

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAMİD FİBER MALZEMESİ KULLANILARAK  
GÜÇLENDİRİLEN ÇELİK KİRİŞLERİN DARBE YÜKÜ  
ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Esra BIYIKLIOĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA**

**Temmuz 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAMİD FİBER MALZEMESİ KULLANILARAK  
GÜÇLENDİRİLEN ÇELİK KİRİŞLERİN DARBE YÜKÜ  
ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra BIYIKLIOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı

YAPI

Bu tez ....../....../2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi  
Zeynep YAMAN  
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi  
Elif AĞCAKOCA  
Üye

Dr. Öğr. Üyesi  
Elif BORU  
Üye

## **BEYAN**

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

Esra BIYIKLIOĞLU

10.05.2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA ‘ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezim Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Komisyonu tarafından desteklenmiş olup Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Komisyonu Kurucu ve Komisyon üyelerine, Sakarya Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Akademisyenleri ve idari personeline teşekkür ederim. Ayrıca Laboratuvar olanakları konusunda Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne anlayışları ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY .....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1. Güçlendirilmiş Elemanların Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışın İncelenmesi Hakkında Yapılmış Çalışmalar .....	3
2.2. Kompozit Elemanların Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışın İncelenmesi Hakkında Yapılmış Çalışmalar .....	4
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA .....	10
3.1. Malzemeler.....	10
3.1.1. Dikdörtgen Kesitli Çelik Kutu Profil .....	10
3.1.2. Aramid Fiber (Kevlar).....	13
3.1.3. Epoksi.....	14
3.2. Deney Numunesi ve Deney Düzenegi .....	15
3.3. Deneyde Kullanılan Veri Alma Cihazları .....	18

3.3.1. İvme Ölçer ve Veri Alma Kablosu.....	19
3.3.2. Yük hücresi (Load Cell).....	22
3.3.3. Ölçüm ve kontrol sistemi .....	22
3.3.3.1. CompactDAQ kasa .....	23
3.3.3.2. Veri alma ve sayısallaştırma modülleri .....	23
3.4. Darbe Deneyi.....	24
3.5. Veri Alma ve Verilerin İşlenmesi .....	25
BÖLÜM 4.	
DENEY NUMUNELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	29
4.1. Referans Numune .....	29
4.2. Örnek Numune 1 (SP1).....	31
4.3. Örnek Numune 2(SP2).....	33
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	37
5.1. Sonuçlar.....	37
5.2. Öneriler.....	38
KAYNAKÇA .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

g : Yer Çekimi İvmesi

GPa : Gigapascal

Hz : Herzt

MPa : Megapascal

N : Newton

ohm : Empedans (Öz Direnç)

rms : Hız Çıkışı

V : Hız

$\mu\text{m}$  : Mikrometre

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kupon numunesi boyutları-deney öncesi ve deney sonrası numune görüntüleri .....	11
Şekil 3.2. Eksenel çekme deney cihazı .....	12
Şekil 3.3. Eksenel Çekme Deneyi ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme Grafiği .....	12
Şekil 3.4. Kevlar29'un rulo hali .....	14
Şekil 3.5. Deney numunesi .....	16
Şekil 3.6. Aramid fiberin profile yapıştırılması .....	16
Şekil 3.7. Deney Düzeneği .....	17
Şekil 3.8. Basit Kiriş Mesnet Modelleri .....	18
Şekil 3.9. Kullanılan ivme ölçer ve kablolar [24]. .....	19
Şekil 3.10. Yassı Tip Yük Hücresi .....	22
Şekil 3.11. CompactDAQ Kasa [25]. .....	23
Şekil 3.12. Veri ve Sayısallaştırma Modülleri [25]. .....	24
Şekil 3.13. Deney Düzeneği .....	25
Şekil 3.14. LabVIEW- Veri Alma Algoritması .....	26
Şekil 3.15. LabVIEW- Veri Alma Algoritması Arayüzü .....	27
Şekil 3.16. LabVIEW- Veri İşleme Algoritması .....	27
Şekil 3.17. Deney numunesinin ivme-zaman grafiği .....	28
Şekil 3.18. Deney numunesinin hız-zaman grafiği .....	28
Şekil 3.19. Deney numunesinin yer değiştirme-zaman grafiği .....	28
Şekil 4.1. Deney düzeneği .....	30
Şekil 4.2. Deney öncesi .....	30
Şekil 4.3. Deney sonrası .....	31
Şekil 4.4. Deney düzeneğindeki .....	32
Şekil 4.5. Deney öncesi .....	32
Şekil 4.6. Deney sonrası .....	33



Şekil 4.7. Deneş düzeneği.....	34
Şekil 4.8. Deneş öncesini.....	34
Şekil 4.9. Deneş sonrası.....	35
Şekil 4.10. Hız-Zaman Grafiği.....	35
Şekil 4.11. Deplasman-Zaman Grafiği.....	36
Şekil 4.12. İvme-Zaman Grafiği .....	36



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Çelik çekme deney sonuçları .....	11
Tablo 3.2. Kevlar Malzemesi Teknik Bilgileri .....	13
Tablo 3.3. Epoksi ve sertleştiricin özellikleri [23].....	15
Tablo 3.4. Kablo uçlarındaki bağlayıcı Fişler ve Ürün Özellikleri [24] .....	20
Tablo 3.5. Veri Alma Kabloları Ürün Özellikleri [24] .....	21
Tablo 3.6. Yük Hücresi Teknik Bilgileri .....	22

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik kiriş, darbe yükü, aramid fiber

Çelik yapı elemanları taşıdıkları yükler incelendiğinde, statik karakterli ve dinamik karakterli yüklerin etkisine maruz kalabildikleri görülmektedir. Statik karakterli yükler zaman sürecine yayılı yükler olarak tanımlanmaktadır. Dinamik karakterli yükleri ise anlık bir zamana toparlanmış yükler olarak tanımlamak mümkündür. Statik yükler altında yüksek mukavemet gösteren malzemeler, bir ivmeye sahip dinamik yüklemeye maruz bırakıldığında aniden kırılabilmektedir. Günümüzde terör saldırılarının her geçen gün artması, stratejik öneme sahip yapıların darbe etkilerine karşı tasarlanmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu noktadan hareketle, bir yapı elemanının ani bir yüklemeye karşısında göçmemesi ve güvenli bir şekilde yapının tahliye edilebilmesi için yapı elemanlarının güçlendirilmesinin gerekliliğini göstermektedir.

Her yapı elemanı için, şekil değiştirmeye yatkınlık olarak ifade edilebilecek süneklik önemli bir özelliktir. Dinamik ve statik yükler farklı karakterde yükler olduğundan bu yükler etkisi altındaki şekil değiştirme kapasiteleri ve buna bağlı olarak enerji sönmeme düzeyleri, diğer bir tanımla, toklukları farklı olacaktır.

Dinamik tokluğu ölçmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri ağırlık düşürme yöntemidir. Bu çalışmada bir yapı elemanı olarak çelik bir kirişin aramid fiberle güçlendirildikten sonra dinamik karakterli darbe yükü etkisi altındaki davranışını ağırlık düşürme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir.

# **INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF STEEL BEAMS WITH ARAMID FIBER MATERIALS UNDER THE EFFECT OF IMPACT**

## **SUMMARY**

Keywords: Steel beam, impact load, aramid fiber

When the loads carried by steel structural elements are examined, it is seen that they can be subjected to the effects of static and dynamic loads. Loads with static character are defined as loads distributed over time. It is possible to define dynamic character loads as instantaneous loads. Materials that exhibit high strength under static loads can suddenly break when subjected to dynamic loading with an acceleration. Today, the increasing number of terrorist attacks shows how important it is to design strategically important structures against impacts. From this point, it shows the necessity of strengthening the structural elements in order to prevent a structural member from collapsing against a sudden loading and to be able to evacuate the structure safely.

Ductility, which can be expressed as susceptibility to deformation, is an important feature for each structural element. Since dynamic and static loads are of different character, the deformation capacities under these loads and their energy damping levels, in other words, their toughness will be different.

Different methods are used to measure dynamic toughness. One of these methods is the weight reduction method. In this study, the behavior of a steel beam as a structural element under dynamic load impact load after strengthening with aramid fiber was investigated experimentally by weight reduction method.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusundaki artış ve buna bağlı olarak insan ihtiyaçlarının artması, yapılaşmadaki artış, hızlı yapılaşma gibi sebeplerden dolayı, inşaat sektörü demontajı mümkün olan yapılaşma türlerine doğru kaymaktadır. Bu durum çelik yapıların inşaat sektöründe tercih sebebi olmasını sağlamaktadır.

Yapıların kullanım ömürleri boyunca ani bir çarpma yükünün etkisi altında kalma olasılıkları vardır. Gerçekleşme ihtimali açısından periyodu büyük ancak can güvenliği açısından oldukça önemli olan darbe yükü etkisi, gerek yapı gerekse yapı kullanıcıları için oldukça önemli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenlerle yapı tasarımında statik ve dinamik karakterli tüm yükleme etkileri dikkate alınmalı ve tasarımın gerçekleştirilmesi için uygun tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.

Yapılarda çarpma yükü önemli sorunlara neden olabileceği için yapı elemanlarının çarpma etkisi altındaki davranışı iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla literatürde çarpma etkisi altındaki kiriş, kolon ve döşemelerin hareketleri ile alakalı teorik veya deneysel olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, darbe kuvvetine maruz kalma riski bulunan çelik yapılarda ki çelik kiriş elemanının farklı uzunluklarda aramid fiberle güçlendirilmesi sonrası eleman davranışındaki değişimlerin incelenmesidir. Güçlendirilmiş bir yapı elemanında, elemana etki eden yükün büyüklüğü ve etki eden darbe kuvvetinin etkisi önemli olduğu gibi, güçlendirme malzemesinin miktarı da kiriş elemanının davranışında etkili olmaktadır. Bu yüzden darbe yükü etkisi altında çelik kirişin davranışını inceleyip tespit edebilmek ve tasarım aşamasında gelişen teknolojiyi de dikkate alarak önlem almak, can ve mal güvenliğinin korunmasında etkili olmaktadır.

Çalışmalar beş bölümde sunulmuştur. Birinci bölümde çalışmamız hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde daha önce bu alanda yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde, yapılan deneysel çalışma ve kullanılan alet ve makinelerin özellikleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, deneye tabi tutulan numunelerin karşılaştırılması verilmektedir. Beşinci bölümde sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.



## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI**

### **2.1. Güçlendirilmiş Elemanların Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışın İncelenmesi Hakkında Yapılmış Çalışmalar**

Ömer Öztürk çalışmasında; cam elyaf kumaş, aramid elyaf kumaş, karbon elyaf kumaş takviyeleri ve poliüreten matris malzemesi kullanılarak güçlendirilen kompozit elemanların mekanik davranışlarını araştırmıştır. Numuneler ile ISO 527 standardına göre çekme testi yapılmıştır. Tarayıcı elektron mikroskobu ile kompozit malzemelerden alınan numunelerin içyapısı incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda; cam elyaf, aramid elyaf ve karbon elyaf kumaş takviyeleri arasında en yüksek çekme mukavemeti ve kopma uzaması, aramid elyaf kumaş kullanılan numunelerde elde edilmiştir. Bununla birlikte en yüksek elastisite modülü ise karbon elyaf kumaş takviyeli numunelerde gözlemlenmiştir [1].

Park ve Jang yaptıkları çalışmalarda; tabakaların ince yapıda ve farklı konfüğürasyonlar da dizilmiş olmasının, eleman üzerinde oluşan hasarı nasıl etkilediğini incelemek için aramid fiber/cam fiber hibrit kompozit malzemeler kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, darbe kuvveti etkisi altında bulunan elemanlar, aramid tabaka ile takviye edildiğinde, elemanın daha yüksek bir darbe enerjisi sağladığı görülmüştür [2].

Sugun ve Rao yaptıkları çalışmalarda; Kevlar, karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş kompozit malzemelere tekrarlı düşük hızlı darbeler uygulayarak elemanların karakteristikleri incelenmiştir. Güçlendirilmiş kompozit plakalar deney numuneleri üzerine delinme-yırtılma oluncaya kadar tekrarlı darbe kuvveti uygulanmıştır. Maksimum darbe-kuvvet sayısı değişimi ve darbe enerjisi-darbe sayısı değişim grafikleri ve son darbeden sonra numunelerdeki hasar bölgelerinin haritaları

oluşturulmuştur. Kevlar, karbon ve cam elyaf ile güçlendirilmiş kompozit elemanın darbe etkisi altındaki davranışı incelenmiştir [3].

Salehi- Khojin ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda; tabakalı aramid fiber/cam elyaf hibrit kompozit malzemelere değişik sıcaklıklarda ve düşük darbe kuvvetleri uygulamıştır. Çalışmanın sonunda absorbe edilen enerjinin sabit ve sıcaklıktan bağımsız olduğu bulmuştur. Ancak darbe enerjisinin artmasıyla absorbe edilen enerjinin sıcaklığa daha fazla bağımlı olduğu ve maksimum çökmenin ise darbe enerjisi veya sıcaklığın artmasıyla arttığı sonuçlarına ulaşmıştır [4].

## **2.2. Kompozit Elemanların Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışın İncelenmesi Hakkında Yapılmış Çalışmalar**

Wan ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarda; karbon/keklar hibrit kompozit malzemeler kullanarak düşük hızlı darbe deneyleri yapmışlar ve buldukları sonuçlara göre belirli oranlarda keklar malzemenin hacimsel oranı arttıkça, darbe mukavemeti ve kayma mukavemeti artış sağladığı ancak eğilme özelliklerinin azaldığı görülmüştür [5].

Mazumdar ve Mallick, yaptıkları çalışmada; iki kompozit (SMC)plaka farklı kalınlığa sahip yapıştırıcı ile birleştirilerek oluşturdukları kompozit elemanın, yorulma ve statik dayanımlarını deneysel olarak incelenmiştir. Yapmış oldukları araştırmalar sonucunda, statik taşıma yükünün, yapıştırıcının kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna varmıştır. Epoksi ile birleştirilmiş kompozit elemanın darbe deneyinde, epoksi yorulma dayanım değerinin, statik dayanımın değerine göre %50 ile %54'ü arasında değiştiği bulunmuştur [6].

Karaca, yaptığı çalışmalarda; farklı kalınlıkta tek yönlü karbon tabakalı kompozit levhaların düşük hızlı darbeye karşı davranışını incelemiştir. Darbe davranışı için, darbe enerjisi, tabaka kalınlığı ve vurucu kütle ağırlığı gibi parametrelerin eleman davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Ağırlık düşürme test cihazı kullanılarak, her bir numuneye farklı enerji seviyelerinde darbeler uygulanmıştır. Ayrıca bir numune üstünde delinme meydana gelene kadar yapılan darbe testleri ile geri sekme, nüfuziyet



ve delip geçme darbe davranışları incelenmiştir. Darbe sonrası levhaların içyapısında oluşan hasar türleri mikroskop ile incelenmiş, hasar alanları tahribatsız muayene yöntemlerinden olan ultrasonik C-scan analizi metodu ile incelenmiş ve çentik derinliğinin zamana bağlı değişimi ise komparatör ile ölçülmüştür. Hasarlı ve hasarsız test numunelerinin burkulma testleri gerçekleştirilmiş ve kalan kritik burkulma dayanımları bulunmuştur [7].

Özenç, yapmış olduğu çalışmasında; kompozit elemanlar cıvata, kaynak, perçin, lehimleme, yapıştırma gibi çeşitli metotlar kullanılarak birleştirmiştir. Yapıştırma metodu kullanılarak birleştirilen malzemelerde hafiflik sağlanmakta, değişik özelliklerdeki ve kalınlıklardaki malzemeler birleştirilebilmekte, daha ekonomik birleşimler meydana getirilebilmekte ve düzgün bir gerilme dağılımı elde edilebilmektedir. Bu gibi avantajları nedeniyle yapıştırma metodu diğer mekanik birleştirme yöntemlerine alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır. Yapılan bu çalışmada; tek taraflı bindirme bağlantılarının, değişik yüzey pürüzlülüklerinde ( $R_a=0,5-1,5-2,5\mu m$ ), farklı yapıştırma kalınlıklarında ( $s=0,1-0,3-0,5mm$ ) ve farklı malzemeler kullanarak (elik, alüminyum, bakır) darbe dayanımının nasıl değiştiği incelenmiştir. Deney numuneleri ASTM D950-03 standardına bağlı olarak imal edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda; her bir değişkenin darbe direncini etkilediği görülmüş ve her parametre için optimum darbe dayanımını veren değerler belirlenmiştir [8].

Belingardi ve Vadori tarafından yapılan çalışmada; cam elyaf ve epoksi kompozit plakalara ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Kompozit malzemede darbe yüklemeleri sonucunda temas kuvvetinin ve yutulan enerjinin değişimi incelenmiştir. Kompozit malzemedeki elyafların malzeme içerisindeki açısız konumunun malzemenin enerji sönümlenme kapasitesine etki ettiği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir [9].

Goglio ve Rosetto yapmış oldukları bir deneysel çalışmada, sarkaç eki vasıtasıyla bindirme bağlantılı deney numunelerine darbe yükü uygulanmıştır. Bu bağlantılar statik ve dinamik yükler altında incelenmiştir. Deneylerde elik numuneler Hysol marka 3425 epoksi yapıştırıcısı ile birleştirilmiştir. Numuneler soyulma ve kayma

darbe yükleri altında kırılarak, bindirme uzunluğunun, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme kalınlığının etkileri incelenmiştir. Ortalama kayma gerilmesi değerleri, yapıştırıcının kalınlığının ve yapıştırılan malzeme kalınlığının artmasıyla azalmıştır. Deneyleerde dinamik yükler uygulandıında statik yüklerle göre daha yüksek gerilme değerleri çıkmıştır [10].

Hosur ve arkadaşları, tarafından yapılan çalışmada; farklı özelliklere sahip tabakalı kompozit malzemeler, düşük hızlı darbe yüklemelerine maruz bırakılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan kompozit elemanlar, epoksi reçinenin vakumlu kalıp yardımıyla çapraz örgü karbon elyaf ve düz örgü cam elyaf kullanılmasıyla elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, tabakalı melez kompozit malzemelerin karbon/epoksi tabakalı kompozit malzemesine göre daha az rijitlik özelliği göstermesine rağmen yük taşıma kapasitesinin daha fazla olduğu görülmüştür [11].

Taşkıran, yapmış olduğu çalışmada; düşük ve yüksek sıcaklıklarda düşük hızlı darbeye maruz kalan karbon tabakalı kompozit levhalarda, darbe sonucu meydana gelen hasar ve burkulma yüklerinin değişimi incelenmiştir. Kullanılan kompozit levhalar tek yönlü takviye edilmiştir. Darbe testleri yüksek sıcaklık için Instron Dynatup 9250 ağırlık düşürme test cihazında, düşük sıcaklıklar için ise özel olarak önceden imal edilmiş olan ağırlık düşürme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Darbe sonrası levhalarda oluşan hasar alanları C-scan makinesiyle, meydana gelen çentik derinlikleri komparatör makinesiyle gerçekleşen hasar tipleri mikroskop aracılığı ile incelenmiştir. Sıcaklığın etkisi ile oluşturulan az enerjili darbelerin, tabakalı kompozit levhalarda olan etkisi, iki tarafı ankastre olacak şekilde bağlanmış basınç test cihazından sağlanan kritik burkulma yüklerinin elde edilmesiyle incelenmiştir [12].

Tiberkak ve arkadaşları çalışmalarında; kompozit levhalarda darbe kuvvetleri neticesinde meydana gelebilecek hasarların tahmin edilmesi ile ilgili çalışma yapmıştır. Yapılan bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ve analitik yöntemler kullanılarak konu incelenmiş ve bu iki yöntemle elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır [13].

Erдем, yaptığı çalışmada; mühendislik çalışmalarında darbe etkisi sonucu oluşan enerjinin bertaraf edilmesi amacıyla darbe enerjisini soğurup ısı enerjisine dönüştüren bir darbe emici üzerine araştırma yapmıştır. Çelik talaşı ile belli oranlarda karıştırılan ve farklı basınçlarda soğuk silikon matrisli kompozit malzemeden 5 farklı karışım oranında ve 3 farklı presleme basıncında 15 çift üretilmiştir. Üretimde numune boyutlarını standart hale getirebilmek için değişken kütle-sabit hacim kuralı esas alınmıştır. Düşük hızlı darbe deneyleri uygulanmış; kuvvet-zaman ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler yardımıyla toplam enerjiyi yutma ve yansıtma oranlarındaki değişimler yorumlanmıştır [14].

Cantwell ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda; kompozit malzemelerin darbe etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Darbe etkisiyle kompozit malzemede oluşabilecek darbe hasarı ve bu darbe hasarının gelişimi üzerine çalışmışlardır [15].

Bozkurt tarafından yapılan çalışmada; düşük hızlı darbe uygulanarak hibrit kompozit levhaların dinamik cevabı ve hasar davranışları tetkik edilmiştir. Kullanılan malzemeler hibrit kompozit olup E-cam/epoksi ve karbon/epoksi kompozit tabakalardan oluşmaktadır. Farklı tabaka yerleşiminin davranış etkisinin incelenmesi için, deney numunelerini farklı yığın lama sıralamalarıyla üretilmiştir. Düşük hızlı darbe deneyleri, geliştirilen ağırlık düşürme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Farklı darbe hızlarında ve farklı sınır şartlarında gerçekleştirilen deneyler sonrasında elemanların dinamik davranışı, oluşan hasarlar ve elastik değişimleri incelenmiştir [16].

Sawa yapmış olduğu çalışmada; çekme yükü etkisi altında olan, farklı malzemeler ile yapıştırılan tek taraflı bindirme bağlantısını iki boyutlu olarak analizini gerçekleştirmiştir. Ara yüzeyde oluşan gerilme dağılımı, numune kalınlığı, yapıştırıcı tabakasının kalınlığı ve yapıştırılan malzemelerin elastisite modülü farklarının çekme kuvveti sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yapıştırılan malzeme kalınlığının ve elastisite modülünün yapıştırılan bölgenin serbest uçlarında oluşan gerilme dağılımları üzerine son derece büyük bir etkisinin olduğunu görülmüştür [17].

Sawa tarafından yapılan diğer bir çalışmada, tek taraflı bindirmeli bağlantılarda gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı elastik 3 boyutlu sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Yapıştırılacak malzemenin elastisite modülü, yapıştırma uzunluğu, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelerin kalınlıklarının, gerilme dağılımı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıştırıcının elastisite modülünün artmasıyla elemanın gerilme değeri artmıştır. Yapıştırma uzunluğunun, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemenin kalınlıklarının artmasıyla gerilme değeri azalmıştır [18].

Zhang çalışmasında, elik dairesel en kesitine sahip boru profillerin düşük hızlı darbe kuvveti ile yarı statik yük etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Farklı geometriye sahip eki başlıkları kullanılarak, deney numunelerinin darbe kuvveti etkisi altındaki davranışlarına olan etkisi incelenmiştir. Çalışma doğrultusunda 72 adet deney numunesi üretilmiştir. Farklı geometrideki eki başlıklarının farklı sınır durumlarında, elemanda oluşturduğu etkiler incelenmiştir [19].

Bambach ve arkadaşları; beton dolgulu elik kare boşluklu (SHS) ve içi boş profil kullanılarak oluşturulan kirişlerin, orta açıklıkta düşük hızlı çarpma etkilerine maruz kalan numunelerin davranışlarını inceleyen deneysel ve analitik bir araştırmasını yapmıştır. Üç farklı kesit kullanılarak oluşturulan deney elemanlarını uç kısımlarından sıkıştırarak deneyi gerçekleştirmişlerdir. Darbe yüklemesi kirişlerin orta noktasına yapılmış ve üç farklı noktadan Strain-Gage ölçümleri alınmıştır. Enine darbe yükleri için içi boş ve beton dolgulu SHS elemanlarını tasarlamak için sapma, kuvvet veya enerji sınırlarının kullanabileceği bir tasarım prosedürü geliştirmişlerdir [20].

Kantar ve arkadaşları; normal ve yüksek dayanımlı beton kullanarak ürettikleri 10 adet donatısız beton kiriş elemanının darbe etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışma doğrultusunda üretilen kiriş elemanlarına beş farklı yükseklikten düşürülen sabit ağırlıklı çekiçle darbe etkisinin oluşması sağlanmıştır. Deney numuneleri darbe etkisi altında test edilerek, çarpma etkisiyle oluşan ivme, hız, deplasman değişimlerini tespit etmişlerdir. Elde edilen verilerden hareketle beton dayanımındaki değişim ile

darbe yükü düşme mesafesi arasındaki enerji sönümlene ilişkisini incelemiştir [21].

Gültop ve arkadaşları; rijit plastik malzeme davranışından hareketle, darbe yükü etkisi altında bulunan elemanda oluşacak göçme mekanizmasının, ani plastik mafsall oluşumuyla gerçekleştiğini kabul etmişlerdir. Çalışmasında basit ve ankastre mesnetli kirişlerin düşük hızlı çarpma yükü etkisi altındaki davranışlarını analitik olarak incelemiştir. Ayrıca çalışmada enerjinin korunumu ilkesine dayanarak, dinamik karakterli çarpma yükü altında kirişlerin, limit analizi yapılmıştır. Çalışma sonunda, darbe yükü altında bulunan elamanların rijit plastik kiriş davranışı ile elastik kiriş davranışını karşılaştırılmıştır [22].

Gelişen teknoloji ile birlikte yapıların ani bir yüke karşı daha az deformasyona uğraması ve güvenlik seviyesinin artırılması için yapı elamanlarının ideal kompozitler ile birleştirilerek tasarlanması ve bu tasarımların deneysel olarak analizinin yapılması gerekmektedir.

## **BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Bu bölümde, deneyde kullanılacak malzeme ve özellikleri, deney numunesi olarak hazırlanan aramid fiberle güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli çelik kirişin darbe yükü karşısında tepkisinin inceleneceği deney düzeneği, deneyde kullanılan ekipman ve cihazlarla birlikte darbe deneyi hakkında bilgiler verilmektedir.

### **3.1. Malzemeler**

Malzemeler dikdörtgen kesitli çelik kutu profil, aramid fiber ve epoksiden oluşmaktadır.

#### **3.1.1. Dikdörtgen kesitli çelik kutu profil**

Dikdörtgen kesitli kutu profil, S235 çeliğinden üretilmiş profillerdir. Yapılan deneysel çalışmada kutu profilin mekanik özelliklerini kontrol edebilmek için, kutu profilden alınan üç adet kupon numunesine aksenal çekme dayanımı testi yapılmıştır. Çelik profilden alınan kupon numuneleri TS EN 6892 Standardına göre hazırlanmıştır. Kupon numunelerinin deney öncesi ve sonrası fotoğrafları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

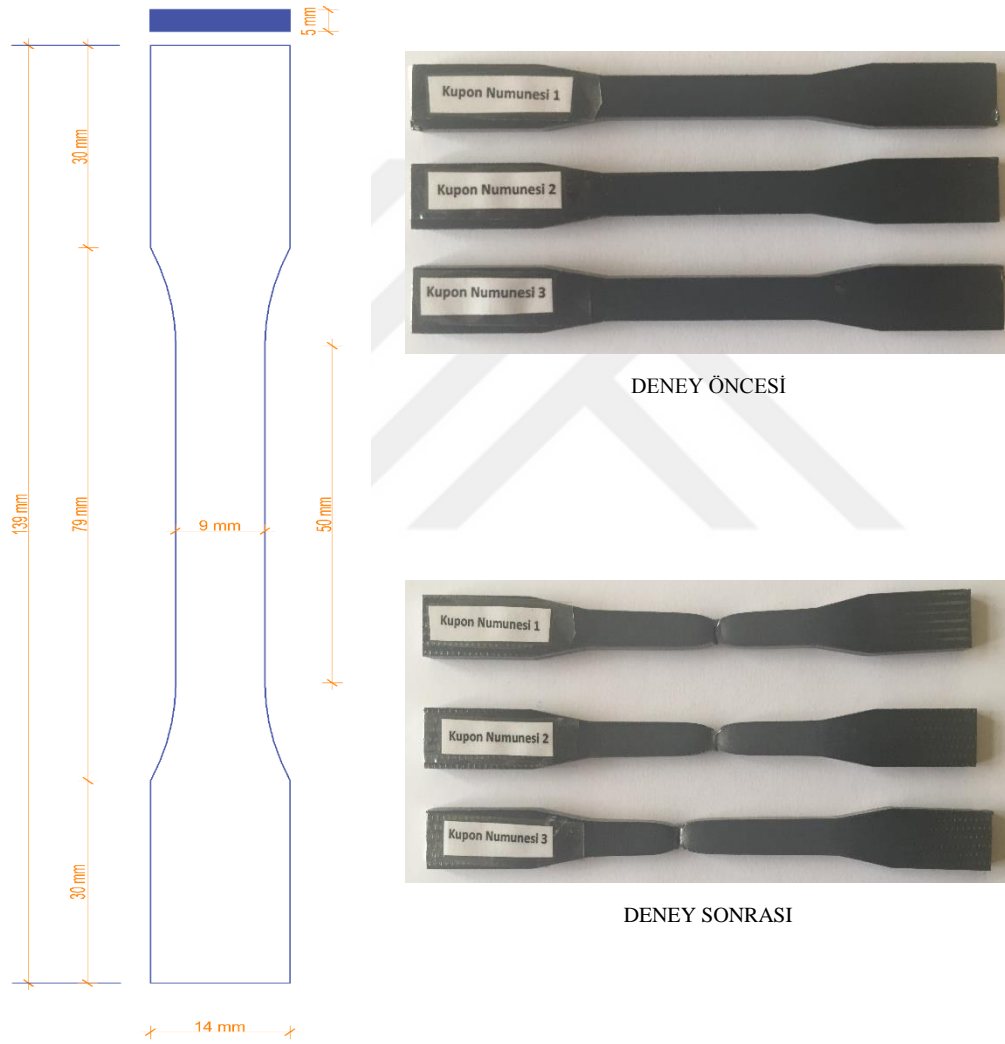
Hazırlanmış olduğumuz kupon numunelerin deneyleri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında, SHIMADZU markalı AG-IC serisi aksenal çekme deney cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.2.).

50 kN yük ve 1300 mm uzama kapasitesine sahip cihaz test sırasında ölçülen gerilme ve uzama verilerine dayanarak, kontrol parametrelerinin gerçek zamanlı olarak otomatik ayarlanmasına olanak vermektedir.

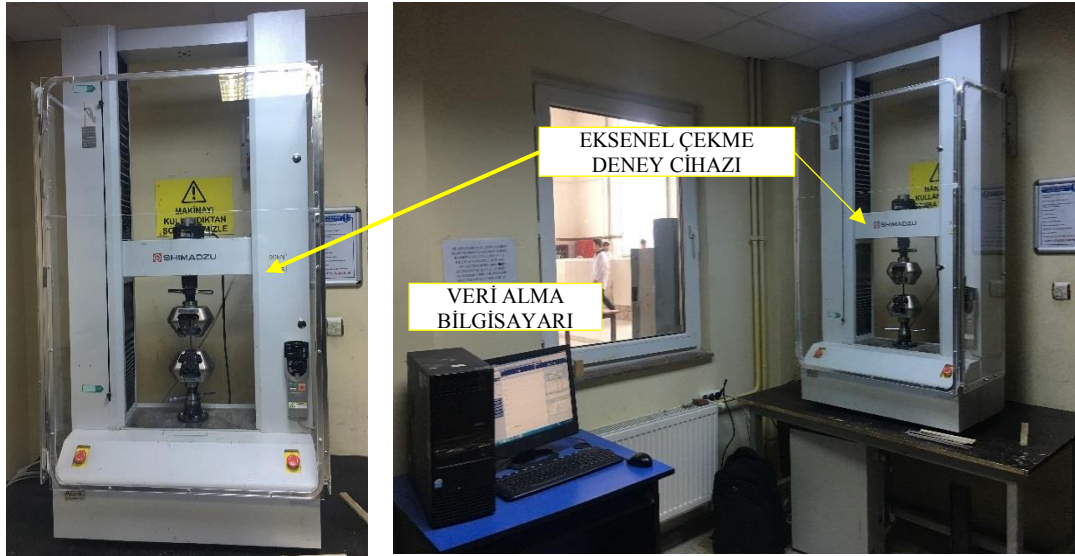
Çelik kupon numunelerinin eksenel çekme deney sonuçlarına göre mekanik özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çelik çekme deney sonuçları

Numune Adı	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %
N1	240	300	39
N2	245	285	38
N3	210	275	36

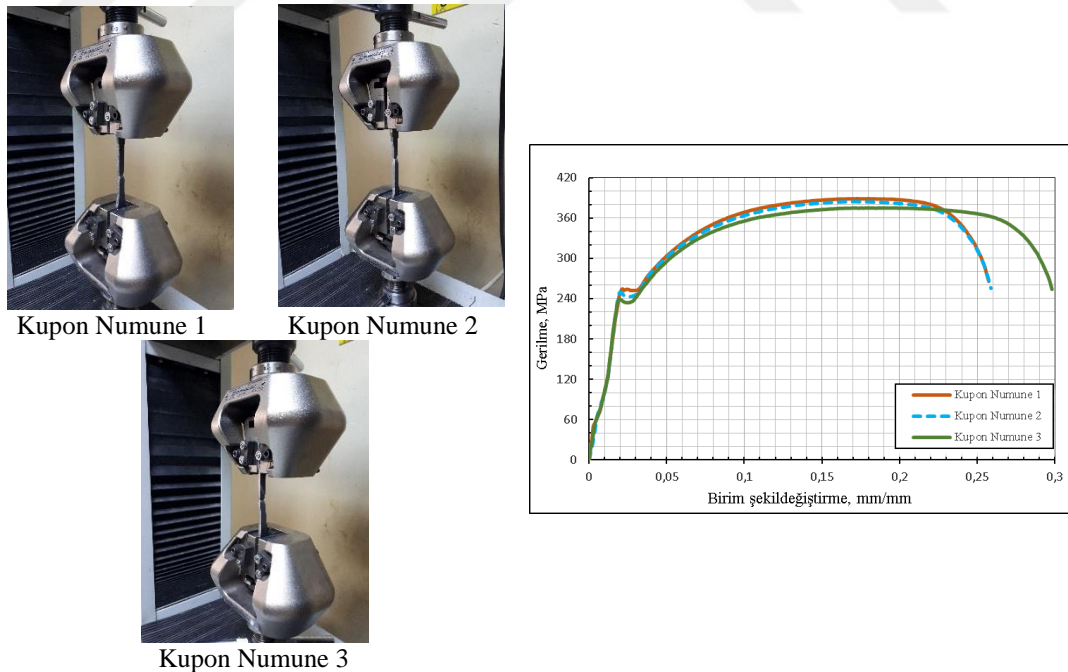


Şekil 3.1. Kupon numunesi boyutları-deny öncesi ve deney sonrası numune görüntüleri



Şekil 3.2. Eksenel çekme deney cihazı

Kupon numunelerinin eksenel çekme deney görüntüleri Şekil 3.2.'de sunulmuştur. Eksenel çekme deney sonucunda elde edilen veriler yardımı ile her numuneye ait gerilme- birim şekil değiştirme değerleri hesaplanarak grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Eksenel Çekme Deneyi ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme Grafiği



### 3.1.2. Aramid fiber (kevlar)

Aramid ismi, "aromatik poliamit" kelimelerinin birleşiminden gelmektedir. Aramid elyaflar, karbon, hidrojen, oksijen ve azottan oluşan hoş kokulu ilk organik bileşiktir. Aramid elyaf, yüksek performans gösteren sentetik bir elyaftır. Mukavemet ve parça değerlerinin yanı sıra, liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi, üstün darbe dayanımına sahip olması ve her reçineyle birlikte kullanılabilir olmasından dolayısıyla yaygın olarak kullanılan bir elyaf çeşidi olmaktadır.

Genel özellikleri; sarı renkli, düşük yoğunluklu ve yüksek dayanıklılık göstermektedir. Yüksek darbe, yorulma, aşınma ve kimyasal dayanım özelliğine sahiptir. Kevların özelliklerini koruması için karanlıkta saklanmalıdır. Bazı aramid elyaf türleri ultraviyole ışınlarına maruz kaldıkları zaman bozulma göstermektedir.

Birçok alanda kullanılmaya başlanan Kevlar markası ile üretilen aramid malzemesi farklı özelliklerde üretilmiştir. Kevlar 29 lifi; yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek kopma uzamasına sahiptir. Zırh malzemeleri, halatlar, kablolar ve asbest yerine kullanılmaktadır. Kevlar 49 lifi; yüksek modül, yüksek mukavemet, düşük kopma uzamasına sahiptir. Zırh malzemeleri, denizcilik ve otomotiv uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Kevlar 149 lifi; çok yüksek modül, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve çok düşük kopma uzamasına sahiptir. Havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Kevlar 100, Kevlar 119, Kevlar 129, Ayrıca, Kevlar 159, Kevlar X gibi çeşitli uygulama ve çalışmalar için geliştirilmiş aramid türevleri bulunmaktadır. Yaygın olarak kullanılan Kevlar lifi ;kısaca Kevlar olarak belirtilen Kevlar 49 olarak adlandırılan üründür. Kevlar malzemelerinin çekme ve yoğunluk karşılaştırmaları Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Kevlar Malzemesi Teknik Bilgileri

Malzeme	Çekme(Mpa)	Uzama Değeri(%)	P(g/cm <sup>3</sup> )	Elastisite(Gpa)
Kevlar29	2700-3000	3,5 - 4,2	1,44	70
Kevlar49	290-3400	2,4 - 2,8	1,44	112 - 135
Kevlar129	3400-4200	3,3 -3,5	1,44	88 - 99
Kevlar149	2300-3400	1,5 - 1,8	1,44	143 - 175
KevlarM2	3000-3300	2,4 -0,4	1,44	63 -112



Şekil 3.4. Kevlar29'un rulo hali

Deneylerde kullandığımız Kevlar29; metre karesi 360 gram twill olan, 1 m eninde ve 5 m boyunda rulo halinde temin edilmiştir (Şekil 3.4.).

### 3.1.3. Epoksi

Epoksi, her türlü kara ve deniz yapısında, doğanın (rüzgar, fırtına, dalga, ısı değişimleri, donma-çözünme, kirlenme, kimyasal etkiler, vs.) ve sanayinin (mekanik, fiziksel ve kimyasal) en kötü koşullarına karşı yapı yüzeylerini (iç ve dış) estetik malzemelerle kaplayarak korumak için geliştirilen teknolojik yapı malzemesi grubudur. Bunların yanı sıra, üstün yapışma özelliği, mekanik ve fiziksel dayanımlarından dolayı değişik yapıdaki inşaat malzemelerini birbirine yapıştırmak ve tutturmak için de kullanılan epoksi malzemeler bulunmaktadır.

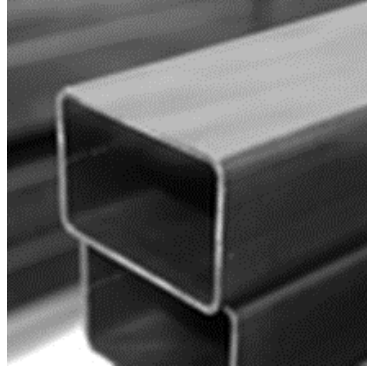
Deneyimiz de MGS LR160/LH160 infuzyon epoksi reçine sistemi kullanılmıştır. MGS LR160/LH160 infuzyon epoksi reçine sistemi ileri sivil havacılık kompozit parça imalatlarında dünyada çok yaygın olarak kullanılan, German Federal Aviation sertifikalı, Hexion firmasının ürettiği, yıllardır kendisini ispatlamış, havacılık, otomotiv, marin, uzay, rüzgâr pervaneleri ve savunma sektörlerinde kullanılan ürünlerdir. Aramid fiber malzemenin çelik profile yapışması için 4 birim MGS LH160 epoksi reçine ile 1 birim MGS LH160 sertleştirici kullanılmıştır. Epoksi ve sertleştiricinin özellikleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Epoksi ve sertleştiricinin özellikleri [23]

Sertifika	German Federal Aviation		
Uygulama Alanı	Planör,motorlu planör ,motorlu uçak,bot,gemi,spor aletleri,model uçaklar,kalıp ve genel uygulamalar		
Çalışma Sıcaklığı	- 60°C / + 50°C Isıl işlem uygulanmadan - 60°C / + 80°C Isıl işlem uygulanarak		
Proses Sıcaklığı	+ 10°C / + 50°C		
Özellikleri	Çok üst düzey uyumluluk Çok iyi mekanik ve ısıl özellikler 45dak. dan 4-5 saate kadar çalışma süresi		
Depolama	Açılmamış ambalajında 24 ay Laminasyon Reçinesi L160-Sertleştirici H160-H163-H2605		
Ağırlıkça	100:25+-2/100:28+-2/100:36+-2		
Hacimce	100:30+-2/100:34+-2/100:43+-2		
Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	1,13-1,17		
Vizkosite mPas	700-900		
Epoksi eşdeğeri gr/eşdeğer	166-182		
Epoksi Değeri eşdeğer/100gr	0,55-0,60		
	H160	H163	H2605
Yoğunluk(gr/cm <sup>3</sup> )	0,95-1,00	0,94-0,97	0,93-0,97
Vizkosite mPas	10-50	10-60	80-100

### 3.2. Deney Numunesi ve Deney Düzeneği

Dikdörtgen kesitli çelik profil 2000 mm boyunda, 3mm et kalınlığında ve 120x80 mm en kesitlerine sahiptir (Şekil 3.5.). Profil S235 çelik sınıfından imal edilmiştir. Çelik profilin ortalama ağırlığı 12,5 kg olarak ölçülmüştür. Profilin orta kısmından sağ ve sola 15'er cm ve 30'ar cm gelecek şekilde tinerle temizlendikten sonra zımparalanıp epoksi ile birlikte aramid fiber bu bölgelere yapıştırılmıştır (Şekil 3.6.).



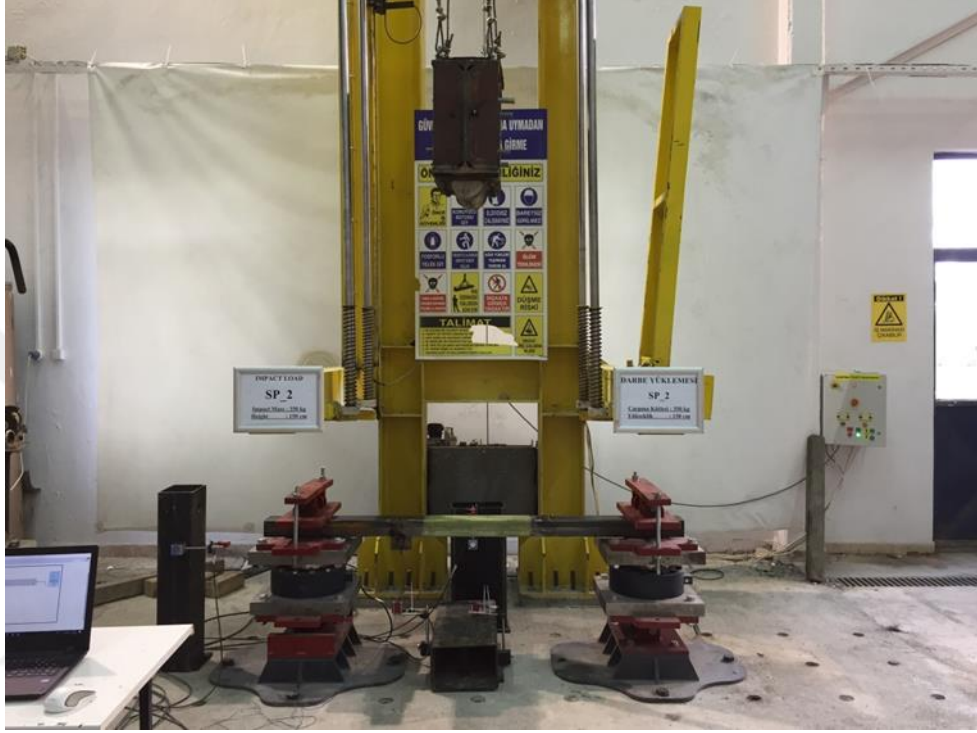
Şekil 3.5. Deney numunesi



Şekil 3.6. Aramid fiberin profile yapıştırılması

Darbe deney düzeneği olarak, Sakarya Üniversitesi Yapı-Mekanik Laboratuvarında bulunan ve ağırlık düşürme yöntemi ile darbe yükünün simüle edildiği yükün serbest düşme ile bırakılması ile çalışan bir darbe deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 3.7.). Düzenek ana taşıyıcı sistemi, tüm sistemin çekiç yükünün ve deney esnasında oluşacak dinamik darbe yükünün tüm yükleme etkilerini taşıyan iki adet IPE300 kolonunun M36 bulonları ile yere ankastre olarak bağlanması ile oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde bulunan yük 10cm'den 200cm yüksekliğe çıkarılabilmekte ve vurma başlığı değiştirilerek değişik ağırlıklar kullanılabilmektedir. Deneyde kullanılan dairesel vurma başlığının ağırlığı 350 kg olup, deneyde kullanılan tüm numunelerde yükün düştüğü yükseklik ve ağırlık sabit tutulmuştur. 350 kg ağırlığındaki yük, 150 cm yüksekliğine elektrikli hidrolik ile çıkarılarak ve istenilen yükseklik dijital metre ölçer ile çekicinin numuneye vurduğu nokta dikkate alınarak ölçülmektedir. Deneyde 2 adet ivme ölçer kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi deney numunesine diğeri deney vurma başlığına (drop hammer) özel çelik aparatların kaynaklanması ile monte

edilmiştir. İvme ölçerler numuneye yerleştirilirken vurma başlığının düştüğü doğrultuda olmasına dikkat edilmiştir. Deney numuneleri test edilirken ivme ölçerlerden alınan bilgiler veri toplayıcı ile bilgisayarda toplanmış daha sonra elde edilen veriler bilgisayar programları yardımı ile işlenmiştir.



Şekil 3.7. Deney Düzeneği

Düzeneğin, bilgisayar ortamında dinamik ve statik analizi yapılarak tasarımı yapılmıştır. Düzenekte oluşabilecek olası sistem tepkime yüklemeleri de dikkate alınarak imalatı yapılmıştır. Düzenek elemanları, ihtiyaç durumuna göre cıvata ve kaynak birleşim araçları kullanılarak modellenmiş ve imal edilmiştir.

Çelik yapılarda uygulamada yaygın olarak kullanılan kiriş modeli basit kirişlerdir. Bu nedenle deneysel çalışmada kullanılan kiriş, basit kiriş olarak tasarlanmıştır. Basit kirişler her iki ucundan, birleşim araçları ile moment aktarmayacak şekilde, bağlanmış kirişlerdir. Ancak her iki ucuna moment aktarmayacak şekilde tasarlanmasına karşın eğilme düzlemindeki bu hareket farklı olarak tanımlanmaktadır. Kiriş uçlarının hareket düzlemindeki bu hareket farklılığı nedeni ile kirişin bir ucu sabit ve bir ucu kayıcı mesnet olarak adlandırılır. Deney düzeneğinde Sakarya Üniversitesi Yapı ve Mekanik

Laboratuvarında daha önceden tasarlanmış olan sabit ve kayıcı mesnet koşullarını simüle edebilecek mesnet düzenekleri kullanılmıştır. Mesnet düzeneklerinde mesnet tepkilerini ölçmek amacı ile her bir mesnete yük hücresi yerleştirilmiştir (Şekil 3.8.).



(a) Hareketli Mesnet

(b) Sabit Mesnet

Şekil 3.8. Basit Kiriş Mesnet Modelleri

Basit kiriş sınır şartları sabit ve kayıcı mesnet olarak deney düzeneğinde oluşturulmuştur. Daha sonra deneysel çalışmada kullanılan çelik kiriş eleman, deney düzeneğine yerleştirilmeden önce, deney esnasında kiriş elemandan ivme kayıtlarını almayı sağlayacak ve numune üzerine ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Yerleştirilecek ivmeölçer için, bir civata yatak kiriş alt orta noktasına, çekiç yükün vuracağı nokta hizasına kaynaklanmıştır. Daha sonra bağlantılar kontrol edilerek kiriş eleman deney düzeneğine yerleştirilerek deneye hazır hale getirilmiştir.

### 3.3. Deneyde Kullanılan Veri Alma Cihazları

Gerçek hayatta karşılaşılabilecek yük etkilerinin yapı elemanı üzerinde oluşturabileceği hareketi simüle etmek için mekanik uyarma sağlayacak cihazlar olduğu gibi, deneysel olarak incelenen elemanların maruz kaldığı etkiler karşısında gösterdiği performansı ölçmek için de cihazlar üretilmiştir. Bu çalışmada da darbe yükünü simüle etmemizi sağlayan deney düzeneği ile birlikte, yük etkisi altında eleman davranışını analiz edebilmek için ölçüm cihazları kullanılmıştır.

### 3.3.1. İvme ölçer ve veri alma kablosu

Gerçekleştirilen deneyde, darbe yükü zaman ve konuma bağlı olarak değişkenlik arz eden dinamik karakterli yük etkisi incelendiğinden, literatürden hareketle, gerek çekiç yükünden gerekse deney numunesinden anlık ivme kaydı alınmasının uygun olduğu düşünülmüştür. Bunu için iki adet PCB-PIEZOTRONICS marka iki adet genel amaçlı tek eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Bu ivme ölçerler, titreşim kontrollü olup deney numunesinin bu testlere verdiği tepkiyi analiz etmek için gereken ölçüm sinyallerini sağlamak için kullanılmıştır. İvme ölçerler, ucunda seramik algılama elemanı bulunan, ortalama ( $\pm\% 10$ ) 10 mV/g hassasiyete sahip titreşim ölçüm cihazlarıdır. 1 ila 10000 Hz aralığında 0.0005 g rms geniş bant çözünürlüğüne ve  $\pm 5g$  ivme ölçüm aralığına sahiptir.  $\pm\% 5$  hata payı ile 0.5 ila 10000 Hz aralığında frekans ölçümü yapabilecek kapasitededir (Şekil. 3.9.).

İvme ölçerleri veri toplama ünitesine bağlayan aynı firmadan tedarik edilmiş iki adet kablo kullanılmıştır. Deney numunesinde düşük gürültü kapasiteli mavi TFE ceketli ( $\pm\% 2$ ) 15 m uzunluğunda ve bir ucunda BNC fiş diğer ucunda 10-32 koaksiyonel fiş bulunan kablo kullanılmıştır. Çekiç üzerine tutturulan ivme ölçer ise genel amaçlı beyaz TFE ceketli koaksiyonel kablo ile veri alma ünitesine bağlanmış olup, kablonun uzunluğu ( $\pm\% 2$ ) 15 m civarında ve numunedeki kabloya benzer olarak kablonun bir ucunda BNC fiş diğer ucunda 10-32 koaksiyonel fiş bulunmaktadır. BNC tipi bağlayıcı fiş ve ortak eksenli fişlerin ürün özellikleri Tablo 3.4.'te , veri alma kabloları ürün özellikleri Tablo 3.5.'te verilmiştir.



İvme Ölçer





Numune İvme Ölçerini Veri Alma Ünitesine Bağlayan Kablo



Çekiç İvme Ölçerini Veri Alma Ünitesine Bağlayan Kablo

Şekil 3.9. Kullanılan ivme ölçer ve kablolar [24].

Tablo 3.4. Kablo Uçlarındaki Bağlayıcı Fişler ve Ürün Özellikleri [24]

PERFORMANS		
Bağlayıcı Stili	BNC	BNC
Bağlayıcı Stili	Ortak Eksenli	Ortak Eksenli
Bağlantı Türü	Fiş(Erkek Plan)	Fiş(Erkek Plan)
Birleştirme Yöntemi (Kilitleme)	Süngü	Süngü
Gerilim Giderici	Kalıplı Önyüklemeye	Kalıplı Önyüklemeye
ÇEVRE		
Sıcaklık Aralığı	-85 ile 329° F	-65 İLE +165 °C
ELEKTİRİK		
Empedans	50 Ohm	51 Ohm
Yalıtım Direnci	5000 Mohm	5001 Mohm
FİZİKSEL		
ROHS Uyumlu	Evet	Evet
Ev Materyalleri	Pirinç	Pirinç
Bitiş	Nikel Kaplı	Nikel Kaplı
Boyut-OD	57 inç	14 mm
Boyut-Uzunluk	1.1 inç	28 mm
Ağırlık	0.51 oz	14 gr
 <p>BNC Tipi Bağlayıcı Fiş</p>		
PERFORMANS		
Bağlayıcı Stili	Ortak Eksenli	Ortak Eksenli
Bağlantı Türü	Fiş(Erkek Plan)	Fiş(Erkek Plan)
Birleştirme Yöntemi (Kilitleme)	Dışli	Dışli
Bağlantı İpliği	10-32 Kadın	10-32 Kadın
Gerilim Giderici	Kalıplı Önyüklemeye	Kalıplı Önyüklemeye
 <p>Ortak Eksenli 10-32 Koaksiyonel Bağlantı Fişi</p>		
ÇEVRE		
Sıcaklık Aralığı	-320 ile 500° F	-196 İLE +260° C
FİZİKSEL		
ROHS Uyumlu	Evet	Evet
Boyut-OD	0.25 inç	5,4 mm
Boyut-Uzunluk	0.94 inç	24 mm
Ağırlık	0.1 oz	2 gr



Tablo 3.5. Veri Alma Kabloları Ürün Özellikleri [24]

<b>PERFORMANS</b>		
İletken Sayısı	1	1
Kablo Tarzı	Koaksiyel-Düşük Gürültü	Koaksiyel-Düşük Gürültü
<b>ÇEVRE</b>		
Sıcaklık Aralığı	-320-+500°F	-196-+260°C
Çekme Dayanımı	75lb	330 N
<b>ELEKTİRİK</b>		
Empedans (-2,+2 Ohm)	50 Ohm	50 Ohm
Kapasite (-2,+2 pF/ft)	30 pF/ft	99 pF/m
İzolasyon Direnci (@50V @68 F)	>1 Tahm	>1 Tahm
Gürültü Seviyesi(pk-pk)	≥3 mV	≥3 mV
<b>FİZİKSEL</b>		
Kablo Çeketi Çapı	0,079 inç	2,01 inç
Kablo Çeket Malzemesi	TFE	TFE
Kablo Çeket Rengi	Mavi	Mavi
İletken Tarzı	Katı	Katı
İletken Malzeme	Nikel Kaplı Bakır Kaplı Çelik	Nikel Kaplı Bakır Kaplı Çelik
İletken Çapı (29 AWG)	0.011 inç	0.279 inç
İletken Aşırı İletken Malzeme	Eksrüde TFE	Eksrüde TFE
Blandaj Tipi Aşırı İletken(ler)	Örgü: %90 Minimum Kapsama	Örgü: %90 Minimum Kapsama
İletken(ler) Üzerine Ekran Kalkanı	Nikel Kaplama Tel	Nikel Kaplama Tel
Düşük Gürültü Bariyeri Malzemesi (Aşırı İletken)	Sıvı Grafit	Sıvı Grafit
Düşük Gürültü Bariyeri Malzemesi (İzolator Üzeri)	Grafit Emprenyeli PTFE Bant	Grafit Emprenyeli PTFE Bant
Bükülme Yarıçapı	1 inç	25,4 inç
Ağırlık	0.1 oz/ft	9.5 gm/m
<b>PERFORMANS</b>		
İletken Sayısı	1	1
Kablo Tarzı	Ortak Eksenli	Ortak Eksenli
<b>ÇEVRE</b>		
Sıcaklık Aralığı	-130 ile +400 ° F	-90 ile +204 ° C
Çekme Dayanımı	50 lb	220 N
<b>ELEKTİRİK</b>		
Empedans (-2,+2 Ohm)	50 Ohm	50 Ohm
Kapasitans	29 pF/ft	95 pF/m
<b>FİZİKSEL</b>		
Kablo Çeketi Çapı	0,075 inç	1,9 mm
Kablo Çeket Malzemesi	FEP	FEP
Kablo Çeket Rengi	Beyaz	Beyaz
İletken Tarzı	Telli-7 Telli38 AWG	Telli-7 Telli38 AWG
İletken Malzeme	Gümüş Kaplama Bakır Kaplı Çelik	Gümüş Kaplama Bakır Kaplı Çelik
İletken Çapı (30 AWG)	0.012 inç	0.305 mm
İletken Aşırı İletken Malzeme	Eksrüde PTFE	Eksrüde PTFE
Blandaj Tipi Aşırı İletken(ler)	Örgü: 95 % Minimum Kapsama	Örgü: 95 % Minimum Kapsama
İletken(ler) Üzerine Ekran Kalkanı	Gümüş Kaplama Tel	Gümüş Kaplama Tel
Bükülme Yarıçapı	0.8 inç	20 mm
Ağırlık	0.1 oz/ft	9.23 gm/m

### 3.3.2. Yük hücresi (Load Cell)

Deney düzeneğinde, basit kiriş olarak tasarlanan deney numunesinin, mesnet platformlarının üzerine, mesnet tepkilerini ölçmek amacıyla 200 ton kapasiteli yassı tip yk hücresi yerleştirilmiştir (şekil 3.10.).



şekil 3.10. Yassı Tip Yük Hücresi

Yük hücresi elektronik terazi tedarikçisi ve reticisi CAS şirketler topluluğunun ürünü olup, yk hücresinin teknik bilgileri Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Yük Hücresi Teknik Bilgileri

Model	Ls
Kapasite	200 Ton
Malzeme	Boyalı Çelik
Tam Yükleme Çıkış Voltajı	$2.0 \pm 0.005$ Mv/V
Yüksüz Çıkış Voltajı	$0 \pm 0.02$ Mv/V
Giriş Direnci	$350 \pm 3.5$ $\Omega$
Çıkış Direnci	$350 \pm 3.5$ $\Omega$

### 3.3.3. lçm ve kontrol sistemi

lçm ve Kontrol Sistemleri, deney verilerini ölçmeye, toplamaya ve analiz etmeye yardımcı olan sistemlerdir. Bu çalışmada NATIONAL INSTRUMENTS firmasına ait CompactDAQ lçm ve kontrol sistemleri kullanılmıştır. CompactDAQ sistemleri mühendislik çalışmalarında, her alan için, ihtiyaa göre özelleştirilebilir çözümler önerilmiştir. Yani yapılan çalışmanın içeriğine, ortam ve koşullarına ve çalışmadan beklentilere göre, her çalışmaya zel CompactDAQ kasa içinde veya ayrı modüller şeklinde tasarlanabilir.

### 3.3.3.1. CompactDAQ kasa

CompactDAQ Kasa, USB bağlantısı özelliğine sahiptir ve çeşitli deneylerde kullanmak için ve kullanılacak deneylerde doğru sayıda Giriş(G)/Çıkış(Ç) sağlamak için birden fazla slot girişine sahiptir. Kullanılacak deneylerde analog G /Ç, dijital G/Ç ve sayaç/zamanlayıcı ölçümlerinin hepsini bir arada almayı sağlayabilmek için kasa, firmanın üretmiş olduğu C Serisi G / Ç modüllerinin bir kombinasyonu şeklinde tasarlanmıştır. Tüm modüller, kasanın arka panelindeki donanım saati tarafından otomatik olarak algılanır ve senkronize edilmektedir. Böylece birbirinden bağımsız oranlarla aynı anda birden fazla modülün, zamana bağlı işlem kaydı yürütebilmesine izin verilmektedir [25] (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. CompactDAQ Kasa [25].

### 3.3.3.2. Veri alma ve sayısallaştırma modülleri

Veri Alma Giriş-Çıkış Modülleri, üretici firma tarafından her tür voltaj ölçümü yapabilmek için yeterli kanal sayısı, çözünürlük ve sinyal akımı alma hızına sahip bir şekilde tasarlanmıştır. Giriş Modülleri; güvenlik, gürültü ayrıştırma ve yüksek voltaj aralığı için birbirinden ve kasanın ayrı olarak izole edilmişlerdir. Çıkış Modülleri, aşırı voltaj koruması, kısa devre koruması, hızlı veri kaydı dönüş hızı, yüksek bağıl hassasiyet, kendi kendini kalibre etmek gibi özelliklere sahiptir [25] (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Veri ve Sayısallaştırma Modülleri [25].

### 3.4. Darbe Deneyi

Deney düzeneği Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi hazırlanmış, deney numunesi ve deney verileri ölçüm cihazları sisteme uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan dairesel vurma başlığının ağırlığı 350 kg ve çekiç yüksekliği 150 cm olup, deneyde kullanılan tüm numunelerde yükün düştüğü yükseklik ve ağırlık sabit tutulmuştur. Deney numunesi çekiç yükü tam açıklık ortasından vuracak şekilde iki mesnet arasına yerleştirilmiştir. 350 kg ağırlığındaki yük, 150 cm yüksekliğine elektrikli hidrolik ile çıkarılmakta ve istenilen yükseklik dijital metre ölçer ile çekicinin numuneye vurduğu nokta dikkate alınarak ölçülmektedir. Deneyde 2 adet ivme ölçer kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi deney numunesine diğeri deney vurma başlığına özel çelik aparatların kaynaklanması ile monte edilmiştir. İvme ölçerler numuneye yerleştirilirken vurma başlığının düştüğü doğrultuda olmasına dikkat edilmiştir. Deney numuneleri test edilirken ivme ölçerlerden alınan bilgiler veri toplayıcı ile bilgisayarda toplanmış daha sonra elde edilen veriler bilgisayar programları yardımı ile işlenmiştir.

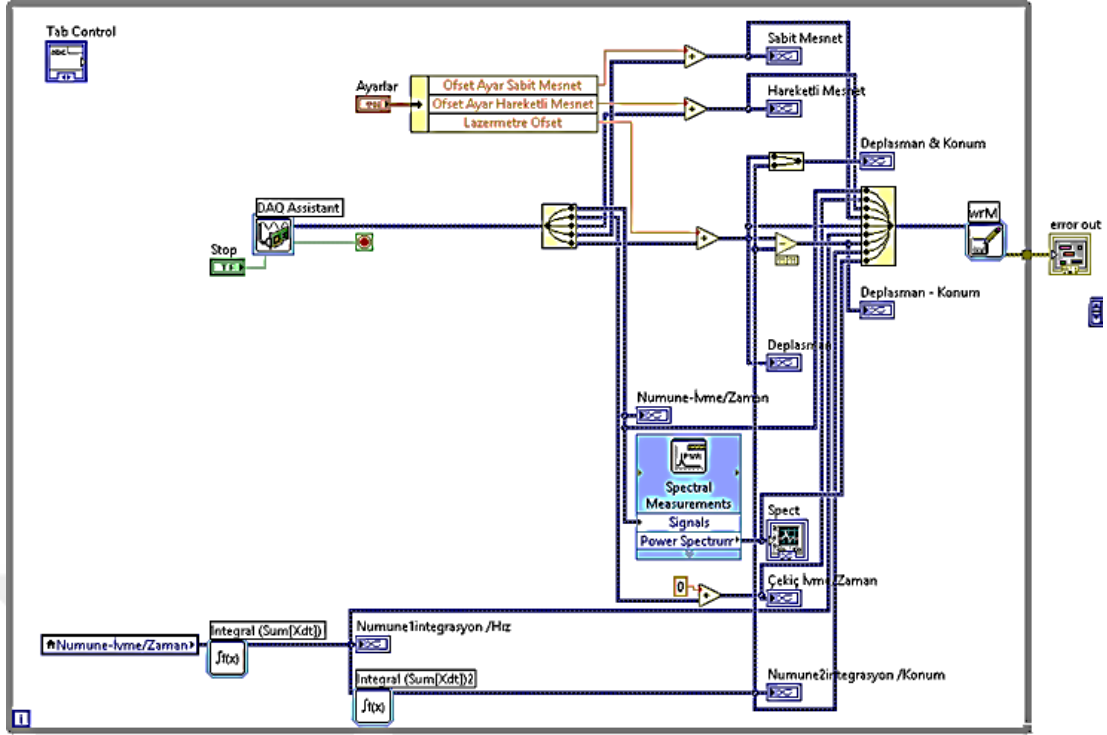


Şekil 3.13. Deney Düzeneği

Deney düzeneği elektrikli kontrol paneli aracılığıyla çekiç yükü emniyet kilidinin açılması ile çekicinin serbest düşme hareketi yaparak numuneye çarpması sağlanmıştır.

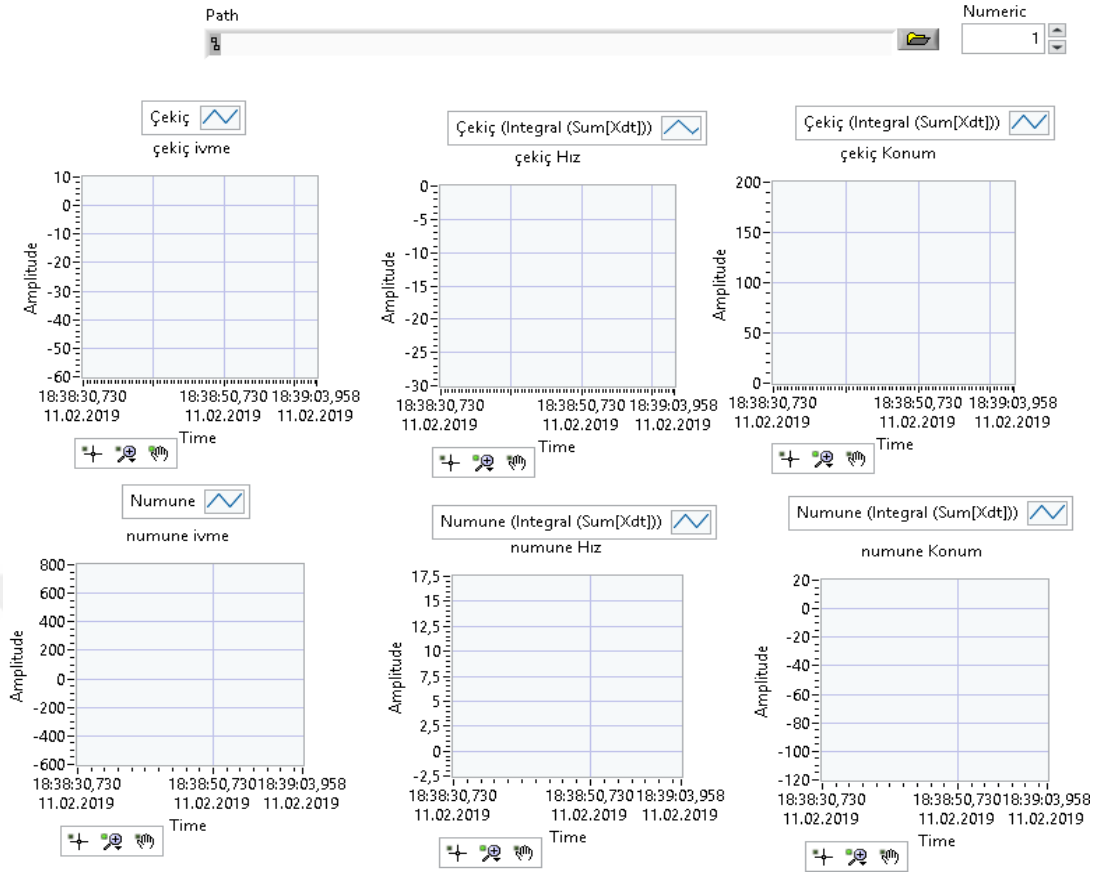
### 3.5. Veri Alma ve Verilerin İşlenmesi

Verilerin alınması ve işlenmesinde, National Instruments firmasının geliştirmiş olduğu LabVIEW yazılım platformu kullanılmıştır. Sinyal işlemede yaygın olarak kullanılan LabVIEW yazılım platformu, diğer programlama dillerinden farklı olarak görsel ara yüze sahip bir programlama dilidir. İçinde pek çok sayısal analiz ve grafiksel analiz bulunan görsel ara yüz kullanılarak deney esnasında veri alma ünitesine gelen sinyallerin bilgisayar ortamına sayısallaştırılarak doğrudan aktarılması için bir algoritma oluşturulmuştur (Şekil 3.14.).



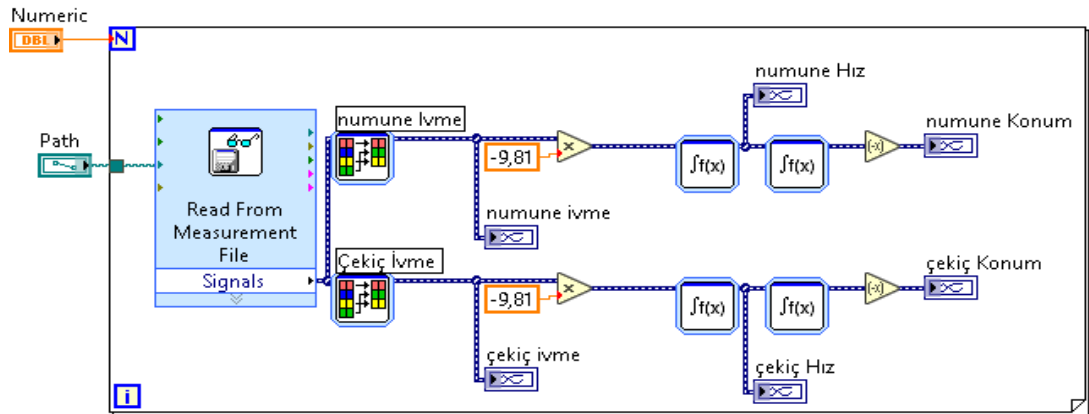
Şekil 3.14. LabVIEW- Veri Alma Algoritması

Bu yazılım, deney düzeneğindeki ivmeölçer, loadcell ve deplasman ölçerlerden, deneyin gerçekleştirilmesi esnasında alınan verilerin, anlık olarak işlenmesi sağlayarak, veri alma sisteminde meydana gelebilecek aksamaların ve alınan verilerin gerçekçi ve sağlıklı olup olmadığının hemen tespitini sağlayacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 3.15).



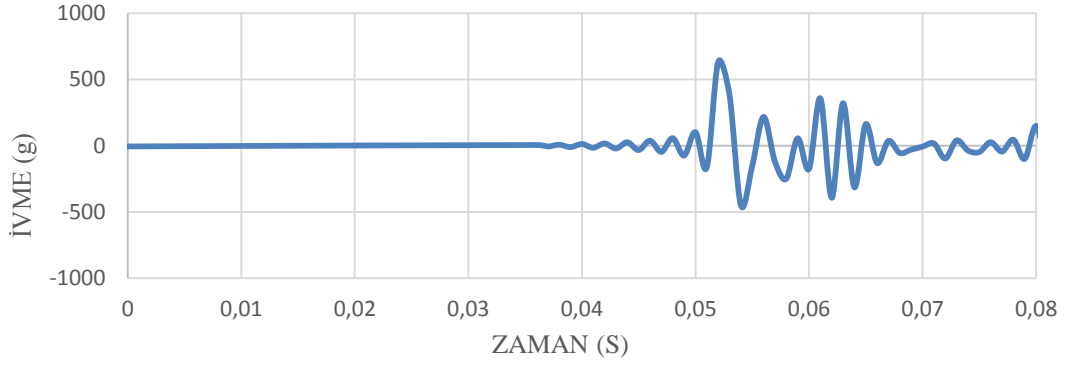
Şekil 3.15. LabVIEW- Veri Alma Algoritması Arayüzü

$6,05 \times 10^{-4}$  sn aralıklarla 1 sn de 25000 data alacak şekilde gerçekleştirilen yazılım ile elde edilen ve deney sonrasında kaydedilmiş olan data dosyaları LabVIEW tabanlı ikinci yazılım vasıtasıyla yeniden analiz edilmiştir (Şekil 3.16.).

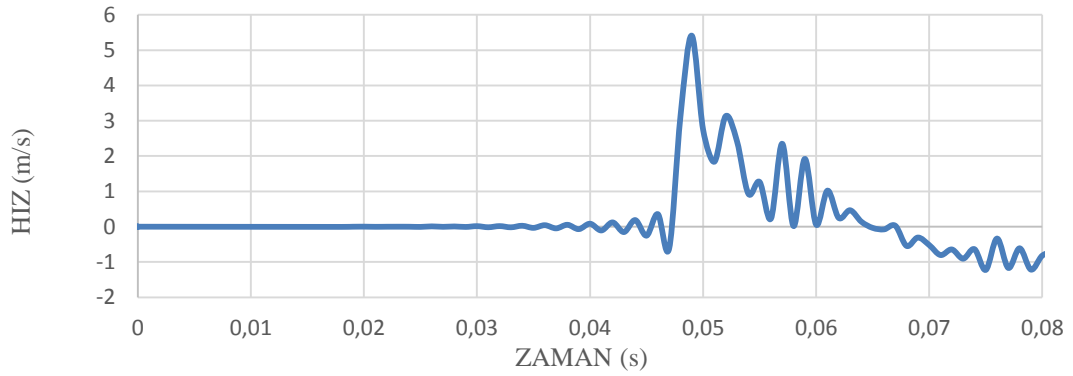


Şekil 3.16. LabVIEW- Veri İşleme Algoritması

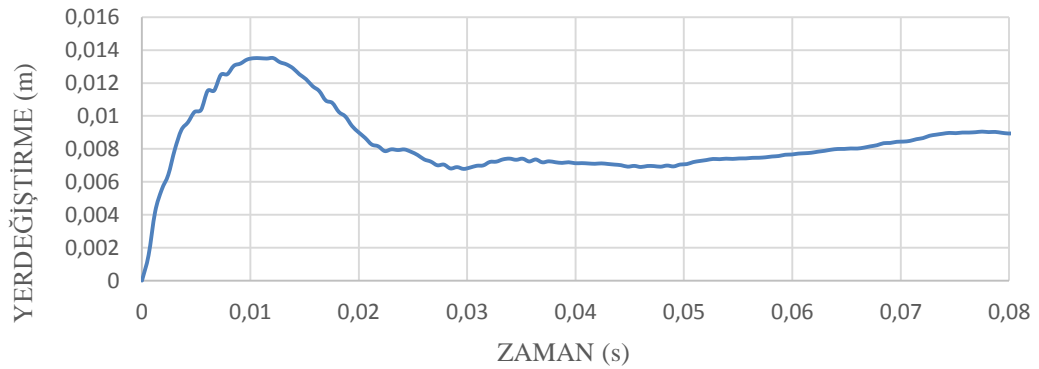
LabVIEW programı sayesinde analiz sonucu anında deney numunesine ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman grafikleride elde edilmiştir (şekil 3.17., şekil 3.18., şekil 3.19).



şekil 3.17. Deney numunesinin ivme-zaman grafiği



şekil 3.18. Deney numunesinin hız-zaman grafiği



şekil 3.19. Deney numunesinin yer değiştirme-zaman grafiği



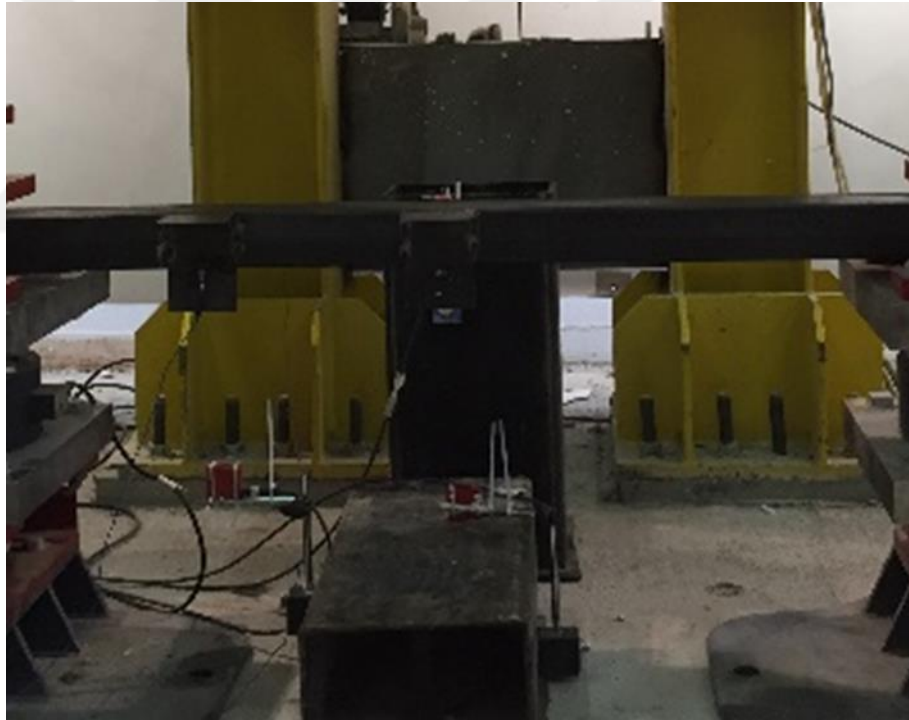
## **BÖLÜM 4. DENEY NUMUNELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

### **4.1. Referans Numune**

Bu deneyimizde 120x80x3mm ebatlarında 2000mm uzunluğunda S235 çelik kalitesinde ki çelik profil kullanılmıştır. Hazırlamış olduğumuz deney düzeneğinde 350 kg ağırlığında dairesel başlıklı çekiç yükü 150 cm yüksekliğe çıkartılarak profilin tam orta noktasına düşecek şekilde hizalanmıştır. Çelik profil bir ucu sabit mesnette diğer ucu da hareketli mesnette olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney düzeneği hazırlandıktan sonra 350 kg yükün emniyet kilidi açılarak yük serbest bırakılmıştır. Çarpma anında çekiç ile kiriş numunesiyle teması kesilip yukarı sekmeden hemen önce profil açıklığının orta noktasının 39,45 mm deplasman yaptığı görülmüştür. Profilden alınan ivme değerlerine göre, maksimum ve minimum olarak sırasıyla 800g ve -590g değerlerini göstermiştir. Hazırlamış olduğumuz deney düzeneği Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Deney öncesi ve sonrasında da görüldüğü gibi Şekil 4.2., Şekil 4.3 deplasman uzunluğu diğer numunelere oranla daha fazladır. Deney düzeneğine yerleştirilen loadcell, deplasman ölçer ve ivme ölçerlerden alınan veriler ile hız-zaman, deplasman-zaman ve ivme-zaman zaman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12.).



Şekil 4.1. Deney düzeneği



Şekil 4.2. Deney öncesi

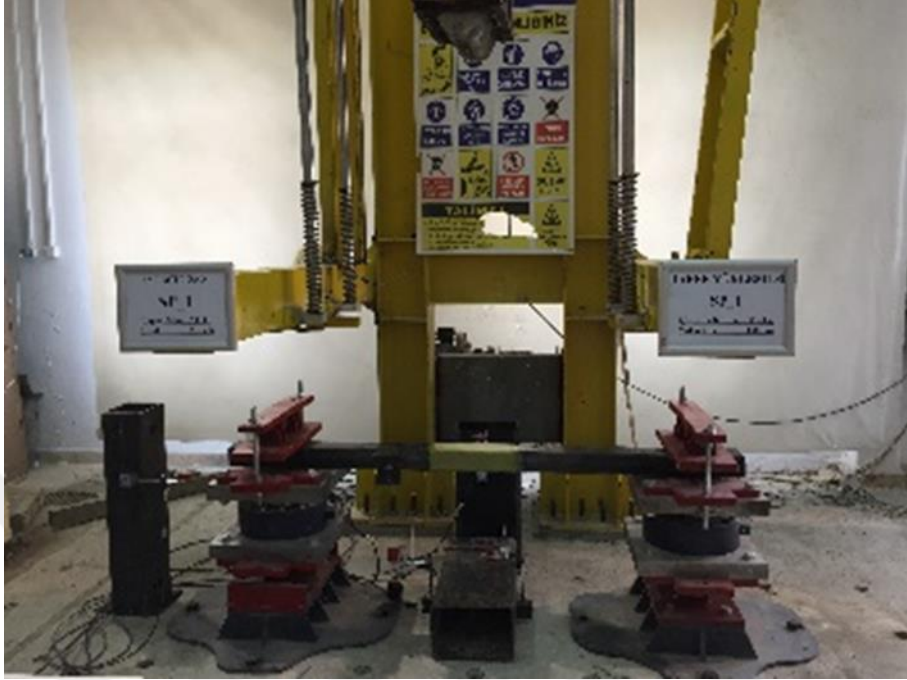


Şekil 4.3. Deney sonrası

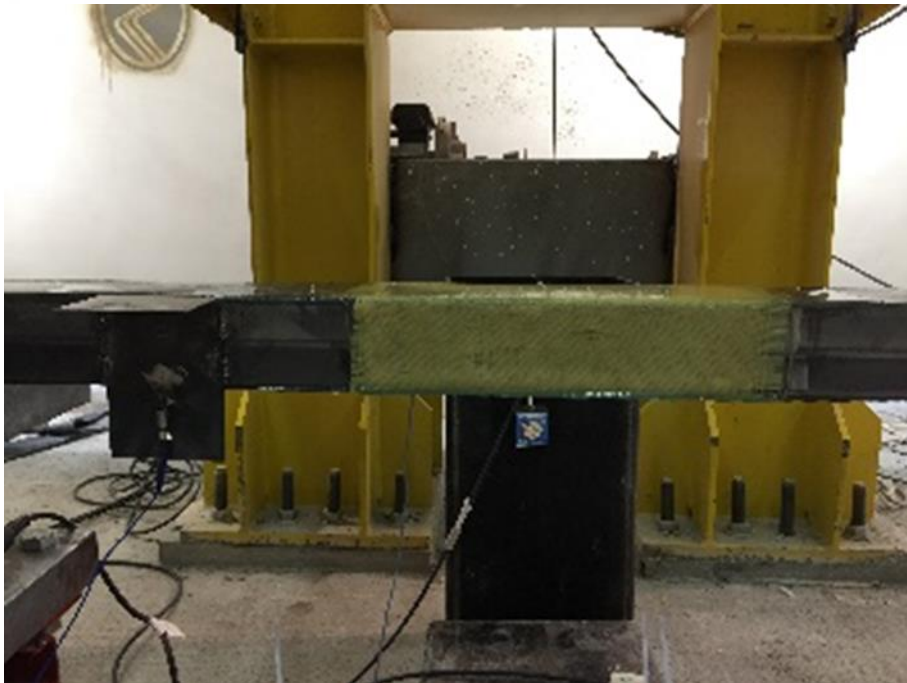
#### 4.2. Örnek Numune 1 (SP1)

Bu deneyimizde 120x80x3mm ebatlarında 2000mm uzunluğunda S235 çelik kalitesinde ki çelik profilli tam orta noktasından sağa ve sola 15 er cm gelecek şekilde orta bölgede toplamda 30 cm'lik aramid fiber malzemesi yapıştırılarak oluşturulmuştur. Hazırlamış olduğumuz deney düzeneğinde 350 kg ağırlığında dairesel başlıklı çekiç yükü 150 cm yüksekliğe çıkartılarak profilin tam orta noktasına düşecek şekilde hizalanmıştır. Çelik profil, bir ucu sabit mesnette diğer ucu da hareketli mesnette olacak şekilde deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney düzeneği hazırlandıktan sonra 350 kg yükün emniyet kilidi açılarak darbe meydana getirilmiştir. Çarpma anında deney numunesi ile çekicinin teması kesilip yukarı sekmeden hemen önce profil açıklığının orta noktasının 30,11 mm deplasman yaptığı görülmüştür. Profilden alınan ivme değerlerine göre, maksimum ve minimum olarak sırasıyla 645g ve -450g değerlerini göstermiştir. Hazırlamış olduğumuz deney düzeneği Şekil 4.4.'de gösterilmiştir. Deney öncesi ve sonrasında da görüldüğü gibi Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da deplasman uzunluğu diğer numunelere oranla daha azdır. Deney düzeneğine yerleştirilen loadcell, deplasman ölçer ve ivme ölçerlerden alınan veriler ile hız-zaman,

deplasman-zaman ve ivme-zaman zaman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12.).



Şekil 4.4. Deney düzeneğindeki



Şekil 4.5. Deney öncesi



Şekil 4.6. Deney sonrası

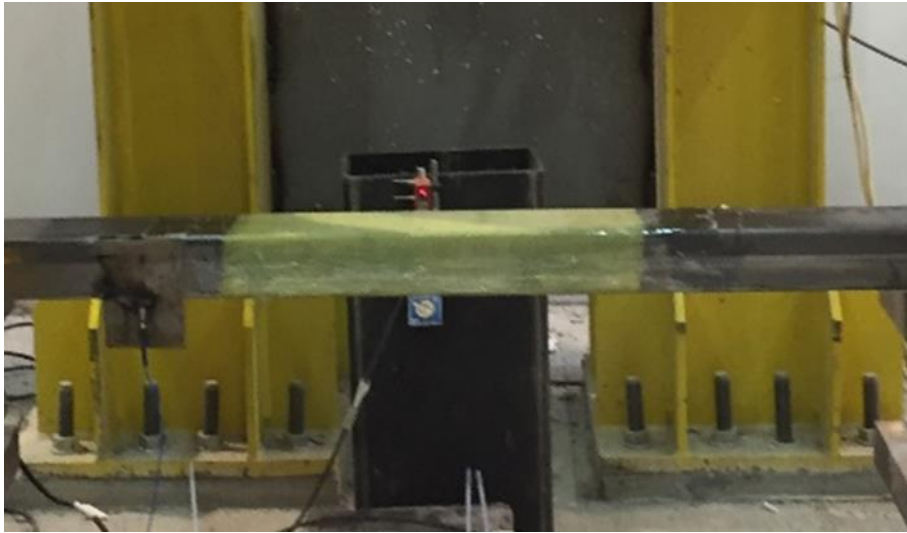
#### 4.3. Örnek Numune 2(SP2)

Bu deneyimizde 120x80x3mm ebatlarında 2000mm uzunluğunda S235 çelik kalitesinde ki çelik profilli tam orta noktasından sağa ve sola 30 ar cm gelecek şekilde orta bölgede toplamda 60 cm uzunluğunda aramid fiber malzemesi yapıştırılarak oluşturulmuştur. Hazırlamış olduğumuz deney düzeneğinde 350 kg ağırlığında dairesel başlıklı çekiç yükü 150 cm yüksekliğe çıkartılarak profilin tam orta noktasına düşecek şekilde hizalanmıştır. Çelik profil bir ucu sabit mesnette diğer ucu da hareketli mesnette yerleştirilmiştir. Deney düzeneği hazırlandıktan sonra 350 kg yükün emniyet kilidi açılarak darbe meydana getirilmiştir. Çarpma anında çekiç ile teması kesilip yukarı sekmeden hemen önce profil açıklığının orta noktasının 34,45 mm deplasman yaptığı görülmüştür. . Profilden alınan ivme değerlerine göre, maksimum ve minimum olarak sırasıyla 720g ve -320g değerlerini göstermiştir. Hazırlamış olduğumuz deney düzeneği Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Deney öncesi ve sonrasında da görüldüğü gibi (Şekil 4.8., Şekil 4.9.) deplasman uzunluğu aramid fiber uygulaması olmayan referans numunesine oranla daha az fakat 30 cm uygulanan SP1 numunesine göre daha fazla deplasman oluşturmuştur. Bu durum, geniş uzunlukta aramid fiber kullanımının değil etkin alanda kullanımının önemli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Deney düzeneğine

yerleştirilen loadcell, deplasman ölçer ve ivme ölçerlerden alınan veriler ile hız-zaman, deplasman-zaman ve ivme-zaman zaman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12.).



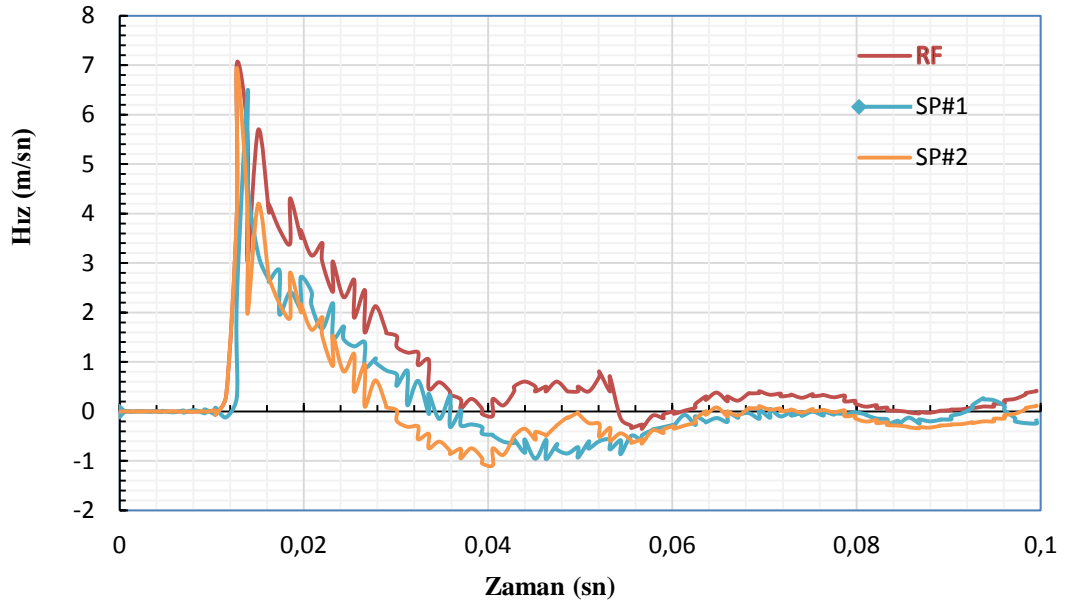
Şekil 4.7. Deney düzeneği



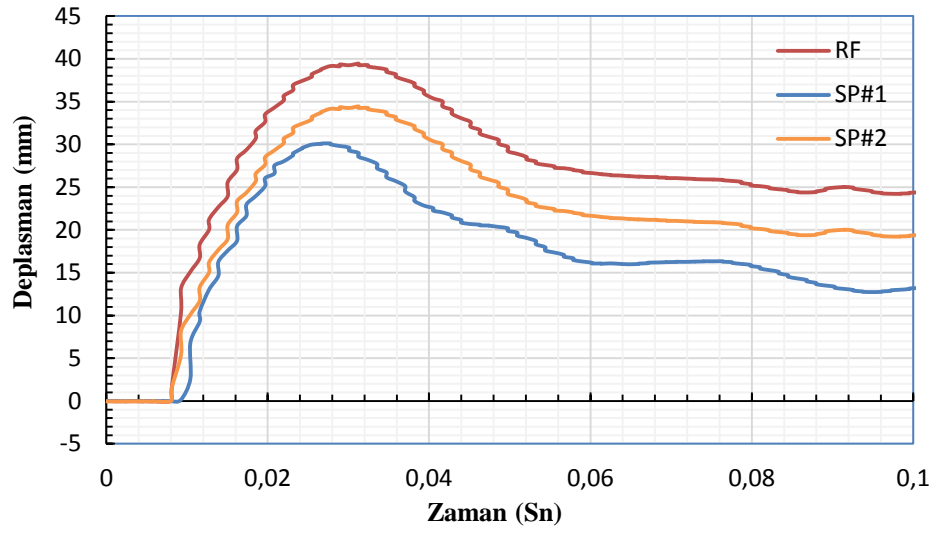
Şekil 4.8. Deney öncesi



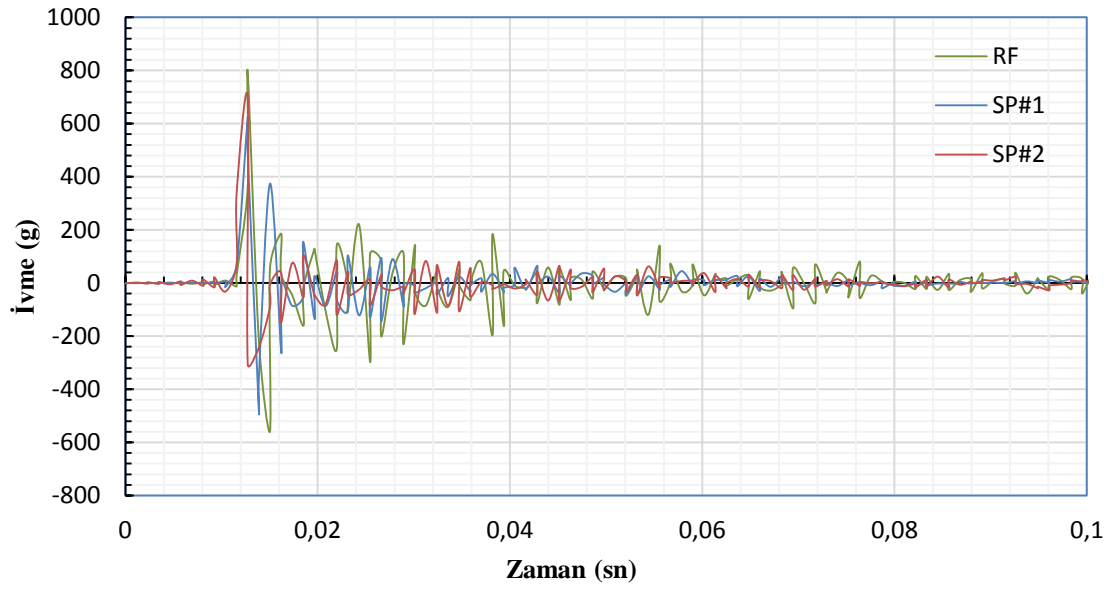
Şekil 4.9. Deney sonrası



Şekil 4.10. Hız-Zaman Grafığı



Şekil 4.11. Deplasman-Zaman Grafiği



Şekil 4.12. İvme-Zaman Grafiği



## **BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu bölümde, sonuçlar kısmında, darbe deneyi sonucunda, çekiç ve numunelerdeki ivmeölçerlerden alınan kayıtlar kullanılarak araştırma yapılmıştır. Numuneden alınan ivme kaydının sayısal analizi ile hız-zaman ve konum zaman eğrileri elde edilmiştir.

### **5.1. Sonuçlar**

Dikdörtgen kesitli çelik profilin, aramid fiberle güçlendirilmiş kompozit haliyle darbe etkisi altında karşılaştırıldığında, aralarındaki önemli farklar ortaya çıkmıştır. Aramid fiber ile güçlendirilen kompozit elemanın darbe yükü altındaki dayanımının arttığı, enerji sönümlene kapasitesi ve enerji kapasitesi artmakta bununla birlikte deplasman değeri azalmaktadır.

Ayrıca çalışmada elemanın göçme davranışında etkili olan profile yapıştırılan aramid fiberin uzunluğunun değil, profilin akma dayanımının olduğu ortaya çıkmıştır. Yani aramid fiber ile yapılmış güçlendirmeyi ne kadar artırırsak artıralım, güçlendirilmiş çelik profilin akma değeri değişmediği için elemanın darbe etkisi altındaki dayanımına etkisi olmamaktadır.

Güçlendirilmemiş çelik profilin enerji sönümlene kapasitesi az olduğu için darbe karşısında daha fazla deplasman oluşmaktadır. Çelik profilin belli bir bölgesine aramid fiber uygulamasının yapılması gelen darbe yükünün bir kısmının sönümlenerek yükün mesnetlere homojen dağılmasını sağlamaktadır. Bu durum aramid ile güçlendirilmiş elemanın mesnet tepki değerlerinde çok az azalma olduğunu göstermiştir.

RF, SP#1, SP#2 kirişlerinde oluşan deplasman değerleri sırası ile 39,45mm-30,11mm ve 34,45mm'dir. Güçlendirilmiş kompozit deney numunesinde oluşan deplasman

değerleri sırası ile Referans deneyi ile karşılaştırıldığında deplasman değerinde %23 - %12,6 oranında azalma meydana gelmektedir. SP#2 numunesinde aramid fiber oranı daha fazla olmasına rağmen daha fazla deplasman yapmıştır. Bu durum darbe gibi belli bir noktaya uygulanmış yüklemelerde, belli bir orandaki aramid fiberden sonra, güçlendirmede aramid fiberin çalışmadığını göstermektedir.

RF, SP#1, SP#2 kirişlerinde oluşan ivme değerleri sırası ile 789,625,697g'dir. Güçlendirilmiş kompozit deney numunesinde oluşan ivme değerleri sırası ile Referans deneyi ile karşılaştırıldığında ivme değerinde %20 -%12 oranında azalma meydana gelmektedir.

RF, SP#1, SP#2 kirişlerinde oluşan hız değerleri sırası ile 7,03m/sec - 6,44m/sec ve 6,44m/sec'dir. Güçlendirilmiş kompozit deney numunesinde oluşan hız değerleri sırası ile Referans deneyi ile karşılaştırıldığında hız değerinde %9oranında azalma meydana gelmektedir.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada bir yapı elemanı olarak çelik bir kiriş ve farklı uzunluklarda aramid fiber ile güçlendirilmiş kirişin dinamik karakterli darbe yükü etkisi altındaki davranışını ağırlık düşürme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada 2 farklı aramid uzunluğunun dayanıma gösterdiği etki araştırılmıştır. Ancak deney numunelerinin en kesitleri değiştirilerek, farklı darbe yükleri, farklı uzunlukta ve farklı kalınlıkta aramid kullanarak çalışmanın geliştirilmesi mümkündür.

Bu çalışmada görüldüğü gibi aramid fiber malzemenin çelik kirişteki enerji sönmeme kapasitesini artırdığı ve deformasyonu azalttığı görülmüştür. Çelik elemanlı yapıların ani darbe yükleri karşısında epoksi-aramid-çelik bileşim bölgelerinin özelliği önemlidir. Bu yüzden birleşim bölgesine farklı uygulamalar yaparak bu bölgenin davranışı incelenebilir.

## KAYNAKÇA

- [1] Öztürk, Ö. (2015). Poliüre matris malzemesi ve cam, aramid, karbon elyaf kumaş takviyeleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- [2] Park, R. ve Jang, J. (2001). Aramid fiber / cam elyaf hibrid kompozitlerin darbe davranışı: istifleme dizisinin etkisi. *Polimer kompozitler* , 22 (1), 80-89
- [3] Sugun, BS ve Rao, RMVGK (2004). Cam, karbon ve kevlar kompozitlerin düşük hız darbe karakterizasyonu, tekrarlı düşme testleri kullanılarak. *Takviyeli Plastikler ve Kompozitler Dergisi* , 23 (15), 1583-1599.
- [4] Salehi-Khojin, A., Mahinfalah, M., Bashirzadeh, R., & Freeman, B. (2007). Temperature effects on Kevlar/hybrid and carbon fiber composite sandwiches under impact loading. *Composite Structures*, 78(2), 197-206.
- [5] Wan, Y. Z., Chen, G. C., Huang, Y., Li, Q. Y., Zhou, F. G., Xin, J. Y., & Wang, Y. L. (2005). Characterization of three-dimensional braided carbon/Kevlar hybrid composites for orthopedic usage. *Materials Science and Engineering: A*, 398(1-2), 227-232.
- [6] Mazumdar, S. K., & Mallick, P. K. (1998). Static and fatigue behavior of adhesive joints in SMC□SMC composites. *Polymer composites*, 19(2), 139-146.
- [7] Karaca, D. (2010). Farklı Kalınlık ve Oryantasyon Yüzdelerindeki Tabakalı Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Enerjileri Altında Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Özenç, M. (2007). Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [9] Belingardi, G., Vadori, R., 2002, Low velocity impact tests of laminate glass-fiberepoxy matrix composite material plates, *International Journal of Impact Engineering*, 27:213-229.
- [10] Goglio, L. ve Rossetto, M. (2008). Farklı strey kombinasyonları altında yapısal yapıştırıcı eklemlerin darbe kopması. *Uluslararası Darbe Mühendisliği Dergisi* , 35 (7), 635-643.

- [11] Hosur, M., V., Abdullah, M., Jeelani, S., 2005, Studies on the low velocity impact response of woven hybrid composites. *Composite Structures*, 67: 253-262.
- [12] Taşkiran, C., 2010, Tabakalı Kompozit Levhaların Sıcaklığa Bağlı Düşük Enerjili Darbe Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [13] Tiberkak, R., Bachene, M., Rechak, S. ve Necib, B. (2008). Düşük hız etkisine maruz kalan kompozit plakalardaki hasar tahmini. *Kompozit Yapılar* , 83 (1), 73-82.
- [14] Erdem, Y. (2010). Çelik talaşı/silikon kompozit malzeme üretimi ve düşük hızlı darbe özelliklerinin deneysel incelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [15] Yang, F. J., & Cantwell, W. J. (2010). Impact damage initiation in composite materials. *composites science and technology*, 70(2), 336-342.
- [16] Bozkurt, L. (2011). Hibrit kompozit levhaların düşük hızlı darbe davranışı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [17] Sawa, T., Liu, J., Nakano, K. ve Tanaka, J. (2000). Çekme yüklerine maruz kalan benzer olmayan yapışmaların tek turlu yapışkanlı derzlerinin iki boyutlu bir gerilim analizi. *Adezyon Bilimi ve Teknolojisi Dergisi* , 14 (1), 43-66.
- [18] Higuchi, I., Sawa, T. ve Suga, H. (2002). Darbe bükülme momentlerine maruz kalan tek turlu yapışkanlı derzlerin üç boyutlu sonlu eleman analizi. *Adezyon bilimi ve teknolojisi Dergisi* , 16 (10), 1327-1342.
- [19] Zhang, R., Zhi, X. D., & Fan, F. (2018). Plastic behavior of circular steel tubes subjected to low-velocity transverse impact. *International Journal of Impact Engineering*, 114, 1-19.
- [20] Bambach, M. R., Jama, H., Zhao, X. L., & Grzebieta, R. H. (2008). Hollow and concrete filled steel hollow sections under transverse impact loads. *Engineering structures*, 30(10), 2859-2870.
- [21] Kantar, E., Arslan, A., & Anıl, Ö. (2011). Beton Dayanımındaki Değişimin Çarpma Davranışına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1).
- [22] Gültop, T., Yılmaz, M., & Alyavuz, B. (2015). Çarpma Yüğü Altındaki Rijit Plastik Kirişlerin Analitik Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1).
- [23] <https://www.kompozit.net/mgs-laminasyon-epoksi-seti-1160-h160-1-25kg-set-a-b>. Erişim Tarihi: 09/05/2019.
- [24] <https://www.pcb.com/products/productfinder.aspx?tx=21>. Erişim Tarihi: 09/05/2019.

[25] <http://www.ni.com/en-tr/shop/select/compactdaq-chassis>. Erişim Tarihi:  
09/05/2019.



## ÖZGEÇMİŞ

Esra BIYIKLIOĞLU, 1991 yılında Sakarya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sakarya’da tamamladı, 2010-2014 yılları arasında, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği lisans programını tamamladı.2015-2019 yılları arasında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitime devam etmektedir. Özel sektörde, 1,5 yıl statik proje ofisinde, 3 yıldır da “Sakarya İli Kocaeli İlçesi Caferiye Mahallesi 448 Adet Konut, 1’er Adet 24 Derslikli İlköğretim Okulu, Camii ve Ticaret Merkezi İnşaatı İle Altyapı ve Çevre Düzenlemesi İşİ” inde saha kontrolleri, alt yüklenici hakedişleri, TOKİ hakedişleri, resmi kurum yazışma ve evrak takibi işlerinde çalışmaktadır.