şefi

### Yayın Listesi:

- Öngenli, B., Koç, E., Bettemir, H, Ö. (2016). “*Skreyperin Maksimum Kazı Oranını Sağlayan Dolum Miktarının Yenileme ile Belirlenmesi*”, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE’16), March 19-20, Kilis
- Koç, E., Öngenli, B., Bettemir, H, Ö. (2016). “*İçme Suyu Sisteminin Maliyet Tabanlı Optimum Tasarımı*”, Uluslararası Kentsel Su ve Atık Su Yönetimi Sempozyumu, 26-28 Ekim, Malatya
- Öngenli, B., Koç, E., Bettemir, H, Ö. (2016). " Sınırlı Kaynak İle İş Planlaması Problemlerinin Arama Uzayının Modern Sezgisel Yöntemler İle Belirlenmesi" 4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 3 – 5 Kasım, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
- Ayaz, Y., Berktaş, B., Koç, E. (2017). “*Beam Strengthening Using Honeycomb Plates*”, Proceedings of 130th The IIER International Conference, 8th-9th October, Saint Petersburg, Russia