



**AHŞAP LAMİNE KİRİŞLERİN ÇARPMA YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Hidayet UYAR

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Hidayet UYAR tarafından hazırlanan “AHŞAP LAMİNE KİRİŞLERİN ÇARPMA YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. Mehmet BARAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/07/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hidayet UYAR
24/07/2019

AHŞAP LAMİNE KİRİŞLERİN ÇARPMA YÜKLERİ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hidayet UYAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan elde edilen lameller ile oluşturulan ahşap lamine kirişlerin çarpışma yüklemesi etkisi altındaki davranışı masif ahşap kirişler ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen temel değişkenler ahşap lamel sayısı ve kalınlığı, yapıştırma yüzeyinde aderansı artırmak ve güçlendirme amacıyla kullanılan ağ türleridir. Deneysel çalışmada 18 mm ve 30 mm lamel kalınlıkları seçilerek, sırasıyla 5 ve 3 adet lamine ile en kesiti 90 x 90 mm olan ahşap kiriş elemanları üretilmiştir. Ayrıca yapışma yüzeyinde aderansı artırmak ve çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışı iyileştirmek amacıyla lameller arasına yapışma yüzeylerine güçlendirme malzemesi olarak alüminyum ve çelik tel örgü ağ yerleştirilmiştir. Sarıçam masif ahşap kirişler, lamine ahşap kirişler ve yapışma yüzeyinde güçlendirme ağı kullanılan lamine ahşap kiriş elemanlarının genel çarpışma davranışları ve göçme mekanizmaları yorumlanarak karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarına sabit ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak çarpışma yüklemesi uygulanmış ve ivme-zaman, deplasman zaman değişimleri ölçülerek ahşap kirişlerin genel çarpışma davranışları yorumlanmıştır. Tüm dünyada ve ülkemizde eski ahşap taşıyıcı sisteme sahip köprüler, ahşap yapılar kara veya deniz araçlarının çarpması, kaya düşmesi veya heyelan gibi etkiler ile kütle çarpması veya patlama etkisiyle oluşabilecek hava şoku basınç dalgası gibi etkiler sonucunda ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisinde kalmaları mümkündür. Yapılan literatür taraması ve incelemeler sonrasında ahşap lamine kirişlerin statik ve dinamik yükler etkisi altında davranışlarının incelendiği çalışmalara rastlanılmış ancak ani dinamik (impulsif) çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışlarının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma planlanarak bu proje sunulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerin bu konudaki literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bilim Kodu : 91109
Anahtar Kelimeler : Ahşap Lamine Kiriş, Çarpışma Yüklemesi, Serbest Ağırlık Düşürme Test Düzeneği
Sayfa Adedi : 77
Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF BEAM LAMINATED
BEAMS ON THE EFFECT OF SHOCKING LOADS

(M.Sc. Thesis)

Hidayet UYAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this study, behavior of laminated timber beams, manufactured using *Pinus sylvestris* tree, under impact loading is investigated. The main variables considered in the study are the number and thickness of laminates and types of nets used for the retrofitting of beams. In the experimental study, timber beams with 90 x 90 mm dimensions are manufactured using 5 and 3 laminates with 18 mm and 30 mm thicknesses, respectively. Moreover, in order to enhance the performance of the test specimens under impact loading, (i)aluminum, and (ii)steel wire nets are used between the laminates. Performance of massive, laminated and retrofitted timber beams manufactured using *Pinus sylvestris* tree are compared in terms of general behavior and failure mechanisms under impact loading conditions. The timber beams are tested under impact loading by using the free falling test setup. Acceleration – time, and displacement – time measurements of the test specimens are used to interpret the impact performance of the test specimens. The timber structures such as timber framed bridges and structures may be exposed to dynamic impact loadings: (i) due to mass impacts like vehicle impacts, rock falls, landslides or (ii) due to air pressure shock waves of explosions, in Turkey or in other countries. The performed literature review and inspections showed that although there are studies focused on the behavior of laminated timber beams subjected to static or dynamic loading conditions, there is no study aimed at evaluating the behavior of laminated timber beams under impulsive loads. In relation to that an experimental study is planned and this project is proposed.

Science Code : 91109
Key Words : Laminated timber beam, Impact load, Free Falling Test Setup
Page Number : 77
Adviser : Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans derslerim ve tez çalışmam boyunca çok değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, planlanmasından yazılmasına kadar tezimin tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Özgür ANIL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Ömer MERCİMEK ve Rahim GHOROUBİ'ye ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Öğr. Gör. Faruk OGÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her döneminde olduğu gibi bu çalışmam esnasında da maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	7
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	15
3.1. Deney Elemanlarının Hazırlanması.....	18
3.2. Ağırlık Düşürücü Deney Aleti.....	22
3.3. Ölçüm Aygıtları (Sensörler).....	27
4. DENEYLER.....	45
4.1. Deney Elemanı 2.....	51
4.2. Deney Elemanı 4.....	54
4.3. Deney Elemanı 6.....	58
4.4. Deney Elemanı 8.....	61
5. ÇARPIŞMA DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75

DİZİN.....	77
------------	----



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sarıçama ait fiziksel ve mekanik özellikler	15
Çizelge 3.2. Poliüretan tutkalın teknik özellikleri	16
Çizelge 3.3. Kestamit malzemesinin temel özellikleri.....	25
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan ivmeölçerlerin teknik özellikleri.....	30
Çizelge 3.5. 201B03 Model ICP Halka kuvvet algılayıcısı teknik özellikleri.....	33
Çizelge 3.6. Potansiyometrik konum algılayıcısının teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.7. NI 9234 Data toplama cihazı teknik özellikleri.....	38
Çizelge 3.8. NI 9201 Veri toplama aygıtı teknik özellikleri.....	39
Çizelge 3.9. Cdaq-9174 Veri toplama ana gövdesi teknik özellikleri.....	39
Çizelge 4.1. Deney elemanlarının özellikleri.....	45
Çizelge 4.2. Deney elemanlarının monotonik statik yükleme etkisindeki test sonuçları.....	48
Çizelge 5.1. Deney elemanlarının çarpışma test sonuçları.....	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Horyu-ji Bölgesinde Bulunan Budist Tapınağı.....	1
Şekil 1.2. Büyükada Rum Yetimhanesi.....	3
Şekil 1.3. Binada kullanılan malzemeye göre bina sayılarının toplam bina sayısı içindeki oranı	4
Şekil 2.1. Montmorency Nehri üzerinde bulunan tutkallanmış lamine kereste uygulaması	10
Şekil 2.2. HAESLEY NINE BRIDGES GOLF CLUB HOUSE Tutkallanmış Lamine Kereste Uygulaması.....	11
Şekil 3.1. Alüminyum tel örgü.....	17
Şekil 3.2. Rabitz teli.....	18
Şekil 3.3. Düz en birleştirme yapılan lameller.....	20
Şekil 3.4. Lamellerin düz en birleştirme yapılan bölgelerine U çivi çakılması	20
Şekil 3.5. Lamine ahşap yapı elemanlarının preslenmesi.....	21
Şekil 3.6. Deneye hazır hale getirilmesi için kesilen deney elemanları.....	21
Şekil 3.7. Ağırlık düşürücü aletin tasarım şeması.....	23
Şekil 3.8. Deney düzeneği.....	24
Şekil 3.9. Serbest ağırlık olarak kullanılan çekiç mekanizması.....	25
Şekil 3.10. İvmeölçer.....	28
Şekil 3.11. Montaj tiplerine göre ivmeölçerlerin frekans-hassasiyet eğrileri.....	29
Şekil 3.12. Montaj yeri ve aparatı.....	30
Şekil 3.13. 201B03 Model ICP Kuvars halka kuvvet algılayıcısı.....	32
Şekil 3.14. Halka kuvvet algılayıcısı montaj şekli.....	32
Şekil 3.15. Potansiyometrik konum algılayıcısı devresi.....	34
Şekil 3.16. LPS Model potansiyometrik konum algılayıcısı.....	34
Şekil 3.17. Sensör besleme kutusu.....	34

Şekil	Sayfa
Şekil 3.18. Potansiyometrik konum algılayıcısının montajında kullanılan aparatlar....	35
Şekil 3.19. Potansiyometrik konum algılayıcısı montajı.....	36
Şekil 3.20. NI9234 Veri toplama aygıtı.....	37
Şekil 3.21. NI9201 Data toplama cihazı ve irtibat türleri.....	37
Şekil 3.22. NIcDAQ-9174 Model kompakt veri toplama ana gövdesi.	38
Şekil 3.23. LABVIEW Signal express yazılımı.	40
Şekil 3.24. 003A10 Model koaksiyel kablo.....	40
Şekil 3.25. 003A10 Model koaksiyel kablonun iç yapısı.	41
Şekil 3.26. Optik fotoseller ve yerleşimi.....	42
Şekil 3.27. Data tahsil düzeni irtibat şeması.....	43
Şekil 4.1. Ahşap kiriş deney elemanlarının boyutları.	45
Şekil 4.2. Ahşap lamine kirişlerin monolitik yükleme deneyinden bir görünüşü.....	46
Şekil 4.3. Çarpışma yüklemesi serbest ağırlık düşürme test düzeneği.	47
Şekil 4.4. Çarpışma yüklemesi serbest ağırlık düşürme test düzeneği.	47
Şekil 4.5. Çarpışma yüklemesi sensör yerleri.....	48
Şekil 4.6. Taşıma gücü, başlangıç rijitliği,deplasman sünelik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin hesaplanması.....	49
Şekil 4.7. Ahşap kiriş deney elemanlarının monotonik statik yükleme etkisi altında elde edilen deplasman grafikleri.....	50
Şekil 4.8. Deney elemanı 2 sol ivme grafiği.....	51
Şekil 4.9. Deney elemanı 2 sağ ivme grafiği.....	52
Şekil 4.10. Deney elemanı 2 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği.....	52
Şekil 4.11. Deney elemanı 2 sol deplasman-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.12. Deney elemanı 2 sağ deplasman-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.13. Deney elemanı 2 birim deformasyon-zaman grafiği.....	54
Şekil 4.14. Deney elemanı 4 sol ivme-zaman grafiği	55

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Deney elemanı 4 sağ ivme-zaman grafiği.....	55
Şekil 4.16. Deney elemanı 4 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.17. Deney elemanı 4 sol deplasman-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.18. Deney elemanı 4 sağ deplasman-zaman grafiği.....	57
Şekil 4.19. Deney elemanı 4 birim deformasyon-zaman grafiği.....	57
Şekil 4.20. Deney elemanı 6 sol ivme-zaman grafiği.....	58
Şekil 4.21. Deney elemanı 6 sağ ivme-zaman grafiği.....	59
Şekil 4.22. Deney elemanı 6 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği.....	59
Şekil 4.23. Deney elemanı 6 sol deplasman-zaman grafiği.....	60
Şekil 4.24. Deney elemanı 6 sağ deplasman-zaman grafiği.....	60
Şekil 4.25. Deney elemanı 6 birim deformasyon-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.26. Deney elemanı 8 sol ivme-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.27. Deney elemanı 8 sağ ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.28. Deney elemanı 8 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.29. Deney elemanı 8 sol deplasman-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.30. Deney elemanı 8 sağ deplasman-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.31. Deney elemanı 8 birim deformasyon-zaman grafiği.....	64
Şekil 5.1. Maksimum ivme değerlerinin karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.2. Maksimum deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.3. Kalıcı deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.4. Maksimum birim deformasyon değerlerinin karşılaştırılması.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

a	Dinamik Eğilme Direnci
β_r	Daralma yüzdesi
D₀	Yoğunluk
$\sigma_B //$	Basınç Direnci
$\sigma_{\parallel}$	Çekme Direnci
σ_E	Eğilme Direnci

Kısaltmalar

E-Mod	E-Modül
LVL	Tabakalanmış kaplama kereste
LVDT	Elektronik doğrusal deplasman ölçer
MDF	Preslenmesiyle elde edilen ahşap levha malzeme
OSB	Temel üzerine yönlendirilmiş yonga levha
PSL	Paralel şerit kereste
TS 5497 EN 408	Lamine Kereste Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Tayini
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Ahşap, kolay işlenebilmesi, ağaç türüne bağlı olarak değişiklik gösteren odun rengi ve lif yapısı sayesinde oluşan estetik özellikleri, mükemmel termal ve ses yalıtımı sağlaması ve diğer malzemelere kıyasla bazı uygulamalar için daha iyi dayanım özelliklerine sahip olması yanında, yüksek dayanım/ağırlık oranının iyi olması nedeniyle yüzyıllardır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kermani, 1999). Ayrıca ahşap yapı malzemesi, düşük gömülü enerji, düşük karbon etkisi ve sürdürülebilirlik dahil olmak üzere birçok olumlu çevresel özelliklere sahiptir (Falk, 2010). Bu özellikleri ile ahşap; kirişler, kolonlar, çatı makasları, direkler gibi çeşitli yapısal formlar, kazıklar, döşeme elemanları, demiryolu temelleri gibi inşaat sistemleri ve betonda şekil vermek amacıyla kullanılan kalıplarda da kullanılan bir malzemedir (Kermani, 1999). Temel yapı tanımı içerisinde ahşap yapı; taşıyıcı sistemi ahşap olan yapı olarak ifade edilmektedir (Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 2006). Dünya'nın yaşayan en eski ahşap yapısı, Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO) tarafından Dünya Mirası Listesi'ne alınmış olan Japonya'daki 48 antik Budist Tapınağı'ndan oluşan Horyu-ji Tapınağı M.S. 607 yılında inşa edilmiştir. Horyu-ji Tapınağı'nda ayrıca Gojunoto olarak bilinen beş katlı bir bina da bulunmaktadır ([UNESCO], 2015a).



Şekil 1.1. Horyu-ji Bölgesi'nde bulunan Budist Tapınağı (UNESCO, 2015b).

Kuzey Amerika’da 20.yüzyıldan önce konutların ve ticari yapıların çoğunda ana yapısal malzeme olarak ahşap kullanılmıştır. Ahşap kaynakların bol miktarda bulunması evlerin, ticari yapıların, köprülerin ve elektrik direklerinin çoğu için temel yapıyı oluşturmuştur. Günümüzde ise, evler ve çok hafif ticari ve endüstriyel binalar modern ahşap yapısal malzemeler kullanılarak yapılmaktadır (Moody ve TenWolde, 1999: 16-1). Ahşap malzeme, bugün hala yerleşim, ticari ve endüstriyel binalar hem de iskeleler, köprüler, istinat duvarları ve güç iletimi kuleleri gibi çeşitli yapıların inşasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri’nde evlerin %90’ı ahşaptır (Nunnally, 2007: 295).

Ülkemizde bulunan tarihi ahşap yapılar incelendiğinde; kütük, hatıl, hımış, dizeme ve bağdadi olmak üzere beş temel yapı sınıfı görülmektedir (Köylü, 2008).

1. Kütük: Bu sistemde ağaç kütükler yatay doğrultuda birbirine bindirilmektedir.
2. Hatıl: Bu sistemde yatay dikmelerin arası taş ile doldurulmaktadır
3. Hımış: Bu sistemde yatay, düşey, diyagonal dikmelerin arası kerpiç, tuğla, doğal taş vb. malzemelerle ikame edilmektedir.
4. Dizeme: Dizeme yönteminde taşıyıcı kolon ve meyilli elemanların arası yere dik olan ya da yere paralel olan eleman olarak tertiplenmiş küre şeklinde az işlenmiş dizemelerle doldurulmaktadır.
5. Bağdadi: Bu sistemde kalınlığı 1 cm, genişliği 2-3 cm dolayında olan ince çıtalar keresteden imal edilen yapının iki yüzünde çakılmaktadır (Köylü, 2008).

Güncel uygulamalarda, ahşap yapı sektöründe kullanılan uygulanan yöntemler ve istihsal yöntemleri çerçevesinde karşılaştırıldığında, ahşap karkas, ahşap yığma, panel bileşen ve karışık yöntemler kullanılmaktadır (Örs ve Toğay, 2003).

1. Ahşap karkas sistem: Zemin üzerine ahşap karkas sistemin kurularak yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ile dıştan örtülmesi ve duvar boşluklarının dolgu malzemeleriyle doldurulması sonucu elde edilen sistemdir.
2. Ahşap yığma sistem: Bu yöntem çoğu kez kütük konut olarak ifade edilmektedir. Konvansiyonel ve prefabrikasyon teknikleriyle üretimi yapılmaktadır.

3. Panel bileşen sistem: Hisar panelleri ölçünlü hale getirilmiş boyutlarda tek parça keresteden çerçeve yapının iç satırlarında kaya lifli çimento safihaların, dıştaki satırında ise mes kanallı levhaların birleştirilmesi ile üretilmiştir. (Örs ve Toğay, 2003).

Afyonkarahisar’da 1272-1277 yıllarında yaptırılan ve kırk ahşap sütun üzerine oturtulan Ulu Cami zamanımızda tarihi dokusu korunarak yeniden onarılmıştır. Ulu Cami, ahşap mimarisiyle Selçuklu döneminin eşsiz örneklerinden biridir (Afyonkarahisar İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2015). 1299 yılında inşa edilen Beyşehir Eşrefoğlu Camii’nin fayans mozaik mihrabı ve künde-kari yönteminde inşa edilmiş minberi muazzam tezhip unsurlarıdır. Camiyi, ünlü yapan yönü ise muazzam boyutlarda orjinal olan ahşap bölümleri ve bu satırların üstünde örneklerinin en muvaffağı ve alımlısı olan kalem işleridir (Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 2015). 1366 yılında yaptırılan Mahmutbey Camii ahşap damı medülasyon yönteminde yapılmış ve hiç demir mih ve herhangi bir başka şey kullanılmadan yapılması ile ülkemizdeki nadir misallerden biridir (Kastamonu İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2015).

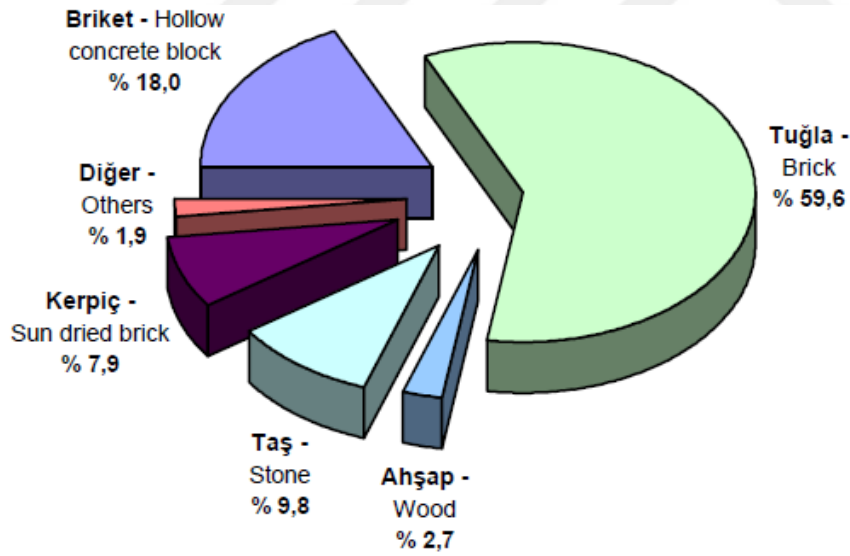


Şekil 1.2. Büyükada Rum Yetimhanesi (“Aerial Islands”, 2015).

1898-1899 yıllarında bir Fransız firması aracılığıyla otel olarak inşa edilen Büyükada Rum Yetimhanesi’nin uzunluğu 1025 m, genişliği ise 25-35 m’dir (Adalar Kaymakamlığı,

2015). Büyükada Rum Yetimhanesi kereste kullanılarak düşey taşıyıcı yöntemle yapılmıştır. Bina, yan kısımlarında 6, öbür kısımlarda ise 5 katlıdır (Şekil 1.2). Yapı gösterişli olmasına rağmen dış tasarımı oldukça yalın (düz) planlanmıştır. Üst üste yinelenen çıkıntılar ile dış yüzeylere hareketlilik getirilmeye çalışılan yapıda, tiyatro salonundaki iç bölüm ahşap tezhip ayrıntılarına karşılık, diğer iç mekânlarda yalın bir tasarım egemendir. Büyükada Rum Yetimhanesi, bahçesinde önceleri yönetim yapısı olarak inşa edilen, sonraları ise ilkokul olan bir binayla beraber hâlen durmaktadır. (“Büyükada Rum Yetimhanesi”, 2015).

Betonarme yapım tekniğinin gelişmesi ve tüketicilerin betonarmeyi tercih etmesi nedeniyle eski dönemlerde Anadolu’da yaygın bir şekilde kullanılan ahşap yapılar, kullanım alanını kaybetmiş ve yerini betonarme karkas yapılara bırakmıştır (Doğangün, Livaoğlu, Tuluk ve Acar, 2005). Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2000 yılında yapılan bina sayımına göre; ahşap yapıların toplam bina sayısı içindeki oranı %2,7 olarak tespit edilmiştir (Devlet İstatistik Enstitüsü [DİE], 2001).



Şekil 1.3. Binada kullanılan malzemeye göre bina sayılarının toplam bina sayısı içindeki oranı (DİE, 2001).

Ercoşkun Modeli’ne göre; ahşap yapı sistemleriyle ilgili yanlış fikir ve malumatların olması, şirket adeti, uzmanlar ve tecrübeli takımların yetersiz olması, şartname ve talimatlarda eksiklikler ve zaafıların olması, arz ve talep noksanlığı, ham mal ve mahsul temininde ülke dışından alınmaya alışılmış olması, lisans ve patent eksiklikleri gibi

konuların tutkallı tabakalı ahşap teknolojisinin benimsenmesinde engel oluşturduğu tespit edilmiştir (Avlar ve Karaçar Ercoşkun, 2012). Toğay (2002) ise bu sorunlara ek olarak, yerli hammadde yetersizliğinin, ahşap yapı sektörü ile ilişkide olan sektörlerin mevcut sorunların ve tüketici taleplerindeki eksikliğin ülkemiz ahşap yapı sektörünün sorunları olduğunu belirtmiştir.

Gelişen yapı teknolojileri içerisinde deprem gibi risk faktörleri ve insan sağlığı açısından gösterdiği olumlu özellikleri nedeniyle Avrupa'nın belirli bir bölümü, Kanada ve Amerika gibi ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de özellikle 1999 yılındaki Marmara Depremi'nden sonra ahşap ev eğiliminde sürekliliği olmayan göreceli bir artış olmuştur.

Toğay (2002) yapmış olduğu çalışmada, yığma sistemle (kütük ev) 26 firma, ahşap karkas sistemle 11 firma, ahşap panellerle örtülmüş çelik taşıyıcı karkas sistemle 20 firma, panel bileşen sistemle 2 firma ve bir devlet kurumu olmak üzere 59 adet firma ve bir devlet kuruluşunun ahşap yapı sektöründe faaliyet gösterdiğini tespit etmiştir. Ayrıca, 1997-2001 yılları arasında kapasite kullanım oranlarının, talep azalmasından değil, kapasite değerinin sürekli artmasından kaynaklanan sürekli azalan bir eğilim gösterdiği ve kurulu kapasitelere oranla, üretim değerlerinin çok düşük kaldığı, firmaların büyük çoğunluğunun %10 kapasite değerinin altında çalıştığı belirlenmiştir (Toğay, 2002).

1999 sonrası gelişen süreçler açısından ahşap yapı üretimi, teknolojisi itibarı ile farklı örnekler göstermiştir. Bu kapsamda ileri ülkelere benzer gelişim de olmakla birlikte birçok olumsuz uygulama bu sektörü olumsuz etkilemiştir (Örs ve Toğay, 2003). Ancak bütün bu yapı ve sektör içi olumsuz örneklerin etkisi rekabeti de olumsuz etkilemiş ve ileri teknoloji kullanımı ile üretim yapan bazı firmalar üretimlerine ara vermek durumunda kalmıştır.

Ülkemiz açısından özellikle betonarme yapılarla ilgili birçok standart geliştirilmiş olmasına rağmen, depreme dayanıklı yapılar şeklinde tarif edilen ahşap yapılara yönelik yeterli standart bulunmamaktadır. Bu nedenle, ahşap yapıların kullanılabilirliğini de belirleyecek olan taşıyıcı yapıda, ahşap yapı elemanı ve bağlantı elemanı ile oluşan düğüm noktalarının standart değerleri karşılaması, yaşlanma ve dayanım riskleri açısından değerlendirilmesi bir temele dayanmamakta genellikle öngörülerini yansıtmaktadır.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 2004 yılında hazırladığı Yapı Malzemeleri Komisyon Raporu'nda da belirtildiği gibi ülkemiz için yeni bir konu olan depreme dayanıklı ahşap yapı üretimi ve ahşap malzemenin depreme dayanıklı yapılarda kullanımı üzerine daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır (Bektaş, 2004).

Bu çalışmada lamine ahşap kirişlerin çarpışma yüklemesi gibi ani dinamik impulsif yüklemeler etkisi altındaki performansını artırmak için kirişi oluşturan lamine elemanların yapışma yüzeylerinde her iki yapışan lamine arasındaki aderansı güçlendirmek amacıyla aliminyum ve çelik malzemelerinden üretilen ağ elemanlarının kullanılması hedeflenmiştir. Yapılan literatür incelemesinde ahşap lamine kirişlerin daha çok statik monotonik yüklemeler veya deprem yüklemesi gibi dinamik yüklemeler etkisi altındaki davranışlarını incelendiği çalışmalara yer almaktadır. Ancak ani dinamik çarpma yüklemesi türündeki etkiler altındaki davranışlarının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca ek olarak ahşap lamine kirişlerin güçlendirilmesi için dışarıdan yapıştırılan çelik elemanlar, CFRP elemanlar ve çelik öngerme elemanlarının kullanıldığı çalışmalar veya çelik bağlantı elemanlarının eklendiği çalışmalar görülmüştür. Ancak lamine elemanlar arasında yapışma yüzeyinde aderansı artırmak için kullanılan çeşitli malzemelerden üretilen (aliminyum, çelik v.b) ağ elemanlarının kullanıldığı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu amaçla lamine yüzeylerinde ağ elemanları ile güçlendirmiş ahşap lamine kirişlerin ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışlarının incelenmesi için deneysel bir çalışma yürütülmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın bu konudaki deneysel literatüre bir katkı sağlayacak öncü niteliğindeki bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ahşap, kolay işlenebilmesi, ağaç türüne bağlı olarak değişiklik gösteren odun rengi ve lif yapısı sayesinde oluşan estetik özellikleri, mükemmel termal ve ses yalıtımı sağlaması ve diğer malzemelere kıyasla bazı uygulamalar için daha iyi dayanım özelliklerine sahip olması yanında, yüksek dayanım/ağırlık oranının olması nedenleriyle yüzyıllardır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kermani, 1999). Ayrıca ahşap yapı malzemesi, düşük gömülü enerjisi, düşük karbon etkisi ve sürdürülebilirlik dahil olmak üzere birçok olumlu çevresel özelliklere sahiptir (Falk, 2010). Bu özellikleri ile ahşap; kirişler, kolonlar, çatı makasları, direkler gibi çeşitli yapısal formlar, kazıklar, döşeme elemanları, demiryolu temelleri gibi inşaat sistemleri ve betona şekil vermek amacıyla kalıplarda da kullanılan bir malzemedir (Kermani, 1999).

Kuzey Amerika’da 20.yüzyıldan önce konutların ve ticari yapıların çoğunda ana yapısal malzeme olarak ahşap kullanılmıştır. Ahşap kaynakların bol miktarda bulunması evlerin, ticari yapıların, köprülerin ve elektrik direklerinin çoğu için temel yapıyı oluşturmuştur. Günümüzde ise, evler ve çok hafif ticari ve endüstriyel binalar modern ahşap yapısal malzemeler kullanılarak yapılmaktadır (Moody and TenWolde, 1999). Ahşap malzeme, bugün hala yerleşim, ticari ve endüstriyel binalar hem de iskeleler, köprüler, istinat duvarları ve güç iletimi kuleleri gibi çeşitli yapıların inşasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri’nde evlerin %90’ı ahşaptır (Nunnally, 2007). Ağaç türlerine ve yetiştirme bölgelerine bağlı olarak tomruklardan biçilen kerestelerin maksimum boyutu 300 mm veya daha az olduğundan dolayı uygulamada yapısal ahşap kirişin olası maksimum açıklığı 5-7 m ile sınırlıdır. Ahşap mühendislik ürünleri ortaya çıkmadan önce, çatı ve köprü yapımında sık sık gerekli olan geniş açıklıkların üstesinden gelmek için ahşap makaslar yaygın olarak kullanılmıştır. Yapı kerestesinden üretilen ahşap makaslar, küçük konutlarda çatı yapıları için hala en yaygın çözümlerdir. Ahşap çatı makasları, çoğunlukla 12 m’ye kadar olan açıklıklar için kullanılmakla beraber 30-40 m’ye kadar olan açıklıklar için de tasarlanabilmektedir (Thelandersson, 2003).

Günümüzde ahşap malzemenin direkt olarak kullanılması yerine; ahşap esaslı kompozit malzemelerin kullanımı seçilmektedir. Yapısal kompozit keresteler, orman kaynaklarının tüketimini azaltmak ve yüksek kaliteli keresteye olan artan talebi karşılayabilmek amacıyla

geliştirilmiştir. Yapısal kompozit kereste, biçilmiş kerestenin göstermiş olduğu değerlerden daha yüksek mühendislik tasarım değerlerinden yararlanmak için çeşitli uygulamalarda ve prefabrik ahşap I-kirişler gibi diğer mühendislik ahşap ürünlerin imalatında kerestenin yerine kullanılmaktadır (Stark v.d., 2010). Düz ve eğimli tutkallanmış lamine kerestelere dayalı yapısal sistemler, 100 m'ye kadar açıklığı olan çatılar için geliştirilmiştir. Bugün Tabakalanmış Kaplama Kereste (LVL) ve Paralel Şerit Kereste (PSL) gibi birçok diğer ahşap esaslı ürünler, büyük ölçekli ahşap yapılar için kullanılmaktadır. Bu ürünler, düz tutkallanmış lamine kereste elemanlar gibi benzer bir şekilde daha büyük açıklıklar için uygundur (Thelandersson, 2003). Tutkallanmış lamine keresteler 1800'lerin sonlarında kullanılmaya başlanmış, II. Dünya Savaşı esnasında ve sonrasında büyük ölçüde kullanılmıştır. Tutkallanmış lamine kirişlerin (glulam beam) hem binalarda hem de köprülerde kullanımında artış görülmektedir. Sadece biçilmiş keresteler kullanarak uygulanabilir olmayan yapılar, tutkallanmış lamine kiriş kullanımının pratik ve başarılı olduğunu kanıtlamıştır (Stalnaker and Harris, 1999). Ahşap yapıların da gelişen teknoloji ile boyutları büyümüş ve yapı haricinde köprü, spor tesisleri ve endüstriyel tesisler gibi farklı uygulama alanlarında ahşap yapı elemanlarının kullanımı artmıştır. Ahşap lamine kirişlerin taşıma gücü ve genel davranışını etkileyen en önemli parametrelerin başında kirişi oluşturan lamine elemanlarının birbirleri ile aderansı gelmektedir. Bu konu üzerinde araştırmalar yapılmıştır (Sena-Cruz v.d., 2013; Tran v.d., 2015; Dietsch and Tannert, 2015). Daha büyük açıklıkların geçilmesi için lamine ahşap kirişlerin çeşitli kompozit malzemeler ile güçlendirilerek tasarımı önem kazanmıştır. Yapılan incelemeler özellikle CFRP gibi kompozit malzemeler ile ahşap lamine kirişlerin güçlendirildiği araştırmaların literatürde yer aldığını göstermiştir (Weidong v.d., 2015; Fosetti v.d., 2015; Raftery and Rodd, 2015; Raftery and Harte, 2013). Ek olarak çelik elemanlar ile ahşap elemanların desteklendiği (Yang v.d., 2016) ya da öngerme verilerek güçlendirildiği çalışmalar da literatürde bulunmaktadır (Haiman vd., 2010).

Depremlerin oluşturacağı hasarları azaltmanın etkili yollarından biri depreme dayanıklı yapılar inşa etmektir. Yapı malzemelerinin özellikleri yapının dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle üretim ve kullanım şartları uygun olmayan yapı malzemeleri, yapının maruz kalacağı kuvvetlerle ve zamanın bozucu etkileri ile hasar görmesine ve hatta yıkılmasına sebep olmaktadır. Ahşap yapıların uzun ömürlü ve dayanıklı olabildiğine dair birçok kanıt bulunmaktadır. Ahşabın mikro yapısı deprem sırasında oluşan büyük enerji miktarlarını sönmüleyebilmektedir. Ayrıca yükleme süresi,

ahşabın azami dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ahşabın azami dayanımı, uzun süreli yükleme altında azalır, ancak kısa süreli yükleme altında ahşap gelişmiş dayanıma sahiptir. Bu durum malzeme olarak ahşabın yüksek dayanım / ağırlık oranı ile birlikte geçmiş depremler sırasında ahşap binaların tatmin edici performanslarına katkıda bulunmaktadır (Karacabeyli ve Popovski, 2003).

Tutkallanmış lamine keresteler 1800’lerin sonlarında kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya Savaşı esnasında ve sonrasında büyük ölçüde kullanılmıştır. Dış mekan veya iç mekan kullanımına uygun sentetik reçineler kullanılmaya başlandığında, 1970’lere kadar en sık kazein tutkalı kullanılmıştır. Tutkallanmış lamine kerestelerin (glulamlar) hem binalarda hem de köprülerde kullanımında artış görülmektedir. Sadece biçilmiş keresteler kullanarak uygulanabilir olmayan yapılar, tutkallanmış lamine kereste kullanımının pratik ve başarılı olduğunu kanıtlamıştır (Stalnaker ve Harris, 1999).

Tutkallanmış lamine kereste (glulam), yapıştırılmış ahşap mühendislik eserlerinin en eski olanlarından biridir. Tutkalla yapıştırılmış lamine ahşap, birleştirilmiş ahşap olarak isimlendirilen 2 ya da daha fazla tabakalı kerestenin lif yönleri uzunluğuna paralel olarak birbirine yapıştırılması ile elde edilen gerilimi sınıflandırılmış üründür. Tutkallanmış lamine kereste, uygunca seçilmiş ve doğru veya meyilli olarak üretilmiş kereste kesimlerinden yapılan, bütün kesimlerin lif istikametleri parçaların uzunlamasına paralel olan materyal olarak açıklanabilir. Maksimum laminasyon kalınlığı 50 mm olup laminasyon genel olarak 25 veya 50 mm kalınlıktaki keresteden yapılır (Stark, Cai ve Carll, 2010). Ulusal Tasarım Şartnamesi tarafından, yapısal tutkallanmış lamine kereste; “Uygun olarak seçilmiş ve hazırlanmış ahşap laminelerin tutkal ile birbirine bağlanmasını kapsayan, gerilimi sınıflandırılmış bir mühendislik ürünü” olarak tanımlanmaktadır (Stalnaker ve Harris, 1999). Diğer bir tanımlamada, Glulam olarak bilinen tutkallanmış lamine kereste, lif yönleri paralel olacak şekilde genelde 19-50 mm kalınlığında en az dört kerestenin birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapısal bir malzeme olarak ifade edilmektedir (Kermani, 1999).

Tutkallanmış lamine keresteler çok çeşitli şekil, boyut ve düzenlerde imal edilebilir. Düz prizmatik kesitlere ek olarak, kirişler tek konik, çift konik ve kaçık merkezli mahyalar gibi çeşitli düzenlerde üretilebilir. Kavisli şekiller, basit eğri bir kirişten, eğimli ve konik kavisli kirişe, karmaşık bir kemer yapısı aralığında değişmektedir (APA, 2008). Şekil 2.1’de Montmorency Nehri üzerinde bulunan ve eğimli bir şekilde imal edilen tutkallanmış lamine kereste köprü uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.1. Montmorency Nehri üzerinde bulunan tutkallanmış lamine kereste köprü uygulaması (“Wood bridge Montmorency”, 2015)

Tutkallanmış lamine kereste, tonozlu tavan ve ideal açık alanlı diğer tasarımlar gibi çarpıcı uygulamalarda kullanılan bir üne sahiptir. Kiliselerde, okullarda, restoranlarda ve diğer ticari binalarda, tutkallanmış lamine kereste dayanımı kadar, güzelliği için de kullanılmaktadır (APA, 2008). Şekil 2.2’de Haesley Nine Bridges Golf Club House’da uygulanan tutkallanmış lamine keresteden imal edilen tavan uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.2. Haesley Nine Bridges Golf Club House tutkallanmış lamine kereste uygulaması (Shigerubanarchitects, 2015)

Tutkallanmış lamine kerestelerin, biçilmiş kerestelere göre üstünlükleri aşağıdaki gibidir:

1. Daha büyük dayanım: Laminasyon malzemesi dikkatlice seçilir, bu nedenle tutkallanmış lamine kereste elemanı kusursuz olarak daha büyük ebatla üretilir. Daha önemlisi, bu kusurlar (kesitte) daha az zarar verecek yerde bulunabilir ve elemanın uzunluğu boyunca dağılmış olabilir. Böylece herhangi bir kesitte etkileri en aza indirilir ve eşdeğer boyutlu biçilmiş kerestelerde mümkün olandan daha yüksek kopma modülü elde edilir. Yüksek gerilimli katmanlarda yüksek sınıf ahşap kullanılır. Kirişlerde, nötr eksenler düşük kalitedeyken, çekme laminasyonlar yüksek kalitededir (Stalnaker ve Harris, 1999).

2. Büyük kesitler: Tutkallanmış lamine keresteler, biçilmiş kerestelerle yapılabileceklerden büyük kesit katsayısı ve atalet momenti ile monte edilebilir. Bakir ormanların yok olmasıyla, büyük biçilmiş kereste bulmak gittikçe zorlaşmaktadır (Stalnaker ve Harris, 1999).
3. Daha uzun açıklıklar: Yukarıdaki iki faktör sayesinde daha uzun açıklıkların geçilmesi mümkündür. Örneğin, tutkallanmış lamine keresteler kullanılarak 500 ft uzunlukta açıklığa sahip kemerli çatı konstrüksiyonları inşa edilmektedir (Stalnaker ve Harris, 1999).
4. Şekil değişikliğinin engellenmesi ve kontrolü: Büyük biçilmiş kerestelerde hemen hemen her zaman ciddi çatlaklar oluşur. Bunlar büyük ölçüde düzensiz kurutmanın sonucu olarak iç gerilimlerden meydana gelir. Büyük biçilmiş keresteler, özellikle burulma şeklinde eğilme eğilimindedir. Tutkallanmış lamine kerestenin, katmanları genel olarak 2 in nominal kalınlıktadır, böylece oldukça homojen kurutulabilir. Düz kalma ve küçük çatlaklara sahip olma eğilimindedirler. Montajlanan ahşap yapı elemanında, tek bir laminasyon tek başına şekil değiştiremez, böylece her bir laminasyonun yüzeyi yapıştırılmış olduğu şekliyle kalır (Stalnaker ve Harris, 1999).
5. Şekil çeşitliliği: Tutkallanmış lamine keresteler, mimari olarak çekici yapılar yapılmasını mümkün kılan birçok şekilde üretilebilir. Konik kirişler, eğri kirişler, kemerler ve rijit kafeslerin tamamını yapmak mümkündür. Tutkallanmış lamine keresteler geliştirilinceye kadar, bu şekiller sadece yapısal çelikler veya güçlendirilmiş betonlar ile mümkündür (Stalnaker ve Harris, 1999).
6. Farklılaşan kesit özellikleri: Derinliği konikleşmesiyle veya laminasyonda kullanılan malzemenin sınıfının değişmesiyle nihai eleman dayanım gereksinimlerine göre uzunluk boyunca değişim gösteren dayanım kapasitesi verebilir (Stalnaker ve Harris, 1999).
7. Sehim: Yalnız ölü yük altında, kiriş sakıncalı olarak eğilebilir. Biçilmiş kerestede bunu düzeltebilecek bir şey yapılamaz. Ancak tutkallanmış lamine kerestelerde, yapıştırma öncesi laminasyonları bükme montaj sırasında basit bir konudur, böylece sonuçta oluşan kiriş tam ölü yük uygulandığında beklenen aşağı doğru eğilmeyi dengelemek için hafif yukarı doğru büküme sahiptir (Stalnaker ve Harris, 1999).
8. Yanma dayanımı: Büyük tutkallanmış lamine kereste elemanların yanma derecesi, ağır biçilmiş keresteninkine eşittir, diğer malzemelerine de eşit veya genellikle daha üstündür. Çoğu elemanlarının nominal kalınlığı 2 inç olan tutkallanmış lamine kereste

elemanların yangına dayanıklılığı, geleneksel çerçeve konstrüksiyondan çok daha fazladır (Stalnaker ve Harris, 1999).

9. Ekonomi: Yapısal çelik veya betonarme benzer elemanlardan, tutkallanmış lamine kereste elemanlar genellikle daha ekonomiktir. Tutkallanmış lamine keresteler, biçilmiş kerestelerden (gerekli ölçülerde kereste mevcutsa) daha pahalı olabilir, ancak tutkallanmış lamine kerestelerin diğer avantajları genellikle ilk maliyetinden daha önemli olmaktadır. Belirli bir yapı için, tabi ki, taşıma maliyeti, montaj maliyeti ve yangına dayanıklı malzeme ihtiyacı gibi faktörlerden etkilenen cevap karşılaştırmalı tasarımlar ile elde edilmelidir (Stalnaker ve Harris, 1999).
10. Dayanım özelliklerinin ve kalitesinin yüksek olması ve çevresel şartlardan daha az etkilenmesi nedeniyle kullanım süresi biçilmiş keresteye göre uzundur (Stark, Cai ve Carll, 2010).
11. Montaj esnasında eğiklik inşa etmek kolayca mümkündür (Stalnaker ve Harris, 1999).

Biçilmiş keresteler ile karşılaştırıldığında, tutkallanmış lamine kerestelerde bazı sorunlar mevcuttur, ama bu yalnızca büyük ölçüde imalat sorunlarıdır. Komşu lamellerin genişleme ve daralma özellikleri farklıysa ve buna ek olarak kullanım esnasında meydana gelen rutubet değişimi ile tutkallanmış lamine kerestede iç kalıcı gerilim oluşabilir. Benzer şekilde lif kusurları ve reaksiyon odunu gibi anomalilerin bulunması komşu lamellerin farklı davranışlar sergilemesine neden olur ve kalıcı gerilme meydana getirir (Stalnaker ve Harris, 1999).

Yukarıda ifade edildiği gibi ahşap laminasyon tekniği ile üretilen yapı elemanlarının üstünlükleri nedeniyle çalışma kapsamında bu teknik kullanılarak üretilen kirişlerin ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür incelemesi hem çalışmada kullanılan güçlendirme detayı olarak hem de uygulanan yükleme türü olarak planlanan deneysel çalışmanın yenilikçi bir çalışma olduğunu göstermiştir. Bu konuda herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışma kapsamında, ahşap inşaat sektöründe geniş olarak kullanılan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kerestesi kullanılmıştır. Sarıçamın (*Pinus sylvestris* L.) diri odunu geniş, sarımsı ak renkte, öz odunu alımsı kahverengindedir. Parçalandıktan sonra daha koyulaşır. Senelik halkaları belirgin ve hafif dalgalıdır. Radyal kesimde yaz kerestesi birbirine paralel şeritler halinde görülür. Öz ışınları radyal kesitte enine, narin bantlar oluştururlar. Uzunlamasına paraneşimleri bulunmamaktadır. Salgı özdeğı hatları ladin ve melezden daha büyük ve çok sayıdadır. Odunu oldukça sert ve orta ağırlıktadır (Bozkurt, 1992). Çizelge 3.1’de sarıçam odununa ait fiziksel ve mekanik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sarıçama ait fiziksel ve mekanik özellikler (Bozkurt, 1992).

Yoğunluk	D ₀	0,49	gr/cm ³
	D ₁₂	0,52	gr/cm ³
Daralma yüzdesi	β _r	4,0	%
	β _t	7,7	%
	β _v	12,1	%
E-Modül	E-Mod	117 000	daN/cm ²
Eğilme Direnci	σ _E	980	daN/cm ²
Çekme Direnci	σ _ç //	1020	daN/cm ²
Basınç Direnci	σ _B //	540	daN/cm ²
Dinamik Eğilme Direnci	a	3,9	j/cm ²

Diğer çam türleri dikkate alındığında genç ağaçlarda diri odun geniş, sarıçamda ise daha dardır. Basit kurutulur, çatlamaya ve dönmeye meyili seyrek. Güzel şekillendirilebilir ve yapıştırılır. Satıh hareketlerinde salgı özdeğı akıntısı sebebiyle zorluk çıkar. Zor parlatılır. (Bozkurt, 1992).

Köknar ve ladinden daha serttir, onlara göre daha esnektir. Vida ve çivi ile bağlantısı yeterlidir. Zor verniklenir, oldukça dayanıklıdır (Ekici, 2004).

Deney elemanlarını hazırlanmasında poliüretan tutkal çeşidi kullanılmıştır. Poliüretan tutkalı, uygun izosiyanat ve çift bağı alkolden elde edilir. Oldukça elastik olup, kaynar suya, kimyasal maddelere, yağlara ve mikroorganizmalara dayanımı mükemmeldir. Katmanda çekme olmaz. Bu yüzden, kalın katman verir (Burdurlu, 1994).

Destek katmanlı lamine ahşap yapı elemanlarının üretilmesinde kullanılan poliüretan tutkalı, atmosferdeki rutubetle kürleşen tek-komponentli D4 tipi tepkimeye giren yapıştırıcıdır. Oldukça fazla ısı ve su direncine sahiptir (Hadim Boya, 2015).

Poliüretan tutkalının tatbikat yerleri; eşik ve cam çerçevesi yapıştırması, kereste laminat ve kereste içerikli materyal yapıştırılması, dış yüzey irtibat yapıştırılması, MDF irtibat konumlarının yapıştırılması, mineral içerikli kısımların yapıştırılması, fayans materyal, beton ve katı köpük materyallerin yapıştırılmasıdır (Hadim Boya, 2015).

Poliüretan tutkalı ile yapıştırılacak materyallerin nemsiz, toz ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Malzeme rutubet tahmini %8-12 olmalıdır (Hadim Boya, 2015).

Poliüretan tutkalına ilişkin teknik özellikler Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Poliüretan tutkalının teknik özellikleri (Hadim Boya, 2015)

Baz	Poliüretan
Renk	Kahverengi
Özgül ağırlık	1.1+ 0,02g/m ³
Brookfieldsp 3/20 rpm	1600+ 0,02 m Pa's
Kesafet	Akıcı
Uygulama koşulları	Tavsiye edilen uğraşma hava ısısı 20 °C'dir. Isının 5 °C'nin altına düşmemesi gerekir.
Uygulama Metodları	Ispatula ve el merdanesi
Uygulama miktarı	Malzemeye bağlı olarak 100-200 g/m ²
Açık zaman	Yaklaşık 20°C' de 20 ila 30 dk. Bu periyot ortamdaki fazla rutubet ve ısı nisbetine göre düşebilir.
Baskı uygulaması	Bölümler en uygun kürleşme ve kafi münasebeti ortaya çıkarmayı kanıtlamak için sıkıştırılmalıdır. Lüzumlu sıkıştırma materyal türü ve miktarına bağlıdır. Kaynaşan kısımların durgun prese maruz kalması durumunda kürleşmenin en uygun düzeye çıkmasını destekleyerek kullanımda ağırlık nakletme kabiliyetini yükseltir.

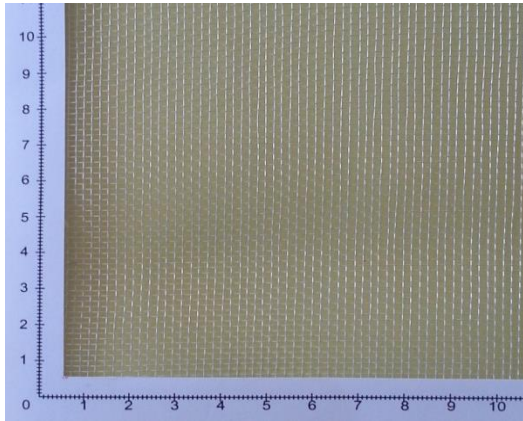
Çizelge 3.2 (devamı) Poliüretan tutkalının teknik özellikleri (Hadim Boya, 2015)

Baskı anı	Baskı anı ortamdaki rutubet ve ısı liyakatıyla ilgilidir. 20 °C de tahmini 90 dk. 40 °C de tahmini 40 dk. 60 °C de tahmini 20 dk.
Son ayarlama zamanı	Birleşmiş kısımlara bundan sonraki uygulama 2-3 saat sonra yapılabilir. Tahmini 24 saat sonra ise son direnç kuvvetine yaklaşılr.

Ahşap lamine kiriş deney elemanlarında güçlendirme amacıyla laminelerin ara yüzeylerine lamine ahşap yapı elemanlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla destek malzemesi olarak; alüminyum tel örgü ve rabitz teli kullanılmıştır.

Alüminyum tel örgü:

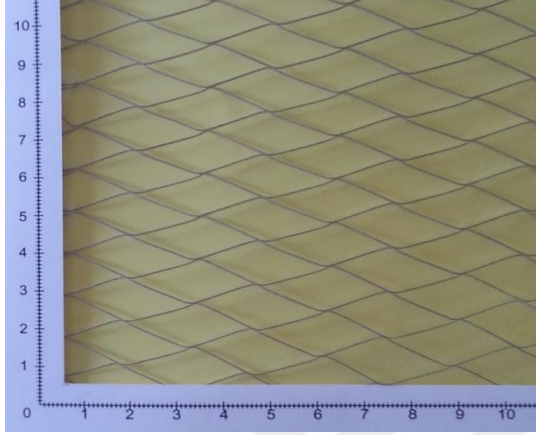
Dayanıklı, uzun ömürlü, deforme olmayan, kokmayan, küflenmeyen ve parlak renkte olan alüminyum tel örgü, 0,28 mm kalınlıkta telden üretilmiş olup, 18 x 16 mm gözenek aralığına sahiptir (Utlutel, 2015). Alüminyum tel örgü kapılar, pencereler, filtre sanayi ve menfezlerde kullanılır. Ayrıca bu malzemenin paslanmaz hususiyeti bulunmaktadır. Suyu dokunduğunda da bu hususiyetini kaybetmez. Piyasada 80-100-120 ve 150 cm eninde, 30 m boyunda, rulo halinde bulunmaktadır (Sivas Nalburiye, 2015). Şekil 3.1’da alüminyum tel örgü gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Alüminyum tel örgü

Rabitz teli:

Rabitz teli, çoğunlukla sıva teli olarak kullanılmaktadır. Rabitz teli piyasada 100 cm genişlikte ve 50 m uzunlukta rulo halinde satılmaktadır (Çobanoğlu, 2015). Rabitz teli Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Rabitz teli

3.1. Deney Elemanlarının Hazırlanması

Masif deney numunelerinin hazırlanmasında TS 5497 EN 408 “Ahşap Yapılar – Yapı Kerestesi Ve Tutkallanmış Lamine Kereste – Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerin Tayini” standardına göre hareket edilmiştir. Buna göre eğilme mukavemeti tayini için; “Deney parçasının uzunluğu kesit derinliğinin en az 19 katı olmalıdır”, liflere paralel yöndeki basınç mukavemeti tayini için ise; “Deney parçasının en kesiti kusursuz olmalı ve deney parçasının boyu, daha ufak en kesitin büyüklüğünün 6 misline çıkmalıdır” (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2006).

Sarıçam keresteler, TS 5497 EN 408 “Ahşap Yapılar – Yapı Kerestesi Ve Tutkallanmış Lamine Kereste – Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerin Tayini” standardına göre eğilme mukavemeti tayini için; 105x105x1800 mm boyutlarında ayrıldıktan sonra doğrudan güneş ışığını etkisinde kalmayacak şekilde 20 ± 2 C sıcaklık ve 65 ± 5 bağıl rutubet koşullarında %12 neme yaklaşıncaya kadar bekletilmişlerdir. Hava kurusu nem seviyesine yaklaşan keresteler, 90x90x1710 mm net ölçüde kesilmiştir.

Liflere paralel yöndeki basınç mukavemeti tayini için; 105x105x600 mm ölçülerinde ayrıldıktan sonra doğrudan güneş ışığı etkisinde kalmayacak biçimde 20 ± 2 C ısı ve $\%65\pm 5$ bağıl rutubet şartlarında $\%12$ neme dayanıncaya kadar bekletilmişlerdir. Hava kurusu nem oranına ulaşan keresteler, 90x90x540 mm net ölçüde kesilmiştir.

Aralık, dal ve salgı özdeği kesesi gibi eksiklerden beri kılınan sarıçam kerestelerden elde edilen değişik uzunluk ve en boyutlarına sahip 25 mm ve 35 mm kalınlıklardaki lamel parçaları, doğrudan güneş ışığı etkisinde olmayacak şekilde tasnif edilerek 20 ± 2 C ısı ve $\%65\pm 5$ bağıl rutubet şartlarında $\%12$ neme yaklaşıncaya dek bekletilmişlerdir. Denge nemine yaklaşan lamel parçalarına, öncelikle planyada bir yüz ve cumbaları açılmış, daha sonra kalınlık aletinde 18 mm ve 30 mm net kalınlık boyutuna getirilmiştir.

Deney numunesi sağlanacak biçimde çeşitli en boy karşılığı olarak 18 mm kalınlıkta 5 adet ve 30 mm kalınlıkta 3 tane lamelin lif istikametleri birbirine paralel olarak epoksi ve poliüretan yapışkan ile birleştirilmişlerdir. (Şekil 3.3.). Materyal zayıf oranını eksiltmek için asıl tatbikatlardaki gibi laminasyonda kullanılacak yapışkan türü vasıtasıyla doğru en birleştirme yapılmış ve birleştirmenin dayanıklı güçlü olabilmesi için ek yerleri U çivi ile stabil hale getirilmiştir (Şekil 3.4.).

Üretilen çeşitli en boy karşılığı olarak 90 mm kalınlığında ve 1800 mm boyundaki yapıştırılmış lamine ahşap bina elemanları, basınç altında 24 saat süre boyunca preslenmiştir (Şekil 3.5.). Yapıştırmada uygulanan pres basıncı miktarının belirlenmesinde, tutkal firmalarının belirttiği değerler esas alınmıştır.

Daha sonra laminasyon işlemi tamamlanan tutkallanmış lamine ahşap kiriş deney elemanları test edilecek ahşap kiriş boyutları olan 90x90x1710 mm boyutlarında kesilerek test edilecek hale getirilmiştir (Şekil 3.6.).



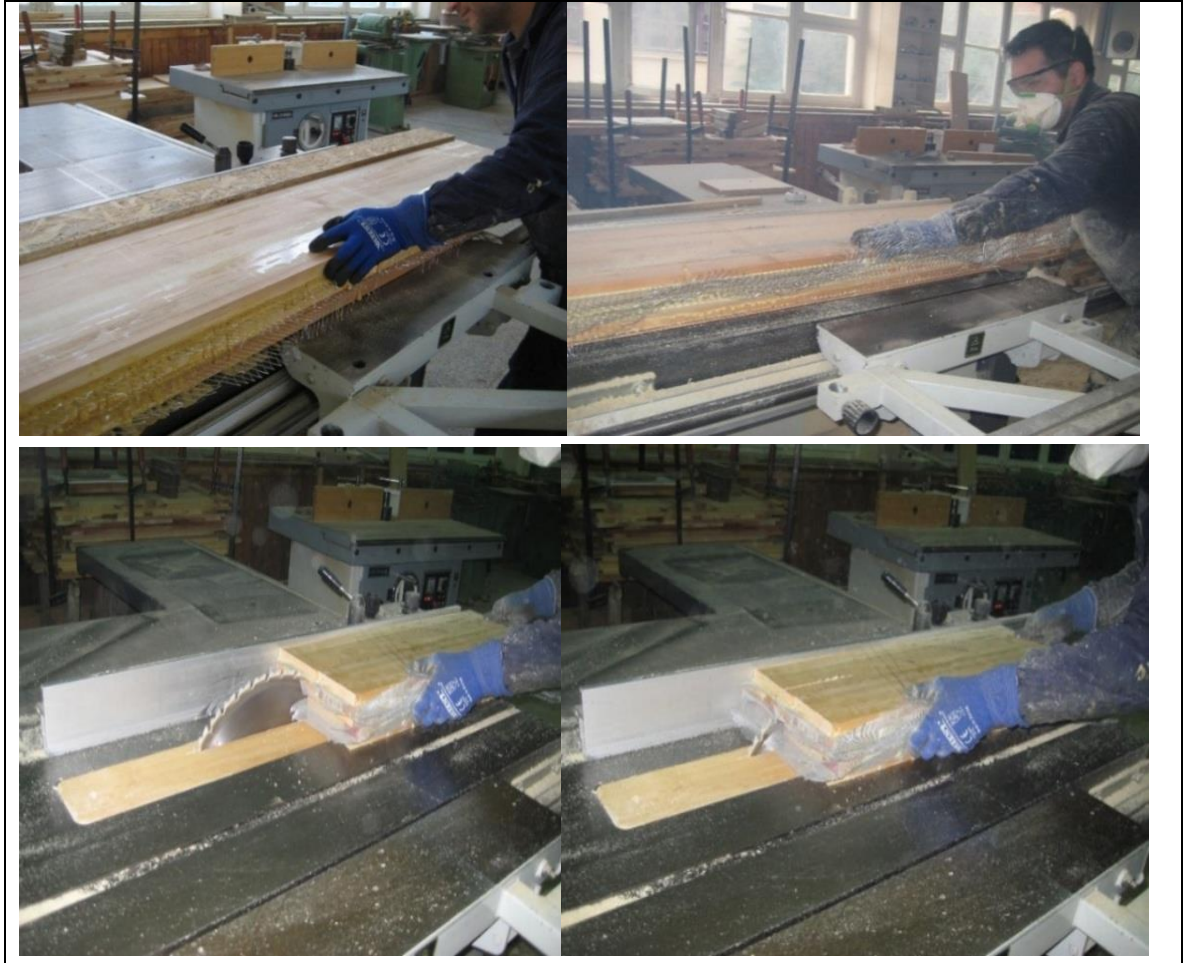
Şekil 3.3. Düz en birleştirme yapılan lameller



Şekil 3.4. Lamellerin düz en birleştirme yapılan bölgelerine U çivi çakılması



Şekil 3.5. Lamine ahşap yapı elemanlarının preslenmesi



Şekil 3.6. Deneye hazır hale getirilmesi için kesilen deney elemanları



Şekil 3.6. (devamı) Deneye hazır hale getirilmesi için kesilen deney elemanları

3.2.Ağırlık Düşürücü Deney Aleti

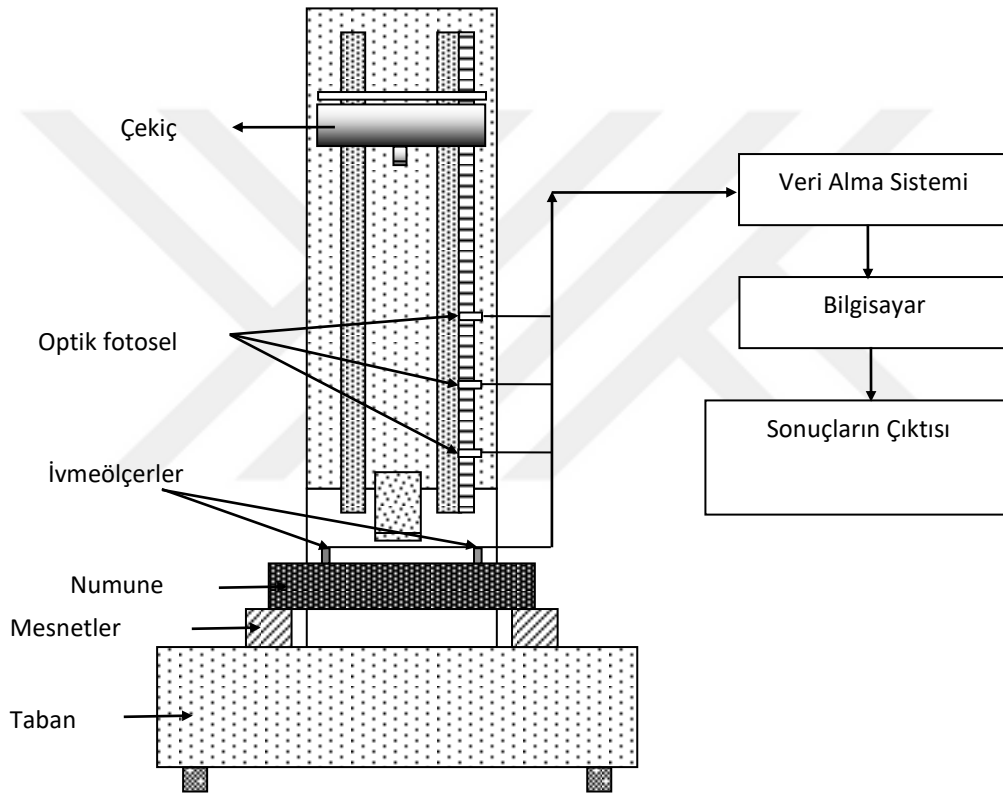
Deney aletleri, deneylerde kullanılacak ölçüm aletleri literatür araştırması sonucu belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonucu göstermiştir ki deney aletleri tasarlanırken yapılacak deney koşullarına göre tasarlanmıştır. Bunun sebebi ise halen çarpma testlerinde kullanılacak olan deney aletleri için standart olmamasından kaynaklanmaktadır. Daha önce yapılan çalışmaların sonuçları göstermiştir ki yapılarda meydana gelen kesme ve eğilme hasarlarını ve deformasyonları en iyi modelleyebilen sistemin ağırlık düşürücü deney aleti olduğudur.

Çalışmada kullanılacak olan deney aleti ağırlık düşürücü deney aleti olarak tasarlanmıştır(Şekil 3.8). Deneylerde kullanılacak eleman boyutlarına ve elemanlar da kullanılan malzeme cinslerine göre boyutlandırılma yapılmıştır.

Ağırlık düşürücü deney aletinde, potansiyel enerjinin çarpma anında kinetik enerjiye dönüşmesi yaklaşımı uygulamada kullanılan temel yaklaşımdır. Buradaki enerji dönüşümü eleman üzerinde çok çok hızlı bir şekilde gerçekleşen gerilme yığılmasına neden olmaktadır.

Aşağıda sıralananlar göz ardı edilmemek kaydıyla ağırlık düşürücü bir test aleti darbe etkisinin gözlenmesi için kullanılabilir;

- Çekiç ve deney elemanı arasındaki ilişki yükü numunenin iç yüzey etkilerinden ötürü aktif eğilme ağırlığı değildir.
- İç yüzey güçlerinin tam olarak meydana çıkarılması ile numune boyunca meydana gelen ivme dağılımı belirlenebilir.
- Numune boyunca bazı yaklaşımlar yapılarak içsel kuvvetlerin elde edilmesinde matematiksel formülasyonlar geliştirilebilir.
- Enerjinin korunumu kanununa göre düşme sırasında kaybedilen enerji kırıntı numunesi tarafından kazanılan enerjiye eşittir.



Şekil 3.7. Ağırlık düşürücü aletin tasarım şeması

Deneyletimde kullanacağım deney düzeneği tasarlanırken ilk önceliğimiz laboratuvarımızda bu deney aletiyle çok çeşitli deneyler yapılabilmesi ve ihtiyaçlara cevap verebilir olmasıydı. Tasarlanan deney aleti, farklı yükseklikler ve farklı ağırlıklar seçme imkânı sağlamaktadır(Şekil 3.7.).

İhtiyaçlar belirlenirken birinci sırada deneylerde kullanılacak numune boyutları dikkate alındı. Numunenin yerleştirileceği taban kaidesi 1000×1000×50 mm ebatlarında kare şeklinde çelik levhadan yapılmış ve bir kaide üzerine yerleştirilmiştir. Çelik levhanın kalın seçilmesinin sebebi ise deney elemanına çekicinin çarpması anında ortaya çıkan hareketin

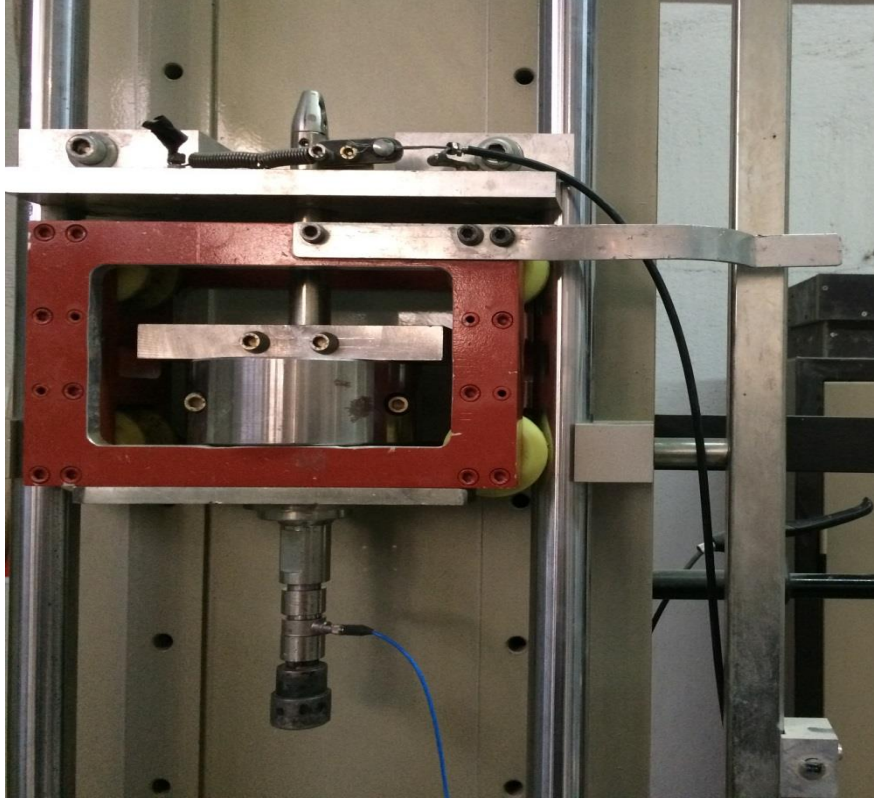
sönümlenmesi ve çarpma noktasının eksantristesinin kaymamasıdır. Böylelikle deney aletinin tabanı sönümleyici görevi görmektedir. Literatürde de görülmüştür ki; sönümleyici olarak yay sistemleri, kauçuk vb. malzemeler ve frenleme sistemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Deney Düzeneği

Deney düzeneğinde bulunan çekiç olarak adlandırılan düşen ağırlık farklı deneyler yapabilmek için arttırılabilir şekilde tasarlandı(Şekil 3.8.). Çekiç alüminyum malzemeden yapılmıştır. Çekicinin kendi ağırlığı 5,250 kg'dır. Çekiç ağırlığını değiştirmek için iç kısmına ağırlık takılmasını sağlayan ve çarpma anında eklenen ağırlıkların hareket etmesini engelleyen vidalama sistemi yerleştirilmiştir. Çekicinin sürtünmesini en aza indirebilmek için yataklarda sürtünen yüzeyleri azaltılmış ve dört köşesinde bulunan iç yüzeyleri

yuvarlatılmış kestamit malzemesinden yapılmış tekerleklerle yatağına oturtulmuştur. Testler çekiç ağırlığı 10.2 kilogram değerine çıkarılmıştır.



Şekil 3.9. Serbest Ağırlık Olarak Kullanılan Çekiç Mekanizması

Kestamit, polyamit türünden bir materyaldir, metal veya alaşımlara şekil vermek üzere, ısıtarak sıvı hale getirip kalıplara dökme işlemi üretilir, yoğun bir dokuya ve katılığa sahiptir. Dişli üretiminde bilhassa geniş çapta dişlilerde seçilir. Dişlilerin yataklanmasını doğru yapılması şartı ile fazla zamanlı mukavemet elde edilir. Bir diğer galebesi de aşınma dayanımının oldukça fazla olmasıdır. Metallerle sürtünerek çalışma durumunda bile oldukça fazla aşınma mukavemetine ulaşır. Özellikle çarpışlara, yüke, yorulmalara mukabil fazla dirençlidir. Sıcaklık dayanımı yüksek, sürtünme katsayısı düşüktür. Kestamit malzemesinin temel özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kestamit malzemesinin temel özellikleri

Sembolü	PA 6
Yoğunluk(g/cm ³)	1,12-1,14
Kopma Mukavemeti(Kg/cm ²)	400-800
Kopma Uzasması	30-300
Eğilme Mukavemeti(Kg/cm ²)	500-1300

Çizelge 3.3 (devamı) Kestamit malzemesinin temel özellikleri

Basma Dayanımı(Kg/cm ²)	600-1100
Darbe Dayanımı(Kg/cm ²)	3-15
Katılık Shore(D)	M80-85, R115-120, D85-90
Sürtünme Katsayısı	0,15-0,42
Havadan Aldığı Rutubet(%)	2,5-3
Sudaki Doygunluk(%)	8,5-10
Max. Mesai ısısı(°C) Uzun-Kısa Süre	90-150
Sürtünme Katsayısı	0,15

Çekicin ucu değiştirilebilir olarak yapılmıştır. Bunun nedeni düşme noktasında bölgesel çarpmanın boyutlarını ve etkilerini değiştirebilmektir. Çekicin düşürme mekanizması mekanik olarak imal edilmiştir. Böylelikle deney yapılacak yüksekliğe çekiç ve tutma mekanizması birlikte pratik ve hızlı bir şekilde çıkarılır.

Çekicin aynı eksende kalarak serbest düşme yapması için iki tarafında millerle kızaklanmıştır. Mil boyu 2500 mm olup deney yüksekliğini belirlemektedir. Çekicin oturduğu miller 30 mm çapında kromdan yapılmıştır. Sürtünmeyi en aza indirmek için yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde özel olarak taşlanmıştır. Miller, deney aletinin kulesine belirli noktalardan sabitlenmiştir. Ayrıca üst kısmı özel olarak dizayn edilmiş olup yüksekliği arttırmaya imkân vermektedir. Kızaklar arası mesafe 200 mm dir. Kızak bağlantı kulesi 300×300 mm kesitindedir.

Çekiç düşme yüksekliğini ayarlayabilmek için üst tespit çenesi kayar şekilde tasarlanmıştır. Serbest düşme esnasında çekicin kızaktan kurtularak tabana çarpmasını engellemek için bir sistem ve sisteme de yaylı/kauçuklu darbe sönümleyici yerleştirilmiştir.

Kızak milleriyle paralel olarak yataklanmış bir profil kızak bağlantı kulesine monte edilmiştir. Bu profil üzerine optik fotoseller yerleştirilerek çekicin harekete başladığı andan çarpma anına kadar geçen sürenin ölçülmesi sağlanmıştır. Ölçümlerin alındığı ve işlendiği elektronik aksam da bağlantı kulesi üzerine okumalar görülecek şekilde yerleştirilmiştir.

3.3. Ölçüm Aygıtları (Sensörler)

Test çalışmasında betonarme kolonların birim zamandaki hız değişimleri piezoelektrik sensörler, yer değiştirmeleri ise potansiyometrik cetveller kullanmak suretiyle takdir edilmiştir. Çarpışma ağırlığı büyüklüğünün belirlenmesinde çarpış gücü fark edicisi (algılayıcısı) kullanılmıştır.

İvme ölçerler:

Sensörler, genel maksatla mutlak yer değiştirme ölçümlerinde, şok ve titreşimin belirlenmesinde kullanılırlar. Sensörlerin yapısında, depremesel yığın (küme), yay ve absorbe edici sistem bulunmaktadır. Depremesel yığının üstüne etki eden hareketsizlik gücünün oluşturduğu birim zamandaki hız değişimi ölçülür. Sensörler, belirleme yöntemine nazaran kapasitif ve piezoelektrik olmak üzere iki çeşittirler.

Kapasitif sensörler, kapasitör biçiminde işleyen mütekabil olarak ayarlanmış 2 plak içindeki kapasitansın başkalaşması ilkesine nazaran belirleme oluştururlar. Birim zamandaki hız değişiminin tesiriyle beraber, plak parçaları arasındaki aralık farklılaşır. Aralığın farklılaşmasıyla kapasitans farklılaşır ve birim zamandaki hız değişimi ile lineer orantılı bir işaret ortaya çıkar. Kapasitif sensörler düşük düzeyli ve düşük sıklıklı elastiki şey bölümlerinin, hemen her saniye aynı miktarda ileri geri yaptıkları sistematik salınımları, durağan birin zamandaki hız değişimlerini belirlemede kullanılırlar.

Piezoelektrik sensörler çok düşük elastiki şey bölümlerinin, her saniye aynı miktarda ileri geri yaptıkları sistematik salınımları depremesel tatbikatlardan, çok fazla frekansta lineer faaliyet mesafesi gerektiren çarpışma deneylerine kadar pek çok takdir tatbikatında kullanılan, ufak ebatlı, güçlü ısı aralığında çalışabilen, sınai ölçünlü (standartlarda) etrafını saran gömlek içerisinde konumlandırılmış transdüserlerdir. Kuvartz ya da fayans sırcalar bir ağırlığa maruz kaldıklarında picocoulomb düzeyinde elektrik üretirler. Bu elektrik yükünün sırcı üstündeki bir özelliğe has miktarının, sabit şartlar altında artıp azalması zemin cezbetmesi birim zamandaki hız değişiminin değişimi ile lineer orantılıdır. Sensörlerdeki depremesel yükün birim zamandaki hız değişimi altında maruz kaldığı durağanlık gücü piezoelektrik sırcaya etki eder ve birim zamandaki hız değişimi ile lineer orantılı bir elektrik sinyali ortaya çıkar. Çok küçük düzeyde elektronik çevrime malik

piezoelektrik sensörlerin içinde, işareti taşınır voltaj işaretine dönüştüren bir işaret koşullayıcı çevrim bulunmaktadır. Bu çeşit sensörler gürültüye en alt seviyede maruz kalırlar. Üstünde komütatör elektronik çevrim olmayan sensörler dış bir komütatör ile çalıştırılırlar. Bu sensörler güçlü ısıdaki tatbikatlarda yararlanmaya karşı birebirdir. (Kantar, 2009).

Test çalışmasında piezoelektrik sensörler seçilmiştir. PCB Group firmasına ait piezoelektrik ICP çeşit sensörlerden 2 tane Model 353B02 kullanılmıştır (Şekil 3.10.). ICP çeşit sensörler, elverişli kablo çeşidi ve kablo boyuna bakılmaksızın durgun gerilim titizliği arz etmektedir. Ortam şartlarından etkiye maruz kalmadan, boylu kablolarda dahi işaret niteliğinde neredeyse hiç kayıba yaklaşımadan ulaştırılabilen çok az empedanslı output işareti üretirler. ICP türü sensörler, çok az gürültü mesafesine iyedirler. Gerilim-çıkış işaretleri, ölçünlü okuyucu, data tahsil etme tesisatları, kaydedici ve işaret çözümlemesi ile ahenk göstermektedir (PCB, 2017).



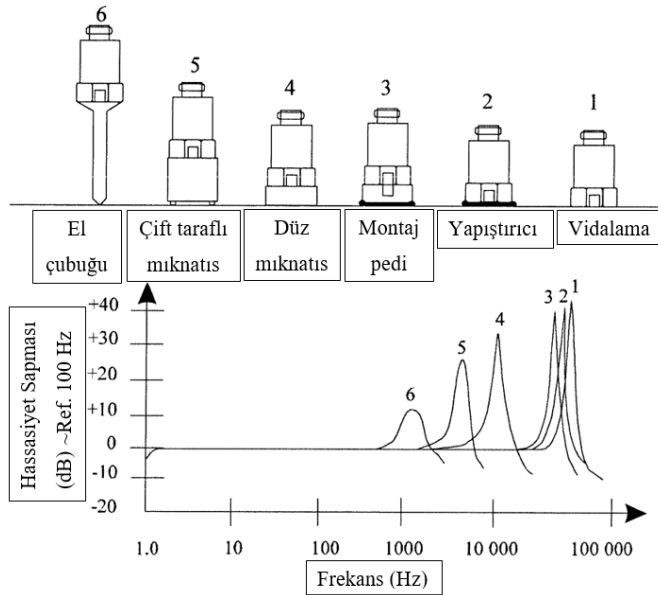
Şekil 3.10. İvmeölçer

ICP tipi sensörler için değişik tipte kurgu metodları mevcuttur. Kurgu tipinin tercihinde pozisyon, metanet, genlik aralığı, ulaşılabilirlik, ısı ve taşınırılık gibi değişkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bununla beraber, kurgu yönteminin sensörlerin güçlü sıklık takatı üstünde tesiri bulunmaktadır. Prodüktör firma, altı adet değişik kurgu metodunun sensörlerin takatına etkilerini kendi araştırma merkezlerinde yaptığı testlerle incelemiştir. Şekil 3.12., testlerin sonunda kurgu çeşitleriyle sınırlı olmak üzere sensörlerin fazla sıklıkla reaksiyonunun, düzene ağırlık eklendiğinde ve/veya kurgu sabitliği eksiltildiğinde sapmasını ortaya koymaktadır. (PCB, 2017).

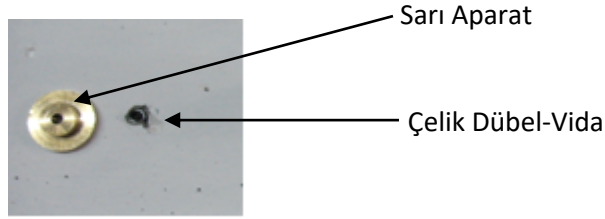
Çarpışma deneylerinde güçlü sıklıkların ortaya çıkması ve sensörlerin beton üzerine munasip olarak oturaklaştırılması için test çalışmasında vida ile kurgu biçimi belirlenmiştir. Uygun değer ilhak tertipleri takdirlerin doğruluk payını önemli miktarda

yükseltmektedir. Güçlü sıklıklı çarpışma deneylerinde, sensörlerin altı ve sınanacak örneğin üzerinin kirsiz, sade, kusursuz, çiziksiz olması en iyi takatı açığa çıkarmaktadır. (Kantar, 2009). Çalışmada seçilen vidalı kurgu için, betonarme kolonların üstlerine makul ölçekte gözler delindikten sonra, bu gözlerle çelik dübellere vasıtasıyla vidalar monte edilmiştir. Sensörlerin titiz bir şekilde değer okuyabilmesi için nakiliyet seviyesi iyi olan sarı materyalden kurgu aleti dizayn edilmiş ve bu alet ile sensörler betonarme düşey taşıyıcılar üstüne bağlanmıştır. Sensörlerin teknik özellikleri Çizelge 3.4.'de sunulmuştur.

Çarpma anında yüksek frekanslar oluştuğu için ayrıca beton üzerine tutturabilmek için vida ile montaj şekli tercih edilmiştir. Optimum bağlama tertipleri büyük oranda takdirin doğruluk payını arttırmaktadır. En yüksek takat için, bilhassa güçlü sıklıklarda, sensörlerin tabanı ve deneye tabi tutulacak parçaların yüzeylerinin kirsiz, sade, kusursuz, çiziksiz olmasına özen gösterilmelidir. Vidalı montaj için beton üzerine delik açılmış ve bu yuvalara çelik dübel yardımı ile vidalar konumlandırılmıştır. İvmeölçerlerin takdir değerlerini duyarlı bir şekilde okuyabilmesi için iletkenliği yüksek olan sarı materyalden kurgu aleti tasarlanmıştır ve bu alet ile sensörler beton numune üstüne bağlanmıştır. Şekil 3.13.).



Şekil 3.11. Montaj tiplerine göre ivmeölçerin frekans-hassasiyet eğrileri



Şekil 3.12. Montaj yeri ve aparatı

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan ivmeölçerin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hassasiyet ($\pm \%25$)	0,1 mV/(m/s ²)
Ölçüm aralığı	$\pm 49000 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$
Sıklık aralığı ($\pm \%5$)	0,7-9000 Hz
Sıklık aralığı (-3 dB)	0,4-20000 Hz
Filtre türü	Düşük frekans
Elektronik süzgeç köşe sıklığı	23 kHz
Elektronik süzgeç azalım eğimi	12 dB/octave
Rezonans sıklığı	$\geq 55 \text{ kHz}$
Genişbant duyarlılığı (1-10000 Hz)	0,25 m/s ² rms
Düzensizlik	$\leq \%1$
Çaprazlama hassasiyet	$\leq \%7$
Aşırı yük sınırı	$\pm 98000 \text{ m/s}^2 \text{ pk}$
Mesai ısısı	-54 , +121 °C arasında
İkaz gerilimi	20-30 VDC
Durgun cereyan ikaz	2-20 mA
Output empedansı	≤ 200
Output öngerilim gerilimi	8-14 VDC
Tahliye anı	0,5-1,5 s
Hazır hale gelme anı	< 5 s
Spektral gürültü (1, 10, 100 ve 1000 Hz)	70600, 23500, 7250 ve 1860 ($\mu\text{m/s}^2$)/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Cereyan yalıtımı	>100000000
Ebat (Yükseklik)	22,9 mm
Ebat (Altıgen gövde)	9,525 mm
Ağırlık	4,3 g
Algılama elemanı	Seramik
Algılama geometrisi	Kayma
Yalıtım malzemesi	Titanyum
Sızdırmazlık	Hava sızdırmaz
Cereyan irtibatı	M5 x 0,8 koaksiyal jak

Kuvvet algılayıcısı:

Kuvarz güç sensörleri, sıkışma, çekme gerilmeleri, tepki ve tesir güçlerini ölçen dayanıklı, uzun yaşamlı, hareketli hissedici parçalardır. Kullanım alanlarının başında, çarpış güçlerinin izlenmesi, çarpma deneyleri, baskı güçlerinin izlenmesi, güç denetimli, zorlanmış hızlı salınımlarının takip edilmesi, mekanik empedans, talaşlı imalat, düşürme testleri, titreşim uyarıları, penetrasyon sınamaları, dayanım sınamaları, kopma noktası sınamaları, tüm soğuk ve sıcak plastik şekil verme işlemleri, talaşlı imalatlar, kaynak işlemleri ve deney işlemleri gelmektedir.

Güç sensörlerini seçerken deney ortamının hususiyetleri daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Kuvarz güç sensörlerinin bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çelikle karşılaştırılabilir ölçüde güçlü sağlamlık,
- Yüksek gerilim-düşük empedanslı output (ICP türü sensörler için)
- Süratli güçlü sıklık tepkisi
- Ufak ebatlarda önemli güç işaretlerini algılama özelliği
- Önemli statik yükler üstündeki ufak güç dalgalanmalarını ölçme kabiliyeti
- Sert yapısı sayesinde güçlü ve geniş yaşamlıdır.
- Çok iyi lineerlik, durağanlık ve tekrar edilebilirlik
- Dengesel etkilere gösterdiği etki sayesinde dengesel ayarlama yapılabilir ve durgun ısı koşullar altında dengesel ölçümler yapılabilir.

Halka kuvvv.d.gılayıcıları dinamik basınç ölçümleri için tasarlanmışlardır. Bu tip güç sensörleri, soğuk biçim verme, talaşlı üretim işlemleri esnasında meydana çıkan hareketli basma, çekme gerilme ölçmeleri için uygundur. Çelik gibi sertlikleri vardır. Hava sızdırmazlık sağlayan menba sayesinde elverişsiz yerlerde emniyetle kullanılabilirler. Dengesel ayarlama ve kısa süreli dengesel takdir hususiyetleri mevcuttur. Yüksek lineerlik ve yinelenebilirlik hususiyetleri gayet yüksektir. Baskı izlenmesinde, güç kontrollü zorlanmış titreşimlerin olduğu yerlerde, mekanik empedans testlerinde de kullanılmaktadırlar.

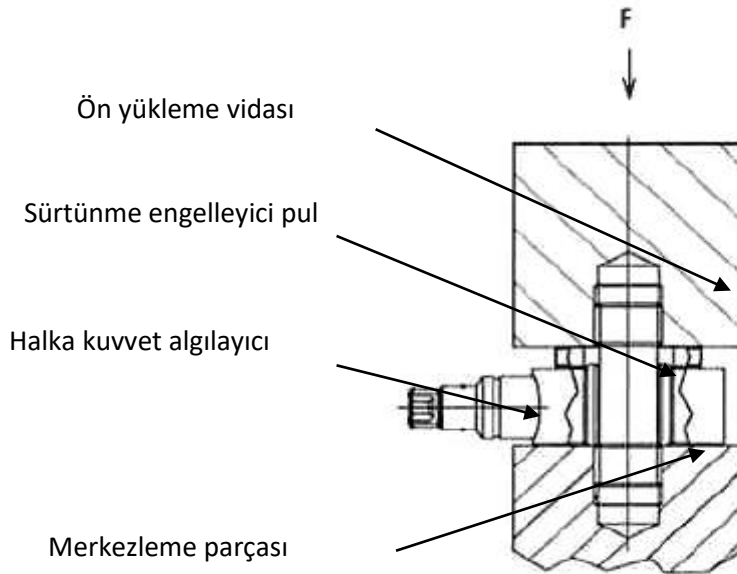
Deneylerimizde PCB Group firmasının üretimi olan kuvars halka kuvvet sensörlerden 201B03 Model ICP türü kullanıldı (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. 201B03 Model ICP kuvars halka kuvvet algılayıcısı

Bu tip algılayıcıların kullanımında en önemli adım algılayıcının montajıdır. Montaj yapılırken yapılan hatalar ölçümleri tamamen yanlış alınmasına sebep olur. Halka kuvvet algılayıcıların montajı Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi algılayıcı, iki yapı arasına özel bir vida ile monte edilir. Bu vida berilyum-bakır karışımı özel bir malzemeden yapılmış olup ön yükleme yapılmasına imkân vermekte, kalibrasyonu düzgün bir şekilde sağlanmakta ve algılayıcıdan okunan ölçme değerleri lineer olmaktadır. Algılayıcıyı merkezlemek için vida ile halka arasına plastik bir parça yerleştirilir. Kuvvetin geldiği taraf ile algılayıcı arasına sürtünmeyi engelleyici pul konmuştur.

Laboratuvarımızda mevcut olan halka kuvvet algılayıcısı, yapılan pilot deneylerde görülmüştür ki kullandığımız çekiç ağırlığı ile çarpma anında oluşan kuvvetin pik değerinin algılayıcının maksimum ölçme değerini aştığı görülmüştür. Fakat kuvvetteki değişim değerlerini görmek için deneylerde kullanılmıştır. Kullandığımız halka güç sensörlerinin teknik özellikleri Çizelge 3.5.’de verilmiştir.



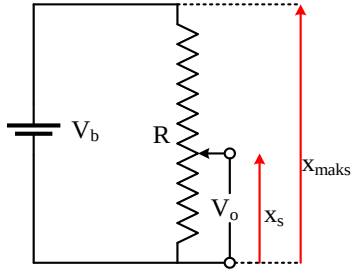
Şekil 3.14. Halka kuvvet algılayıcısı montaj şekli

Çizelge 3.5. 201B03 Model ICP halka kuvvet algılayıcısı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Duyarlılık ($\pm 15\%$)	2248 mV/kN
Takdir Mesafesi (Basınç)	2,224 kN
Maksimum Statik Kuvvet(Basınç)	13,34 kN
Genişbant Çözünürlüğü(1-10 00 Hz)	0,04448 N-rms
Düşük Sıklığa Cevabı(-5%)	0,0003 Hz
En Yüksek Sıklık Değeri	90 kHz
Düzensizlik	$\leq 1\%$ FS
Mesai ısısı	-54 ile +121 °C
Sıcaklık Duyarlılık Katsayısı	$\leq 0,054$ °C
Boşaltma Zaman Sabiti(Oda Sıcaklığı)	≥ 2000 saniye
Uyarma Gerilimi	20 ile 30 VDC
Uyarma Akım Sabiti	2 ile 20 mA
Output Empedansı	≤ 100 ohms
Output Öngerilim Voltajı	8 ile 14 VDC
Önyükleme	0,89 kN
Dış Gövde	Paslanmaz Çelik
Cerayan İrtibatı	10-32 Koaksiyel Jak

Potansiyometrik konum sensörü:

Test çalışması kapsamında çarpışma yüklemesi altında betonarme düşey taşıyıcılarda meydana gelen yer değiştirmeler potansiyometrik yer sensörü ile ölçülmüştür. Potansiyometrik yer sensörü, ileri geri gidebilen bir tutacak veya sürmesi varolan rezistanslardır. Sürme, deplasmanı takdir edilecek örneğe bağlanır. Sürme, rezistans ile temas halindedir. Potansiyometrik yer sensörünün, ünite boyunun rezistansı eşittir. Sürmenin hareketiyle beraber, rezistansın başlangıç noktası ile sürme arasındaki rezistans değişmektedir. Bu nedenle rezistans, sürme konumunun lineer bir fonksiyonudur. Voltaj bölücü çevrim kurularak, rezistans sabit gerilim verilir. Sürme hareketiyle değişen rezistansın voltajı ölçülür. Ölçülen voltaj ve konumu düz orantılıdır. Potansiyometrik yer sensörü devresi Şekil 3.16.'da verilmiştir. Şekil 3.16.'da x_s ve x_{maks} , sırasıyla sürme pozisyonunu ve en iyi ölçme uzunluğunu simgelemektedir. Besleme gerilimi V_b , ile takdir gerilimi V_o , arasında $V_o = (x_s/x_{maks})V_b$ denklemi uygulanır.

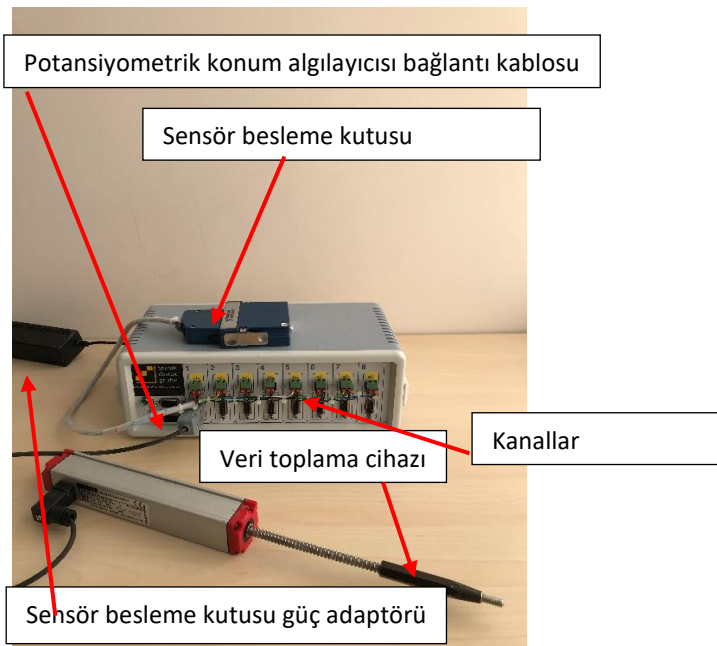


Şekil 3.15. Potansiyometrik konum algılayıcısı devresi

Testlerde Opkon şirketinin üretimi olan LPS marka yaylı potansiyometrik yer sensörü tercih edilmiştir (Şekil 3.17.). Takdir uzunluğu 10 cm'dir. Potansiyometrik yer sensörünün 10V'luk besleme voltajı yöntem takviye şirketinin ürünü olan ivmeölçer besleme kabı (Şekil 3.18.) ile sağlanmıştır. 8 hatlı ivmeölçer besleme kabı eş zamanlı yer değiştirme takdirlerinin data tahsil aygıtına yönlendirilmesine yaramaktadır. LPS marka potansiyometrik yer sensörünün teknik özellikleri Çizelge 3.6.'da sunulmuştur.



Şekil 3.16. LPS Model potansiyometrik konum algılayıcısı

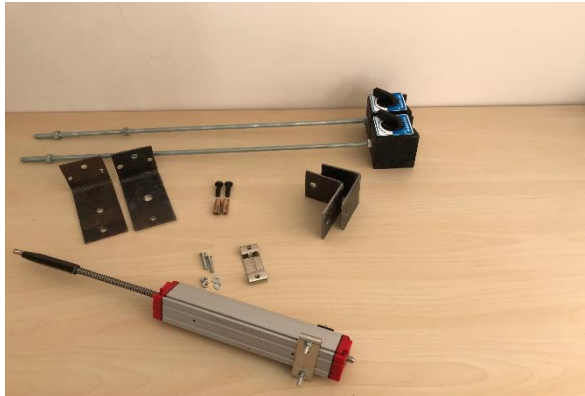


Şekil 3.17. Sensör besleme kutusu

Çizelge 3.6. Potansiyometrik konum algılayıcısının teknik özellikler

Özellik	Değer
Takdir uzunluğu	100 mm
Lineerlik	$\pm \%0,05$
Tekrar Edilebilirlik	$<0,01$ mm
Çözünürlük	Sonsuz
Direnç- Direnç toleransı	10 kOhm, $\pm \%20$
Yük direnci	100 kOhm min
Önerilen kontak akımı	$<1 \mu A$
Maksimum besleme voltajı	28 VDC maks
Cereyan irtibatı	4 kutuplu hidrolik tip konnektör
Sürat	<5 m/s
Mekanik ömür	100 milyon hareket
Gövde ölçüleri-Gövde materyali	33 mm x 33 mm- Eloksallı alüminyum
Mil materyali-Mil çapı	Paslanmaz çelik, $\phi 6$
Mekanik irtibatı	Hareketli ayaklar
IP koruma sınıfı	IP54
Mesai sıcaklığı-Muhafaza sıcaklığı	$-20^{\circ}C$ ile $+80^{\circ}C$, $-30^{\circ}C$ ile $+90^{\circ}C$

Potansiyometrik yer sensörünün kurgusu, sert dayanak sistemine tespit edilen manyetik basamak yardımıyla oluşturulmuştur. Potansiyometrik yer sensörünün, manyetik basamaklara bağlı metrik uzun ve vidalı demir üstünde sabitlenmesi amacıyla hususi çelik aletler hazırlanmıştır. İstihsal edilen çelik aletler eş zamanlı potansiyometrik yer sensörünün yaylı sürmesinin betonarme düşey taşıyıcılarla irtibatını belirlemektedir. Potansiyometrik yer sensörü, çelik aletlere üretici sirketin ayarladığı kayar basamaklar ile beraber vida, rondela ve somun kullanılarak sabitlenmiştir. Potansiyometrik yer sensörünün kurgusunda kullanılan aletler Şekil 3.19.'da verilmiştir. Şekil 3.20., potansiyometrik yer sensörünün test önü bitirilmiş kurgusunu sergilemektedir.



Şekil 3.18. Potansiyometrik konum algılayıcısının montajında kullanılan aparatlar



Şekil 3.19. Potansiyometrik konum algılayıcısı montajı

Data takdir cihazları:

Data tahsil cihazları, test çalışmasında kullanılan takdir cihazlarından sağlanan tahsilleri takdir edip, kompüterde analiz edilebilmesi için kompüter verilerine çeviren cihazlardır. Test çalışmasında kullanılan data tahsil cihazlarının belirlenmesinde takdir cihazlarının çeşidi ve yüklemenin hareketli olması dikkate alınmıştır.

Test çalışmasında ivmeölçerlerden sağlanan birim zamandaki hız değişimi takdirleri ve kuvars çarpış gücü sensörü ile belirlenen çarpışma yükü oranları Şekil 3.21’da verilen National Instruments firmasına ait NI 9234 model data tahsil cihazıyla kompüter verilerine çevrilmiştir. NI 9234, 4 hatlı hareketli işaret tutucusu olup, güçlü gerçeklikte tahsil edebilen IEPE sensörlerinden üretilmiştir. Testlerde 2 tane ivme ölçer ve kuvars çarpış gücü sensörünün her biri koaksiyel kablolar vasıtasıyla NI 9234 data tahsil cihazının hatlarına bağlanmak suretiyle takdirler data tahsil cihazına devredilmiştir.



Şekil 3.20. NI 9234 veri toplama aygıtı

Test çalışmasında düşey taşıyıcı yüksekliği orta seviyesinden potansiyometrik yer sensörü ile alınan yer değiştirme takdirlerinin kompüter verilerine çevrilmesinde National Instruments firmasına ait NI 9201 marka 8 hatlı data tahsil cihazından yararlanılmıştır. Testlerde 2 tane potansiyometrik yer sensörü, algılayıcı besleme biriminin hatlarına takılmıştır (Bkz. Şekil 3.18). Potansiyometrik yer sensörünün besleme gerilimini üreten algılayıcı besleme ünitesi, eş zamanlı takdir işaretlerini NI 9201 data tahsil cihazına göndermektedir. NI 9201, vidalı istasyon, yaylı istasyon ve DSUB olarak çeşitli irtibat alternatifleri ile oluşturulmaktadır. Deneyde tercih edilen NI 9201, vidalı istasyon irtibatına sahiptir. Şekil 3.21’de NI 9201 model data tahsil cihazı ve irtibat türleri simgelenmektedir.



Şekil 3.21. NI 9201 Data toplama cihazı ve irtibat türleri

Test çalışmasında takdir sırasında çarpışma yükü ve birim zamandaki hız değişimi takdirlerinin tahsilinde kullanılan NI 9234 data tahsil cihazı ve yer değiştirme verilerinin tahsilinde kullanılan NI 9201 data tahsil cihazı, National Instruments şirketinin 4 hatlı cDAQ-9174 marka kompakt data tahsil esas gövdesine tutturulmaktadır. Data tahsil esas gövdesi data tahsil cihazlarının aynı anda çalışmalarına imkan verir. Data tahsil esas gövdesi usb irtibatı ile kompütüre irtibatlanarak tahsil edilen takdirleri gönderir. Şekil 3.23., cDAQ-9174 marka yoğun data tahsil esas gövdesini göstermektedir. Data tahsil işlerinde tercih edilen NI 9234, NI 9201 data tahsil cihazı ile cDAQ-9174 data tahsil esas gövdesinin teknik hususiyetleri sırasıyla Çizelge 3.7, Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'da sunulmuştur.



Şekil 3.22. NI cDAQ-9174 model kompakt veri toplama ana gövdesi

Çizelge 3.7. NI 9234 data toplama cihazı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hat adedi	4 adet analog giriş
Yoğunluk	24-Bit
Hareketli mesafe	102 dB
En az veri oranı	1,652 kS/s
En çok veri oranı	51,2 kS/s
Sıklık	13,1072 Mhz
Duyarlılık	± 50 ppm maksimum
Giriş akımı	AC/DC (yazılımla seçilebilir)
En az AC gerilimi	± 5 V
En çok AC gerilimi	$\pm 5,2$ V
İnput gerilim mesafesi	± 5 V
IEPE en az ikaz akımı	2,0 mA
IEPE elverişli gerilim	19 V maksimum
Duyarlılık (25°C, kalibre edilmiş)	$\pm \% 0,05$ (kazanç), $\pm \% 0,06$ (ofset)
Gürültü 51,2 , 25,6 , 2,048 kS/s	50, 40, 25 μ Vrms

Çizelge 3.7. (devamı) NI 9234 data toplama cihazı teknik özellikleri

İrtibat	Tek modüllü USB taşıyıcı
İrtibat (Data takdir ana gövdesi ile)	CompactDAQ, CompactRIO
Mesai ısısı- Muhafaza ısısı	-40°C ile +70°C, -40°C ile +85°C
Yük	173 g

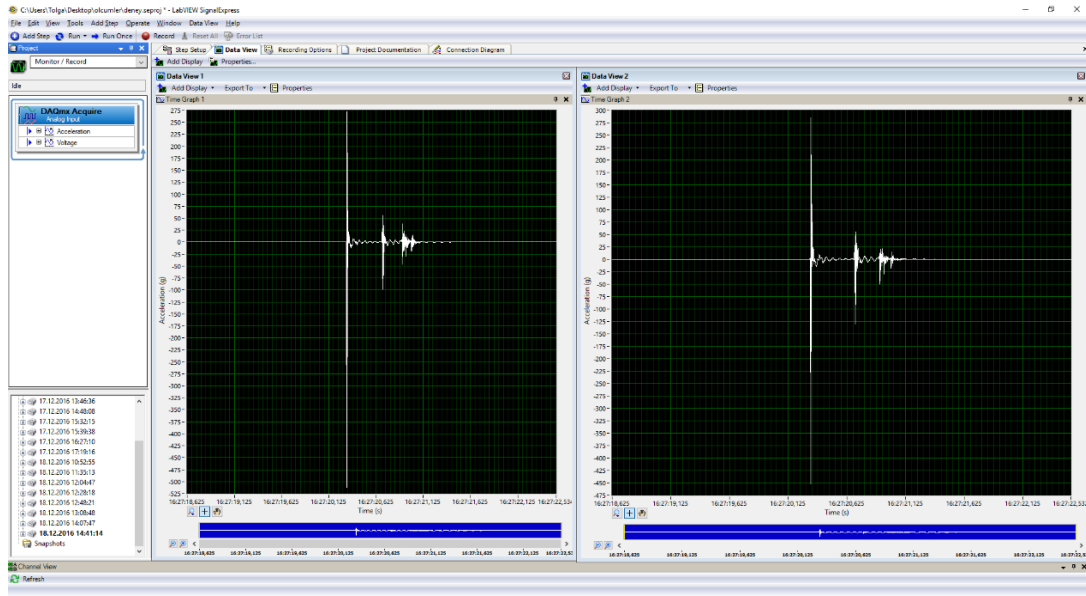
Çizelge 3.8. NI 9201 veri toplama aygıtı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hat adedi	8 kanallı
Yoğunluk	12-Bit
En fazla veri oranı (bir hat)	475 (R serisi ana gövde)-800(diğer) kS/s
En fazla veri oranı (tarama)	475 (R serisi ana gövde)-500(diğer) kS/s
İnput gerilim mesafesi	± 10 V
En düşük tahsil gerilimi	$\pm 10,3$ V
En fazla tahsil gerilimi	$\pm 10,8$ V
İnput direnci	1 M Ω
İnput kapasitansı	5 pF
İnput bant genişliği	690 kHz minimum
Duyarlılığı (25°C, kalibre edilmiş)	$\pm$ % 0,04 (kazanç), $\pm$ % 0,07 (ofset)
İnput gürültüsü	0,7 LSBrms (RMS), 5 LSB (pikten pike)
İrtibat (Data takdir esas gövdesi ile)	CompactDAQ, CompactRIO
Mesai ısısı- Muhafaza ısısı	-40°C ile +70°C, -40°C ile +85°C

Çizelge 3.9. cDAQ-9174 veri toplama ana gövdesi teknik özellikleri

Özellik	Değer
Data takdir modülü hat adedi	4
Yoğunluk	32-Bit
Sayaç/Zamanlayıcı	4
İnput gerilim mesafesi	9-30 V
En fazla misal oranı	Bağlı veri toplama aygıtlarından belirlenir.
Zamanlama duyarlılığı	50 ppm
Zamanlama yoğunluğu	12,5 ns
Aynı anda vazife adedi	7
İnput FIFO data bünye kapsamı	127 (her bir kanal için)
Kompüter irtibatı	USB 2.0
Mesai ısısı- Muhafaza ısısı	-20°C ile +55°C, -40°C ile +85°C
Yük (vidalı terminal)	574 g

Data tahsillerden kömpüter ortamına aktarılan takdirler, LabVIEW SignalExpress yazılımı kullanılarak istenilen data çeşidine dönüştürülerek kayıt altına alınmaktadır. (Şekil 3.24.). Hatta LabVIEW SignalExpress yazılımı, test çalışmasında yer alan takdir cihazlarının ayarlamalarının yapılmasına da imkan vermektedir.



Şekil 3.23. LabVIEW SignalExpress yazılımı

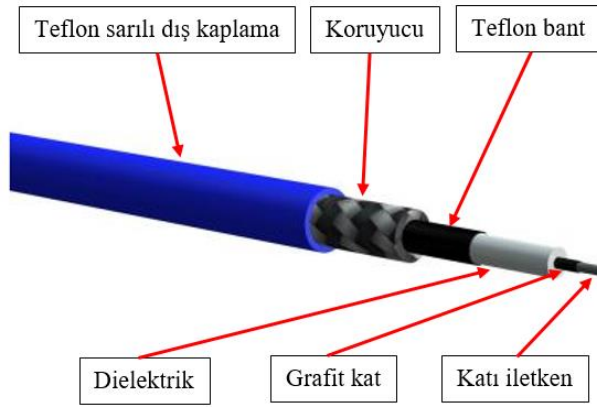
Bağlantı kabloları:

Takdir cihazlarından alınan takdir verilerinin, zayiata uğramadan test numunelerinden data tahsil cihazına iletilmesinde az gürültülü koaksiyel aygıtlar kullanılmıştır. Testlerde PCB Group şirketinin ürettiği 003A10 marka rakamlı kablo tercih edilmiştir. (Şekil 3.25.).



Şekil 3.24. 003A10 model koaksiyel kablo

Güçlü ısı tesirinde tercih edilen sensörlerde, güçlü empedanslı işaretlerde, ICP türü sensörlerde, alçak empedanslı gerilim işaretlerinin gönderilmesinde bu çeşit koaksiyel kablolardan yararlanılmaktadır (Kantar, 2009). Test çalışmasında tercih edilen kablonun çapı 2 mm olup, uzunluğu 6 m dir. Faaliyet ısısı -196° ile $+260^{\circ}$ aralığındadır. Kablo empedansı 50 ohm'dur. Şekil 3.26., 003A10 marka koaksiyel kablonun iç bünyesini verilmektedir.



Şekil 3.25. 003A10 model koaksiyel kablonun iç yapısı

Optik fotosel:

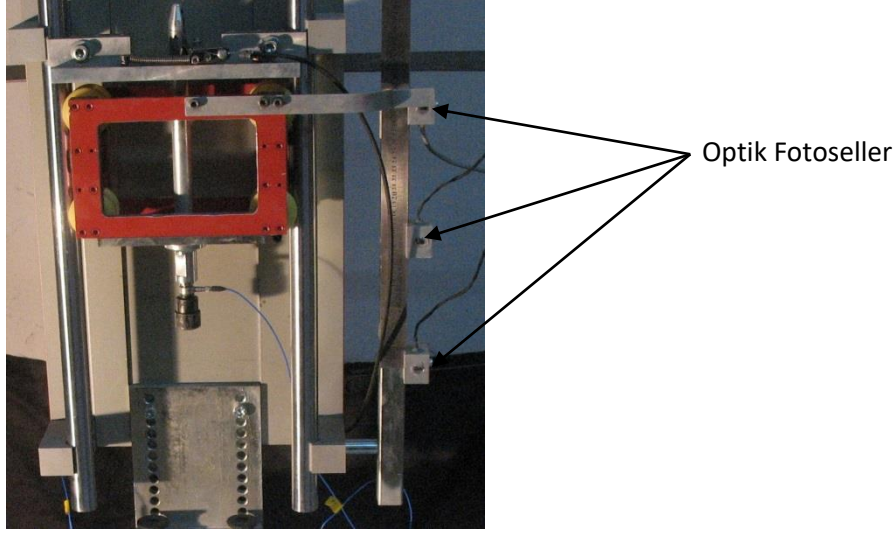
Fotoseller, dokunmasız bir şekilde hareketleri algılama imkanı verir. Görsel fotoseller güçlü takatları ve gittikçe ufalan tasarımları ile kullanım alanları yaygınlaşmaktadır. Koca indüktif ve kapasitif fotosellerde, fotosel ile maksat nesne arasındaki en uzun aralık 60-100 mm dolaylarındadır. Ancak görsel fotosellerin en ufak ebatlarda olanları dahi birkaç metrelik yeri kontrol edebilmektedir. Bu fotoseller üç farklı algılama ilkesine göre sınıflandırılabilir:

- Karşılıklı fotoseller,
- Yansıtıcılı fotoseller,
- Cisimden yansımali fotoseller

Deney aletinde kullandığımız fotoseller cisimden yansımali fotosellerdir. Maddeden yansımali fotosellerin mühim üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır:

- Konumlandırılacak tek bir fotosel vardır.
- Hatalı ayarlama ve reflektör kirlenmesi yoktur.
- Saydam maddeler mütakabil ve reflektörlü fotosellerden daha düzgün idrak edilebilir.

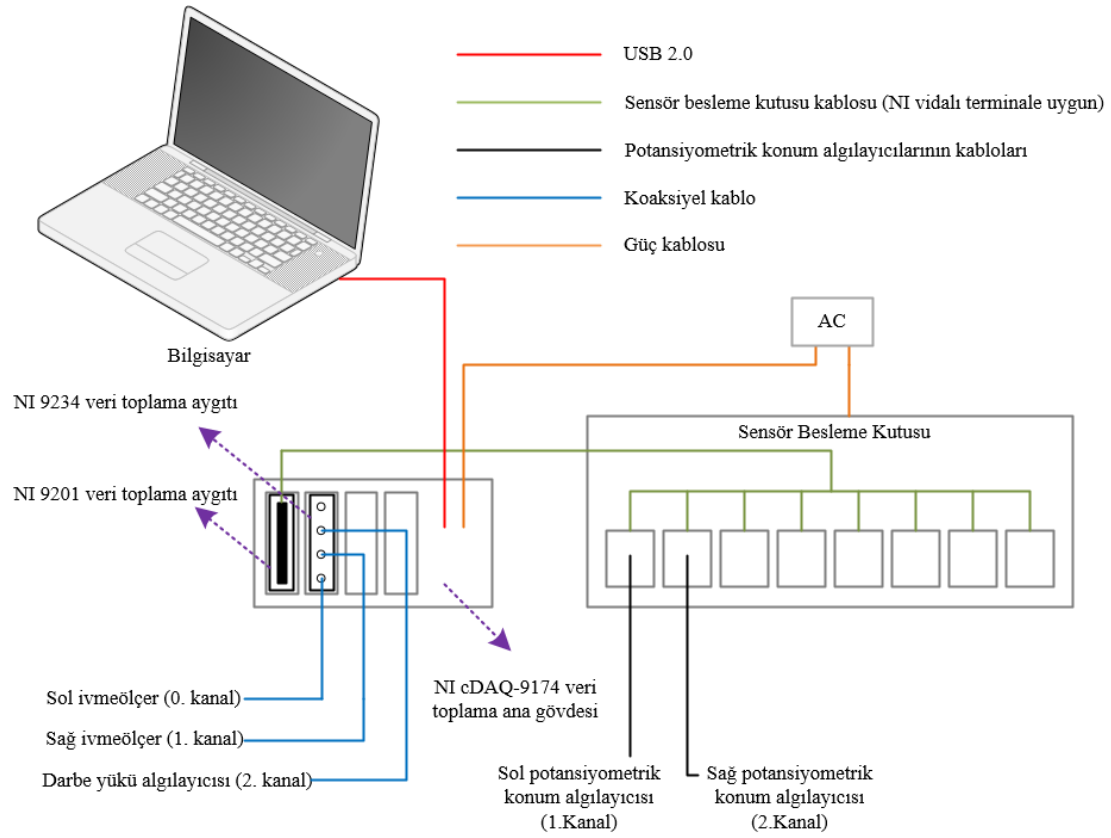
Kullandığımız fotoseller, deneylerde düşen ağırlığın harekete başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen süreyi ölçebilmek için kullanılmaktadır. Çekiç üzerine monte edilen bir parça yardımıyla çekiç fotoselin önünden geçtiği anda fotoseli harekete geçirir ve elektronik bir devreye bağlı olan fotosel ölçüm alınmasını sağlar. Üç adet optik fotosel deney aleti üzerine yerleştirilen özel bir kızak üzerine monte edilmiş ve istenilen yüksekliklere ayarlanarak kullanım imkanı sağlanmıştır(Şekil 3.27.).



Şekil 3.26. Optik fotoseller ve yerleşimi

Üç adet fotoselden en üstte bulunan fotosel çekicin harekete geçtiği anda zaman ölçüm devresini açmaktadır. Ortada bulunan fotosel önünden çekiç geçtiği anda ilk zaman ölçümünü alır. En altta bulunan fotosel ise çekicin harekete başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen toplam zamanı ölçer. Böylelikle çekicin zamana bağlı hız değişimi belirlenmiş olur.

Sınanacak betonarme düşey taşıyıcı dayanak sistemine konumlandırıldıktan sonra, kauçuk ve çelik plak vidalar vasıtasıyla numuneye konumlandırılmıştır. Potansiyometrik yer sensörleri çelik aletler ile manyetik basamak üstünde sabitlenmiştir. Manyetik basanaklar sert dayanak mekanizmaya bağlanmıştır. Potansiyometrik yer sensörlerinin yaylı sürmeleri gerilmiş biçimde, çelik aparatlarla betonarme düşey taşıyıcıya bağlanmıştır. Çarpış ağırlığı sensörü, elverişli çelik irtibat aletleri ile çekice bağlanmıştır. Şekil 4.1., data tahsil sistemi bağlantı ayrıntılarını simgelemektedir. Sensörler ve çarpış ağırlığı sensörü, koaksiyel kablolarla NI 9234 data tahsil cihazına aktarılmıştır. Potansiyometrik yer sensörlerinin kabloları, algılayıcı besleme kabının hatlarına takılmıştır. Algılayıcı besleme kabının kablosu, NI 9201 data tahsil cihazının vidalı bölümüne takılmıştır. NI 9234 ve NI 9201 veri toplama aygıtları, NI cDAQ-9174 data tahsil esas gövdesinin deliklerine oturtulmuştur. USB 2.0 irtibatı vasıtasıyla NI cDAQ-9174 data tahsil esas gövdesi bilgisayara aktarılmıştır. Algılayıcı besleme kabı ile data tahsil esas gövdesinin enerji kabloları takıldıktan sonra, LabVIEW SignalExpress yazılımı ile bütün takdir cihazlarının ayarlamaları yapıp datalar kayıt altına alınmıştır. LabVIEW SignalExpress yazılımı kayıt alma işi için hazırlanmıştır.

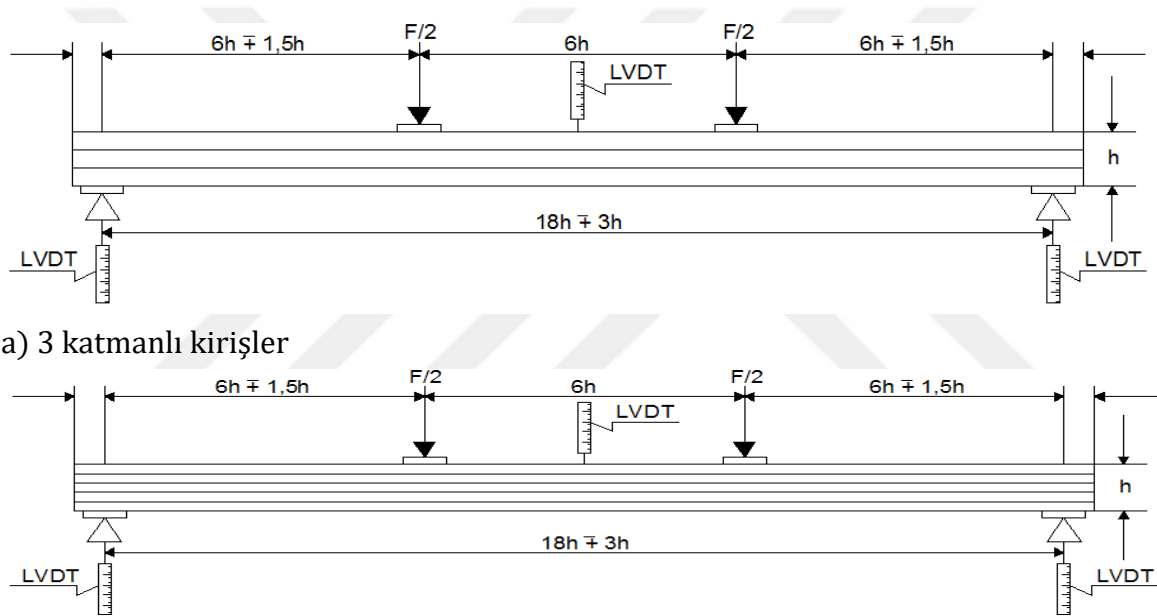


Şekil 3.27. Data tahsil düzeni irtibat şeması



4. DENEYLER

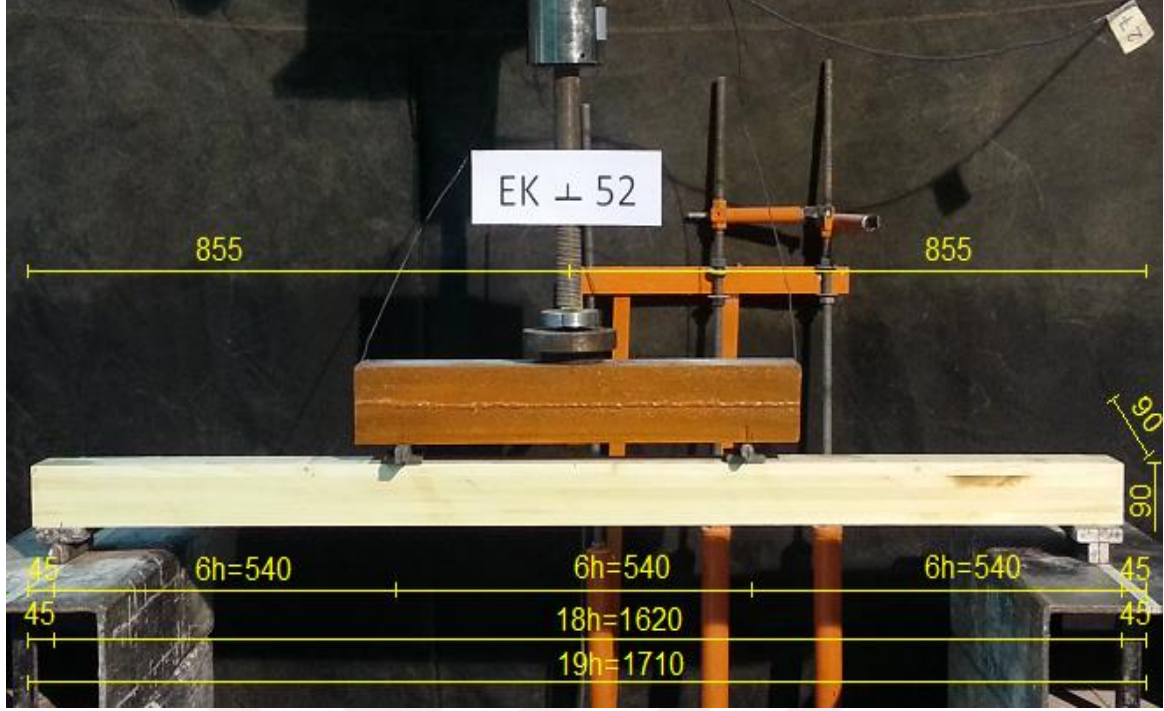
Çalışma kapsamında masif ve lamine ahşap kirişlerden oluşan toplam sekiz deney elemanından meydana gelen bir grup test edilmiştir. Ahşap kiriş deney elemanlarının boyutları 90x90x1710 mm boyutlarında olup, aynı deney elemanlarına hem statik monotonik yükleme hem de sabit enerjili ani dinamik çarpışma yüklemesi etkilmiştir. Deney serisinde yer alan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Deney elemanlarına statik monotonik yükleme dört nokta yüklemesi olarak etkilmiştir. Deney elemanlarının geometrik boyutları ve statik yükleme deney düzeneğinde testleri esnasında alınan bir görünüşü sırasıyla Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ahşap Kiriş deney elemanlarının boyutları

Çizelge 4.1. Deney Elemanlarının özellikleri

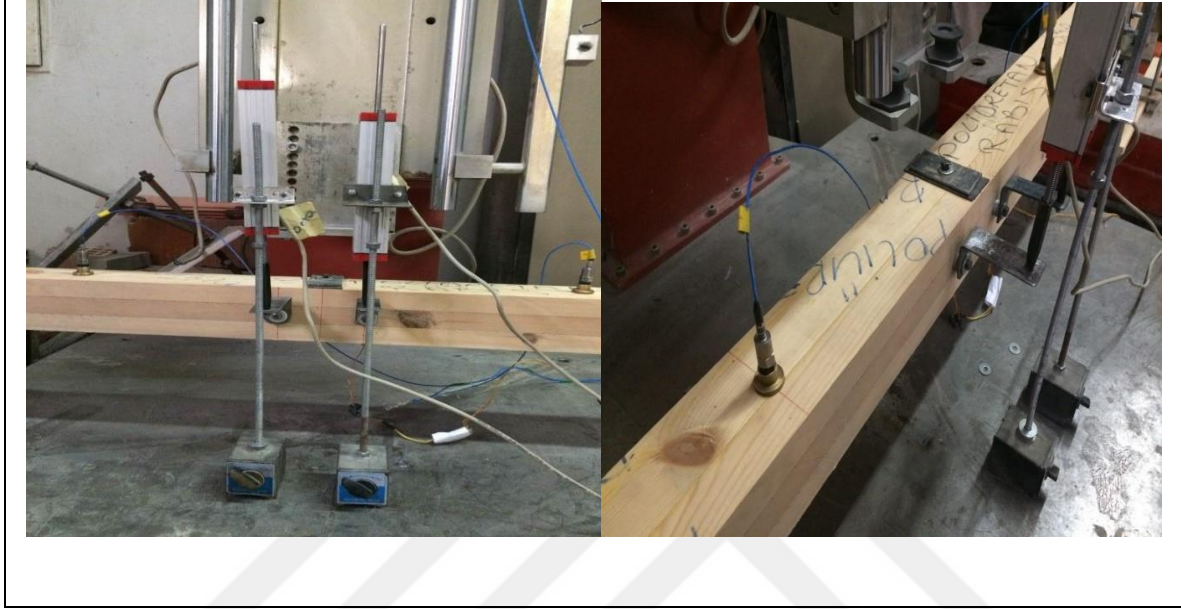
Deney El. No	Yükleme türü	Deney Elemanı Tanımlaması
1	Statik	Masif tek parça ahşap kiriş
2	Çarpışma	
3	Statik	3 katmanlı çelik tel katkılı ahşap lamine kiriş
4	Çarpışma	
5	Statik	3 katmanlı aliminyum tel katkılı ahşap lamine kiriş
6	Çarpışma	
7	Statik	5 katmanlı çelik tel katkılı ahşap lamine kiriş
8	Çarpışma	



Şekil 4.2. Ahşap lamine kirişlerin statik monotonik yükleme deneyinden bir görünüşü

Deneysel çalışmada ani dinamik çarpışma yüklemesi bu amaca yönelik olarak, özel tasarlanmış bir sabit ağırlık düşürme test düzeneği ile uygulanmıştır. Çalışmada deney elemanlarına 10.2 kg ağırlığındaki çekiç 1.0 metre yükseklikten düşürülerek $10.2 \times 9.81 \times 1.0 = 100.062$ Joule sabit enerjili bir çarpışma yüklemesi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada yer alan tüm deney elemanlarına aynı enerjili çarpışma yüklemesi uygulanarak deney elemanlarının çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada çarpışma yüklemesi ahşap kiriş deney elemanlarının tam simetri ekseninden, orta noktasından uygulanmıştır. Testlerde deney elemanlarına uygulanan dinamik çarpışma yüklemesi, simetri eksenin sol ve sağ taraflarında 50 mm uzaklıkta iki noktadan deplasman-zaman değişimleri, deney elemanı sol ve sağ taraflarından simetri ekseninden 300 mm uzaklıkta iki noktadan ivme-zaman değişimleri ve ahşap kirişlerin alt çekme yüzeyinden tam kiriş orta noktasından ahşap taşıyıcı lif doğrultusundan bir noktadan birim deformasyon-zaman ölçümleri alınmıştır. Alınan tüm ölçümler yorumlanarak ahşap kiriş deney elemanlarının çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışları ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Çarpışma yüklemesi deney düzeneğinden alınan görüşler ve sensörlerin yerleri sırasıyla Şekil 4.4., 4.5., ve 4.6.'da verilmiştir.

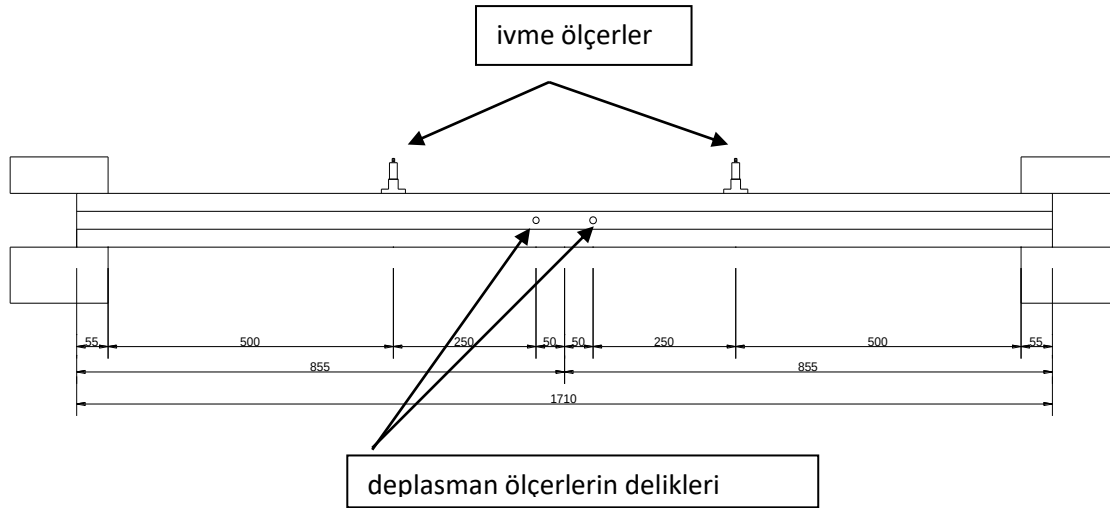
Deneyisel çalışmada ilk olarak aynı özelliklerde ahşap kirişler statik monotonik yükleme etkisi altında dört nokta eğilme testi uygulanarak deneyleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda ahşap kiriş deney elemanlarının monotonik statik yükleme etkisi altındaki yük-deplasman davranışları ve taşıma gücü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Çarpışma yüklemesi serbest ağırlık düşürme test düzeneği



Şekil 4.4. Çarpışma yüklemesi serbest ağırlık düşürme test düzeneği



Şekil 4.5. Çarpışma yükleme sensör yerleri

Monotonik statik yükleme testleri sonucunda ortaya çıkan değerler Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

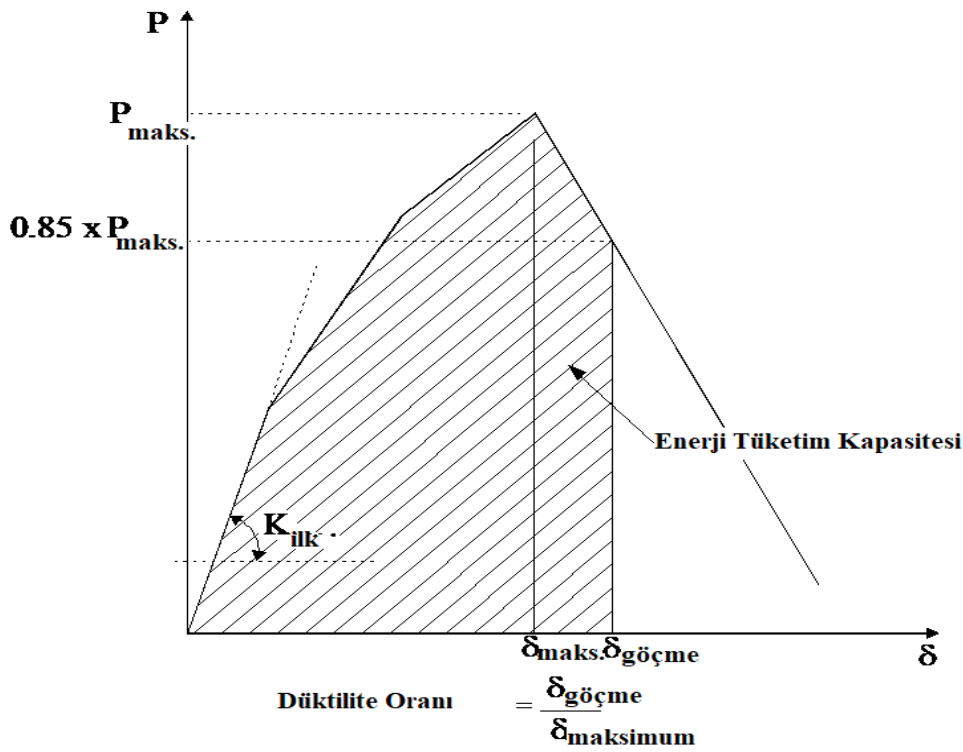
Çizelge 4.2. Deney elemanlarının monotonik statik yükleme etkisindeki test sonuçları

Deney El. No	Taşıma Gücü (kN)	Deplasman süneklik oranı	Başlangıç rijitliği (kN/mm)	Enerji Tüketim kapasitesi (kN-mm)
1	27.18	1.59	1.05	1026.91
3	45.85	1.83	1.36	1427.8
5	37.27	1.67	1.27	1319.83
7	46.02	2.21	1.39	2071.59

Deneyel çalışmada test edilen kirişlerin maksimum taşıma gücü değerleri yük-deplasman grafiklerinin ulaştığı en büyük yük değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Başlangıç rijitliği değerleri ise yük-deplasman grafiklerinin eğiminde ilk değişim meydana geldiği noktanın yük değerinin deplasman değerine oranlanması ile elde edilmiştir.

Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları yük-deplasman grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Deplasman süneklik oranları kiriş deney elemanlarının göçme noktası deplasman değerinin rijitliğin çok büyük oranda değiştiği ve yük-deplasman grafiğinde yük artışının azalarak deplasman artışının başladığı noktanın deplasmanlarının oranlanması ile hesaplanmıştır. Göçme noktası olarak kiriş deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerinin 15% azalarak 85%'ine düştüğü yer göçme noktası olarak kabul edilmiştir.

Test numunelerinin güç yoğunlukları yük-deplasman grafiğinin altında kalan alan kullanılarak hesaplanmıştır. Deney elemanlarının göçme noktasına kadar olan yük-deplasman grafiği bölümünün altında kalan alan hesaplanarak enerji tüketim kapasitesi değerleri elde edilmiş olup, göçme noktası deplasman süneklilik oranlarının hesaplanması için belirlenen noktadır. Şekil 4.7’de taşıma gücü, başlangıç rijitliği, deplasman süneklilik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin tipik bir yük-deplasman grafiği kullanılarak nasıl hesaplandıkları gösterilmiştir.

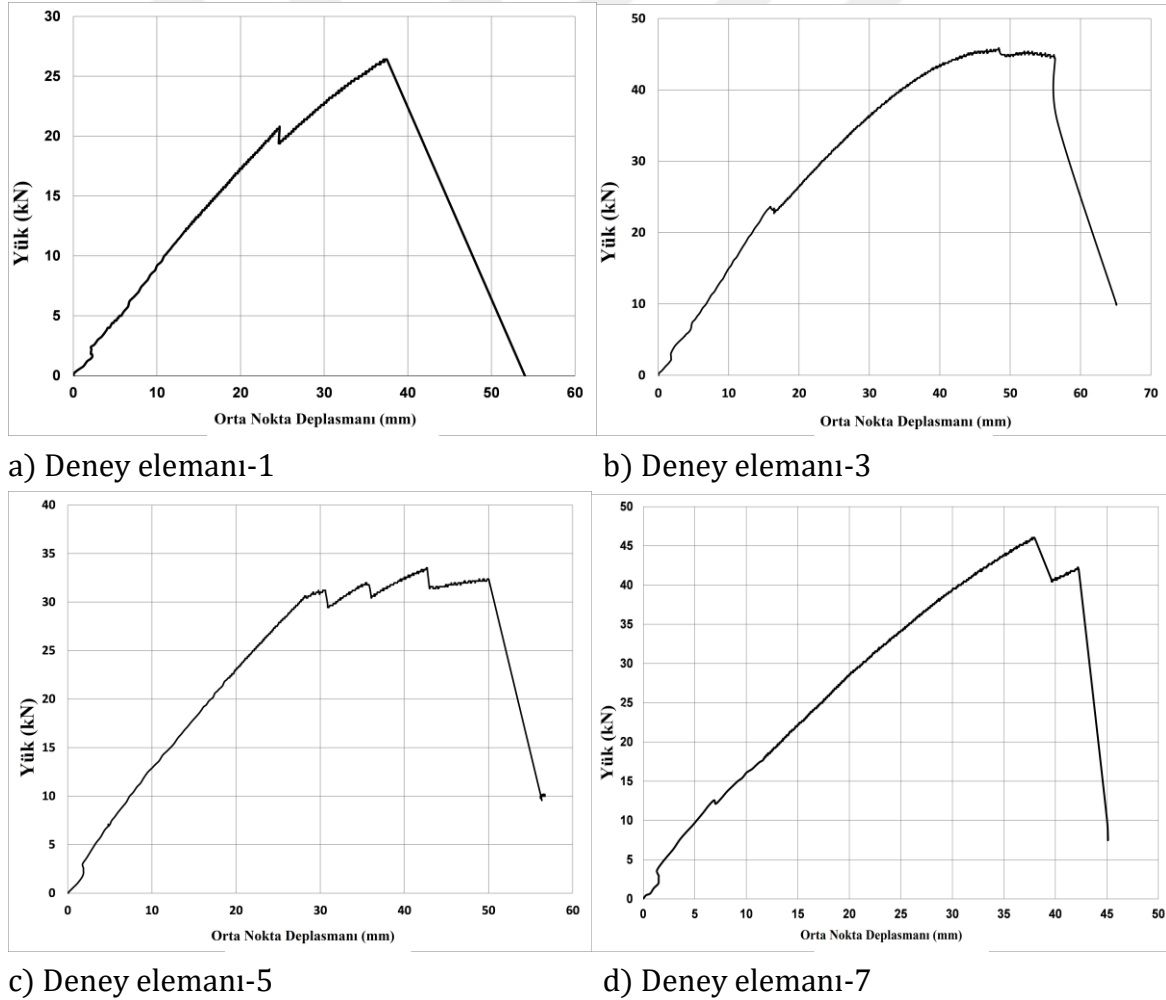


Şekil 4.6. Taşıma gücü, başlangıç rijitliği, deplasman süneklilik oranı ve enerji tüketim kapasite değerlerinin hesaplanması

Ahşap kiriş deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 4.8.’de verilmiştir. Yük-deplasman davranışları ve deneyler sonrasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde ahşap lamine kirişlerin tek parça masif ahşap kirişlere göre taşıma gücü değerlerinin, deplasman süneklilik oranlarının, başlangıç rijitliği değerlerinin ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Lamineler arasında çelik tel katmanlarının olması taşıma gücü değerlerini, deplasman süneklilik oranı, başlangıç rijitliği ve enerji

tüketim kapasitesi değerlerinin daha fazla artmasına ve olumlu yönde değişmesine neden olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmanın ikinci bölümünde statik monotonik dört nokta yüklemesi etkisi altında test edilen dört ahşap kiriş deney elemanı aynı özelliklerde özdeş olarak aynı şekilde serbest ağırlık düşürme test düzeneğinde ani dinamik çarpışma yüklemesi altında test edilmiştir. Deney elemanı 2 masif tek parça ahşap kiriş, Deney elemanı 4 3 katmanlı, katman aralarında çelik güçlendirme teli yer alan lamine ahşap kiriş, Deney elemanı 6 3 katmanlı, katman aralarında alüminyum güçlendirme teli yer alan lamine kiriş ve son olarak Deney elemanı 8 ise 5 katmanlı çelik güçlendirme teli katkılı ahşap lamine kiriş olarak üretilmiş ve çarpışma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir.

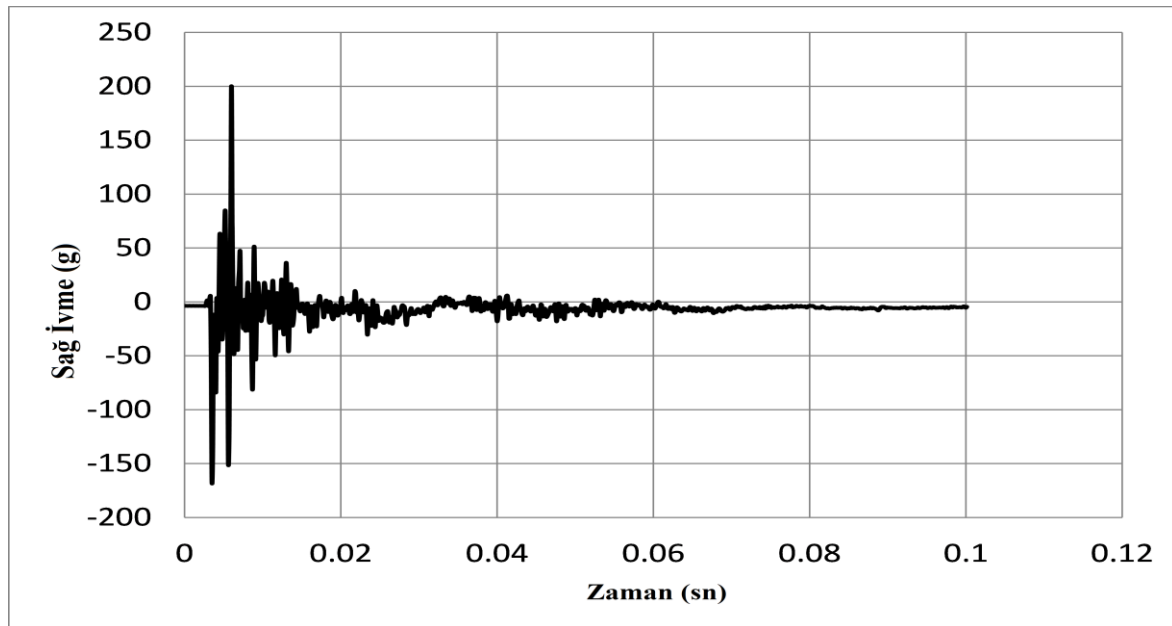


Şekil 4.7. Ahşap kiriş deney elemanlarının monotonik statik yükleme etkisi altında elde edilen yük-deplasman grafikleri

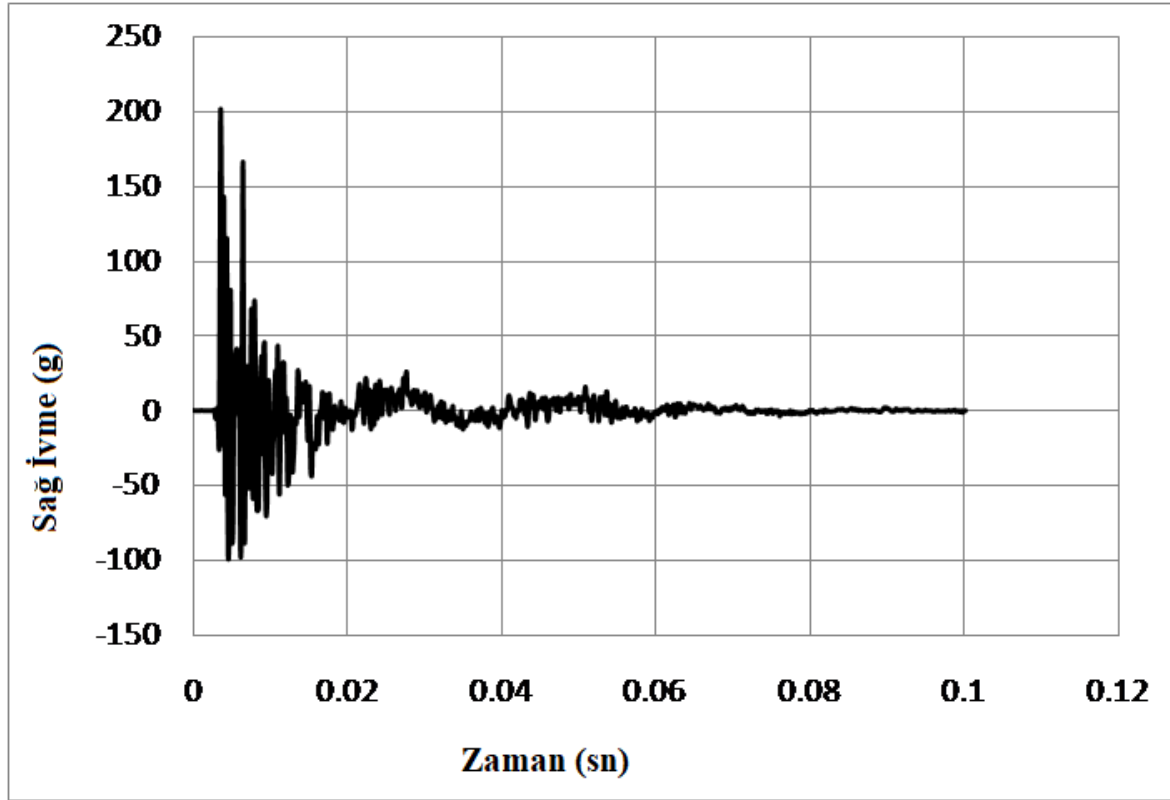
Deneysel çalışmada sırasında çarpışma yüklemesi testlerinde sol ve sağ açıklıktan 2 noktadan ivme-zaman, kiriş orta noktasında yüklemenin uygulandığı noktanın hemen sol ve sağından iki noktadan deplasman-zaman, kirişe yüklemenin uygulanmasında kullanılan çekiçe yerleştirilen dinamik bir yük hücresi ile çarpışma yüklemesi –zaman ve son olarak kirişe çarpma yüklemesinin uygulandığı kiriş orta noktasında, kiriş alt çekme yüzeyinden ahşap taşıyıcı lifler doğrultusunda birim-deformasyon-zaman ölçümleri alınarak yorumlanmıştır. Deney düzeneğinde yer alan optik fotosel sistemi kullanılarak çekicinin deney elemanlarına çarpma hızı ortalama 4.18 m/sn olarak hesaplanmıştır. Bu değer tüm deneylerde birbirlerine çok yakın olarak ölçülmüştür. Bu ölçümlerin maksimum değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak ahşap kirişlerin çarpışma yüklemesi etkisindeki genel davranışlarının yorumlanması hedeflenmektedir. Deneysel seride yer alan çarpışma testi uygulanan deney elemanlarının testlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı ayrı bilgilerinize sunulmuştur.

4.1. Deney Elemanı 2

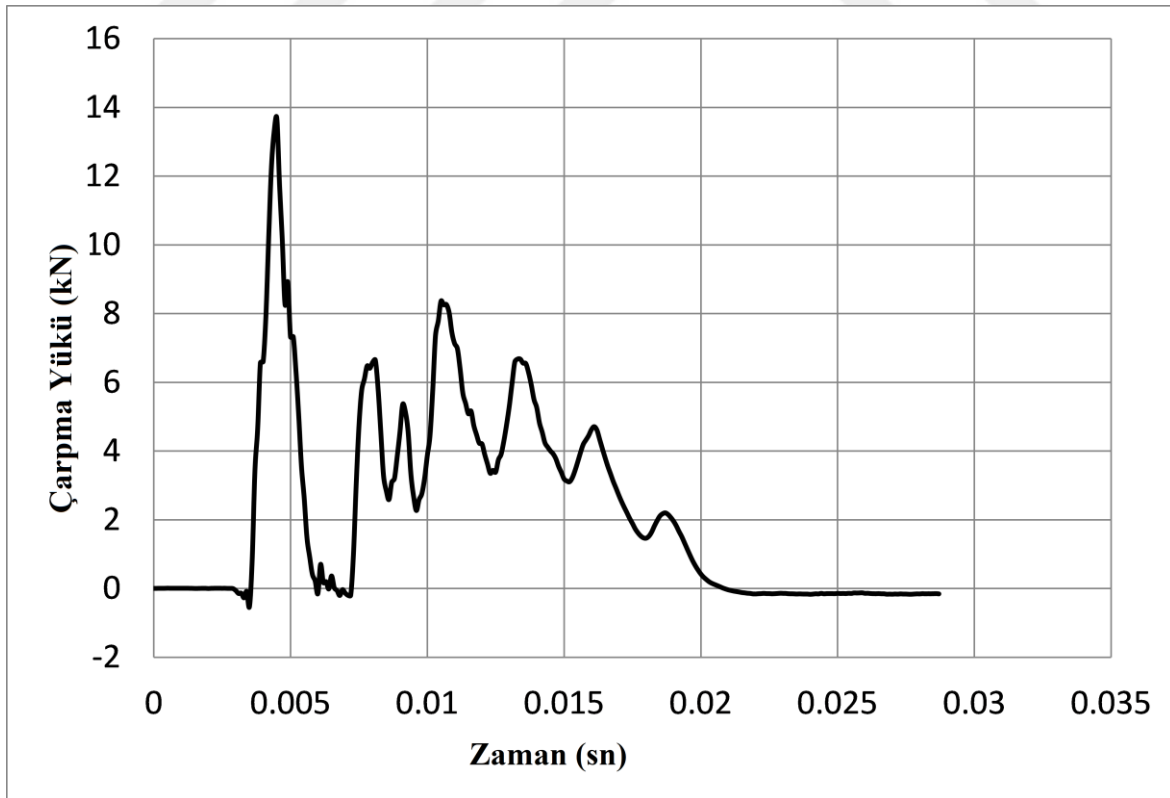
Deney elemanı 2 deney serisinde çarpışma yüklemesi etkisinde test edilen masif tek parça ahşap kiriş deney elemanıdır. Deney elemanın testi sırasında ölçülen birim zamandaki hız değişimi-zaman grafikleri, yer değiştirme zaman grafikleri, çarpma yüklemesi-zaman grafiği ve birim deformasyon zaman grafiği sırasıyla Şekil 4.8-4.13.'de verilmiştir.



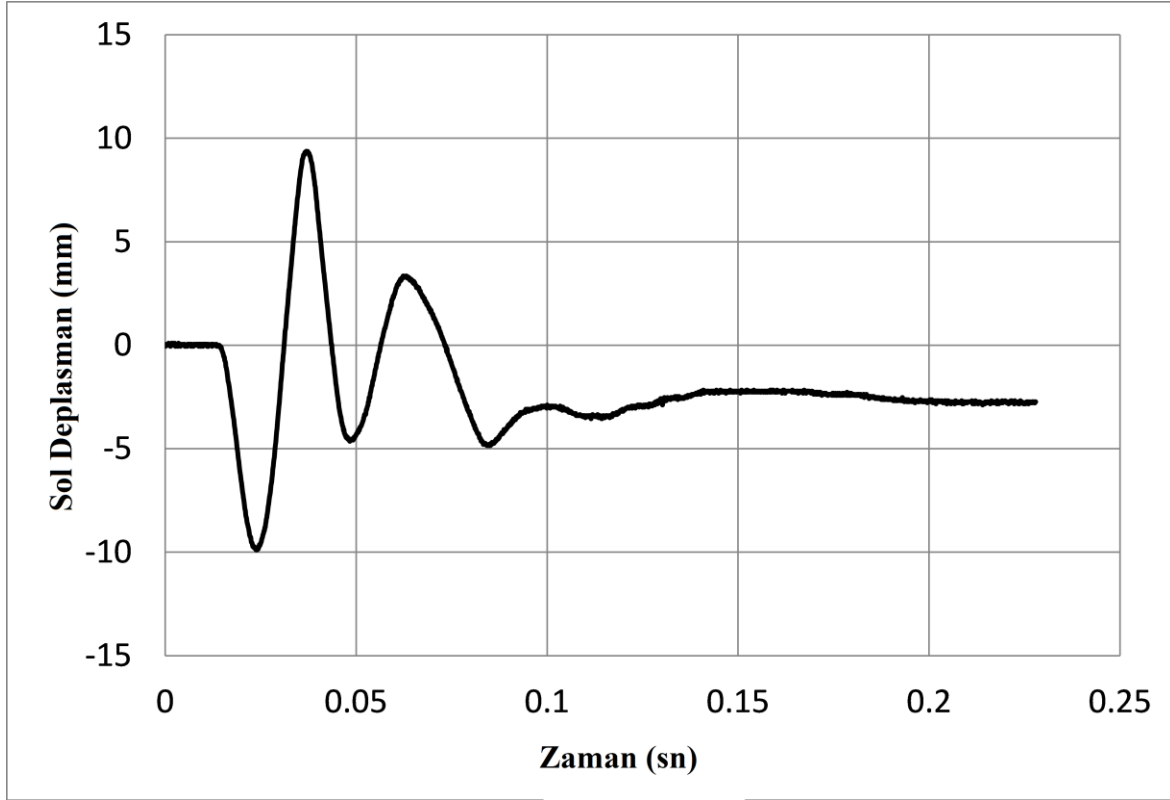
Şekil 4.8. Deney Elemanı 2 sol ivme-zaman grafiği



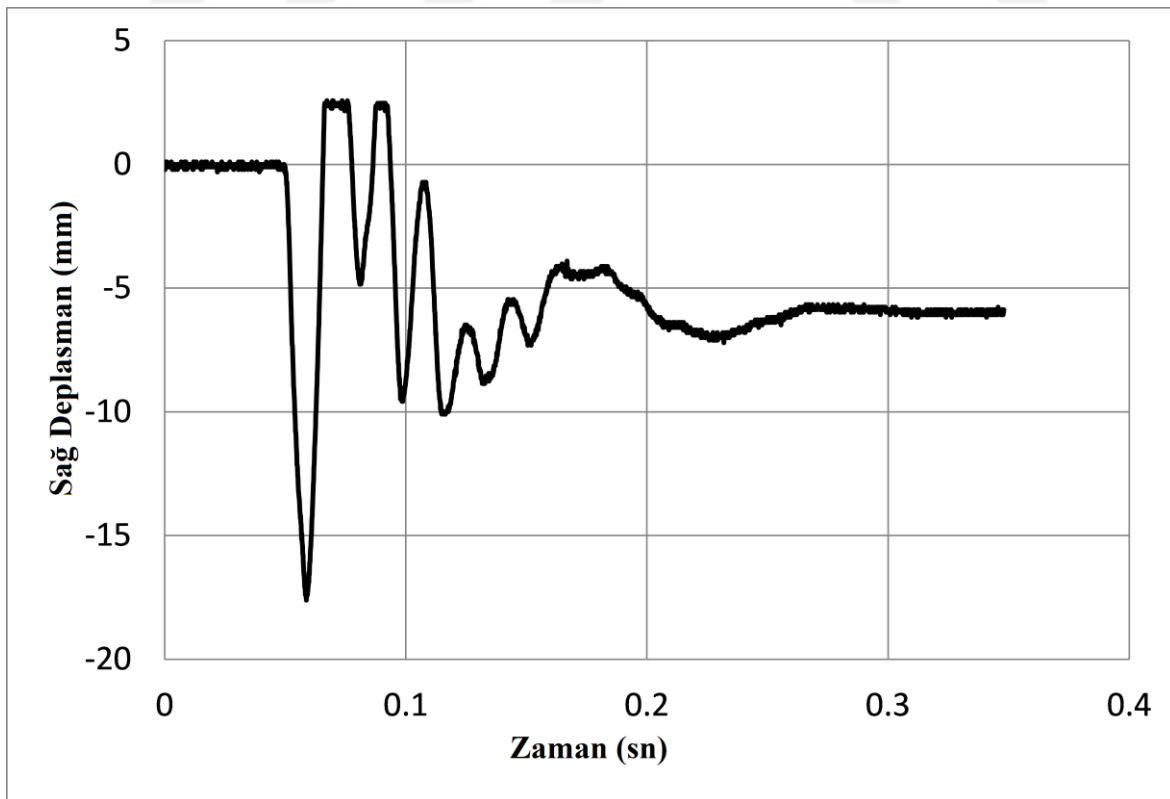
Şekil 4.9. Deney Elemanı 2 sağ ivme-zaman grafiği



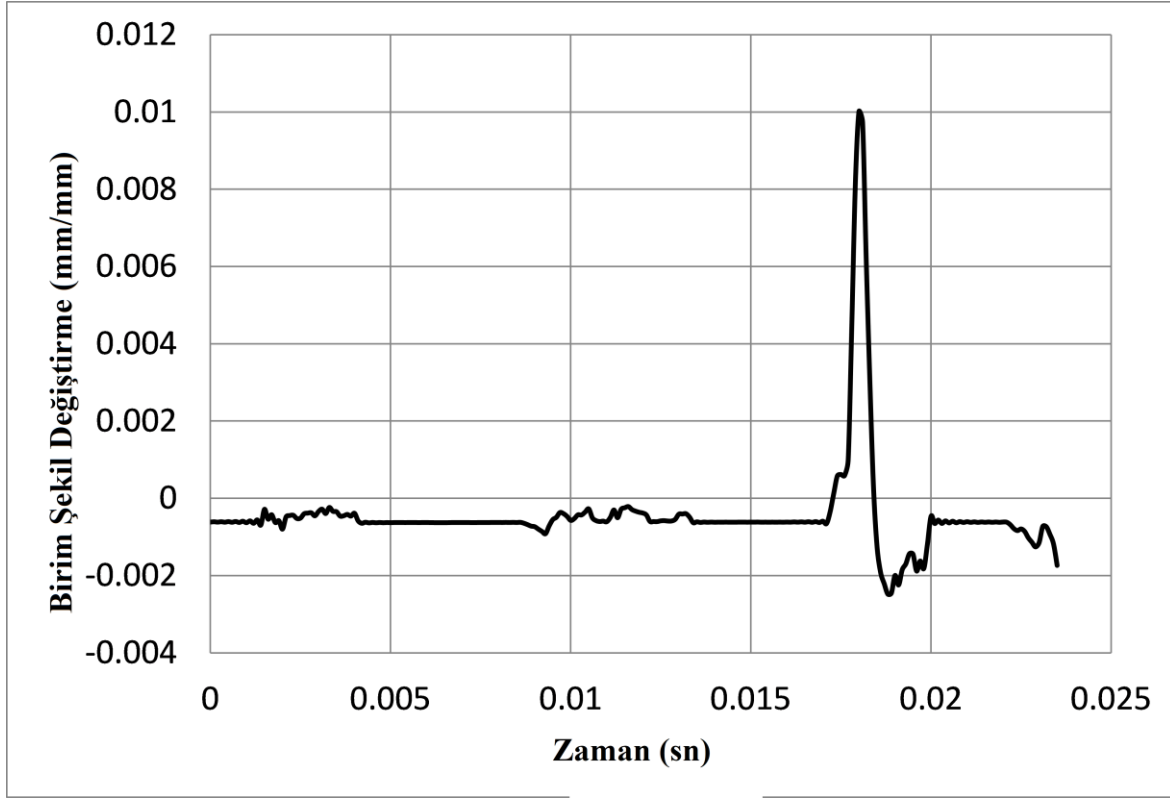
Şekil 4.10. Deney Elemanı 2 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği



Şekil 4.11. Deney Elemanı 2 sol deplasman-zaman grafiği



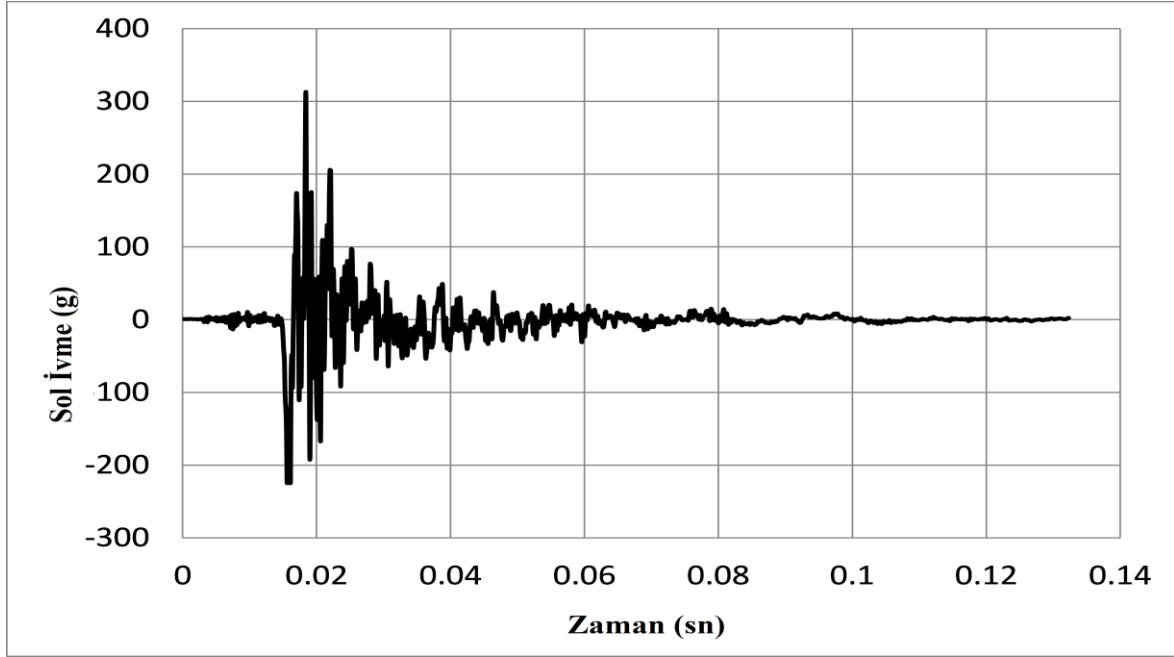
Şekil 4.12. Deney Elemanı 2 sağ deplasman-zaman grafiği



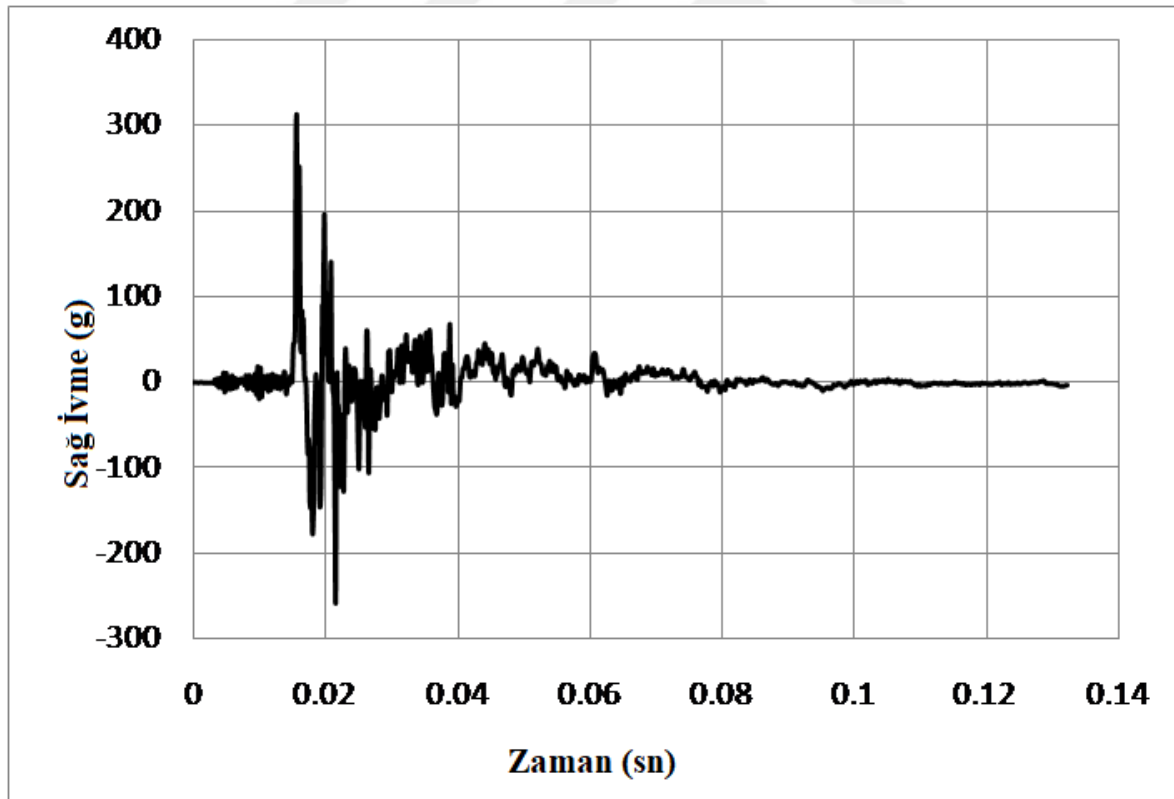
Şekil 4.13. Deney Elemanı 2 birim deformasyon-zaman grafiği

4.2. Deney Elemanı 4

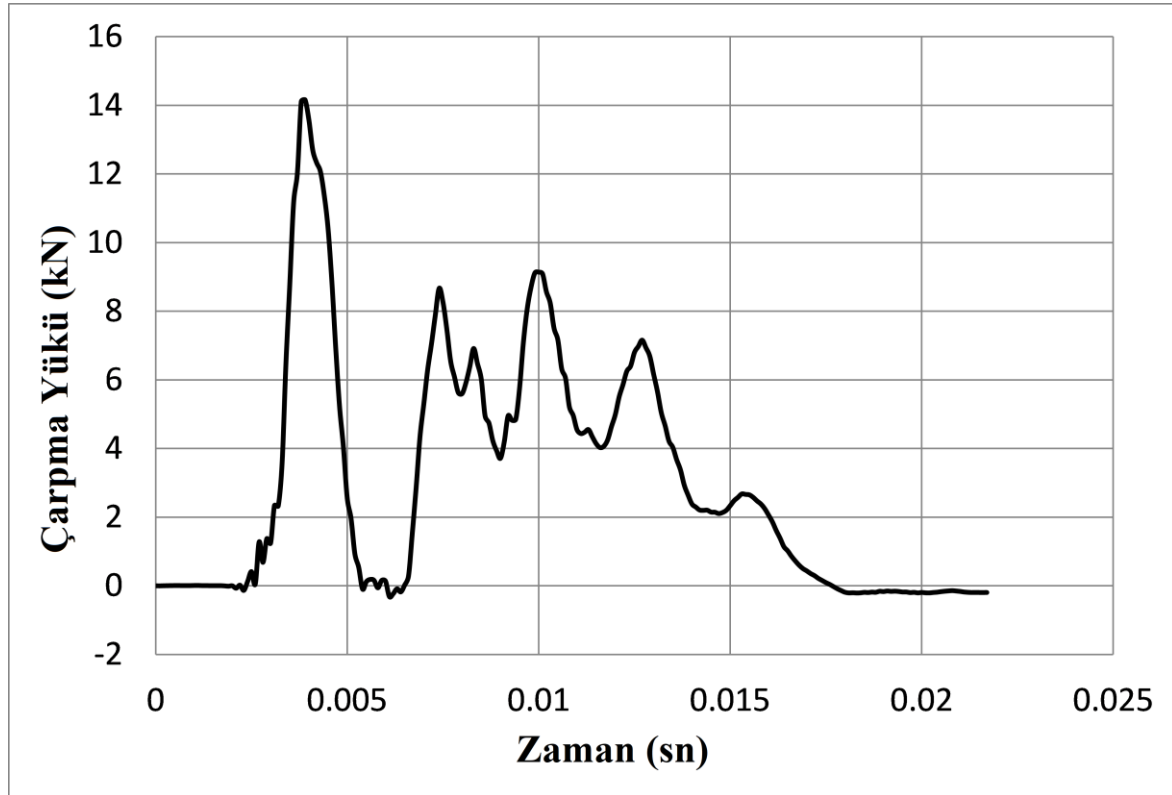
Deney elemanı 4 deney serisinde çarpışma yüklemesi etkisinde test edilen 3 katmanlı, katman aralarında güçlendirme için çelik tel yer alan lamine ahşap kiriş deney elemanıdır. Deney elemanın testi sırasında ölçülen birim zamandaki hız değişimi-zaman grafikleri, yer değiştirme zaman grafikleri, çarpışma yüklemesi-zaman grafiği ve birim deformasyon zaman grafiği sırasıyla Şekil 4.14-4.19'de verilmiştir.



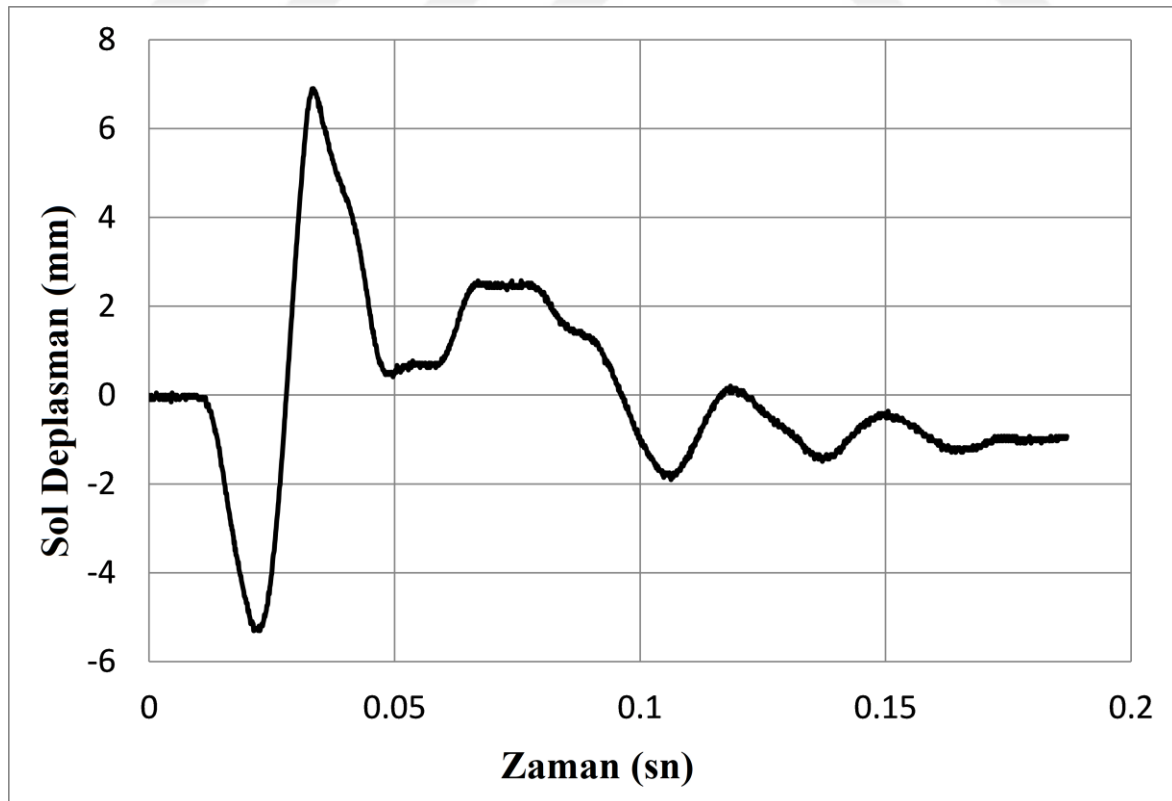
Şekil 4.14. Deney Elemanı 4 sol ivme-zaman grafiği



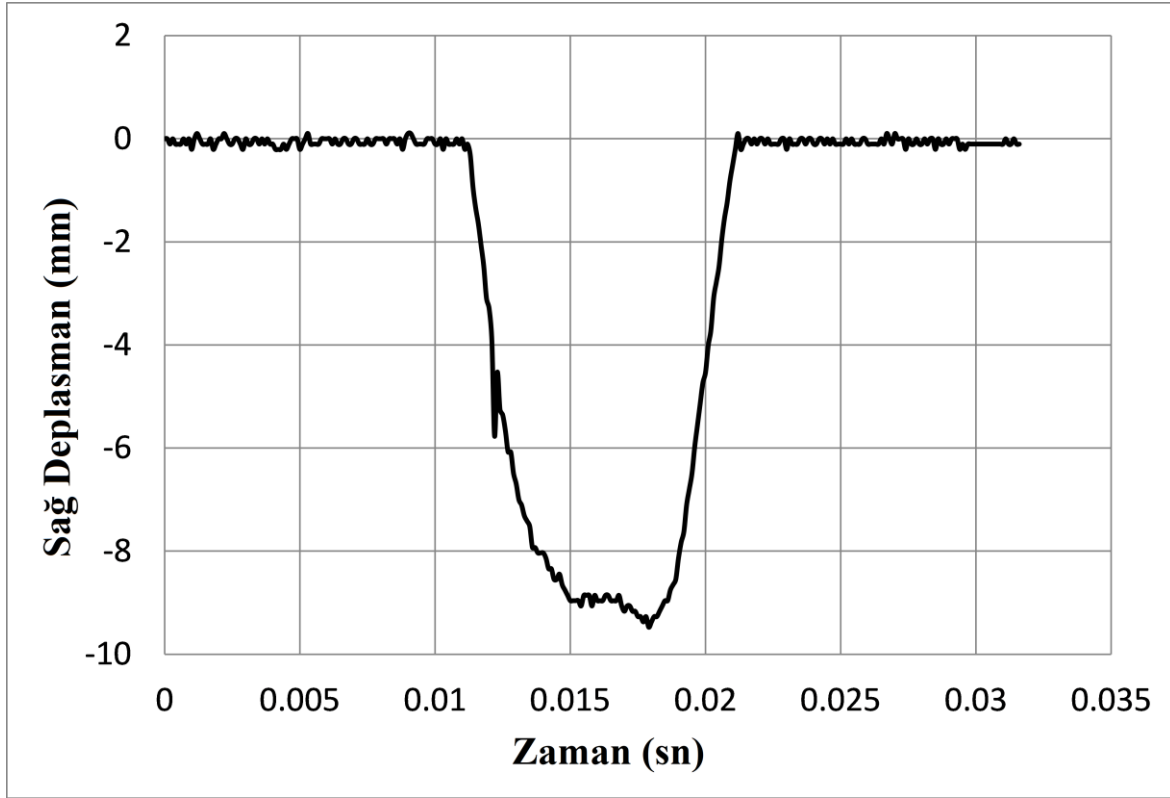
Şekil 4.15. Deney Elemanı 4 sağ ivme-zaman grafiği



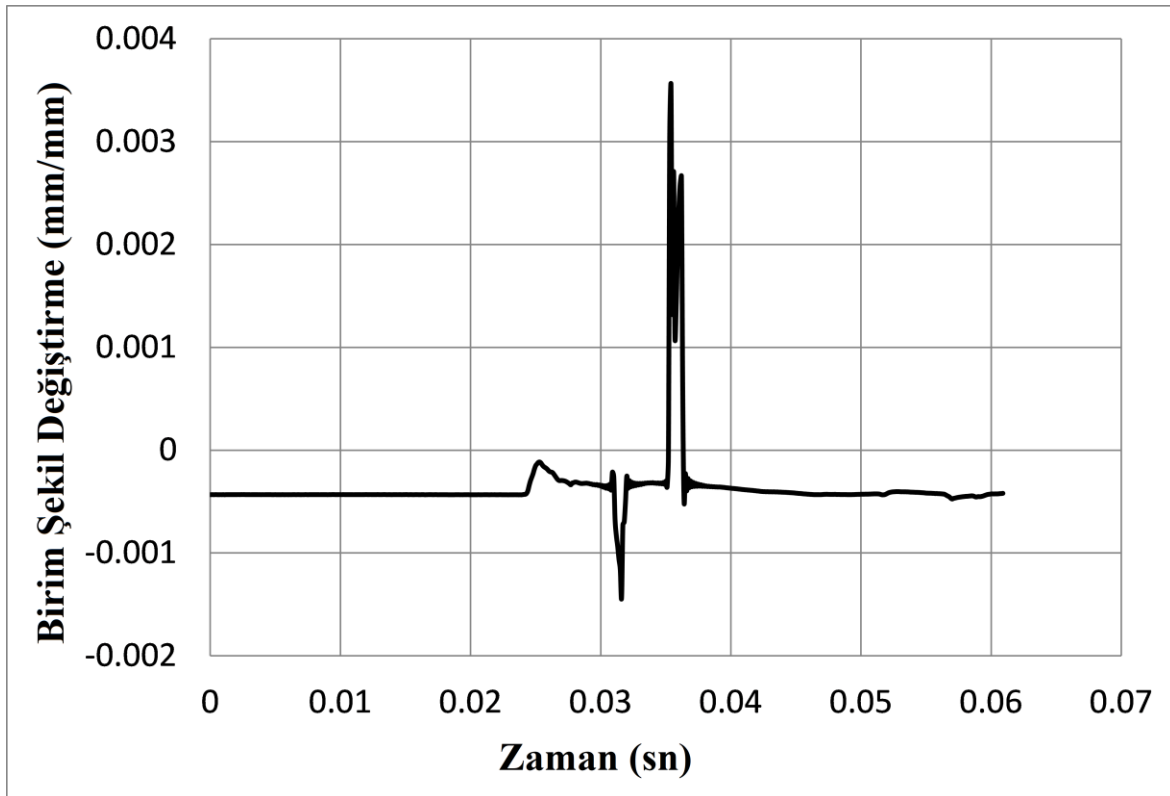
Şekil 4.16. Deney Elemanı 4 çarpışma yüklemesi-zaman grafiğı



Şekil 4.17. Deney Elemanı 4 sol deplasman-zaman grafiğı



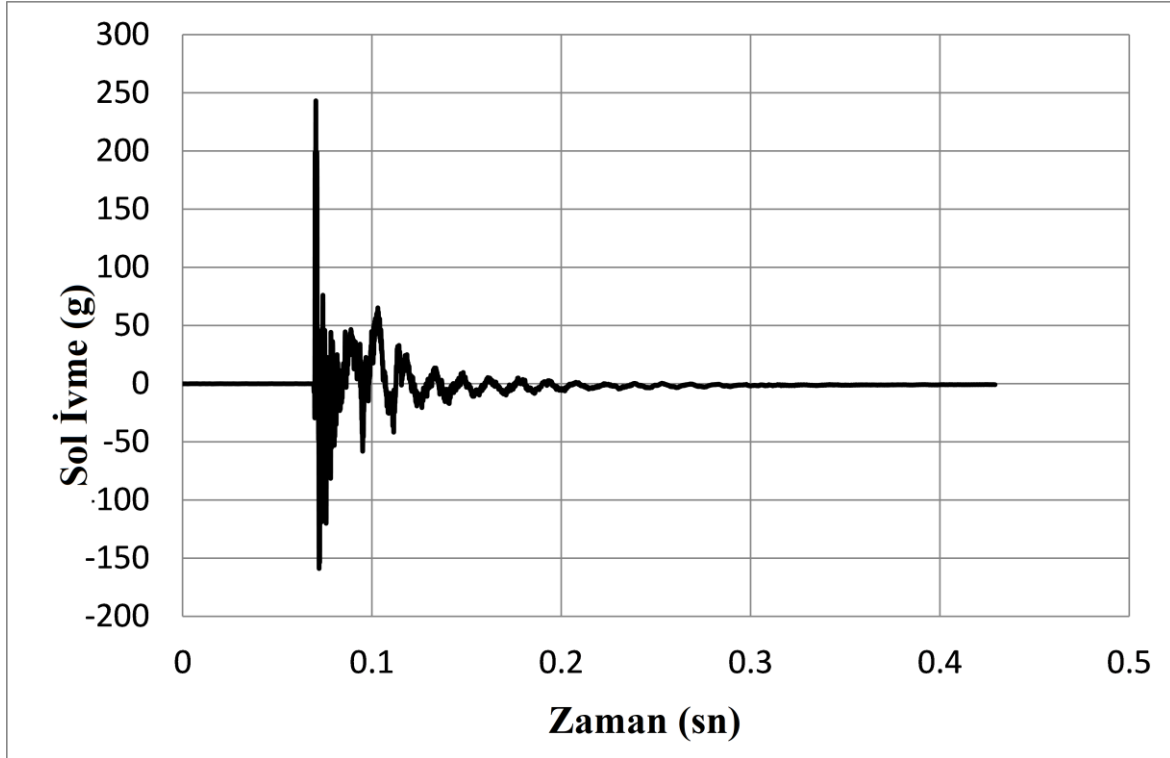
Şekil 4.18. Deney Elemanı 4 sağ deplasman-zaman grafiği



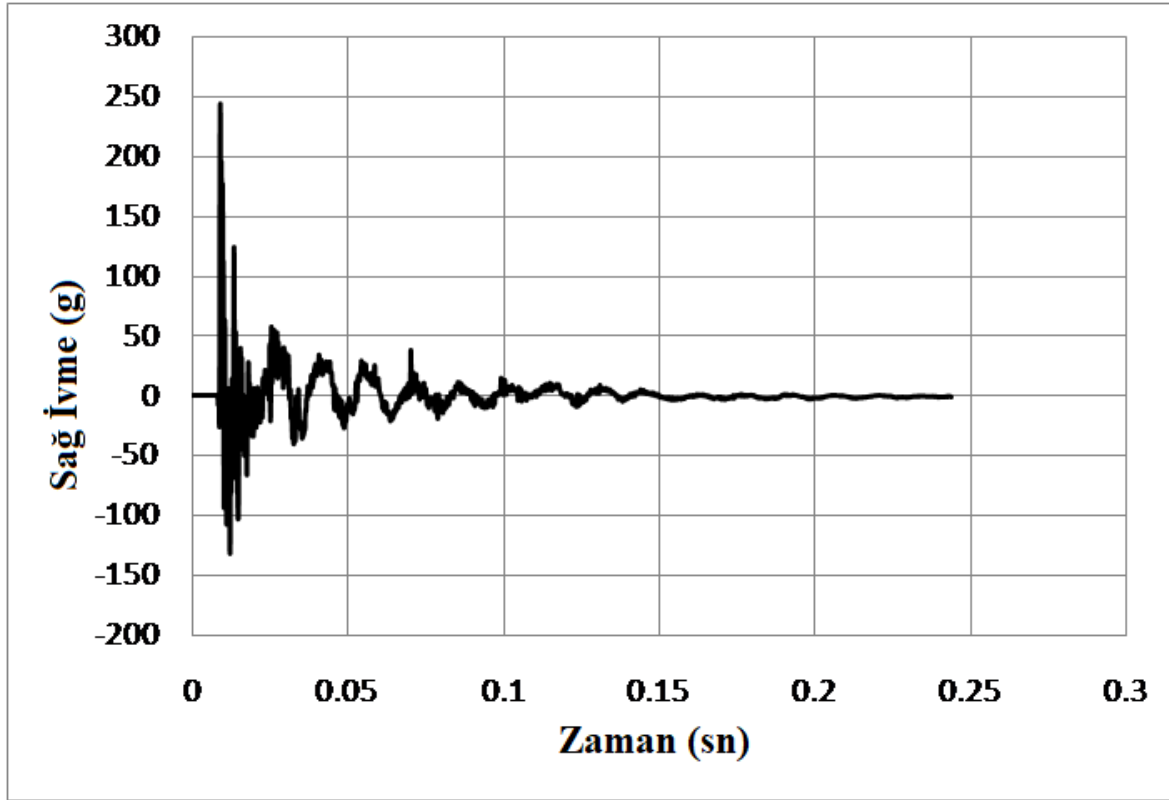
Şekil 4.19. Deney Elemanı 4 birim deformasyon-zaman grafiği

4.3. Deney elemanı 6

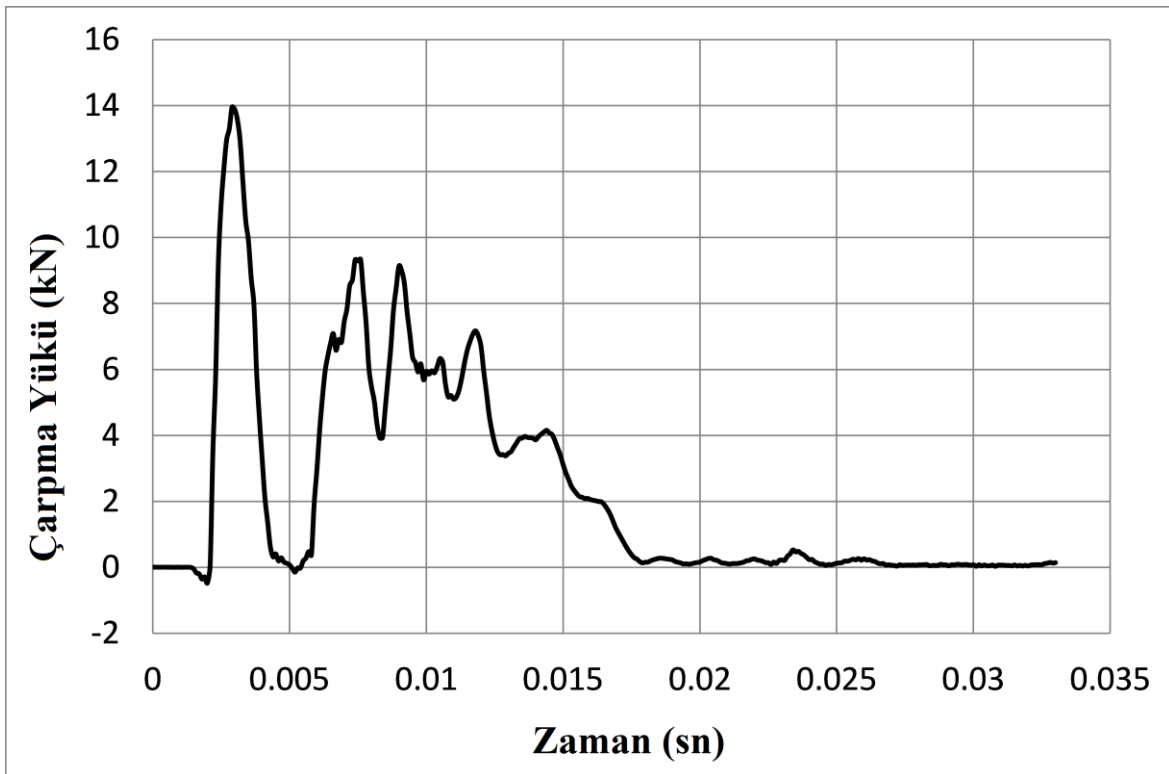
Deney elemanı 6 deney serisinde çarpışma yüklemesi etkisinde test edilen 3 katmanlı, katman aralarında güçlendirme için alüminyum tel yer alan lamine ahşap kiriş deney elemanıdır. Deney elemanın testi sırasında ölçülen ivme-zaman grafikleri, deplasman zaman grafikleri, çarpışma yüklemesi-zaman grafiği ve birim deformasyon zaman grafiği sırasıyla Şekil 4.20-4.25'de verilmiştir.



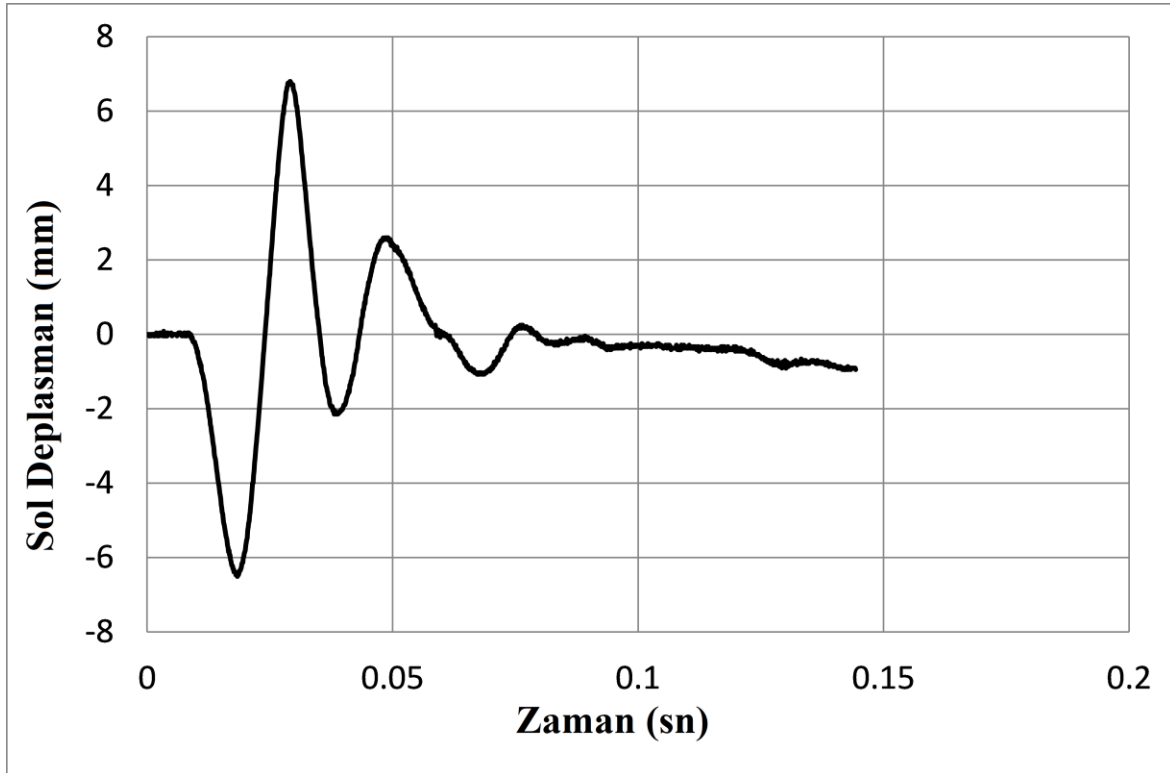
Şekil 4.20. Deney Elemanı 6 sol ivme-zaman grafiği



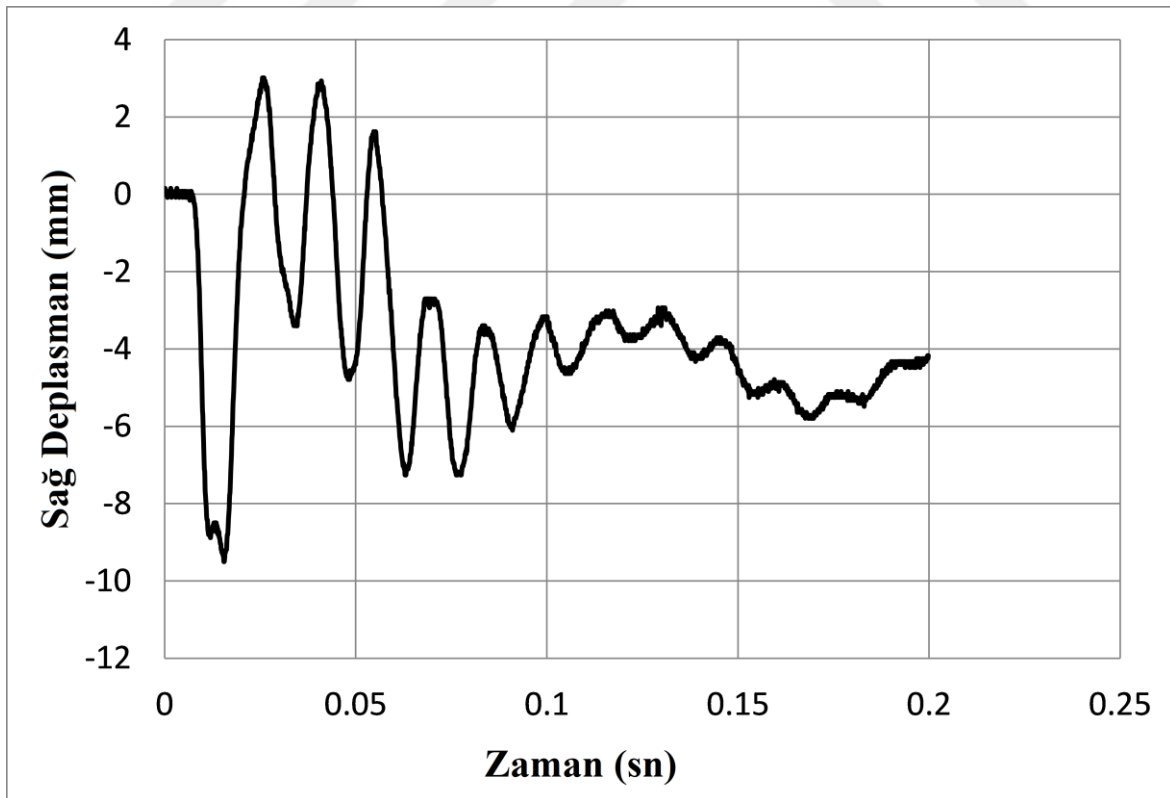
Şekil 4.21. Deney Elemanı 6 sağ ivme-zaman grafiği



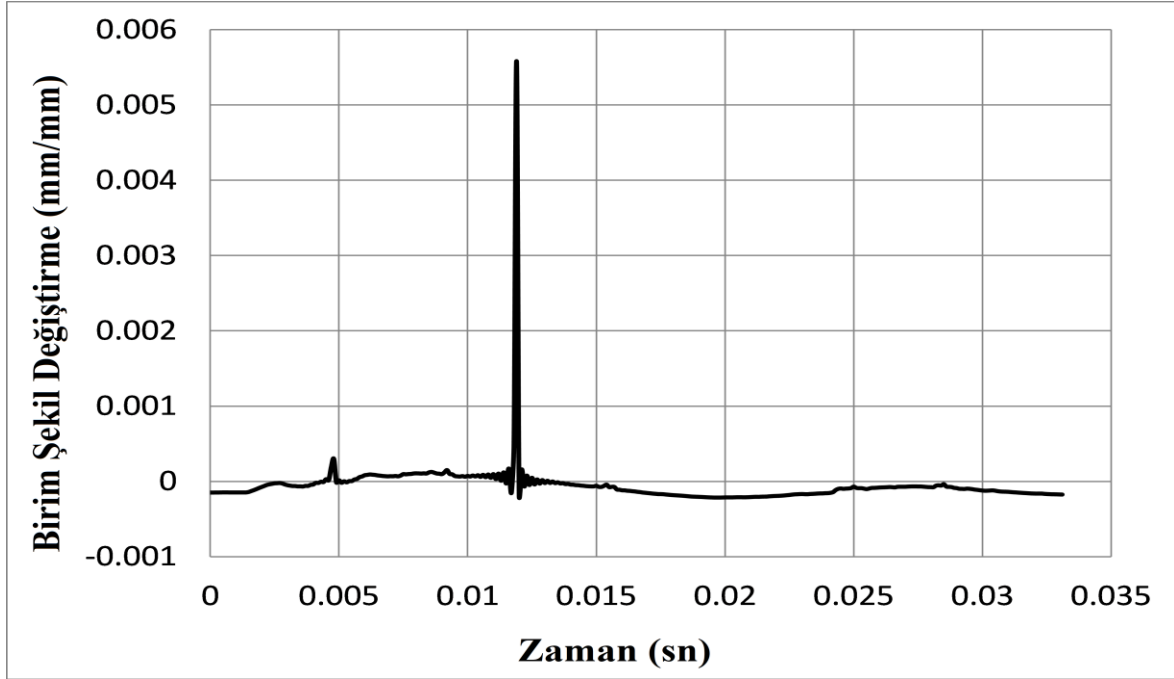
Şekil 4.22. Deney Elemanı 6 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği



Şekil 4.23. Deney Elemanı 6 sol deplasman-zaman grafiği



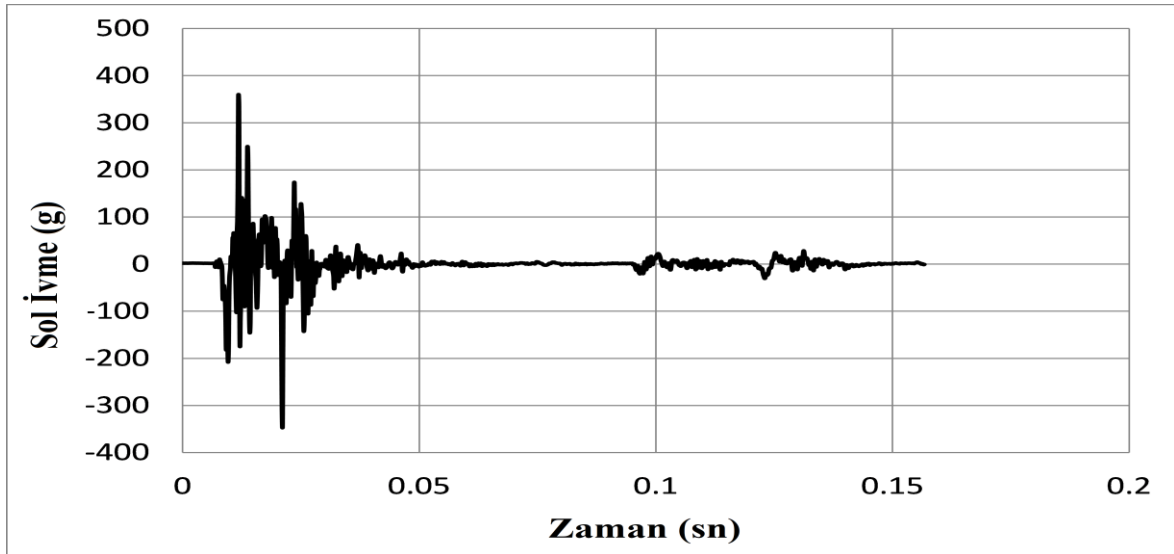
Şekil 4.24. Deney Elemanı 6 sağ deplasman-zaman grafiği



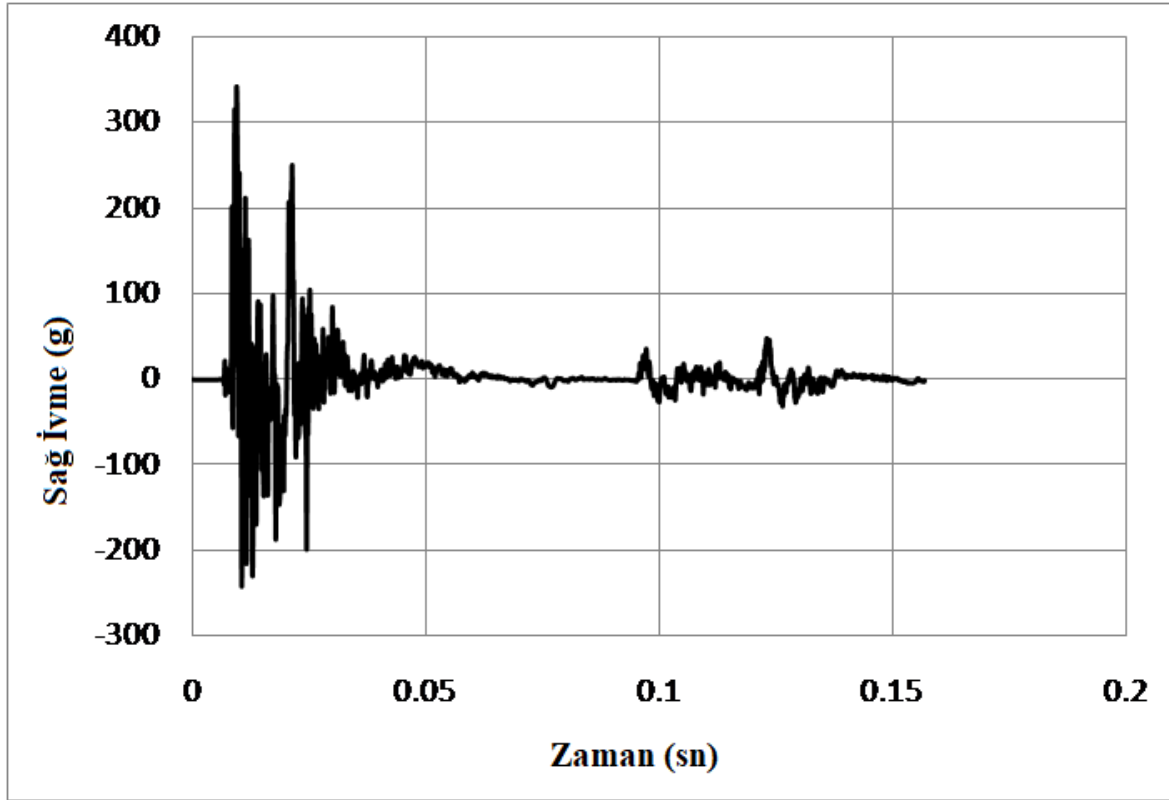
Şekil 4.25. Deney Elemanı 6 birim deformasyon-zaman grafiği

4.4. Deney Elemanı 8

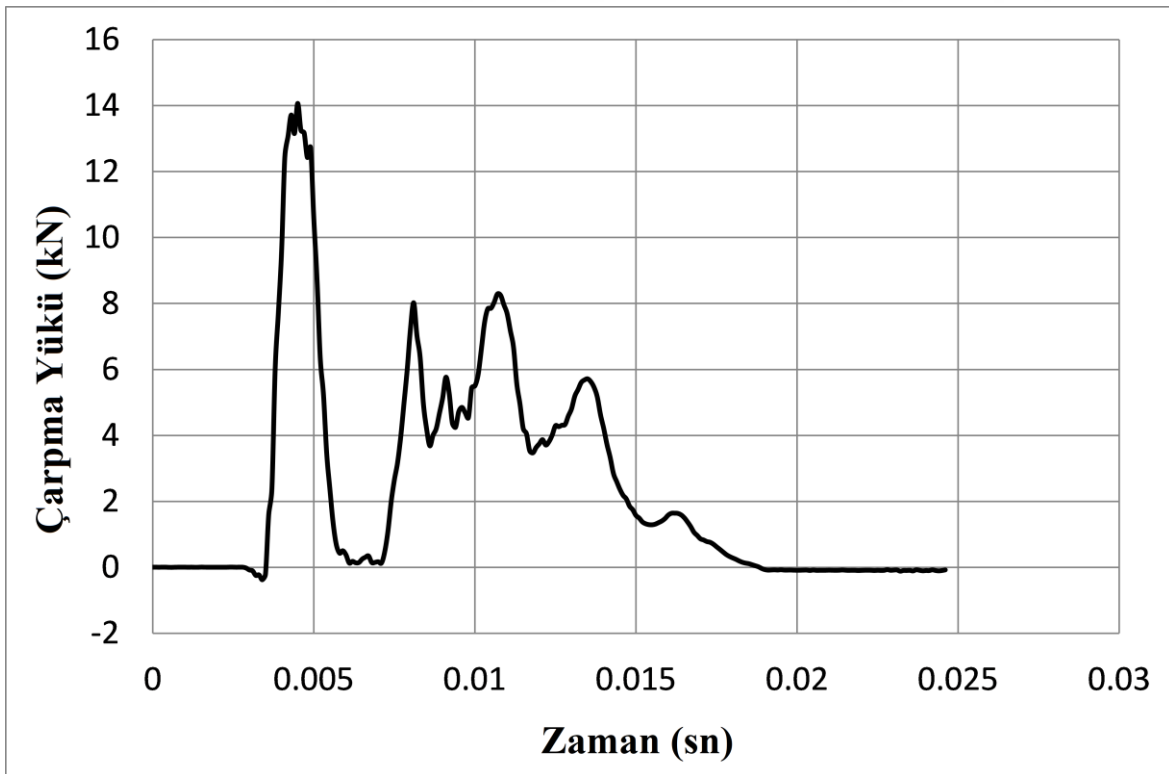
Deney elemanı 8 deney serisinde çarpışma yüklemesi etkisinde test edilen 5 katmanlı, katman aralarında güçlendirme için çelik tel yer alan lamine ahşap kiriş deney elemanıdır. Deney elemanın testi sırasında ölçülen birim zamandaki hız değişimi-zaman grafikleri, yer değiştirme zaman grafikleri, çarpışma yüklemesi-zaman grafiği ve birim deformasyon zaman grafiği sırasıyla Şekil 4.26-4.31'de verilmiştir.



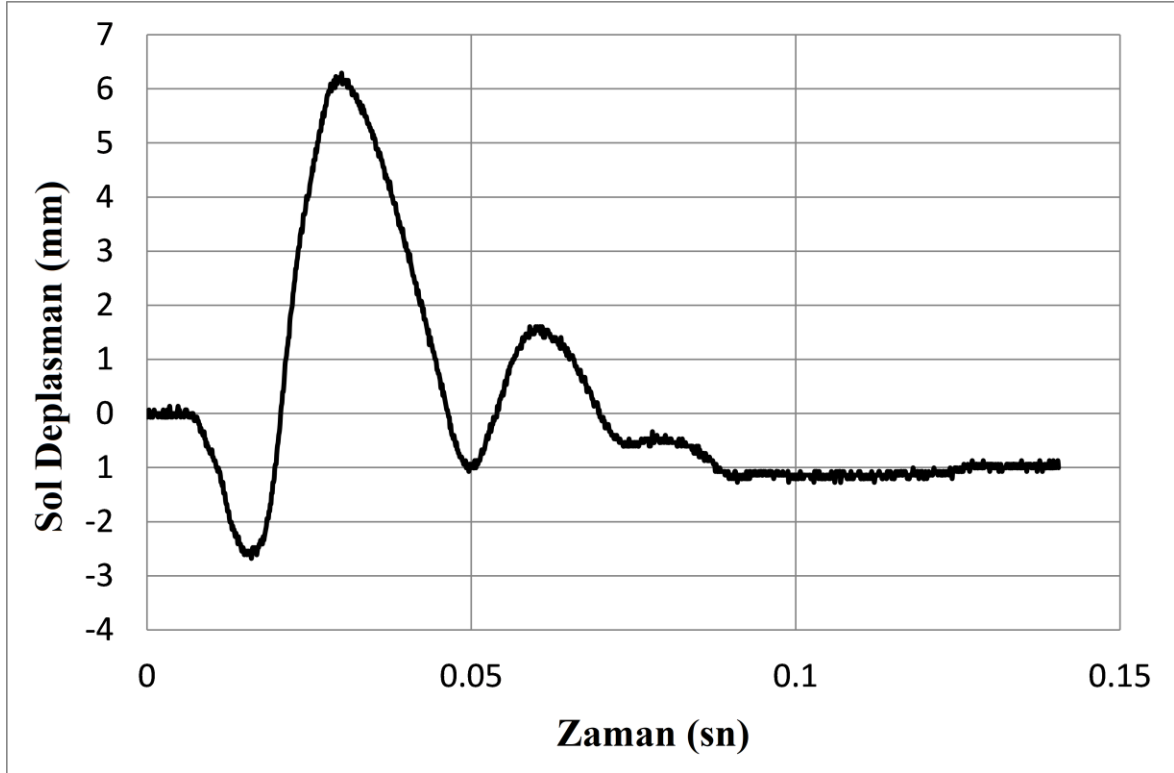
Şekil 4.26. Deney Elemanı 8 sol ivme-zaman grafiği



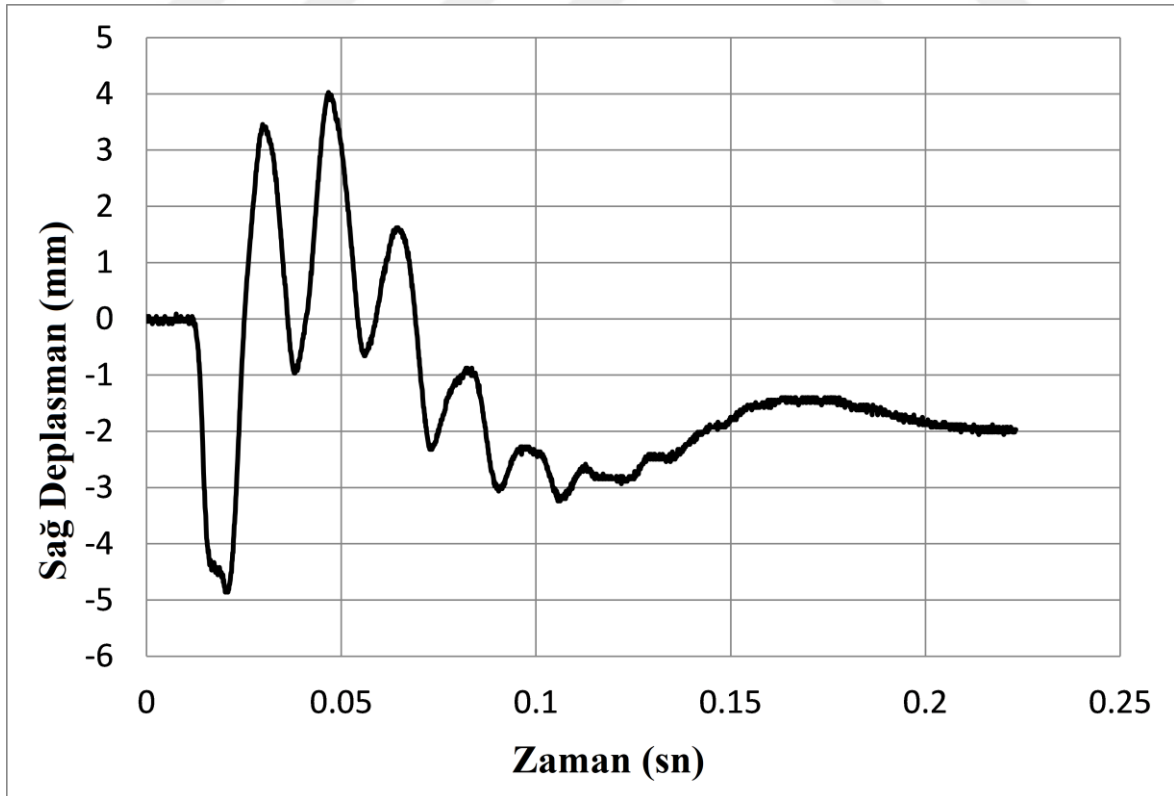
Şekil 4.27. Deney Elemanı 8 sağ ivme-zaman grafiği



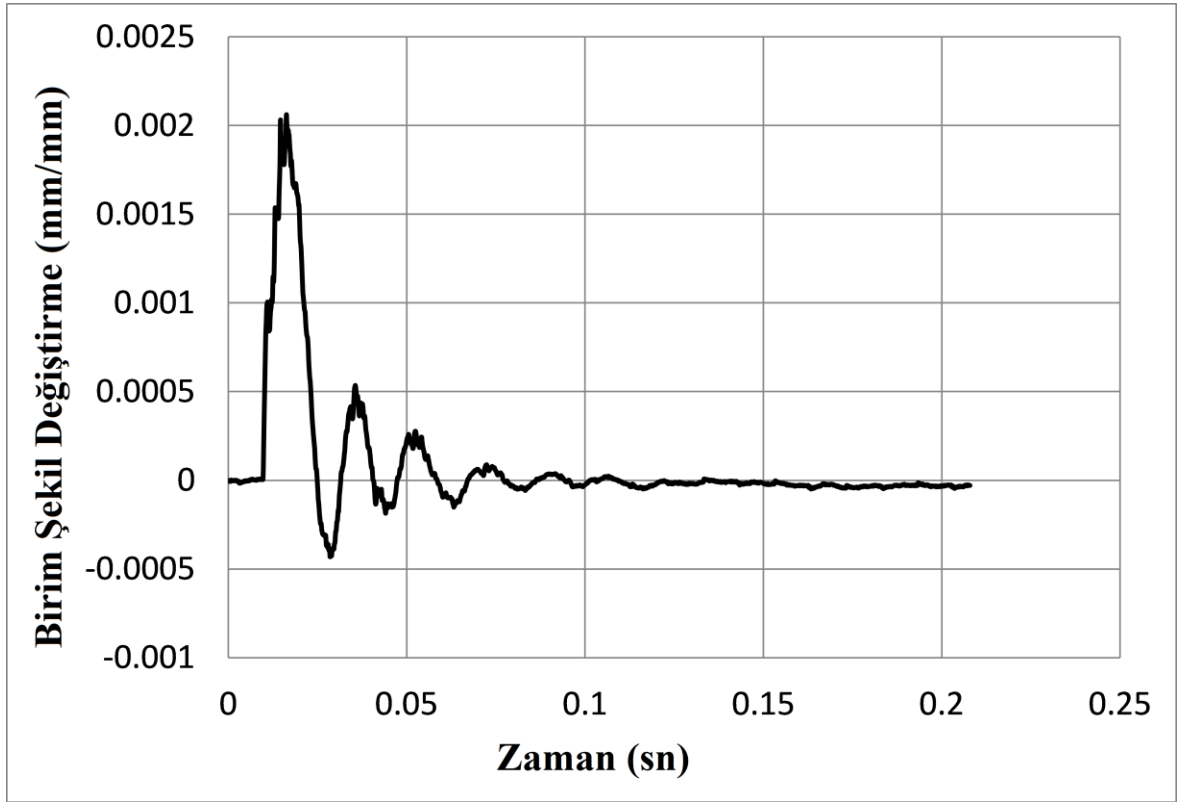
Şekil 4.28. Deney Elemanı 8 çarpışma yüklemesi-zaman grafiği



Şekil 4.29. Deney Elemanı 8 sol deplasman-zaman grafiği



Şekil 4.30. Deney Elemanı 8 sağ deplasman-zaman grafiği



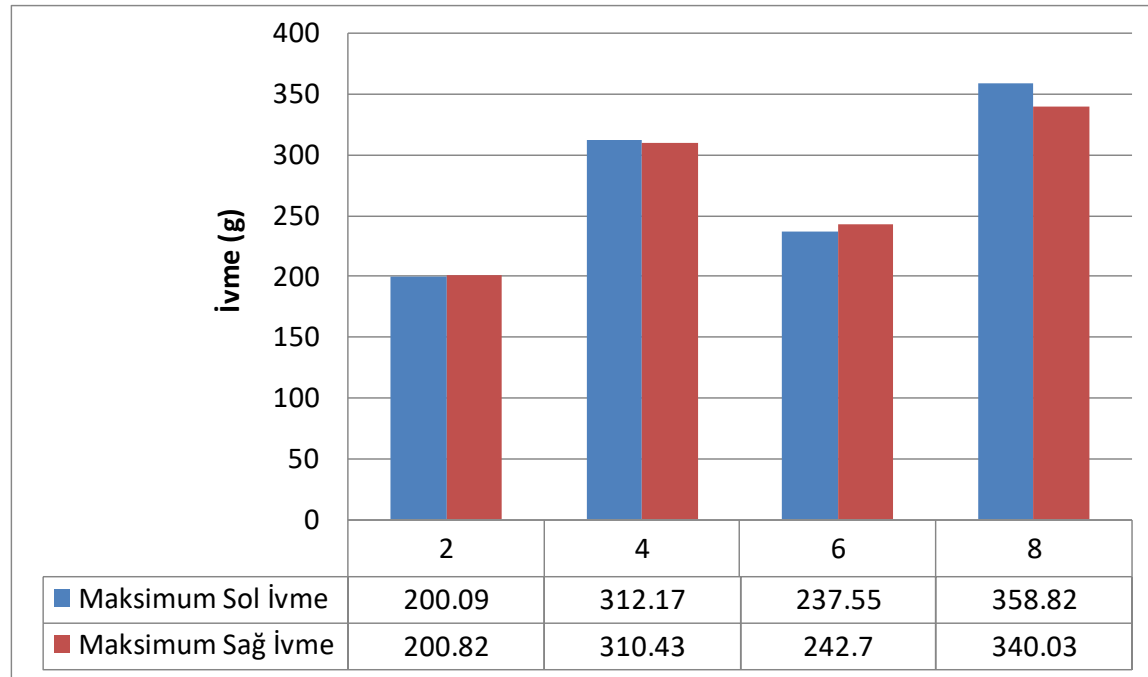
Şekil 4.31. Deney Elemanı 8 birim deformasyon-zaman grafiği

5. ÇARPIŞMA DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

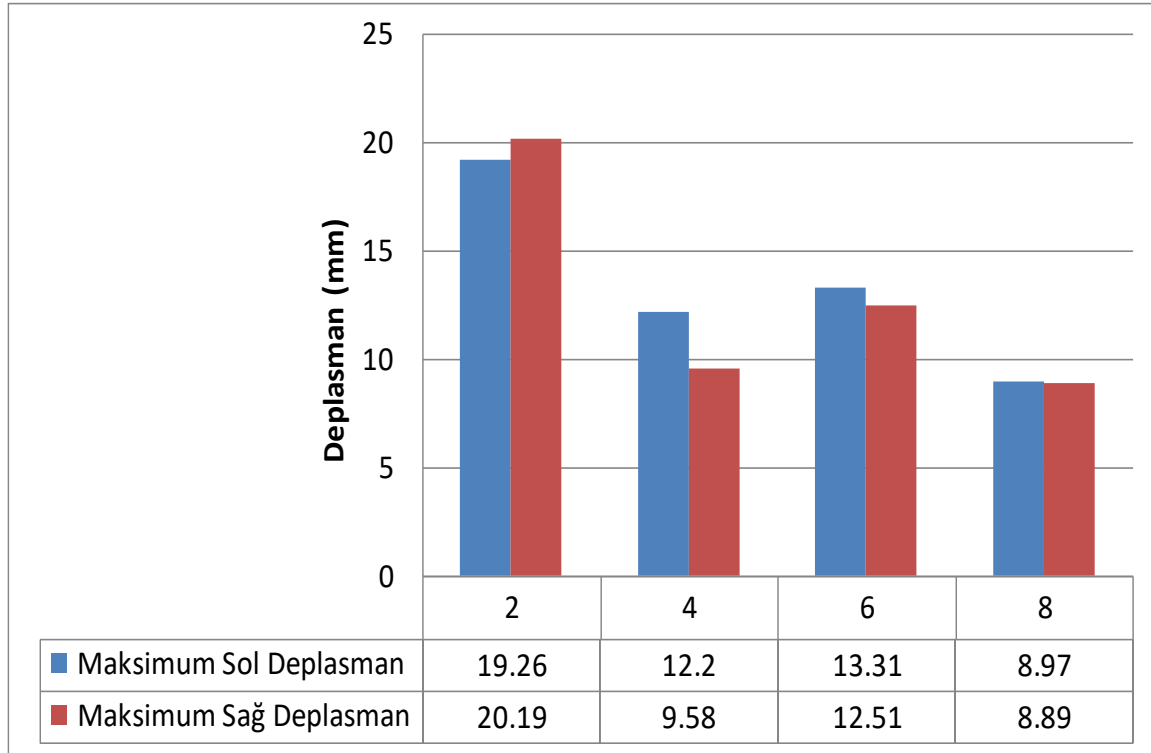
Yürütülen proje kapsamında ahşap masif ve lamine kirişlerin ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisindeki genel davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler lamine sayısı ve kalınlığı ile güçlendirme amacıyla lamine yüzeyleri arasında kullanılan ağ tabakası malzemesidir. Çalışmada 1 adedi masif ve 3 adedi ise ağ tabakaları ile güçlendirilmiş lamine ahşap kirişler hem statik monotonik dört nokta yüklemesi hem de ani dinamik çarpışma yüklemesi etki altında test edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Dinamik çarpışma yüklemesi etkisinde test edilen deney elemanlarından elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1.'de özetlenmiştir. Ayrıca sonuçların grafik olarak karşılaştırılması maksimum ivmeler için Şekil 5.1.'de, maksimum deplasmanlar için Şekil 5.2.'de, kalıcı deplasmanlar için Şekil 5.3.'de ve maksimum birim deformasyon değerleri içinse Şekil 5.4.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Deney elemanlarının çarpışma test sonuçları

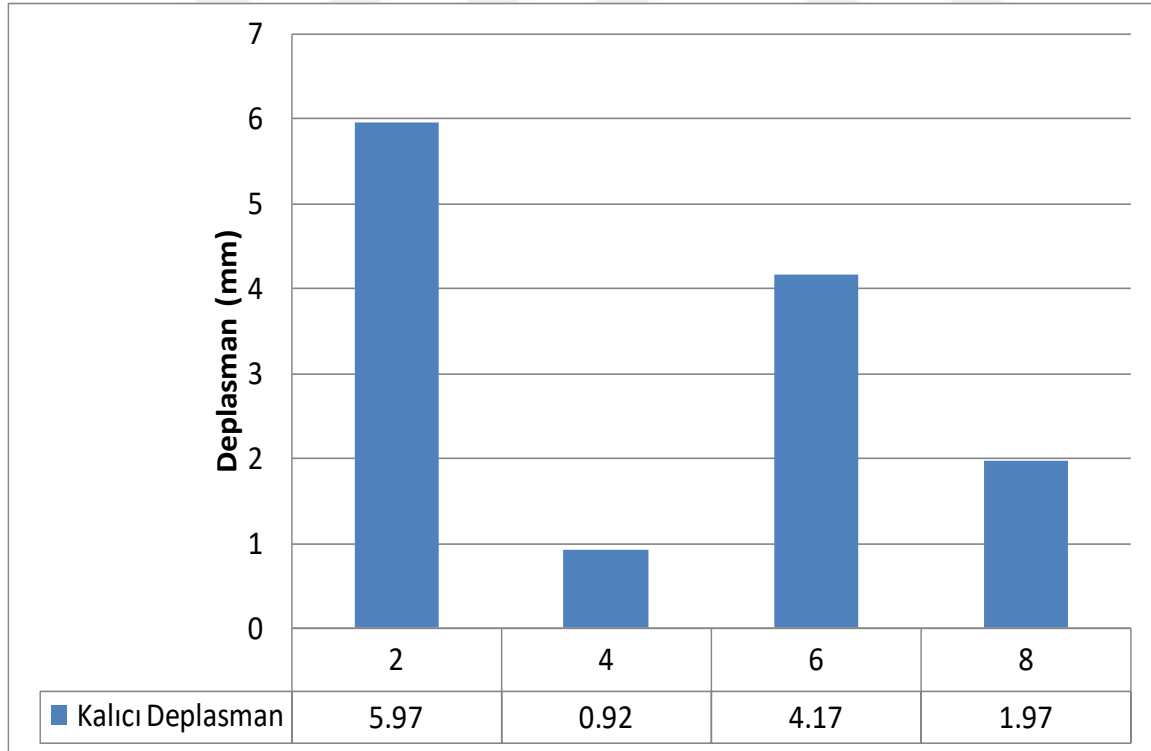
Deney El. No	İvme (g)		Deplasman (mm)		Kalıcı Deplasman (mm)	Çarpışma Yüklemesi (kN)	Birim Deformasyon (mm/mm)
	Sol	Sağ	Sol	Sağ			
2	200.09	200.82	19.26	20.19	5.97	13.68	0.01002
4	312.17	310.43	12.20	9.58	0.92	14.16	0.00354
6	237.55	242.70	13.31	12.51	4.17	13.95	0.00558
8	358.82	340.03	8.97	8.89	1.97	14.07	0.00206



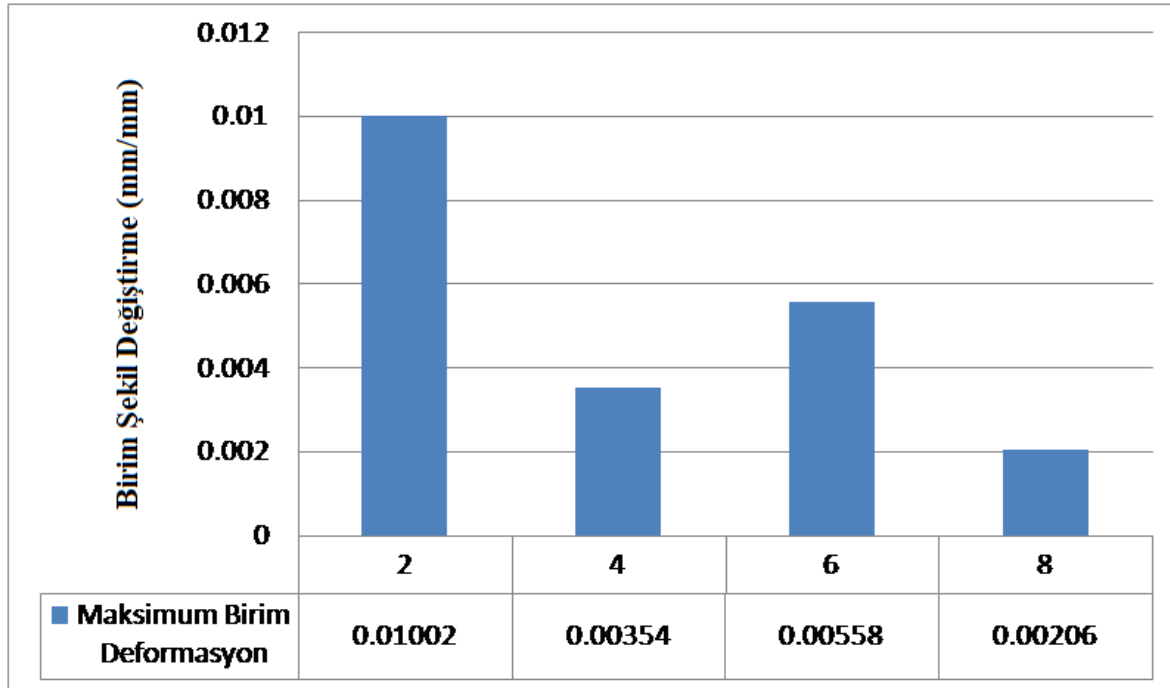
Şekil 5.1. Maksimum ivme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.2. Maksimum deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.3. Kalıcı deplasman değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.4. Maksimum birim deformasyon değerlerinin karşılaştırılması

Elde edilen deney sonuçları incelendiğinde güçlendirme katmanlı ahşap lamine kirişlerin çarpışma davranışının masif tek parça ahşap kirişlere göre daha iyi olduğu görülmektedir. Lamine ahşap kirişlerden ölçülen maksimum ivme değerleri masif tek parça kirişlere göre daha yüksek ölçülmüştür. Lamine kirişlerden ölçülen maksimum deplasman değerleri, kalıcı deplasman değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri ise tek parça ahşap masif kirişlere göre çok daha küçük elde edilmiştir. Ulaşılan bu sonuçlar ahşap lamine kirişlerin çarpışma yüklemesi etkisindeki performanslarının masif ahşap kirişlere göre çok daha iyi olduğunu göstermiştir.

Lamine kirişler arasında ise en başarılı çarpışma davranışını 5 katmanlı çelik tel katkılı Deney elemanı 8 sergilemiştir. Lamine sayısı arttıkça çarpışma yüklemesi etkisi altındaki performans iyileşmiştir. Ayrıca güçlendirme amacıyla lamineler arasına yerleştirilen çelik tel katkısı alüminyum telli deney elemanına göre daha iyi çarpışma performansı sergilemiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan elde edilen lameller ile oluşturulan ahşap lamine kirişlerin monotonik statik yükleme ve ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisi altındaki davranışları masif ahşap kirişler ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen temel değişkenler ahşap kirişlere uygulanan yükleme türü, ahşap lamel sayısı ve kalınlığı, yapıştırma yüzeyinde aderansı artırmak ve güçlendirme amacıyla kullanılan ağ türleridir. Deneysel çalışma kapsamında ahşap kiriş deney elemanları monotonik olarak artan statik yükleme ve serbest ağırlık düşürme test düzeneği ile ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisi altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada 18 mm ve 30 mm lamel kalınlıkları seçilerek, sırasıyla 5 ve 3 adet lamine ile en kesiti 90 x 90 mm olan ahşap kiriş elemanları üretilmiştir. Ayrıca yapışma yüzeyinde aderansı artırmak ve çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışı iyileştirmek amacıyla lameller arasına yapışma yüzeylerine güçlendirme malzemesi olarak alüminyum ve çelik tel örgü ağ yerleştirilmiştir. Sarıçam masif ahşap kirişler, lamine ahşap kirişler ve yapışma yüzeyinde güçlendirme ağı kullanılan lamine ahşap kiriş elemanlarının genel statik yükleme etkisindeki ve çarpışma yüklemesi uygulanması durumunda davranışları ve göçme mekanizmaları yorumlanarak karşılaştırılmıştır. Ahşap kiriş deney elemanlarına uygulanan statik yükleme sonucunda genel yük-deplasman davranışları, başlangıç rijitlikleri, deplasman sünelik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri ile göçme mekanizmaları incelenerek yorumlanmıştır. Ayrıca deney elemanlarına sabit ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak çarpışma yüklemesi uygulanmış ve ivme-zaman, deplasman zaman değişimleri ölçülerek ahşap kirişlerin genel çarpışma davranışları yorumlanmıştır. Tüm dünyada ve ülkemizde eski ahşap taşıyıcı sisteme sahip köprüler, ahşap yapılar kara veya deniz araçlarının çarpması, kaya düşmesi veya heyelan gibi etkiler ile kütle çarpması veya patlama etkisiyle oluşabilecek hava şoku basınç dalgası gibi etkiler sonucunda ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisinde kalmaları mümkündür. Yapılan literatür taraması ve incelemeler sonrasında ahşap lamine kirişlerin statik ve dinamik yükler etkisi altında davranışlarının incelendiği çalışmalara rastlanılmış ancak ani dinamik (impulsif) çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışlarının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma planlanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Monotonik statik yükleme etkisindeki yük-deplasman davranışları ve deneyler sonrasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde ahşap lamine kirişlerin tek parça masif

ahşap kirişlere göre taşıma gücü değerlerinin, deplasman sünelik oranlarının, başlangıç rijitliği değerlerinin ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

- Monotonik statik yükleme etkisinde lamine ahşap kirişler, masif kirişlerden sırasıyla ortalama %58, %20, %28 ve %56 oranlarında maksimum taşıma gücü, deplasman sünelik oranı, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi değerleri sergilemişlerdir.
- Lamineler arasında çelik tel katmanlarının olması taşıma gücü değerlerini, deplasman sünelik oranı, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin daha fazla artmasına ve olumlu yönde değişmesine neden olduğu görülmüştür.
- Lamine sayısının artması da monotonik yükleme etkisindeki performansı iyileştirmiştir. 5 katmanlı lamine kiriş, 3 katmanlı lamine kirişten monotonik yükleme etkisinde sırasıyla %0.4, %20.8, %2.2 ve %45.1 oranlarında daha fazla maksimum taşıma gücü, deplasman sünelik oranı, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi sergilemiştir.
- Lamine katmanları arasında alüminyum tel ağı yerine çelik tel ağı yer alan deney elemanı monotonik yükleme etkisinde daha başarılı bir performans sergilemiştir. Çelik tel ağılı deney elemanı, alüminyum tel ağılı deney elemanından sırasıyla ortalama %23, %10, %7 ve %8 oranlarında daha fazla maksimum taşıma gücü, deplasman sünelik oranı, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi değerine sahiptir.
- Elde edilen ani dinamik çarpma deneyi sonuçları incelendiğinde güçlendirme katmanlı ahşap lamine kirişlerin çarpışma davranışının masif tek parça ahşap kirişlere göre daha iyi olduğu görülmektedir. Lamine ahşap kirişlerden ölçülen maksimum sol ve sağ ivme değerleri masif tek parça kirişlere göre sırasıyla ortalama %51 ve %48 oranlarında daha yüksek ölçülmüştür. Lamine kirişlerden ölçülen maksimum deplasman değerleri, kalıcı deplasman değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri ise tek parça ahşap masif kirişlere göre çok daha küçük elde edilmiştir. Masif ahşap kirişlerin sol ve sağ maksimum deplasman değerleri, kalıcı deplasman değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri lamine ahşap kirişlerden sırasıyla ortalama %68, %96, %154 ve %169 oranlarında daha büyük hesaplanmıştır. Ulaşılan bu sonuçlar ahşap lamine kirişlerin çarpışma yüklemesi etkisindeki performanslarının masif ahşap kirişlere göre çok daha iyi olduğunu göstermiştir.
- Lamine kirişler arasında çarpışma yüklemesi etkisi altındaki en başarılı performansı 5 katmanlı çelik tel katkılı Deney elemanı 8 sergilemiştir.

- Lamine sayısı artıkça çarpışma yüklemesi etkisi altındaki performans iyileşmiştir. 5 katmanlı lamine kiriş deney elemanı, 3 katmanlı lamine kirişten sırasıyla ortalama %15 ve %10 daha fazla sol ile sağ maksimum ivme değerine sahiptir. Ayrıca 3 katmanlı kiriş, 5 katmanlı olandan ortalama %36 ve %8 oranlarında daha fazla sol ve sağ deplasman değeri sergilemiş, %72 daha fazla maksimum birim deformasyon değeri ölçülmüştür.
- Güçlendirme amacıyla lamineler arasına yerleştirilen çelik tel katkısı alüminyum telli deney elemanına göre daha iyi çarpışma performansı sergilemiştir. Çelik tel ağ ile güçlendirilen kiriş deney elemanı, alüminyum telli deney elemanından sırasıyla %31 ve %28 oranlarında daha fazla sol ve sağ maksimum ivme değeri sergilemiştir. Alüminyum telli lamine kiriş ise çelik telli deney elemanından sırasıyla %9, %31, %353 ve %58 oranlarında daha fazla maksimum sol deplasman, sağ deplasman, akıcı deplasman ve maksimum birim deformasyon değerlerine sahiptir.



KAYNAKLAR

- Avlar, E. ve Karaçar Ercoşkun, P. (2012). Türkiye Yapı Sektöründe Tutkallı Tabakalı Ahşap Teknolojisinin Benimsenmemeye Nedenlerinin Ercoşkun Modeli İle Değerlendirilmesi. *MEGARON*, 7(1), 67-76.
- Bektaş, İ. (2004). Ahşap Malzemelere Ait Çalışma Raporu Yapı Malzemeleri Komisyonu Raporu, *Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, 39.
- Bozkurt, Y. (1992). *Odun Anatomisi*. İstanbul: *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, 224-225.
- Devlet Planlama Teşkilatı (2006). *Dokuzuncu Kalkınma Planı-Ağaç Ürünleri ve Mobilya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu*; DPT, 2745 - ÖİK: 693. Ankara, 93-116.
- Devlet İstatistik Enstitüsü. (2001). *Bina Sayımı 2000*. Ankara:Devlet İstatistik Enstitüsü, 22.
- Dietsch, P., Tannert, T. (2015).Assessing the integrity of glued-laminated timber elements, *Construction and Building Materials* 101: 1259–1270.
- Doğangün, A., Livaoğlu, R., Tuluk, Ö. İ. ve Acar, R. (2005, 23-25 Mart). *Geleneksel Ahşap Yapıların Deprem Performansları*. Deprem Sempozyumu'nda sunuldu, Kocaeli.
- Ekici, C. E. (2004). *Bordo Kitap – Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı* (3. Baskı). Elazığ: Üniversite Kitabevi, 745.
- Falk, R. H. (2010). *Wood as a Sustainable Building Material*. In R. J. Ross (Ed.), *Wood handbook—Wood as an engineering material*. Centennial Edition. Madison, WI: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, pp. 1-1.
- Fossetti, M., Minafò, G., Papia, M., (2015). Flexural behaviour of glulam timber beams reinforced with FRP cords, *Construction and Building Materials* 95: 54–64.
- Haiman, M., Pavković, K., Baljkas, B. (2010). *Application of Glulam Beam Girders With External Pre-Stressing*, WTCE, World Conference on Timber Engineering.
- Karacabeyli, E. and Popovski, M. (2003). *Design for Earthquake Resistance*. In S. Thelandersson and H. J. Larsen (Eds.), *Timber Engineering*. West Sussex: John Wiley&Sons Ltd., pp. 273-292.
- Kermani, A. (1999). *Structural Timber Design*. Cambridge: Blackwell Science Ltd., 82-83.
- Köylü, A. (2008). *Geleneksel Yapıların Yatay Yükler Etkisinde İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Moody, R. C. and TenWolde, A. (1999). *Use of Wood in Buildings and Bridges Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, pp. 16-1.

- Nunnally, S. W. (2007). *Construction Methods and Management* (Seventh Edition). New Jersey: Pearson Prentice Hall, 295
- Örs, Y. ve Toğay, A. (2003). Ahşap Yapı Endüstrisinin Tanımı, Sınıflandırılması, Türkiye’de Uygulanan Üretim Teknikleri. *Politeknik Dergisi*, 6(3), 569-577.
- Raftery, G.M., Rodd, P.D. (2015). FRP reinforcement of low-grade glulam timber bonded with wood adhesive, *Construction and Building Materials* 91: 116–125.
- Raftery, G.M., Harte, A.M. (2013). Nonlinear numerical modelling of FRP reinforced glued laminated timber, *Composites: Part B* 52: 40–50.
- Sena-Cruz, J., Jorge, M., Branco, J. M., Cunha, V.M.C.F. (2013). Bond between glulam and NSM CFRP laminates. *Construction and Building Materials* 40: 260–269.
- Stark, N. M., Cai, Z. and Carll, C. (2010). Wood-Based Composite Materials, Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials. In R. J. Ross (Ed.), *Wood handbook—Wood as an engineering material*. Madison, WI: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, pp. 11-1,11-2,11-17,11-20.
- Stalnaker, J. J. and Harris, E. C. (1999). *Structural Design in Wood* (Second Edition). Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 11-12, 17-18, 157-159,305
- Thelandersson, S. (2003). Timber Engineering - General Introduction. In S. Thelandersson and H. J. Larsen (Eds.), *Timber Engineering*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., pp. 7
- Türk Standartları Enstitüsü. (2006). *TS 5497 EN 408 Ahşap Yapılar – Yapı Kerestesi ve Tutkallanmış Lamine Kereste – Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Toğay, A. (2002). *Ahşap Yapılar, Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tran, V.D., Oudjene, M., Méausoone, P.J. (2015). Experimental and numerical analyses of the structural response of adhesively reconstituted beech timber beams, *Composite Structures* 119: 206–217.
- Weidong, L., Ling, Z., Geng, Q., Liu, W., Yang, H., Yue, K. (2015). Study on flexural behaviour of glulam beams reinforced by Near Surface Mounted (NSM) CFRP laminates, *Construction and Building Materials* 91: 23–31.
- Yang, H., Liu, W., Ren, X. (2016a). A component method for moment-resistant glulam beam–column connections with glued-in steel rods, *Engineering Structures* 115: 42–54.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : UYAR, Hidayet
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.12.1984, Afyonkarahisar
 Medeni hali : Bekar
 e-mail : hidayetuyar34@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Sakarya Üniversitesi / Yapı Mühendisliği	2018
Lisans	K. Dumlupınar Üniv. / İnşaat Mühendisliği	2008
Lise	Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-Halen	Özel Sektör	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Uyar H. , Anıl Ö. (2019) Ahşap Lamine Kirişlerin Çarpma Yükleri Etkisindeki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, Kocaeli*.

Hobiler

Futbol, Sinema, Gezi



DİZİN

A

Ahşap karkas · 2, 3, 4
 Ahşap lamine · 5, 7, 8, 14, 39,
 40, 43, 60, 61, 62
 Ahşap yığma · 2

B

Bant · 12, 25, 28, 34
 Bina · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9

C

Cila · 12
 Cumba · 16

Ç

Çivi · 2, 12, 16, 17
 Çarpışma yüklemesi · 5, 11, 39,
 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48,
 50, 55, 60, 61

D

Deniz araçları · 61
 Doğal taş · 2
 Dokuma · 14

E

Epoksi · 16
 Enstitüsü · 3, 16

F

Fire · 16

G

Giriş akımı · 34
 Giriş rezistansı · 34
 Giriş gürültüsü · 34

H

Hasar · 7, 18
 Hassasiyet · 23, 25, 28, 34, 35

İ

İlk · 36, 37, 40, 42

K

Kereste · 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16

L

Lamine ahşap · 5, 7, 12, 14, 16,
 17, 39, 48, 52, 55, 58, 60, 61,
 62

M

Monotonik · 5, 39, 42, 43, 61, 62

N

Numune · 15, 16, 19, 20, 24, 29

O

OSB · 2

Ö

Özet · 26, 58

P

Patent · 4

R

Radyal · 12

S

Sarıçam · 12, 16, 61

Ş

Şart · 7, 8, 11, 16, 27

T

Tanım · 1, 8, 39
 Titanyum · 26

U

Uygun · 7, 8, 12, 23, 24, 27, 34,
 38

Y

Yonga levha · 2

Z

Zorlanmış titreşim · 26, 27



GAZİ GELECEKTİR..