



**YÜKSEK KATLI YAPI İNŞAATLARINDA KULLANILAN KOMPOZİT
AHŞAP KALIP KİRİŞLERİNİN DARBE DAVRANIŞININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Taki Ünal DÖNMEZ

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Taki Ünal Dönmez tarafından hazırlanan “YÜKSEK KATLI YAPI İNŞAATLARINDA KULLANILAN KOMPOZİT AHŞAP KALIP KİRİŞLERİNİN DARBE 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: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 02/05/2019

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.

Taki Ünal DÖNMEZ

02/05/2019

YÜKSEK KATLI YAPI İNŞAATLARINDA KULLANILAN KOMPOZİT AHŞAP KALIP KİRİŞLERİNİN DARBE DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK

İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Taki Ünal DÖNMEZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

ÖZET

Gelişen inşaat teknolojileri ile birlikte yapıların imalatlarında kullanılan kalıp sistemleri de önemli oranda değişim göstermiş ve gelişmiştir. Özellikle yüksek katlı yapıların imalatlarında özel, çabuk kurulabilen, dış yüklere karşı dayanıklı, birden fazla kere kullanılabilen, kayar kalıp sistemleri yaygın olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Bu tür kalıp sistemlerinin oluşturulmasında ahşap ve kompozit ahşap malzemesi, dayanıklılığı, montaj kolaylığı, çelik sistemlere göre hafif olması ve birden fazla kere kullanımının kolay olması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında DOKA® firmasının ürünleri arasında yer alan H20 top P türünde, 1800 ve 2450 mm uzunluğunda ahşap kalıp kirişlerinin değişik yükleme türleri etkisi altındaki performans ve davranışlarının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Ahşap kalıp kirişleri kullanımları sırasında statik, yorulma ve ani dinamik çarpma gibi değişik yükleme türleri etkisinde kalabilmektedir. Bu nedenle deneysel bir çalışma düzenlenmiş, 2 farklı uzunluktaki ahşap kalıp kiriş deney elemanlarının monotonik statik, tekrarlı yorulma ve ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisi altındaki genel yük-deplasman davranışları, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları, enerji tüketim kapasiteleri, göçme mekanizmaları, ivme, deplasman ve çarpma yükü-zaman davranışları incelenerek değişik yük türleri etkisindeki performansları hakkında yorumlar yapılmıştır.

Bilim Kodu : 91130

Anahtar Kelimeler : Ahşap Kiriş, Monotonik Statik Yükleme, Yorulma Testi, Çarpışma Testi

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

THE IMPACT BEHAVIOUR OF TIMBER BEAMS USED IN HIGH-RISE BUILDING
CONSTRUCTION IS EXPERIMENTALLY DETERMINED

(M. Sc. Thesis)

Taki Ünal DÖNMEZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2019

ABSTRACT

The formwork systems used in the construction of buildings together with the developing construction technologies have also changed and improved significantly. Especially in the production of high-rise buildings, special, quick-installation, resistant to external loads, can be used more than once, sliding formwork systems are widely used and preferred. Wood and composite wood materials are preferred due to their durability, ease of installation, lightness compared to steel systems and easy to use more than one time. The aim of this study is to investigate the performance and behavior of wooden formwork beams with 1800 and 2450 mm length under the influence of different loading types in H20 top P type which is among the products of DOKA®. During the use of wooden formwork beams, various loading types such as static, fatigue and sudden dynamic impact can be affected. For this reason, an experimental study was carried out and the general load-displacement behaviors under the influence of monotonic static, repetitive fatigue and sudden dynamic impact loadings of 2 different length wooden formwork test elements, initial stiffness, displacement ductility ratios, energy consumption capacities, crush mechanisms, acceleration, displacement and impact load-time behaviors were examined and comments were made about their performance under different load types.

Science Code : 91130

Key Words : Timber Beam, Monotonous Static Load, Fatigue Test, Impact Test

Page Number : 101

Supervisor : Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Öğrenim hayatım boyunca bana yol gösteren, tavsiyelerde bulunan ve bu günlere gelmemde en büyük emeği olan kıymetli aileme, hayatım boyunca maddi manevi desteklerini benden esirgemedikleri için gönülden teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim süresince beni yönlendiren, engin bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve tez çalışmamın şekillenmesini sağlayan değerli hocam, kıymetli büyüğüm danışmanım Sayın Prof. Dr. Özgür ANIL'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Tez çalışmamda laboratuvarımda bana yardımcı olan, gece gündüz demeyip benimle birlikte bu çalışmada emek harcayan Sayın Arş. Görevlisi Abdullah TÜRER ve Arş. Gör. Ömer MERCİMEK'e teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim süresince beni fikirleriyle aydınlatan, mükemmeliyetçi ve çalışkan kişiliğiyle her zaman örnek aldığım, başarılı mühendis olmamda emeği olan, manevi desteğini üzerimden eksik etmeyen değerli arkadaşım Yunus Emre KEBELİ'ye, teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışmasına laboratuvar ve engin bilgileriyle bize yol gösteren Sayın Araş. Gör. Dr. Tolga YILMAZ'a ve maddi desteklerini bizden esirgemeyerek ahşap kiriş elemanları ile bağış yapan, Doka© Kalıp-İskele Firmasına bu anlamlı katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	7
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	21
3.1. Deney Elemanı ve Malzemesi.....	21
3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Araçları	25
3.2.1. Monotonik statik yükleme ve yorulma deneyleri	26
3.3. Deney, Ölçüm ve Yükleme	43
4. DENEYLER	47
4.1. Deney Elemanı-1.....	47
4.2. Deney Elemanı-2.....	51
4.3. Deney Elemanı-3.....	58
4.4. Deney Elemanı-4.....	60
4.5. Deney Elemanı-5.....	61
4.6. Deney Elemanı-6.....	63
4.7. Deney Elemanı-7.....	67
4.8. Deney Elemanı-8.....	70

	Sayfa
4.9. Deney Elemanı-9.....	72
4.10. Deney Elemanı-10.....	73
5. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ	77
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ahşap kiriş deney grupları ve eleman boyutları	14
Çizelge 2.2. I-kesitli ahşap kiriş teorik-deneysel sonuç değerleri karşılaştırılması	15
Çizelge 2.3. Deney elemanlarının farklı deney düzenekleri	17
Çizelge 3.1. TS EN 13377 standardına göre güvenli rijitlik ve işletme yükleri	25
Çizelge 3.2. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 model parçalar ve tanımları	28
Çizelge 3.3. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 teknik özellikleri	28
Çizelge 3.4. Halka kuvvet algılayıcı PCB Group 200C50 teknik özellikleri	31
Çizelge 3.5. İvmeölçerler PCB firması ICP 352B70 model teknik özellikleri.....	34
Çizelge 3.6. Lvdt Opkon firması LPS 100 Model teknik özellikleri	38
Çizelge 3.7. Koaksiyel kablo PCB grup 003A20 model teknik özellikleri	39
Çizelge 3.8. Veri toplama cihazı NI 9234 model teknik özellikleri	41
Çizelge 3.9. Veri toplama cihazı NI 9234 model teknik özellikleri	42
Çizelge 3.10. Veri toplama cihazı NI 9201 model teknik özellikleri	42
Çizelge 3.11. Sinyal taşıyıcı cihaz NI cDAQ-9174 model teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.12. Deney elemanları ve deney yöntemleri	44
Çizelge 3.13. Statik deney bilgisayar veri giriş bilgileri.....	44
Çizelge 3.14. Yorulma deneyi bilgisayar veri giriş bilgileri.....	45
Çizelge 5.1. Statik yüklemenin deneysel sonuçları	79
Çizelge 5.2. Yorulma yüklemesi deney sonuçları	82
Çizelge 5.3. Çarpışma testlerinin deney sonuçları.....	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Erimiş çeliğin kömürleşmiş ahşap kiriş tarafından taşınması.....	3
Şekil 1.2. Ahşap kiriş genel kullanımı (Doka© kullanım yöntemi)	5
Şekil 2.1. Ahşap yapıların genel hasar oranları	8
Şekil 2.2. Malzemelerin elastisite modülü-dayanım grafiği	16
Şekil 2.3. Ahşap kiriş birleşimlerinin dayanım verimlilikleri.....	17
Şekil 2.4. Deney elemanları yük-deformasyon eğrisi.....	18
Şekil 3.1. Doka© marka ahşap kalıp kiriş görünüşü	22
Şekil 3.2. Ahşap kalıp kiriş türleri	22
Şekil 3.3. Ahşap kirişlerin geometrik boyutları	23
Şekil 3.4. Ahşap kalıp kirişlerinin açıklık-deplasman grafiği.....	24
Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan üç nokta eğilme deney prensibi	25
Şekil 3.6. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 model genel görünüm	27
Şekil 3.7. Halka kuvvet algılayıcı PCB grup 200C50	31
Şekil 3.8. Piezoelektrik ivmeölçer PCB grup ICP 352B70 model	33
Şekil 3.9. Piezoelektrik ivmeölçerlerin doğru montajı yöntemleri	34
Şekil 3.10. Strain-gauge HBM firması H-LY11 model.....	35
Şekil 3.11. Potansiyometrik lineer cetvel Opkon firması LPS100 model (Lvdt)	37
Şekil 3.12. Koaksiyel kablo PCB grup 003A20 model	39
Şekil 3.13. Veri toplama cihazı NI firması 9234 model	40
Şekil 3.14. Veri toplama cihazı NI firması 9235 model	41
Şekil 3.15. Veri toplama cihazı NI firması 9201 model	42
Şekil 3.16. Sinyal taşıyıcı NI firması cDAQ-9174 model	43
Şekil 3.17. Yorulma deneylerinde kullanılan dalga tipleri	45
Şekil 4.1. Deney elemanı-1 Statik test sonucunda yaptığı yük-deplasman grafiği.....	51
Şekil 4.2. Deney elemanı-2 deplasman - yorulma yük çevrim sayısı	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Deney elemanı-6 yük-deplasman grafiği ani göçme	67
Şekil 4.4. Deney elemanı-7 deplasman – yorulma yüklemesi çevrim sayısı grafiği	70
Şekil 5.1. Deney elemanlarını statik yük – deplasman grafikleri; a) Deney elemanı-1 monotonik static yükleme – deplasman grafiği, b) Deney elemanı-6 monotonik static yükleme – deplasman grafiği	78
Şekil 5.2. Nihai yük kapasitesi, ilk sertlik, deplasmanlı süneklik oranları ve enerji yayılma kapasitesinin hesaplama yaklaşımı	79
Şekil 5.3. Yorulma yüklemesi altındaki deney elemanlarının deplasman grafikleri: a) Deney elemanı-2 deplasman – yorulma yüklemesi tekrar sayısı grafiği, b) Deney elemanı-2 deplasman – yorulma yüklemesi tekrar sayısı grafiği	81
Şekil 5.4. Çarpma etkisi altındaki elemanların sol ivmeölçer – zaman grafikleri	83
Şekil 5.5. Çarpma etkisi altındaki elemanların deplasman – zaman grafikleri.....	84
Şekil 5.6. Çarpma etkisi altındaki elemanların maksimum deformasyon – zaman grafikleri.....	85
Şekil 5.7. Deney elemanlarının çarpma yükü – zaman grafikleri.....	86

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 genel görünüm	26
Resim 3.2. Ağırlık düşürme deney düzeneği genel görünüm	30
Resim 3.3. Halka kuvvet algılayıcının ağırlık düşürme deney düzeneğine montajı.....	32
Resim 3.4. Piezoelektrik ivmeölçerin deney elemanları üzerine montajı.....	35
Resim 3.5. Strain-gauge'in deney elemanları üzerine montajı	36
Resim 3.6. Çelik plaka ve gijonların deney elemanları üzerine montajı	37
Resim 3.7. Potansiyometrik lineer cetvellerin (Lvdt) deney elemanları üzerine montajı	38
Resim 3.8. Koaksiyel kabloların çarpışma deneylerinde kullanımı	40
Resim 4.1. Deney elemanı-1 monotonik statik yükleme deneyi	48
Resim 4.2. Deney elemanı-1 ilk çatlak oluşumu	48
Resim 4.3. Deney elemanı-1 alt başlık kısmında çatlak oluşumu	49
Resim 4.4. Deney elemanı-1'de oluşan yatay düzleme dik hasar oluşumu.....	49
Resim 4.5. Deney elemanı-1 test sonucu ağır hasar oluşumu.....	50
Resim 4.6. Deney elemanı-2 yorulma deneyi	52
Resim 4.7. Deney elemanı-2 üzerinde 2550 tekrarda oluşan çatlaklar.....	53
Resim 4.8. Deney Elemanı-2 üzerinde 2600 tekrarda oluşan çatlaklar	53
Resim 4.9. Deney elemanı-2 üzerinde 2600 tekrarda oluşan çatlaklar.....	54
Resim 4.10. Deney elemanı-2 üst başlıkta 3200 tekrarda oluşan ezilme-1	54
Resim 4.11. Deney elemanı-2 üst başlıkta 3200 tekrarda oluşan ezilme-2	55
Resim 4.12. Deney elemanı-2 alt başlık 3366 tekrarda oluşan çatlak	55
Resim 4.13. Deney elemanı-2 üzerinde 3373 tekrarda çökme oluşumu.....	56
Resim 4.14. Deney elemanı-2 yorulma deneyi sonucunda ağır hasar alarak kırılmıştır.....	56
Resim 4.15. Deney elemanı-2 yorulma deneyi sonucunda üst başlık ezilmiştir	57
Resim 4.16. Deney elemanı-2 yorulma deneyi giriş göçmesi	57
Resim 4.17. Deney elemanı-3 ağırlık düşürme deney düzeneği.....	59

Resim	Sayfa
Resim 4.18. Deney elemanı-3 ağırlık düşürülmesi sonrasında oluşan hasar	59
Resim 4.19. Deney elemanı-3 ivmeölçer takılması için açılan delikler	60
Resim 4.20. Deney elemanı-4 ağırlık düşürme deney düzeneği.....	60
Resim 4.21. Deney elemanı-4 çarpma sonucu üst başlık hasarı-1.....	61
Resim 4.22. Deney elemanı-4 çarpma sonucu üst başlık hasarı-2.....	61
Resim 4.23. Deney elemanı-5 çarpışma deneyi sensör montajları	62
Resim 4.24. Deney elemanı-5 üzerinde çarpışma sonrası oluşan hasar	63
Resim 4.25. Deney elemanı-5 üzerinde oluşan hasar yan görünüş.....	63
Resim 4.26. Deney elemanı-6 monotonik statik yükleme testi	64
Resim 4.27. Deney elemanı-6 alt başlık ve gövde de kırılma	65
Resim 4.28. Deney elemanı-6 gövde ve alt başlık çatlak	65
Resim 4.29. Deney elemanı-6 oluşan çatlağın alt kısımda artması	66
Resim 4.30. Deney elemanı-7 yorulma deney düzeneği.....	68
Resim 4.31. Deney elemanı-7 üzerinde 2500 tekrar hasar oluşumu.....	68
Resim 4.32. Deney elemanı-7 yorulma deneyi sonucunda ağır hasar oluşumu	69
Resim 4.33. Deney elemanı-7 yorulma deneyi göçme oluşumu	69
Resim 4.34. Deney elemanı-8 ağırlık düşürme deney düzeneği.....	71
Resim 4.35. Deney elemanı-8 çarpışma deneyi hasar oluşumu.....	71
Resim 4.36. Deney elemanı-8 üzerinde 1120 mm çatlak oluşumu.....	72
Resim 4.37. Deney elemanı-9 çarpışma test düzeneği	72
Resim 4.38. Deney elemanı-9 çarpışma deney sonucu hasar oluşumu	73
Resim 4.39. Deney elemanı-10 deney düzeneği genel görünüş	73
Resim 4.40. Deney elemanı-10 çarpışma deneyi hasar oluşumu-1	74
Resim 4.41. Deney elemanı-10 çarpışma deneyi hasar oluşumu-2	74
Resim 4.42. Deney elemanı-10 çarpışma deneyi hasar oluşumu-3	75
Resim 5.1. Deney elemanlarında meydana gelen hasarlar ve göçmeler.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
cm	Santimetre
°C	Derece Santigrat
dk	Dakika
fr	Frekans
Hz	Hertz
I-Kiriş	Enine Kesiti “I” Şeklinde Olan Kiriş
lt	Litre
kg	Kilogram
Kgf	Kilogram-Kuvvet
k_{mod}	Rutubet Muhtevası Değiştirme Katsayısı (Ahşap Malzemeler için 0,9 alınmalı)
kN	Kilonewton
kNm	Kilonewton-Metre
kNm²	Kilonewton-Metrekare
L	Mesnet Açıklığı
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
s	Saniye
X_d	Yük Taşıma ve Rijitlik Değeri
X_k	Malzeme Özelliğine Ait Karakteristik Değer
μ	Süneklik Faktörü
γ_M	Malzeme Özelliğine Ait Kısmi Güvenlik Katsayısı (Ahşap malzemeler için 1.3 alınmalı)
γ_F	Malzeme Özelliğine ait, yük için kısmi güvenlik katsayısı (Ahşap malzemeler için 1.5 alınmalı)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ASTM	American Society for Testing and Materials
b	En Küçük Başlık Genişliği
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
DIN	Deutsch Institut Normung
EN	European Norms
<i>E_I</i>	Rijitlik
Eurocode	Technical Code for European Committee for Standardisation
Glulam	Glued Laminated Lumber
H	Kiriş Yüksekliği
HUD	Housing and Urban Development
ICF	Insulating Concrete Form
LVDT	Linear Variable Differential Transformers
M	Sınır Eğilme Momenti
M_k	Karakteristik Taşıma Gücü Eğilme Dayanımı
P	Servis Yükleri
PCA	Portland Cement Association
PÇ	Portland Çimentosu
Plywood	Sıkıştırılarak Yapıştırılmış Ahşap Talaş Plaka
Q	Sınır Kesme Kuvveti
TS	Türk Standartları
TS-EN	Türk Standartları-Europe Norm
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
V_k	Karakteristik Taşıma Gücü Kayma Dayanımı

1. GİRİŞ

İnsan nüfusunun artışıyla birlikte doğal olarak ihtiyaç duyulan yapıların inşası da artmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için gelişen inşaat teknikleri ve inşaat imalat sürelerinin kısaltılabilmesi için yapılan araştırmalar inşaat sahasında imalat için kullanılan kalıp sistemlerinin de gelişmesini sağlamıştır. Özellikle yüksek katlı ve büyük hacimli betonarme yapıların imalatlarında yapıların üretim sürelerinin hızlandırılması, imalat için kullanılan kalıp sistemlerinin yeniden kullanılabilmesi, değişik geometride ayarlanabilir özelliklerde olmaları ile kalıp ve imalat maliyetlerinin düşürülmesi bir zorunluluk haline gelmektedir. Kalıp sistemlerinin kolay ve daha az işçilik gerektirerek sahada kurulabilmeleri, ekonomik olabilmeleri için demonte edilirken hızlı, hasar almadan sökülerek yeniden kullanılabilir olmaları, birden fazla kere sorunsuz bir şekilde kullanılabilmeleri ve hafif olmaları günümüzde kalıp sistemlerinden beklenen özellikler arasındadır [1-6].

Bu tezin konusu olan ve inşaat sektöründe yüksek katlı betonarme yapıların yapım aşamasında kullanılan ahşap kalıp kirişlerinin dayanıklılığını ilgilendiren karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmaları konu almaktadır. Fabrikasyon olarak üretilen ve bir ticari ürün olan ahşap kalıp kirişlerin günümüz inşaat sektöründe çok büyük oranda yaygın olarak kullanılan önemli sarf malzemeleridir. Bu türdeki malzemelerin kullanım ömürleri içerisinde etkisi altında kalabilecekleri statik, yorulma ve ani dinamik çarpma yükleme türleri etkisi altındaki yük-deplasman davranışları, taşıma güçleri ve davranışlarının bilinmesi için araştırılması gereken önemli bir konudur. Bu nedenle deneysel bir çalışma düzenlenmiş ve bu çalışma kapsamında ahşap malzeme kullanarak bu türde kalıp sistemleri tasarlayan DOKA® firmasının ürünleri arasında yer alan H20 top P türü ahşap kalıp kirişinin statik, yorulma ve ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisi altındaki davranışları incelenmiştir.

Çalışma kapsamında 1800 ve 2450 mm uzunluğunda 2 farklı boyuttaki ahşap kalıp kirişleri, monotonik olarak artan statik yükleme, yüksek yük düzeyli düşük tekrar sayılı yorulma yüklemesi ve 3 farklı enerji düzeyinde ani dinamik çarpma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Deney elemanlarının testler sonucunda elde edilen statik yükleme etkisi altında genel yük-deplasman davranışları, başlangıç rijitlikleri, deplasman sünelik oranları, enerji tüketim kapasiteleri ve göçme mekanizmaları, yorulma yüklemesi etkisi altında deplasman kapasitelerindeki değişim ve göçme mekanizmaları, ani dinamik yükleme etkisi altındaki

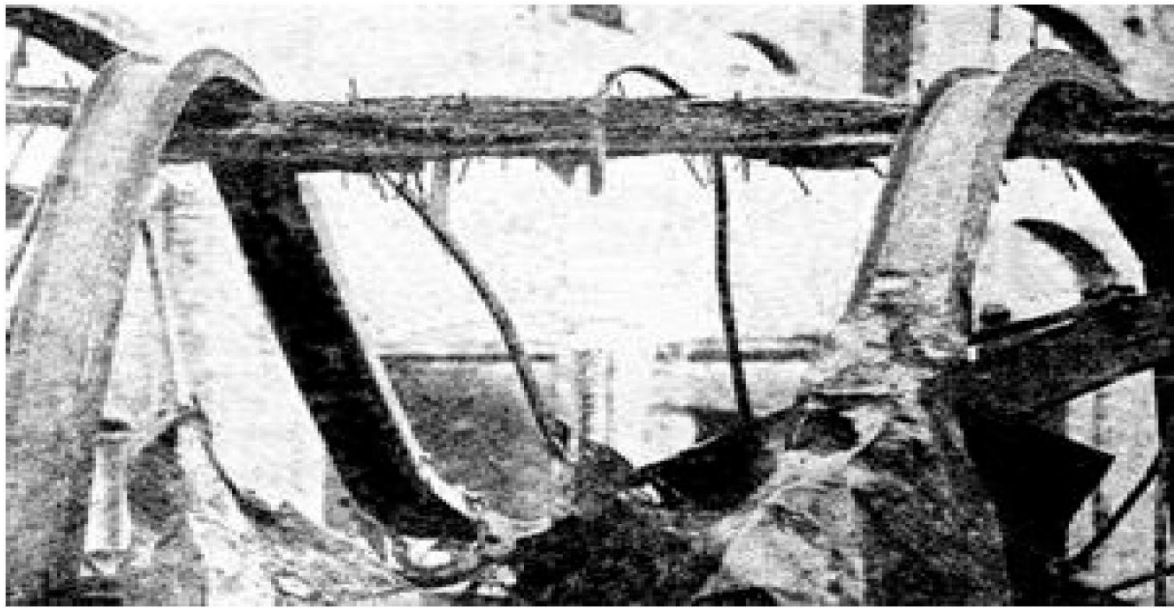
ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma yüklemesi-zaman, maksimum birim deformasyon-zaman davranışları incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Kalıp sistemlerinin farklı yapılarda kolay kullanılabilir olmaları için bu tür sistemler bileşenlere ayrılarak modüler hale getirilmiştir. Bu modüler yaklaşım, temel kalıp sistemi yapı bileşenleri ile çok farklı mimaride ve düzende yapıların imalatları için gerekli olan kalıp sistemlerinin kısa sürede, efektif bir şekilde kurulabilmesine olanak sağlamaktadır. Kalıp sistemlerinin modüler yapısı içerisinde önemli bir yer alan bileşenlerin başında ise ahşap kalıp kirişleri gelmektedir. Ahşap kalıp kirişleri, iki adet masif ahşaptan yapılmış başlık kısımları ve bu iki başlık arasında bulunan sıkıştırılmış talaşın, kama dişli birleşim tekniği kullanılarak tutkal yardımıyla birleştirilmesi sonucu oluşturulmuş bir kalıp elemanıdır.

Kalıp kirişleri, kalıpların oluşturulmasında önemli rol üstlenen ve yapı betonarme sisteminin imalatı esnasında yüklerini taşıyan en önemli kalıp sistemi bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle I-kesite sahip ahşap kalıp kirişlerinin ağırlıklarına göre oldukça yüksek makaslama (Kayma) dayanımına sahip olması, geniş açıklıkların geçildiği yerlerde hafifliği, ekonomik olmaları, hafif olmaları nedeniyle kolay taşınabilir olmaları ile montaj kolaylığı sağlamaları, yangın dayanımı bakımından benzeri olmayan bir yapı malzemesi olarak görülmesi nedenleriyle ahşap kalıp kirişleri geçtiğimiz on yıllık süre içinde yüksek katlı betonarme yapı inşaatlarında kullanımı artarak, üzerinde yapılan önemli araştırmalarla birlikte yapı sektöründe tercih edilen bir kalıp elemanı olmaya başlamıştır. Ayrıca korbon emisyonunu azaltması ve betonun salınımını yaptığı Argon gazına karşı ahşap malzemelerin Karbon emisyonunun azaltılması ve çevreci bir malzeme olması nedeniyle kullanımının her alanda arttırılması gerekmektedir. Bunun ile ilgili Birleşmiş Milletler de alınan İklim Değişikliği Sözleşmesi 1998a ve Kyoto Protokolü 1998b’de ahşap malzemelerin çevre ile uyumlu bir yapı malzemesi olduğu, yapısal alanda kullanımının arttırılması, üye ülkelerin bu kurallara uyulması gerektiği yönünde kararlar alınmıştır [7].

Ahşap kalıp kirişlerinin ana yapı malzemesi olan ahşaplar, insanlığın mekân oluşturmaya başladığı ilk zamanlardan bu yana kullandıkları doğal bir malzemedir. Ahşaplar sergilediği yüksek dayanım, sağlıklı bir yapı malzemesi olması, kırılmadan önce çıkardığı sesler ile tehlikeyi haber vermesi, termik genişlemesinin küçük olması, maliyetinin diğer kalıp malzemelere oranla daha uygun ve diğer malzemelere göre uygulama esnasında işlenebilirliğinin daha kolay ve hafif olması, kimyasal etkilere karşı çelik ve betondan daha

dayanıklı olması gibi avantajlara sahipken; yapısında oluşabilecek mantar, çeşitli bakteriler, böcekler ve deniz termitleri gibi biyolojik nedenler, düşük sıcaklarda yanabilmesi ve yapısının heterojen olması, ahşap malzemelerin güvensiz bir malzeme olarak algılanmasına yol açmıştır. Oysaki ahşap malzemelerin bu zayıf özellikleri yangın ve biyolojik hasarlara karşı dirençlerini geliştirecek koruyucular ile kaplanması, ahşap malzemelerin biyolojik ve yangın performanslarının çok kolay bir şekilde artırılmasını ve diğer yapı malzemelerinden üstün olmasını sağlamaktadır. Ahşap malzemelerin heterojen yapısı konusunda ise mühendislerin güvenle kullanabileceği çapraz lamine edilmiş ahşap eleman, tutkallanmış sıkıştırılmış elemanlar ve lamine kaplama yapılmış ahşap gibi standardizasyonu sağlanan malzemelere dönüştürülerek bu algının yanlış olduğu görülmüş ve bütün bu özellikleriyle yapılarda kalıp malzemesi olarak kullanımı haklı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Ahşap kirişin, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere yaklaşık sıcaklık değerinin 8315 °C civarında olduğu kaydedilmiş olan bir yangın anında ahşap kirişin dış kısımlarının yanmasına rağmen yanmamış iç kısımların taşıyıcılık görevini sürdürdüğü ve erimiş çelik kirişin taşıyıcılığını kaybederek ahşap kiriş tarafından taşındığı gözlemlenmiştir (Ritter, 2005) [8].



Şekil 1.1. Erimiş çeliğin kömürleşmiş ahşap kiriş tarafından taşınması

Ahşap malzemelerin, yapılarda kalıp malzemesi olarak kullanımı ile ilgili yapılan bazı atıflar şu şekildedir; kalıplar, taze dökülmüş betonu ve üzerinde çalışanları taşıyan her yönde sabitlenmiş taşıyıcı sistemlerdir (Hurd, 2005; Naik ve Rathod, 2005). Geleneksel kalıp sistemi genellikle taze betonun ağırlığını ve düşey yükleri taşıması için kullanılan standart

sıkıştırılmış ahşap plaka (Plywood) ve bu plakanın altında yükleri çerçeve iskele sistemlere aktaran ahşap kirişler kullanılmaktadır. Örneğin, döşeme için kullanılan kalıp sistemleri, betonarme perde ve kolon yapımında kullanılmak istenildiğinde köşe ve kenarlarda, taşıma ve sökme esnasında hasarların oluştuğu gözlenmiştir. Bu hasarların oluşmaması için, doğru kalıp sisteminin doğru alanlarda kullanılması gerekmektedir. Şeklinin farklı olması veya daha ekonomik malzemelerle üretilen modüler kalıp sistemlerinin ekonomik nedenlerle alınması, yapımın uzun sürdüğü şantiyelerde zaman kaybına yol açtığı açıkça görülecek ve ekonomik zararlara yol açacaktır (Poon ve Yip, 2005). Geleneksel kalıp malzemeleri modüler kalıp malzemesine göre beceriye ve yarı vasıflı işçilere bağlı olarak yoğun insan gücü gerektiren dezavantajlara sahip olmak, maliyet, zaman, atık, kötü sonuç, beton kaçakları ve yapıların erken aşınması ile sonuçlanacaktır. Kalıp malzemelerinin beton üzerindeki zaman ve maliyet etkisine bakıldığında, beton fiyatının %20, beton kalıbının yapım-söküm süresinin %60 oranında azaldığı görülmüştür (Nemati). Geleneksel ahşap kalıp sistemleri ekonomik ancak uzun vadede doğal denge için istenilmeyen bir malzemedir (Poon ve Yip, 2005).

Ayrıca kalıp kirişleri bir kalıp sistemi içerisinde en fazla sayıda kullanılan ve tercih edilen bileşendir. Bu nedenle kalıp kirişleri kullanım ömürleri içerisinde çok yoğun ve çok sayıda kullanılan elemanlardır. Bu kullanım süreleri içerisinde değişik türde statik, yorulma ve ani dinamik çarpma yükleri gibi çok farklı etkiler yaratan değişik yükleme türleri etkisi altında kalabilmektedirler. Ahşap kirişlerin kullanım ömürleri boyunca maruz kaldıkları kuvvet türlerinden birisi olan, tekrarlı yüklere maruz kalan ahşap kirişler uygulanan kuvvetler küçük olmasına rağmen, tekrarın ilerleyen safhalarında parçada çatlaklara ve kopmalara sebep olmuştur. Yorulma adı verilen bu olayın, bütün mekanik arızaların %90'na sebep olduğu tahmin edilmektedir. Eş zamanlı oluşan gerilmenin, çevrimli gerilme ve plastik gerilmenin etkisiyle yorulma kırılması meydana gelir. Yorulma çatlağı bu üç etkiden birinin eksik olması durumunda başlamaz veya ilerlemez. Eleman ömrünün büyük bir kısmı ilk çatlağın oluşması için geçen süredir. Eleman üzerinde lokal gerilme yığılması çatlak ucunda bulunan çentik kısmında olur ve tekrarlı plastik deformasyona uğrayan çatlağın ucu gerilmeler altında büyür ve kırılma meydana gelir [9].

Ahşap kirişler üzerinde yapısal sorunlar ve güçlendirme teknikleri ile ilgili çalışma yapan Steffen Franke, Bettina Franke ve Annette Harte, meydana gelen çatlakların genel olarak; %38'i yapısal-fiziksel nedenler, %36'sı biyolojik nedenler, %9'u mekanik nedenler, %5'i

kimyasal nedenler ve %12'si diğer nedenlerden dolayı oluşmakta olduğunu gözlemlemişlerdir. Bir ahşap kiriş elemanının daha çok ne şekilde hasar alabileceği üzerine yaptıkları çalışmada ise; %75 oranla damar-içyapı şekline paralel şekilde oluşan çatlaklar, %8 kesme kuvveti sonucu, %6 çekme kuvveti sonucu ve %11'i diğer nedenlerden dolayı hasar alabileceği sonucuna varmışlardır [10].

Ahşap kirişlerin farklı kullanım alanları ve şekilleri mevcuttur, genel kullanım alanı olan betonarme döşeme kalıbı yapımında önerilen kullanım yöntemi; en üst katmanda Plywood denilen yaklaşık 2 cm kalınlığında kimyasal yapıştırıcı kullanılarak sıkıştırılmış talaştan oluşan plakalar bulunmakta, altında ise tez konusu olan H 20 ahşap kirişler 60 cm arayla ızgara şeklinde döşenmiş, bu ızgara şeklinde döşenmiş ahşap kirişlerin altına ise 180 cm arayla kirişlere dik yönde döşenmiş diğer H 20 ahşap kiriş grubu ve son olarak altta bulunan ahşap kirişlere dik olarak birleşimi yapılan taze beton ve çalışanların yükünü altta bulunan betonarme döşemeye aktaran, yüksekliği ayarlanabilen çelik teleskobik direkler bulunmaktadır. Taze beton en üst katmanda bulunan Plywood üzerine dökülür ve Plywood üzerine gelen yükler yukarıda belirtilen sırayla teleskobik direkler vasıtasıyla üzerinde bulunan betonarme döşemeye aktarılır. Yüksek katlı yapı inşaatlarının yapımında kullanılan ahşap kirişlerin, inşaat sahasında kullanımı Şekil 1.2'de gösterilmektedir [11].



Şekil 1.2. Ahşap kiriş genel kullanımı (Doka© kullanım yöntemi)

Özellikle, Avrupa'da yaygın olarak kullanılmış olan ahşap malzemeler, köprü inşasında kullanımı bilinen ilk yapı malzemeleridir. Roma döneminde taş köprülerin ve taştan duvar yapımının yaygınlaşması ile birlikte ahşap malzemeler unutulmaya başlanmış, 20. yüzyılın

başlarında yeni gelişen bir akım olan demir ve beton kullanımının yaygınlaşması sonucu kullanımı oldukça azalmıştır. İnsanların yüksek mukavemete sahip malzemeler arzulanması, demir ve demir alaşımı malzemelerden yapılan yapıların sayısını arttırmış, artan bu yeni malzemenin kendine has farklı sorunlarının olduğu ilerleyen yıllarda görülmüştür. 1800’lü yılların başlarında, Avrupalı araştırmacıların kullanılan bu yeni malzemenin demiryolu ve köprü bileşenlerinin tekrarlı yüklere maruz kaldıklarında çatladığını görmüşler ve bunun karmaşık bir yapısal sorun olduğunu kabul etmişlerdir. İlerleyen yüzyılda artan metal kullanımı ve bunların yorulma olaylarında karşılaşılan sorunlar kaydedilmiştir, bundan dolayı yapısal elemanlarda yorulmanın önemi daha da arttırmıştır [12].

Ahşap kirişlerin farklı etkiler altında heterojen yapısı nedeniyle anlaşılmasının karmaşık olması, üzerinde çok çalışılması gereken bir alan haline getirmiştir. Ahşap kirişlerin davranışının anlaşılması, bilinen koşullar altında nasıl tepki vereceğinin öngörülmesine dolayısıyla tasarımda yaşanan sıkıntıların aşılması ile sağlıklı yapı tasarımlarının daha kolay ve ekonomik olmasına olanak sağlamaktadır. Günümüzde inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bu ahşap kirişlerin özelliklerinin geliştirilmesi, tekrar kullanılması ve uzun vadede yararlanılması için gerekli dayanım ve dayanıklılığının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar literatür taramasında rastlanmamıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tez konumuz olan ahşap kalıp kirişleri üzerinde yorulma, statik yükleme ve çarpışma deneylerine benzer içerikli ahşap kirişlerle ilgili önceden yapılmış olan çeşitli çalışma ve araştırmalara göz atıp kısaca sonuçlarına değineceğiz. Ahşap malzemeler üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır, onların standardizasyonu sağlanarak mühendislerin kullanımına sunulmuş, ancak ahşap malzeme doğal bir malzeme olduğu için yapısında bulunan budak gibi doğal etmenler bazen öngörülmeven çatlakların oluşumuna sebebiyet verdiği görülmüştür.

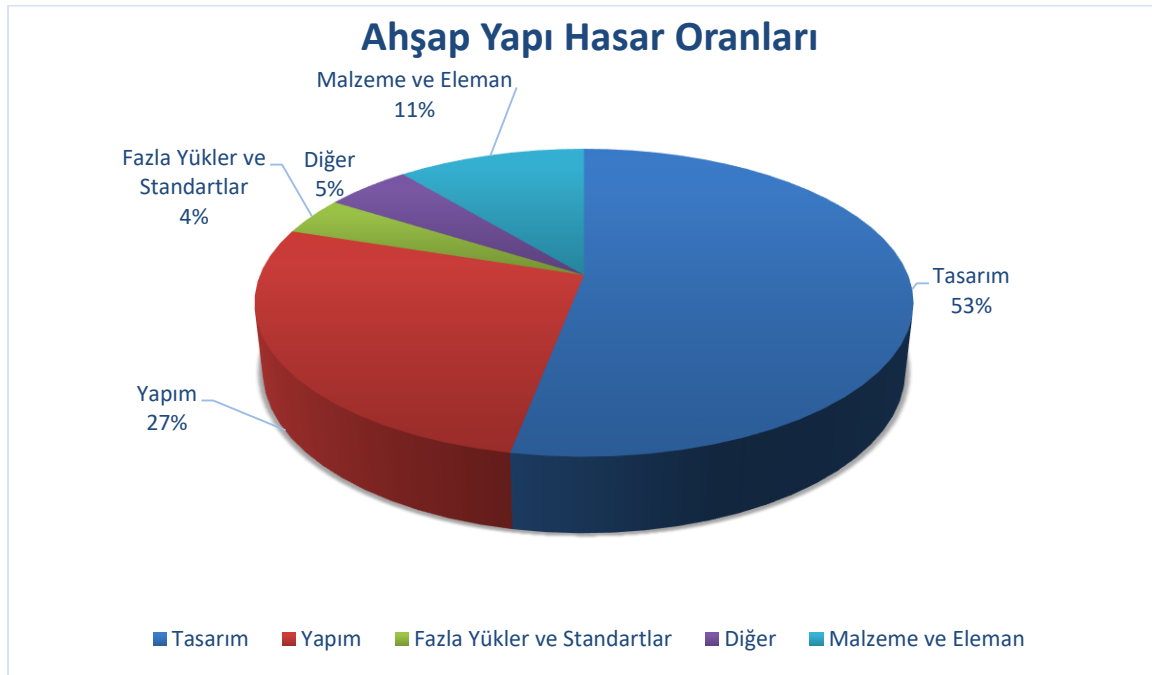
Frank H. Richart ve Clorence B. Williams'ın Illinois Üniversitesi bülteninde yayınlanan bu çalışmalarında ahşap ve beton ile kompozit kirişler üzerinde monotonik statik teste değinmişlerdir. Kompozit kiriş elemanlardan 3 adet deney numunesi yapılmıştır. Orta kısmı beton, iki yanı ahşap olan kirişlerdir. Beton ile ahşap arasında ankrajlı birleşim kullanılmıştır. Kirişlerin ankraj doğrultuları, kirişin üst noktasından uygulanan yüke sırasıyla; 45, 90 ve 135 derecelik açılar yapacak şekilde birleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak ahşap kirişlerin birleşim dayanımı sırasıyla en yüksek 45, 90 ve 135 derece olacak şekilde görülmüştür [13].

R. J. Leichti ve R. C. Tang'ın beraber kompozit ahşap I-kesitli kiriş ve kereste kiriş üzerinde yaptıkları çalışmada, toplam deney süresi 110 gün olarak belirledikleri statik yükleme deneyidir. Deneyin 14. gününde gözlemledikleri yük-deplasman grafiği Burger-body modeline çok benzediği için bu model analitik olarak hesaplamada kullanılmıştır. Analitik hesaplamalar yapılırken ahşabın visko-elastik özelliği göz ardı edilmiştir. Deney süresinin yüzde 3'lük kısmından sonra analitik sonucun gerçek değerlerden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ebatları birbirine yakın olan kereste ve I kiriş arasında, dayanım farkının fazla olduğu gözlemlenmiş, I-kesitli kompozit ahşap kirişin daha dayanıklı oluşu deneysel olarak kanıtlanmıştır [14].

Juliano F. ve Antonio A. D., ahşap kirişler üzerinde güçlendirmenin taşıma kapasitesi üzerinde ki etkisini araştırmışlardır. Güçlendirme yapılan 9 adet ahşap kirişi, çekme ve basınç testlerine tabi tutmuşlardır. Analitik hesaplamalar ile deneysel hesap sonuçları karşılaştırılmıştır. Ahşap kiriş numunelerinin sadece alt kısmına bant şeklinde uyguladıkları karbon lif ve cam lifler ile güçlendirmeler yapmışlar ve sonrasında kirişlerin taşıma

kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Karbon lif ile güçlendirilen ahşap kirişlerin taşıma kapasitesinin, cam lif ile güçlendirilen ahşap kirişlerden taşıma kapasitesinden daha fazla olduğu görülmüştür. Bu tür güçlendirmeler, ahşap elemanlarda yalnız hasar sonrasında değil aynı zamanda öncesinde de kullanılması tavsiye edilmiştir [15].

Eva Frühwald ve arkadaşları, güvenli ahşap yapıların tasarımında geçmişte yaşanmış olan yapısal hatalar ve başarısızlıklardan nasıl ders alınması gerektiği ve ahşap yapılara ait bazı yapısal kusurları dile getirmişlerdir. Ahşap yapılar üzerinde gözlenen başarısızlıkları iki başlık altında şu şekilde toplamıştır; ani gelişen başarısızlıklar ve beklenmeyen şartlar. Ani gelişen başarısızlıklara örnek olarak; yapısal sistemin dengesinin bozulması, göçme, kısmi göçme ve diğer nedenler. Beklenmeyen şartlar olarak; çatlağın ilerlemesi, şeklin değişimi ve deplasman yapması, bağlantı ve hatalı eleman uzunluklarından doğan sorunlar ve diğer nedenler olarak Şekil 2.1’de verilen oranlar şeklindedir.



Şekil 2.1. Ahşap yapıların genel hasar oranları

Bu nedenlerin yanında bilinmesi gereken başlıca hata nedenleri şu şekildedir; ahşap elemanların birleşiminde yetersiz birleşim davranışı, neme maruz kalması sonucu büzülme ve gerilme oluşumu, dayanıklılığın düşük olması, yapısal sistemin genelinin dayanımının yetersiz olması, malzeme veya ürünün öngörülen performansının gerisinde kalması ve elemanın kapasitesinden fazla yüke maruz kalması olarak belirtilmiştir [16].

Prof. Dr. -Ing. Ulrike KUHLMANN ve Pietro ALDI'nin yapmış olduğu ahşap-beton kompozit kirişler üzerinde yorulma deneyi ile birleşime olan etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmaya ilham kaynağı olarak 1930'da ABD de başlayan günümüze kadar yayılan ahşap kirişli ve betonarme döşemeli köprüler olmuştur. 18 deney numunesi üzerinde 3 farklı yük ile 3 Hz frekansa sahip yorulma deneyi yapılmış ve sonuç olarak; deney numuneleri üzerinde uygulanan en yüksek yük oranının yeterli gelmesinden dolayı ahşap beton kompozit elemanın yorulma deneyi altında hizmet süreside, ön döküm veya beton-çelik kompozit köprülere alternatif olarak kullanılabilir olduğu ispatlanmıştır [17].

P. Neubauerova, ahşap kirişler üzerinde yaptığı çalışmada, karbon-fiber ile güçlendirme yapılmış olan numunelerin, güçlendirme yapılmamış olan numunelere göre dayanımlarının yüzde 5 ile 23 arasında arttığını gözlemlemiştir.

Deney esnasında;

- Ahşap kirişlerde genelde budak olan yerlerde çatlaklar oluşmuş
- Kimi kirişte hiç hasar belirtisi olmadan bir anda göçme meydana gelmiş
- Kirişlerde genel olarak boyuna çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiş
- Deneyin belli bir zaman sonra, ahşap kiriş elemanların yapmış olduğu deplasmanların değerinin artmasına rağmen, taşıdıkları yük değerlerinin artmadığını gözlemlemiştir [18].

Tomas Gecys ve Alfonsas Daniunas, ahşap yapıların birleşimi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Ters T şeklindeki çeliği ahşap lamineden yapılmış kiriş içerisine ankrajlamış, diğer kirişide aynı şekilde farklı bir ters T çelik ile ankrajlayarak, iki kirişin birleşimini kaynakla sağlamıştır. Arada kalan boş kısmın doldurulmasını, içerisinde polimer lif içeren çimento bazlı karışım ile yapmıştır. Elde edilen bu kirişin birleşim testi için dört nokta eğilme testinden yararlanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında bu çalışmada uygulanan birleşim detayının, standart vidalı birleşim dayanımından çok daha iyi bir performans sergilediği görüşmüştür [19].

Yusof Ahmad, ahşap kirişlerin sünekliliğinin CFRP kullanarak güçlendirilmesi üzerine yapmış olduğu bir çalışmadır. Bu çalışmasında beş adet ahşap kirişin dört noktalı eğilme deneyi altında, yapılan güçlendirmenin performansları değerlendirilmiştir. Ebatları 100x200x3000 mm olan ahşap kiriş numuneleri üzerinde; bir numune referans olarak

kullanılacak şekilde güçlendirme yapılmıyor, diğer elemanlar ise sırasıyla 60, 50, 30 ve 25 mm kalınlığında şerit CFRP ve yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla 1.4, 1.2, 1.4, 1.2 mm olacak şekilde numuneler hazırlanmış ve deneye tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda CFRP kalınlığı en azla olandan en az olana doğru süneklikte artış olduğu görülmüştür [20].

Meizhen Fu, Yongjian Liu, Na Li, Zhiwei Zhang ve Enzo Siviero'nun yaptığı çalışmada, Çin'de yapılmış ve yapılan köprülerin çevreye verdiği zararlar araştırılırken köprü yapımı için kullanılabilecek alternatif malzeme olan ahşabın modern yapılarda kullanılabilir olduğunu göstermek amaçlanmıştır. Çin'de bulunan 713,400 adet köprünün 649,000 adedi küçük ve orta ölçekli köprülerdir. Bu sayı toplam köprü sayısının %90,97'sini oluşturmaktadır. Bu köprülerde yapı malzemesi olarak beton ve çelik kullanılmıştır. Bakımının zor olması ve çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde alternatif olarak düşünülen ahşap köprülerin CO₂ salınımında azalma görüleceği öngörülmüştür. Dünya çimento ihtiyacının %60'ı Çin'de üretilmektedir. Çin'de kişi başı çimento üretimi 1529 kg ile dünya ortalaması olan 265 kg'ın 5 katından fazladır. Yapılan araştırmayla Orta ve küçük ölçekli köprülerde ahşap kirişlerin başarılı bir şekilde kullanıldığı, bakımının kolay olduğu görülmüş ve Çin'de ağaç bolluğu ve ahşap malzemelerin çevreye verdiği zarar az olduğu için ahşap elemanların modern yapı inşasında kullanılmasının uygun olacağı kanısına varılmıştır [21].

Bhavna Sharma, Ana Gatooö Maximilian Bock ve Michael Ramage, alternatif yapı malzemesi olan Bambuların Çin'de üretimi yapılan ve mühendislerin güvenlikle kullanabileceği standardı sağladığı iki farklı üretim sonucu elde edilen Bambu Scrimber ve Bambu Laminelerin; çekme, basınç, kesme ve dört noktadan eğilme deneyleri yapılmıştır. Yapılan tüm deney sonuçlarının Scrimber Bambunun dayanımının Lamine edilmiş Bambudan yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, her iki Bambu dayanımının normal beton dayanımından yüksek çıktığı görülmüştür [22].

Ali Awaludin, Kundari Rachmawati, Made Aryati ve Anindha Dyah Danastri, soğuk şekillendirilmiş çelik ile ahşap lamine malzemenin vida ile birleştirilerek elde ettikleri kompozit malzemenin, yapıların çatısında taşıyıcı malzeme olup olamayacağı üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Soğuk şekillendirilmiş çelik olarak Z, C ve 2C (ters ve düz C) profilleri kullanılmış ve aradaki boşlukları ahşap lamine ile doldurularak vida ile birleşimi yapılmıştır. Bu elemanlardan 5 farklı uzunlukta olacak şekilde farklı deney numuneleri yapılmış ve

numunelerin hepsi basınç elemanı olarak burkulma testine tabi tutulmuşlardır. Alınan sonuçlara göre; Z şeklinde ki soğuk şekillendirilmiş çelik ile yapılan kompozit kirişin diğerlerinden daha fazla burkulmaya karşı direnç gösterdiği görülmüş ve genel olarak güçlendirilmiş elemanların güçlendirilmemiş olanlara göre 1,4 ile 6,7 kat arasında burkulmaya karşı dirençlerinin arttığı görülmüştür. Yapılan bu araştırma ile alternatif bir yapı elemanı geliştirilmeye çalışılmış ve ulaşılan sonuç ışığında bu kompozit malzemelerin çatıda kullanımının uygun olduğu kanısına varılmıştır [23].

Yulianto P. P., A. Kitamari ve K. Komatsu, hasar görmüş ahşap kirişler üzerinde yaptıkları güçlendirme deneylerinde, 6 adet akasya ağacından 40x40x425 mm ebatlarda yapılmış ahşap kirişin üç nokta eğilme deneyi ile 100 kN'luk monotonik statik yükleme testi yapmışlar ve elemanlar göçene kadar testler devam etmiştir. Kirişlerin mesnet açıklığı 360 mm ve yükün verilme hızı 0,5 m/s olarak belirlenmiştir. Farklı şekilde hasar alan kirişler A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. A grubunda kirişler baştan başa çatlaklı şekilde hasar alan kirişler olurken, B grubu kirişler ise alt-orta kısımda lokal çatlaklı hasar alan kirişlerden oluşmuştur. A grubu kirişlerin alt kısmına boydan boya karbon-lif takviyesi yapılmış sonrasında plastik ile sarılarak basınçlı şekilde epoksi reçinesi vakumlanmıştır. B grubu kirişlere ise yalnızca alt-orta kısma karbon-lif takviyesi yapılmış ve çatlak içerisine epoksi reçinesi vakumlanmıştır. Kür süresi olarak üç gün geçtikten sonra tekrardan aynı deneye tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda A grubu ahşap kirişlerin B grubuna göre tokluk ve dayanım oranlarının arttığı gözlemlenmiştir [24].

Frei Otto' nun 1970 yılında Funicular yöntem ile 9000 m²'lik kapalı alana sahip dönemin ve günümüzün en güzel ilerici ahşap elemanlarla yapılmış yapısıdır. Ahşap elemanlarla neler yapılacağı bizlere göstermiştir. Ahşap kirişlerin kendi öz ağırlığına göre taşıyabileceği yük oranına bakılınca, iyi bir yapı elemanı olduğunu kanıtlamış, böylelikle kolaylıkla geniş açıklıklara sahip yapılar yapmayı mümkün kılmıştır [25].

J. Rumlova ve R. Fojtik, ahşap kirişler üzerinde yaptıkları deneyler ile ahşap-ahşap birleşimlerinde metal dışında, kirişin kendisine özel şekiller verilerek birleşimin dayanıklılığını ölçmüşlerdir. Avrupa'da genel olarak tercih edilen karaçam ağacından, ahşap sınıfı D30 olan 4 farklı ahşap kiriş üzerinde estetik açıdan güzel görünen çekme kuvvetini iletebilen 30 mm'lik kayın ağacından yapılan pimli birleşim yapılmıştır. Ahşap kirişler üzerinde bulunan dişi ve erkek dişli birleşimden de bahsedilmiştir, ancak bunlar sadece

basıncı ileten birleşimlerdir. Yapılan deneyler sonucunda kayın pimli birleşimlerinin metal ile yapılan birleşim kadar dayanım gösterdiği ve estetik açıdan daha doğal olduğu gözlemlenmiştir [26].

Dr. Boris Ceranic, Derek Latham ve Angela Dean, bina bilgi modellemesi teknikleri ile sürdürülebilir çevreci yapıların tasarım yöntemleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında çevreci bir malzeme olan ahşap kirişler üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Beş adet 50x50x300 mm ebatlarına sahip kirişlerin nem, yoğunluk değerleri belirlenmiş ve sonrasında basınç testine tabi tutulmuşlardır. Yedi adet 50x50x1000 mm ebatlarında ki kirişlerin ise yine nem ve yoğunluk değerleri belirlenerek üç nokta eğilme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Yapılan bu çalışmaların sonuçları değerlendirilmiş ve sürdürülebilir tasarım yöntemlerinde, yapılan bu deneysel sonuç değerlerinden yararlanılmışdır [27].

Marco Corradi ve arkadaşları eğilme testi yardımıyla yumuşak ahşap kirişlerin kimyasal yapıştırıcı kullanılmadan organik reçine ile bir araya getirilerek yapısal davranışındaki değişimler gözlenmiştir. İlave olarak cam fiber (GFRP) ile güçlendirilmiş polimerler ile çekme kuvveti altındaki kirişin davranışının olumlu yönde değişimi kaydedilmiştir. Pek çok güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş ahşap kiriş numunesi üzerinde deneysel çalışmalar yapılırken, ayrıca üç boyutlu sonlu elemanlar modeli de oluşturularak analizi yapılmıştır. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış, elde edilen yük deplasman grafikleri yapılan bu doğal birleşim ve güçlendirmenin uygulanabilir olduğu kanısına varmışlardır [28].

Justyna Jaskowska-Lemanska ve Daniel Walach, çam ağacından yapılmış ahşap elemanlar üzerinde hasarsız deneylerin yapılmasında yaş halkalarına olan farklı doğrultuların sonuçları nasıl etkilediğine bakılmıştır. Ahşap optimum koşullar altında mükemmel dayanıklılık sağlar, ancak diğer inşaat malzemelerinden daha hızlı aşınır. Bu yüzden ahşap yapıların daha fazla bakım ve kontrollerinin yapılmasını zorunlu kılmıştır. Varolan ahşap yapı üzerinde hasarsız kontrollerin yapılması, elemana daha az zarar verilmesini sağlarken sonuçlarında gerçek durumunda biraz uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu çalışma içinde kullanılan Sclerometer, ultrasonic ve kesme direç tetleri yapılmış. Sonuçlar arasında en çok ultrasonic testin sonucunda %20 civarında farklılıklar olduğu görülmüştür. Yapılan diğer testlerin, Sclerometer ve kesme direnci sonuçlarının daha yakın ve anlamlı sonuçlar gösterdiği

görülmüştür. Yapılan bu sonuçlar ile ahşap elemanlar üzerinde yaş çizgilerine paralel, dik ve eğik şeklinde yapılan ölçümler birbirinden çok farklı sonuçlar göstermiştir. Sonuç olarak, ultrasonic testlerde uygulama doğrultunun bilinmesi ve buna göre yorumlanması gerekmektedir [29].

Jakob Hildebrondt ve arkadaşları 2008 global krizi sonrasında yapı sektöründe kullanımı yaygınlaşan ahşap kökenli taşıyıcı elemanların kullanımı üzerine çalışma yapmışlardır. Ahşap kökenli taşıyıcı elemanların sektörde neden hala az kullanıldığı ve neden arttırılması gerektiğine değinmişlerdir. Çeşitli ahşap kökenli taşıyıcı kirişler ile mühendisliği birleştirerek 2030 yılına kadar olan yaygın kullanım sonucunda sektörün CO2 salınım oranları sunulmuş ve diğer olumlu katkılarına değinilmiştir [30].

Patricia C. Raposo ve arkadaşları tarihi yapıların restorasyonu için kullanmaları gereken bir numerik model geliştirmeye çalışmışlardır. Bunu yapmanın tek yolu taşıyıcı ahşap malzemelerin davranışının iyi anlaşılması ve bu yüzden deneysel performanslarına bakılarak mekanik özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmuştur. Malzemelerin mekanik özellikleri kullanılarak numerik modeller geliştirilir ve detaylı çalışılmış bir numerik model, yapılacak veya yapılmış olan bir yapının performansını büyük benzerlikle temsil edebilir. Yukarıda anlatılan yolu izleyerek 19. Yüzyıla ait eski bir ahşap yapının çatı taşıyıcı kirişlerini oluşturan ahşap elemanların yapısını oluşturan malzemenin mekanik özelliklerinin araştırılmasına dayalı çalışma yapılmıştır. Elemanların yoğunluk ve su içerikleri, çekme ve basınç dayanımları ile paralellik gösterdiği görülmüştür [31].

Bahriye Hilal Halıcıoğlu ve Berna Yürekli yapmış oldukları çalışma ile beton-ahşap kompozit elemanların dünyada yapılmış ve yapılan binalar ve köprülerde kullanım tekniklerini sunmuşlardır. Türkiye de hala örneği olmamasına rağmen yapımının basit tekniklerle gerçekleştirilebileceğini ve üç farklı tekniğin örneklerini sunmuşlardır. Her üç farklı teknikde, ahşap malzemelerin çekmeye ve beton malzemenin basınca maruz kalacak şekilde eleman tasarımı yapıldığına değinilmiştir. Ahşap kirişlerin 8 m açıklığa kadar kusursuz bir taşıyıcı eleman olarak kullanılabildiğini, yaptığı çalışmada sunmuştur [32].

Büyük bir deprem bölgesi olan Endonezya'nın Papua adasında geleneksel olarak ahşap taşıyıcı elemanlardan yapılan Afak evlerinin sismik etkilere karşı testi yapılmıştır. Kolon ve kirişlerin 10-80 mm çaplarında ki ahşapların, Ratten (Doğal bir tür sarmaşık) ile bir araya

getirilerek bağlantısı yapılmış ve teste hazır hale getirilmiştir. X ve Y yönünde kamyonlarla yatay yönde çekilerek, deprem etkisi simülasyonu yapılmış ve uygulanan yatay kuvvet 4000 kg'a ulaştığında yatay deplasman 109 cm'ye ulaştığı görülmüştür. Deplasman 109 cm'e ulaştığı esnada hasar alarak yapı yana yatmıştır. İncelemelerin ardından oluşan hasarların büyük kısmı birleşim kısımlarında ki özel sarmaşıқта olduğu gözlemlenmiştir. Ahşap elemanların ise yüksek süneklilik gösterdiği görülmüştür [33].

A. Lokaj ve K. Klajmanova, ahşap I kirişlerin taşıma kapasitesini belirlemek için çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 36 adet deney elemanı kullanılmış ve deney elemanları ebatlarına göre 4 gruba ayrılmışlardır. Bu elemanların başlık genişlikleri, gövde yükseklikleri ve kiriş uzunlukları farklıdır. Ahşap kirişlerin gövde kısımları OSB, başlık kısımları ise keresteden yapılmıştır. Birleşim kısmı ise kama dişli birleşim ile birbirine geçirilerek ve endüstriyel yapıştırıcı ile tutturularak imal edilmiştir. Deyeb gruplarına ait verilen bilgiler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ahşap kiriş deney grupları ve eleman boyutları

Grup	Adet	En-Üst Başlık (mm)	En-Alt Başlık (mm)	Boy-Gövde (mm)	Uzunluk-Kiriş (mm)
1	10	47	47	200	3600
2	10	72	47	200	3600
3	7	47	47	300	5400
4	9	72	47	300	5400

Aşağıda formülü verilen ahşap I profilin, alan ve atalet momentinin teorik olarak hesaplanmasında kullanılan formüller sunulmuştur. Bu formüle göre hesaplanmış olan teorik sonuçlar ve deney sonuçları Çizelge 2.2'de fark oranlarıyla birlikte sunulmuştur.

I ahşap kiriş kesit alanı;

$$A_{eff} = 2 \cdot A_f + A_w \cdot \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1+k_{def,f}}{1+k_{def,w}} \right) \quad (2.1)$$

I ahşap kiriş atalet momenti;

$$I_{y,eff} = I_f + I_w \cdot \left(\frac{E_w}{E_f} \right) \left(\frac{1+k_{def,f}}{1+k_{def,w}} \right) \quad (2.2)$$

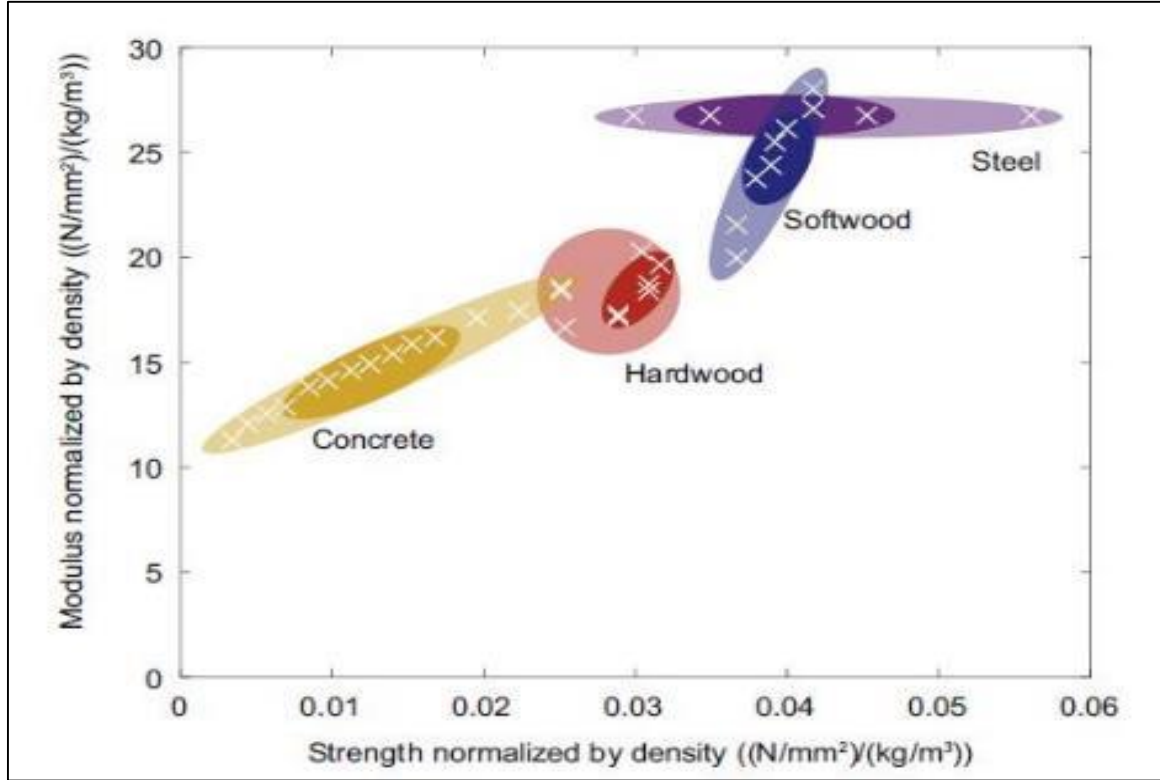
Yukarıda verilen formüller ile teorik hesaplanan değerler ile deney sonucunda ulaşılan değerler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. I-kesitli ahşap kiriş teorik-deneysel sonuç değerleri karşılaştırılması

I-Kiriş Adetleri	I-Kiriş Tipleri (mm)	I-Kiriş Uzunlukları (mm)	Teorik Hesaplanan Değerler [kNm]	Deney Sonuç Değerleri [kNm]	Sonuç Fark Oranları (%)
10	47x47x200	3600	4,64	11,20	41,43
10	72x47x200	3600	7,23	17,93	40,32
7	47x47x300	5400	7,61	16,13	47,18
9	72x47x300	5400	11,82	24,36	48,52

Deney sonucunda ulaşılan değerler ile teorik olarak hesaplanan değerler birbirinden farklı olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen sonuçların teorik olarak hesaplanan değerlerden iki katından daha fazla olduğu, yani kirişlerin teorik olarak hesabında güvenli tarafta kalınmak istenmiş olduğu görülmüştür [34].

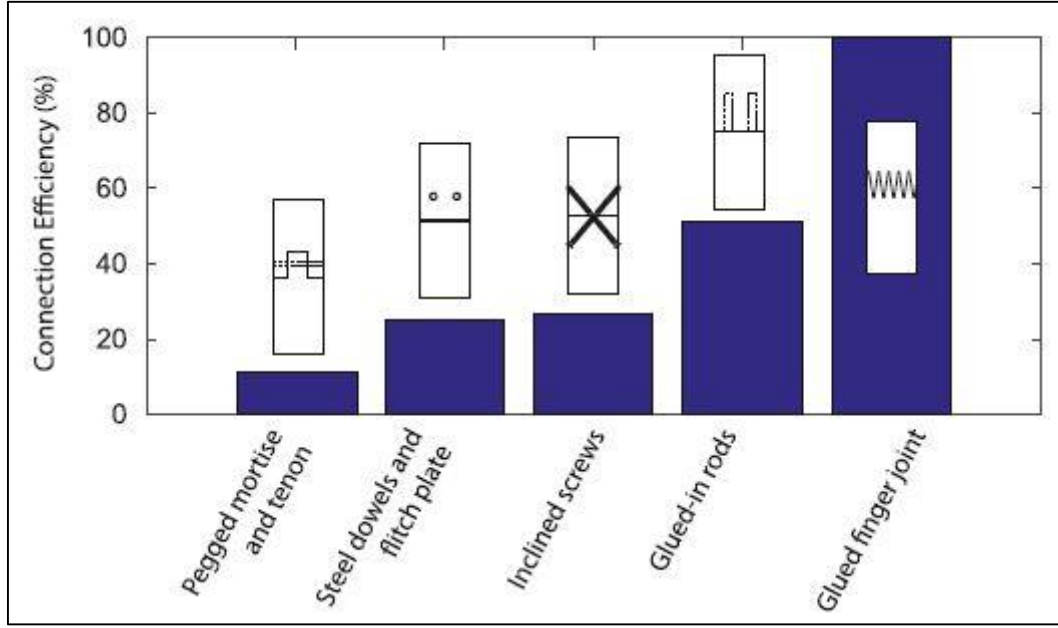
Doğaya daha az zarar vererek betonarme ve çelik yapıların el verdiği gibi kompleks yapılar yapmak mümkündür. Tanecik yapısı olarak ahşap ve betonarme benzer özellik gösterse de sert keresteler (Hardwood) biraz daha güçlü, yumuşak keresteler (Softwood) ise biraz daha zayıftır. Sert keresteler genel olarak ahşap mobilya yapımında kullanılır ve dünyada bulunan ağaç stokunun %18’ine sahiptir. Yumuşak keresteler ise dünyada bulunan %80 oranına sahip ağaç popülasyonunu temsil etmektedir. Bu karşılaştırmalar yapılırken günümüzde kullanılan yüksek basınç dayanımına sahip betonlardan bahsedilmemiştir. Ahşaplar genel olarak betondan daha az rijitliğe sahipken, çelik ile kıyaslandığında çok daha küçüktür. Ancak ahşap bu malzemelerle yoğunluk bakımından kıyaslandığında daha az yoğunluğa sahip olduğu görülür ki bu özellik ahşaptan yapılan malzeme için bazı avantajlar sağlar; büyük açıklıklar geçmede kendi ağırlığının yanında taşıdığı yük oranı diğer malzemelere göre fazladır. Yumuşak keresteler Şekil 2.2’de görüldüğü üzere, elastisite modül-dayanım grafiğinde değerlerin yoğunluk ile normalleştirilmiş halleri çeliğe yakın özellik göstermiştir.



Şekil 2.2. Malzemelerin elastisite modülü-dayanım grafiği

Deprem kuvveti yapının kütleline etki etmektedir, bunun için ahşap elemanların yapıda kısmi veya tamamıyla kullanılması, yapı kütlesi azaltacağından deprem performansı açısından olumlu yönde etki edecektir. Yeni Zelanda’da 2011 yılında meydana gelen Christchurch depremi bunu gözler önüne sermiştir. Ahşap elemanlarla genel olarak yapı inşasının sismik etkilere karşı olumlu sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Birleşik Krallık’ta 2006 yılında Prada spor kompleksi yapılmıştır. Yapı 150 m’lik çapı bulunan dairesel bir şekilde yapılmış ve 45 m yükseklikte bulunan çatının taşıyıcı elemanları ahşap kirişlerden yapılmıştır. Prada spor kompleksinin anlatıldığı bu çalışmada genel olarak bu denli büyük ve zorlu bir yapı olmasına karşın, ahşap taşıyıcı elemanlarla neler yapılabildiğine değinilmiştir.

Bu çalışmada, deney elemanı olarak kullanılan kirişler gövde-başlık birleşiminde yapıştırılmış kama dişli (Glued Finger Joint) birleşim tekniği uygulanmıştır. Birleşim çeşitlerinin göstermiş olduğu dayanımlar Şekil 2.3’de sunulmaktadır.



Şekil 2.3. Ahşap kiriş birleşimlerinin dayanım verimlilikleri

M. H. Ramage ve arkadaşlarının yaptığı ahşap-ahşap birleşim dayanımlarında, tez çalışması kapsamında kullandığımız ahşap kirişlerde ki birleşim türü olan yapıştırılmış kama dişli birleşim tekniği en yüksek birleşim verimliliğine sahip olduğu, yapılan bu çalışma ile açıklığa kavuşturulmuştur [35].

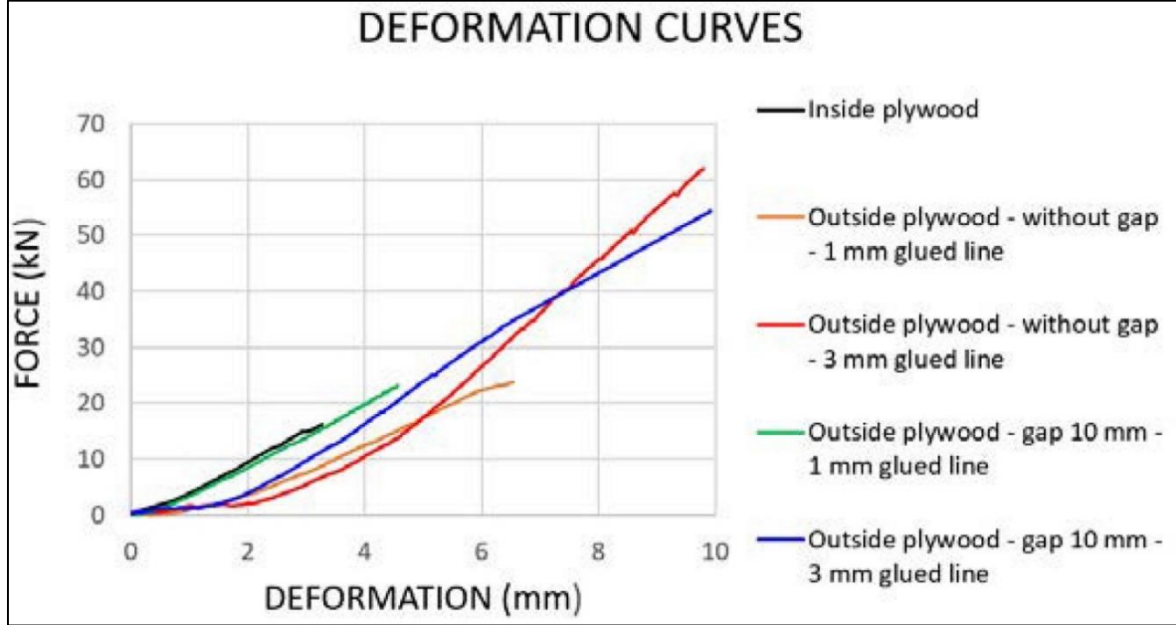
A. Lokaj, K. Vavrusova ve D. Mikolasek yaptığı bu çalışmada ahşap kirişlerin birbiriyle olan birleşimlerinde, dışarıdan ahşap takviye edilerek endüstriyel yapıştırıcılarla birleşimlerinin güçlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Farklı yapışkan kalınlıkları kullanılmış, birleşimlerin dayanımını ölçmek için Çizelge 2.3’de sunulan 5 farklı deney düzeneği geliştirilmiş ve birleşim dayanımları ölçülmüştür.

Çizelge 2.3. Deney elemanlarının farklı deney düzenekleri

Deney Düzenekleri	Kirişler Arası Boşluk (mm)	OSB Konumu	OSB Sayısı	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)
1	-	Orta	1	-
2	-	Kenar	2	1
3	-	Kenar	2	3
4	10	Kenar	2	1
5	10	Kenar	2	3

Deney düzeneğinin ilkinde OSB iki kirişin orta kısmına yerleştirilerek yapıştırıcı ile tutturuluyor. Diğer dört numune ise iki kenarına OSB konarak, birleşimde boşluklu ve

boşluksuz olarak 2 gruba ayrılarak yapıştırılıyor. Bu iki farklı çift grubunun her bir numunesine yapıştırıcı kalınlığı ise 1 mm ve 3 mm olarak uygulanıyor. Mesnet açıklığı 120 cm olan deney düzeneğinde, birleşim dayanımlarını ölçmek için 4 noktalı eğilme deneyinden yararlanılıyor. Elde edilen kiriş birleşim dayanımları Şekil 2.4’de sunulmuştur.



Şekil 2.4. Deney elemanları yük-deformasyon eğrisi

Yukarıda yük-deformasyon eğrileri verilen numunelerden, en düşük birleşim dayanımı gösteren deney düzeneği, orta kısımda bir adet OSM bulunan numune ve en yüksek birleşim performansı gösteren numune ise 3 mm yapıştırıcı bulunan, iki yanında OSB ile birleştirilmiş aralıksız olarak sabitlenen numune olmuştur [36].

Karina Buka-Vaivade ve arkadaşlarının, yaya yolları ve çok katlı ahşap yapılarda yük taşıyan duvar elemanı veya döşeme elemanı olarak yaygın şekilde kullanılan çapraz laminelenmiş ahşap elemanların deneyleri, sonlu elemanlar yöntemiyle analizi ve sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır. Elemanlar üzerinde monotonik statik yükleme (Üç nokta eğilme) deneyleri yapılmış ve farklı analitik hesap yöntemleri kullanılarak teorik olarak sonuçlar hesaplanmıştır. Kullanılan analitik yöntemler; K-yöntemi, Gamma yöntemi, Kayma benzetme yöntemi ve Döndürülmüş bölüm yöntemleridir. Deney elemanlarının matematik modelleri bilgisayarda FEM tabanlı program yardımıyla analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan yöntemlerin K-yöntemi hariç, hepsinin deneysel verilere yakın değerler verdiği görülürken, K-yönteminin gerçek sonuçlardan daha farklı

sonuçlar verdiği görülmüş ve bu yöntemin, üç noktalı eğilme deneyinde hataya sebep olduğu görülmüştür [37].

Massimo Fragiacommo ve arkadaşları, son yıllarda kısa açıklıklı köprülerde yaygın olarak kullanımına başlanan ahşap-beton kompozit elemanların davranışının araştırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Alt kısım ahşap, üst kısımda beton ve ikisinin birleşimini sağlayan ankraj demirleri sayesinde kompozit kiriş elemanlar elde edilmiştir. Üst kısmı oluşturan beton basınç, alt kısmı oluşturan eleman çekmeye karşı iyi performans sağladığı için ahşap malzeme, kompozit kirişin yapı malzemeleri olarak düşünülmüştür. Yapılan kompozit kiriş üzerinde monotonik statik yükleme testleri, yorulma testleri ve üzerinde tekerleğin ani çarpma etkisi olacağı için çarpışma testleri yapılmış ve sonuçlar numerik olarak da hesaplanarak, karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, var olan kullanım süresi dolmuş; ön döküm köprüler ve beton-çelik kompozit köprüler ile beton-ahşap kompozit köprüler yer değiştirilebilir olduğu kanıtlanmıştır [38].

G. Barozzi ve arkadaşları, var olan tarihi ahşap yapıların güvenilirliğinin değerlendirilmesi için güvenlik faktörleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Mühendislerin günümüzde yüzleşmek zorunda kaldıkları önemli sorunlardan birisidir. Ahşap yapı elemanlarının iki farklı bilgi türü ile değerlendirilmesi, bu yapıların daha iyi anlaşılmasını sağladığından bahsedilmiştir. Birincisi yapıyı oluşturan elemanların sistem içinde ki geometrik şekli, ikincisi ise yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin mekanik özelliklerinin iyi irdelenmesi gerekmektedir. Geometrik şekil ile anlatılmak istenen ahşap elemanın; boyuna mı, enine mi yoksa servis yükleri altında teğet olarak mı çalışıyor, bunun belirlenmesi ve elemanın basınç veya çekme elemanı olup olmasının bilinmesi gerektiği hususuna değinilmiştir [39].

Cristiano Loss, Afrin Hossan ve Thomas Tannert, ahşap laminelerin çapraz olarak üst üste konarak birleşimlerinde farklı vida tipleri ve farklı açılarda birleşim teknikleri kullanmış ve bu birleşimlerin dayanımını ölçmek için 63 adet deney numunesi üzerinde monotonik statik yükleme ve tersinir tekrarlanır yükleme deneyleri yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda çapraz olarak vida ile birleştirilen ahşap plakaların, düz olarak birleştirilen ahşap plakaların dayanımından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [40].

Yehia A. Zaher Ali'nin yapmış olduğu çalışma, beton-ahşap kompozit kirişin 3 nokta eğilme deneyi ile dayanımının değerlendirilmesine dayalıdır. Üç kiriş eleman T şeklinde tasarlanıyor

ve üst başlık kısmı betonarmeden ve alt gövde kısmı ahşaptan yapılmıştır. Ahşap olan gövde üç farklı şekilde elde edilerek, üç farklı deney elemanı olarak testlere tabi tutuluyor. İlk numune üç adet ahşap parçasının dik şekilde tutkal ile birleştirilerek, kirişin gövdesi elde edilmiş. İkinci numune de ise altı adet ahşap parçasının yatay şekilde tutkal ile birleştirilerek kiriş gövdesi elde edilmiş ve üçüncü numunede ise bütün bir ahşaptan tek parça olarak kiriş gövdesi yapılmıştır. Test sonucunda ilk numunenin, ikinci numuneden ve ikinci numunenin ise üçüncü numuneden daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür [41].

O. Bernard ve arkadaşlarının, Gabon'da bulunan üç farklı ağaç (Iroko, Okume ve Padouk) tipinden oluşan deney elemanlarını çeşitli testlere tabi tutarak, karakteristik özelliklerinin araştırılması yapılmıştır. Numunelerin test sürecinde gerilme-deplasman grafiklerinde Iroko ve Padouk ağaçlarından yapılmış numunelerin üzerinde ki kuvvetin sabit kaldığı, deplasmanın ise arttığı gözlemlenmiştir. Okume ağacından yapılan numunede ise taşıyabildiği kuvvet azalırken, yaptığı deplasman artmıştır. Sonuç olarak Iroko ve Padouk ağaçlarından yapılan ahşap elemanların fazla enerji sönmüldüğü, dolayısıyla deprem performansının iyi olduğu kanısına varılmıştır [42].

Yapılan bu çalışmanın asıl amacı, İtalya gibi sismik bölgelerde bulunan tarihi yapıların, restorasyonunun çağa uygun olarak yapılması olmuştur. Daha çok beton plaka ile altında taşıyıcı ahşabın birleşiminde kullanılan üç farklı yöntemin birbirleriyle kıyası yapılmıştır.

İlk birleşimde ahşap kiriş'e demir filiz ankrajlanarak yapılmıştır, ikinci birleşimde vida kullanılmış ve üçüncü birleşimde patentli bir sistem olan CTL Maxi isimli birleşim elemanı kullanılmıştır. Kullanılan ahşabın karakteristik eğilme dayanımı 27 MPa ve kesme dayanımı 4 MPa'dır. Yapılan deneyler sonucunda her üç tür birleşiminde İtalya gibi sismik bölgelerde kullanılabilir olduğunu, elemanın rijitliğini ve anti-sismik performansını arttırdığı gözlemlenmiştir [43].

Yukarıda özetlendiği gibi yapılan literatür taramasında ahşap veya kompozit ahşap kirişler, çelik veya değişik kompozit malzemeler ile güçlendirilmiş ahşap kirişler ile ilgili araştırmaların yer aldığı görülmüştür. Ancak yapılan literatür taramasında prefabrike bir ürün olarak üretilmiş özel ahşap kalıp kirişlerini değişik yükleme türleri etkisi altındaki davranışlarının ve performanslarının incelendiği bir araştırmaya rastlanmamıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Ahşap I-kesitli kalıp kirişlerinin yük altındaki davranışlarının anlaşılabilmesi için bazı deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için ahşap kirişler üzerinde monotonik statik yükleme, yorulma ve çarpışma deneyleri olmak üzere üç farklı mekanik deney yönteminden yararlanılmıştır. Mekanik davranışın daha iyi anlaşılabilmesi için, uzunlukları 1800 mm ve 2450 mm olan iki farklı boydaki ahşap kiriş numuneleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Ahşap kirişler üzerinde yapılan çarpışma deneylerinde, farklı düşü yükseklikleri kullanılarak elemanların farklı koşullardaki davranışının daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Mekanik deneyler, malzemenin mekanik yükler altında ki davranışına verilen addır. Mekanik özellikler atomlararası bağ kuvvetlerine dayanır. Bunun yansıra malzemenin içyapısının (mikroyapısının) da etkisi vardır. Deney numunelerinin taşıyabileceği nihai yükleri, enerji yutma kapasiteleri ve süneklik oranlarının belirlenmesi ile ileriki ahşap kirişlerin davranışının anlaşılması ve önerilerde bulunulması için sabit monotonik statik yükleme deneylerine ihtiyaç duyulmuştur. Ahşap kirişlerin kullanım ömürleri boyunca maruz kaldıkları diğer bir kuvvet türü de küçük ama tekrarlı kuvvetlere maruz kaldığı için yorulma dayanımının belirlenmesi için gerekli olan yorulma deneyine ihtiyaç duyulmuştur. Numuneler üzerinde yapılan çarpışma deneyleriyle, malzemenin plastik deformasyonlara karşı direncinin gözlemlenmesi ve kullanım ömürleri süresince karşılaşılabilecek çarpışma varsayımlarının belirli yükseklik ve ağırlıklar ile tetslerinin yapılarak, davranışının anlaşılması sağlanmıştır.

Monotonik statik yükleme ve yorulma deneyleri Gazi Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında bulunan MTS firmasının üretmiş olduğu 322.41 model numaralı cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Çarpışma deneyleri ise Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında bulunan ağırlık düşürme deneyleri için özel olarak imal edilen, karkası soğuk şekillendirilmiş çelikten yapılan ve ölçümlerin yapılabilmesini sağlayan çeşitli sensörler ilave edilmiş olan deney düzeneği kullanılmıştır.

3.1. Deney Elemanı ve Malzemesi

Deneysel çalışma kapsamında Doka© firmasının ürünleri arasında yer alan ve inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilen ahşap kalıp kirişi yapılan monotonik statik yükleme, yorulma ve çarpışma testlerinde kullanılmak üzere deney elemanı olarak seçilmiştir. Ahşap

kirişin darbe dayanımının arttırılması için iki ucuna mavi renkli 90 mm uzunluğunda Poliüretan malzeme ile kaplanmıştır. Ahşap kirişin başlık kısımlarının orta noktalarda darbe dayanımının arttırılması için başlık kısımlarının gövdeleri yuvarlatılmıştır. Sarı renkli bir cila ile boyanmış olan ahşap kirişler herhangi bir koruyucu ile kaplanmamıştır. Ahşap kirişler $\%12 \pm 2$ arasında imalat için hedeflenen rutubet muhtevasına sahip olarak üretilmektedir. Kirişlerin uç kısımlarında gövde üzerinde ikişer adet 21,5 mm çapında Şekil 3.1’de görüldüğü gibi sistem delikleri mevcuttur, bunlar büyük yüzeyli yapılar için bir araya gelerek modüler birleşime olanak sağlamaktadırlar.



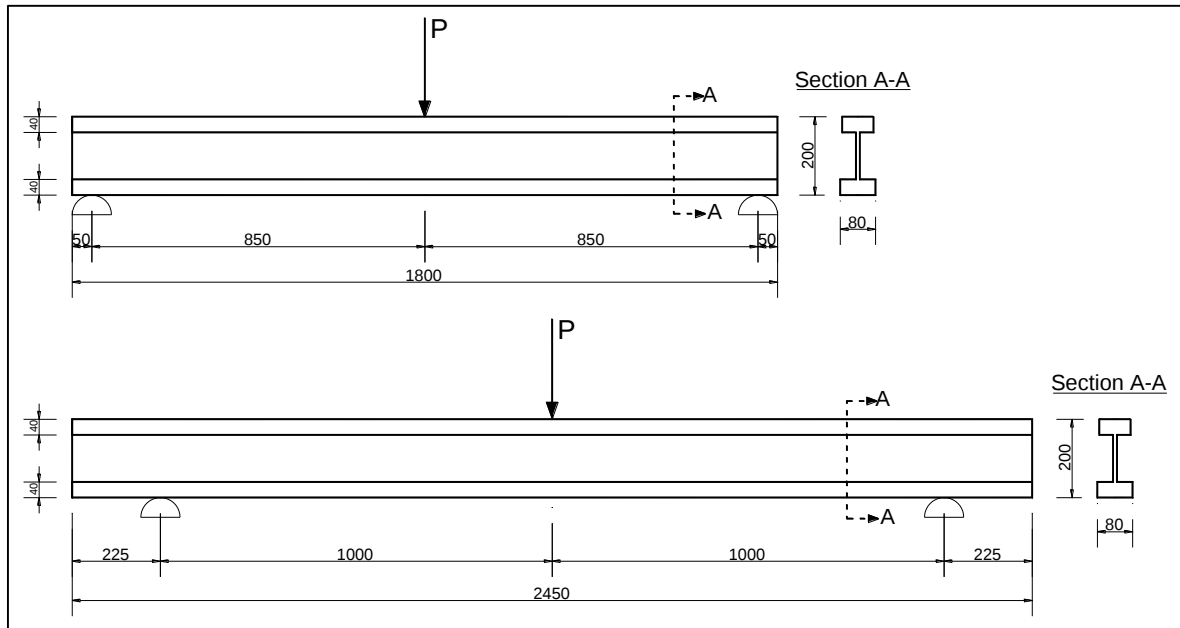
Şekil 3.1. Doka© marka ahşap kalıp kiriş görünüşü

Deneyde kullandığımız ahşap kirişler TS EN 13377 standardına göre üretilen; suya, su buharına ve çimento etkisine maruz kalabileceği şantiye şartlarında, muhafaza edilebileceği şekilde imal edilen önyapımlı ahşap kalıp iskele kirişleridir. Farklı ebat ve özelliklerde üretilen ahşap kirişler Şekil 3.2’de görüldüğü üzere 4 farklı ahşap kiriş modellerinden birim ağırlığı 5,4 kg gelen “H20 top P” ahşap kirişler deney numunesi olarak seçilmiştir.

H16 N	H16 P	H20 N	H20 P

Şekil 3.2. Ahşap kalıp kiriş türleri (ölçü birimleri mm’dir)

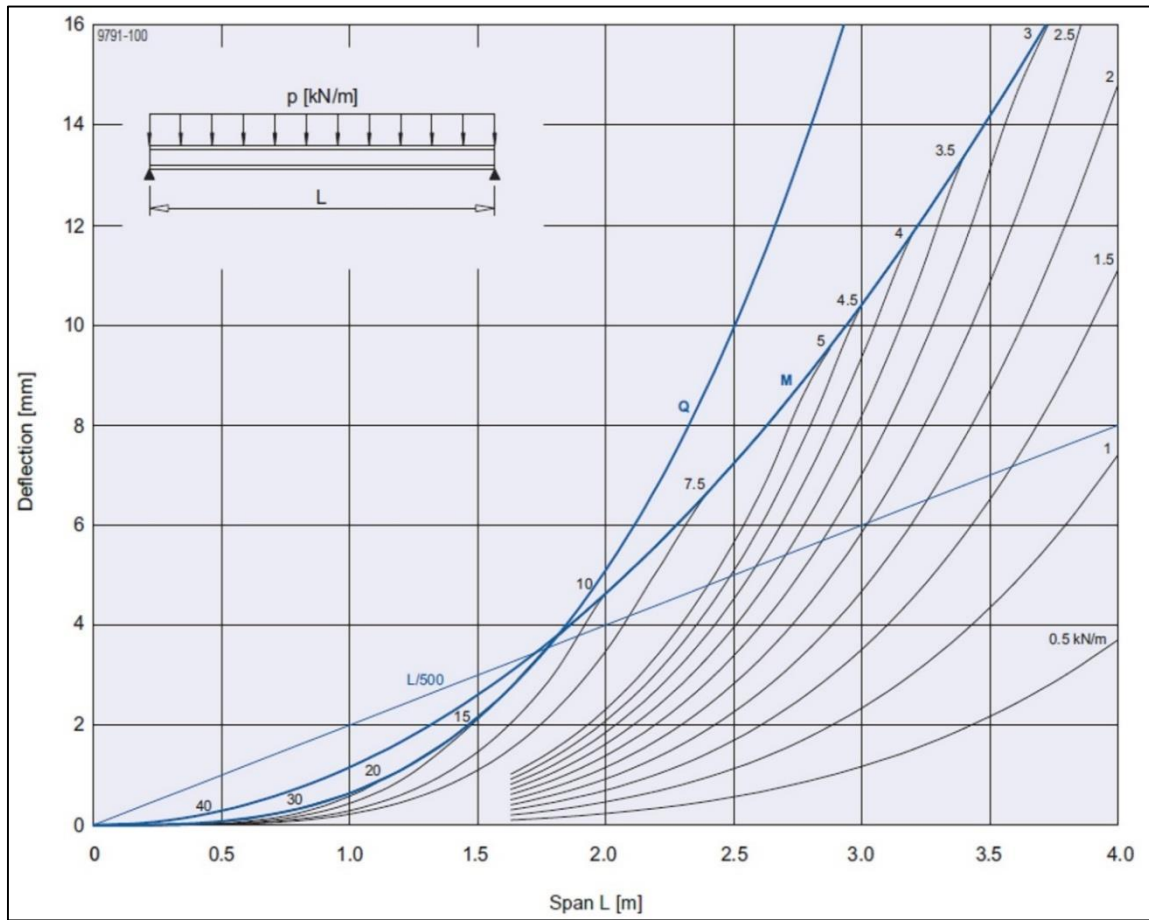
Bu ahşap kirişler bir adet gövde ve iki adet başlık kısımlarının bir araya gelerek gövde ve başlık arasında kama dişli birleşim tekniği, TS EN 385 kama dişli birleştirilmiş yapı kerestesi performans özellikleri ve asgari imalat şartlarına göre üretilmiştir. Masiv ahşaptan yapılan başlık kısmının çekme testleri hem iç hem dış ortam şartlarında yapılarak üretilmektedir. Gövde kısmı ise makinelerin ahşapları kesmesi sonucu oluşan kereste kısımlarının bir araya getirilip yapıştırıcı ile birleştirilerek preslenmesi sonucu oluşturulan, 22 mm kalınlığındaki kompozit kısımdır. Ahşap kirişlerin çekme testleri, özenli bir şekilde EN 13377 standardını sağlayarak yapılmaktadır. Ahşap kirişlerin birleşim dayanımları TS EN 338 yapı kerestesi mukavemet sınıfları standardına göre asgari olarak C 25 yani yanal basınç dayanımı 5,3 N/mm² şartını sağlayacak şekilde ve yapıştırıcı olarak TS EN 301 yapıştırıcılar – fenolik ve aminoplastik yük taşıyıcı ahşap yapılar için sınıflandırma ve performans özellikleri standardına göre tip 1 için verilen gerekleri sağlayan yapıştırıcı kullanılarak üretilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında test edilen kalıp kirişleri 2 farklı uzunlukta 1800 mm ve 2450 mm olarak seçilmiş olup, geometrik boyutları Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ahşap kirişlerin geometrik boyutları (ölçü birimleri mm'dir)

Doka© firması ahşap kiriş üretiminde 4-5 yılda büyüyen yumuşak kereste olarak nitelendirilen Ladin ağaçlarından üretilmektedir. Ağaçlar genel olarak sert ve yumuşak keresteli olarak sınıflandırılırlar. Sert olanlar, genelde soğuk iklimde yetişen ağaç türlerinden oluşmaktadır. Soğuk iklimde yetişen ahşaplar yaş dairelerinin birbirine yakın olmasından dolayı yoğunluğu fazla dolayısıyla ağır malzemelerdir. Bu ağır ahşaplar ile mobilya gibi özel

imalatlar yapılmakta ve dünya orman stoğunda %18 civarında olduğu bilinmektedir. Yumuşak ahşap kısmına giren ağaçlar ise dünyada ki ağaç yüzdesinin %80'ine yakınıni oluşturmakta ve daha az yoğunluğa sahip olduğu için daha hafif olmakta bu nedenle genel olarak kâğıt ve kiriş yapımında kullanılmaktadırlar. Ahşap kiriş için aranılan özelliklere, büyük açıklıklarda yüksek yük taşıma oranına sahip olmasından dolayı kiriş üretimi yumuşak keresteli ahşaplardan yapılmaktadır. Üretici firmanın ahşap kirişlere ait farklı yüklemeler altında, farklı mesnet açıklarına bağlı olarak yaptıkları deplasman grafiği Şekil 3.4'de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Ahşap kalıp kirişlerinin açıklık-deplasman grafiği

TS EN 13377 standardı EK E'den alınan eşitliğe göre deneyde kullandığımız ahşap kirişlerin mekanik özellikleri ve kısmi güvenlik katsayılarıyla şantiye kullanımı için azaltılmış hesap değerleri Çizelge 3.1'de sunulmuş.

Çizelge 3.1. TS EN 13377 standardına göre güvenli rijitlik ve işletme yükleri

TS EN 13377	H [mm]	b [mm]	EI [kNm ²]	V _k [kN]	M _k [kNm]
Gerçek Değerler	200	80	450	23,9	10,9
Şantiye Hesap Değerleri	200	80	450	11	5

$$X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$$

Burada;

X_k : Malzeme özelliğine ait karakteristik değer. EK B’de sunulmuştur.

γ_M : Malzeme özelliğine ait kısmi güvenlik katsayısı, Ahşap esaslı malzemeler için 1,3 alınmalıdır.

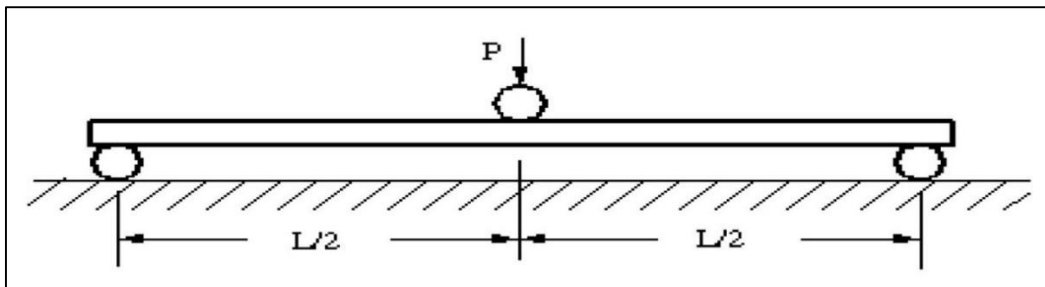
k_{mod} : Rutubet muhtevasının en fazla % 20 olduğu şartlarda 0,9 alınmalıdır.

Burada bulunan X_d değeri γ_F ’ye bölünmesi ile kullanım değerleri bulunur.

Ahşap kiriş üretiminde ülkemizde de yerel firmaların üretimleri mevcut olmasına rağmen doğal bir malzeme olan ahşabın hala üretilme ve yetiştirilme koşullarından dolayı tüketici için hala pahalı bulunmaktadır [11].

3.2. Deney Düzenegi ve Ölçüm Araçları

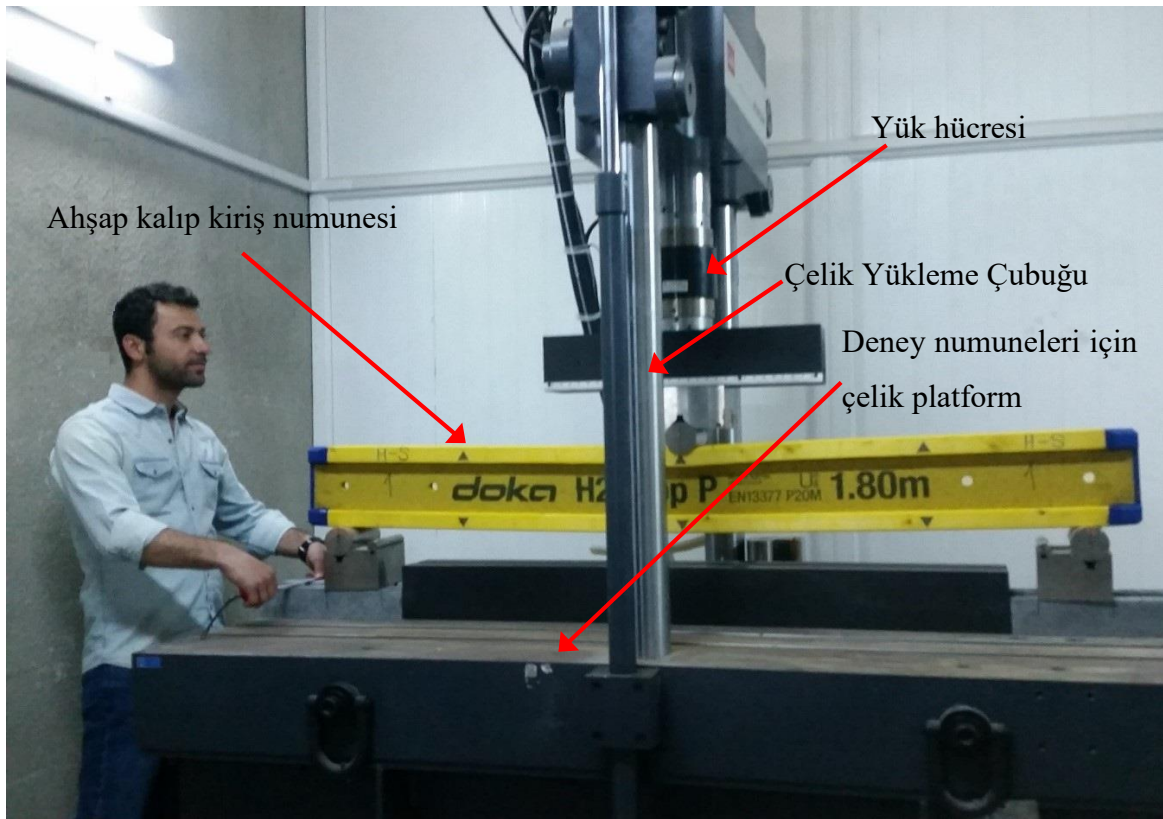
Bu çalışmada ahşap kirişlerin davranışının anlaşılabilmesi için yapılan üç farklı mekanik deney türünde, deney elemanları üzerinde uygulanan her üç farklı deney yüklemesi Şekil 3.5’de görülen üç nokta eğilme yüklemesi olarak uygulanmış, kuvvet ahşap kirişlerin simetri eksenini olan tam orta açıklığına etkitilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların anlaşılabilir olması adına deneylerin kullanıldığı araç ve gereçlere göre; 3.1.1 ve 3.1.2 bölümleri olarak 2 farklı bölümde yapılan çalışmalar detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan üç nokta eğilme deney prensibi

3.2.1. Monotonik statik yükleme ve yorulma deneyleri

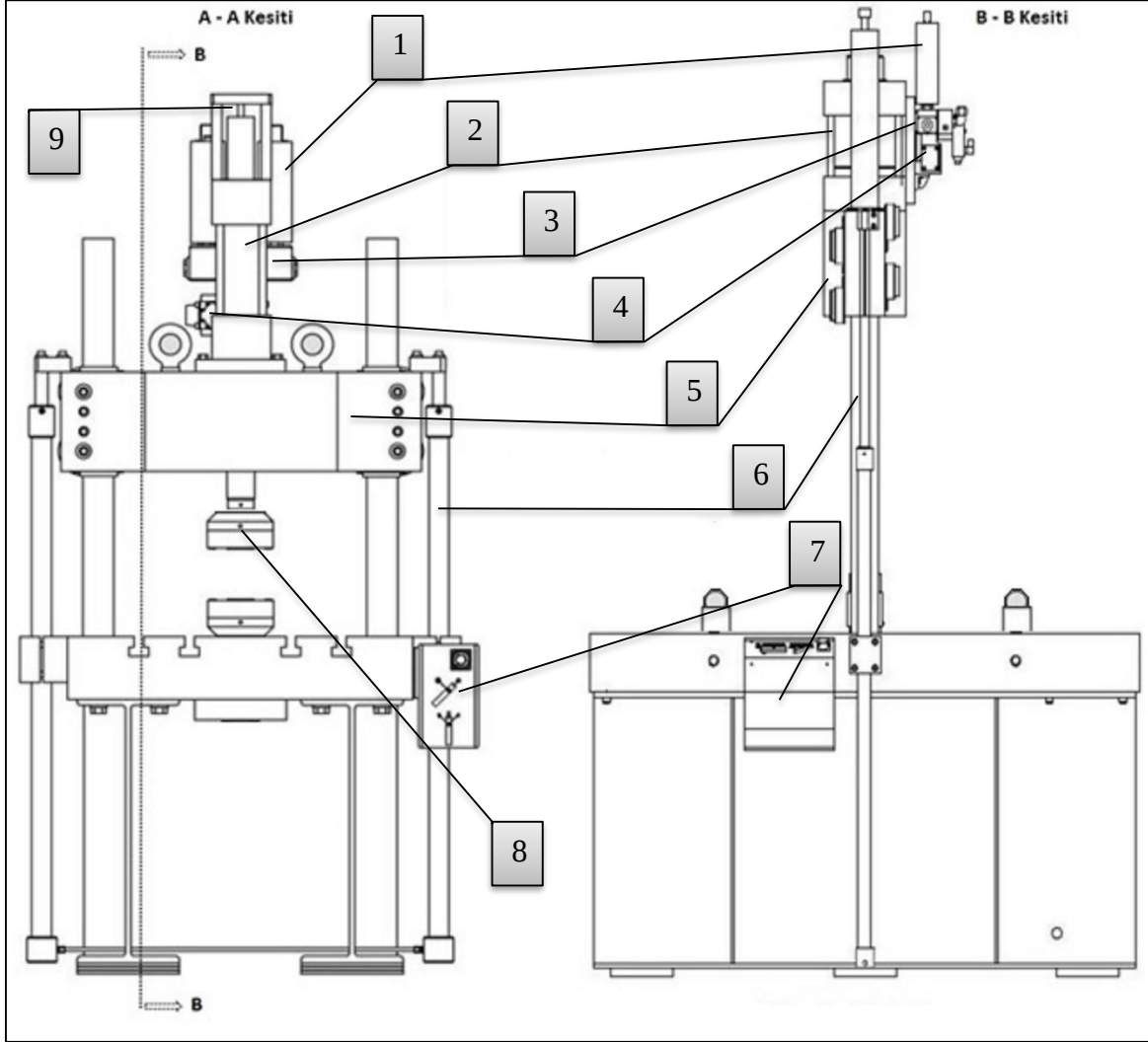
MTS firması yeni malzemelerin üretimi, geliştirilmesi ve kontrol edilmesi aşamalarında testlerin yapılması için ürettiği deney aletlerinden statik ve dinamik deneylerin yapılmasına olanak sağlayan yüksek yük düzeyli yorulma ve artan statik yükleme deneyleri, yükleme ve hızı deplasmana göre ayarlanabilen 322.41 model numaralı 500 kN kapasiteli test düzeneğine ait servo-hidrolik actuator kullanılarak etkilmiştir. Söz konusu test düzeneği 2057x1219 mm boyutlarında, deney elemanlarının mesnetlenmesine ve test edilmesine imkân sağlayan yerden yüksekliği 984 mm ve çelik bir yükleme masası olan, kolonlarının yüksekliği 3677 mm olarak tasarlanan, 3870 kg ağırlığında kapalı bir yükleme çerçevesine sahip, deplasman kontrollü ve yorulma testlerinin yapılabilmesi için özel olarak tasarlanmış bir test sistemidir. Bu deney cihazına ait görsel Resim 3.1’de sunulmuştur.



Resim 3.1. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 genel görünüm

Deney elemanlarına uygulanan monotonik olarak artan statik yüklemenin hızı her iki uzunluktaki ahşap kiriş test elemanlarına 0.5 mm/sec olacak şekilde özdeş olarak uygulanmıştır. Deney elemanlarından yüklemenin uygulandığı kiriş açıklık ortası deplasmanı ve uygulanan yükleme ölçülerek, testler esnasında yük-deplasman grafikleri

izilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. MTS firmasının üretmiş olduğu 322.41 model numaralı deney cihazına ait parçaların isimleri ve yerlerini şekil 3.6’de bulabilirsiniz.



şekil 3.6. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 model genel görünüş

MTS 322.41 model numaralı deney cihazının parçalarına ait isim ve tanımlarını izelge 3.2’de bulabilirsiniz.

Kullanılan bu deney cihazının yanında hidrolik yağın basınlandırılmasını sağlayan basınç nitesi ve bu ünitenin aşırısı ısınması durumunda devreye giren Atlas Copco firmasının ürettiği soğutma sistemi bulunmaktadır. MTS 322.41 model numaralı deney cihazının teknik özellikleri izelge 3.3’de verilmiştir [44].

Çizelge 3.2. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 model parçalar ve tanımları

Numara	Parça	Açıklama
1	Accumulators	Yapısında hidrolik yağ depolayarak, kuvvet pistonunun ihtiyacı doğrultusunda depolamak veya sağlamak üzere çalışan kısım
2	Lineer Actuator	Hidrolik kuvvet pistonu, numuneye eksenel kuvvet uygulayan bileşendir
3	Manifold	Hidrolik güç ünitesi, kuvvet pistonu, servovalve ve hidrolik pistonlar arasında bağlantıyı sağlayan yüksek basınca dayanıklı yağ hortumlarıdır
4	Servovalve	Akıllı bir motor-vana sistemidir. Kuvvet pistonuna ne sıklıkla ve ne kadar hızla hidrolik yağının girmesi ve çıkışına izin veren kısım
5	Crosshead	Başlık, Üzerinde kuvvet pistonu bulunan başlık, hidrolik pistonlar ve üzerinde bulunan kilit sistemiyle aşağı yukarı hareket ettirilerek numune üzerinde sabitleştirilen kısımdır
6	Crosshead Lifts	Hidrolik piston, farklı yüksekliklere sahip numunelere göre başlık kısmını ve kuvvet pistonunun ayarlanmasına yarayan küçük hidrolik pistonlardır
7	Kontrol panel	Hidrolik pistonları yukarı aşağı ayarlama ve acil durdurma butonu bulunan kontrol kısmı
8	Force transducer	Uygulanan kuvvetin değerini ölçmeye yarayan kısım model olarak 661 23H -01 kullanılmıştır
9	LVDT	Actuator kısmında bulunan, deplasmanın ölçünü yapan potansiyometrik lineer cetvel

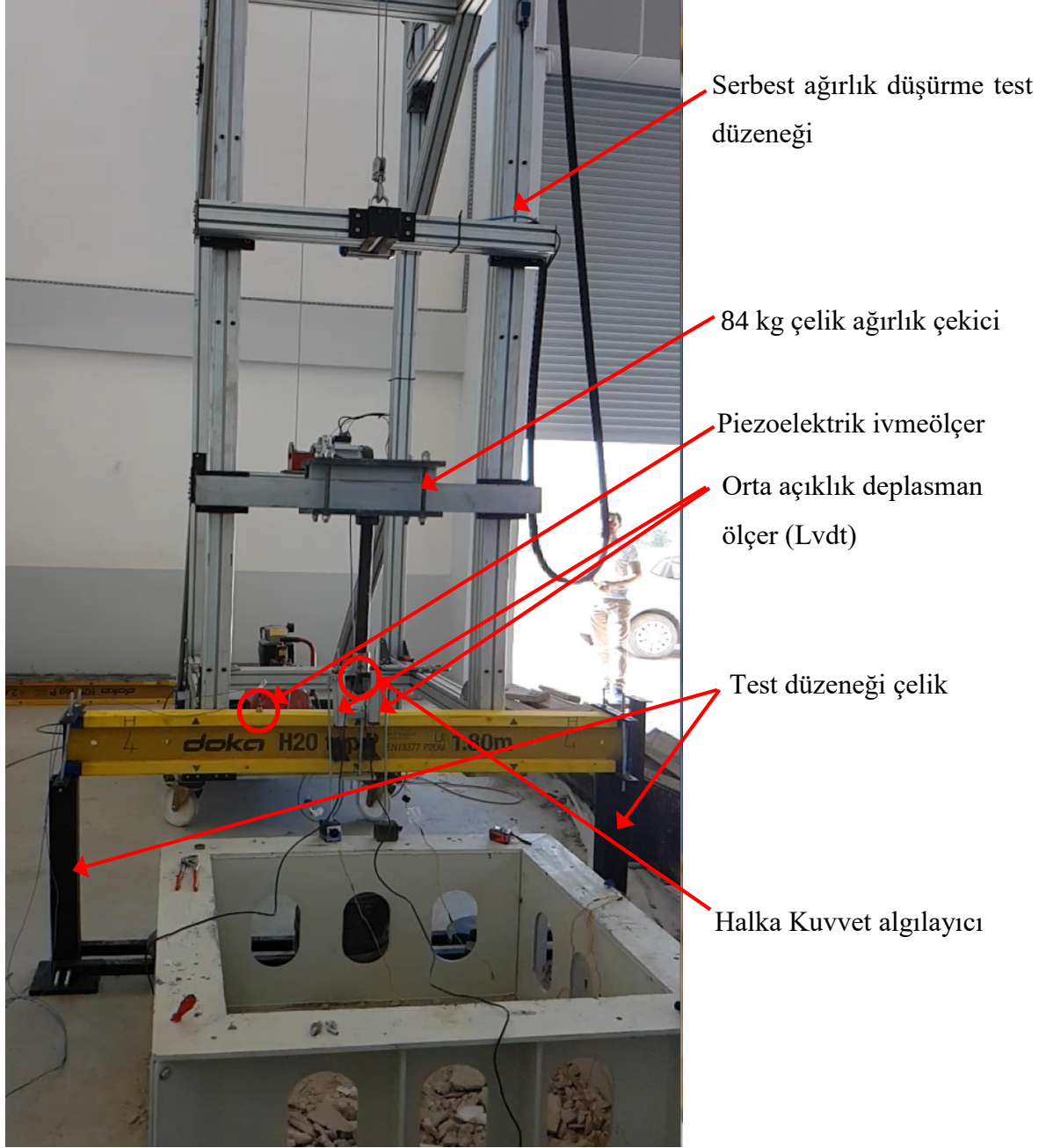
Çizelge 3.3. Statik ve yorulma deney cihazı MTS 322.41 teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
En yüksek ölçüm genişliği	150 mm (661 Force Transducer)
En yüksek uygulanabilir yük miktarı	500 kN
Kuvvet ölçer gecikme sapması	% 0,08 (250 N – 2,5 kN), % 0,05 (5 kN – 50 kN), % 0,15 (100 kN – 500 kN)
Uyarma voltajı	15 V DC
Doğrusallık	% 98,5
Çalışma sıcaklığı	-54 ile +121 °C
Elektrik bağlantı girişi	PT02ER-10-6P
Uyarma akım sabiti	2 – 20 mA

3.2.2. Çarpışma deneyleri

Deneysel çalışma kapsamında uygulanan üçüncü yükleme türü olan ani dinamik çarpma yüklemesi Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde bulunan tasarımı yazarlar tarafından gerçekleştirilmiş, özel bir serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak uygulanmıştır. Bu test düzeneği 250 kg'a kadar değişen ağırlıkları 2500 mm yükseklikten düşürebilecek şekilde dizayn edilmiş ve bu türde çalışmalarda daha önceden kullanılmış bir test düzeneğidir.

Çalışma kapsamında sabit olarak 84 kg ağırlığındaki çekiç, 3 farklı 500, 750 ve 1000 mm yükseklikten düşürülerek, 3 değişik enerji düzeyinde çarpma yüklemesi test elemanlarına uygulanmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan çekicinin çarpma ucu yüksek dayanımlı çelikten üretilmiş yarı küresel bir başlığa sahip olup, tüm testlerde özdeş olarak kullanılmıştır. Bu kuvvet kolunun ucu, uygulanmak istenen kuvvetin şekline göre prizmatik veya silindir uçlar ile vidalı birleşim tekniğiyle değiştirilebilir. Ağırlık çekici, statik mıknatıs yardımıyla başlık kısmına kilitlenir ve serbest bırakılır. Ağırlık çekicinin kilitlenmesi ve serbest bırakılması için hava kompresörünün pnömatik valf'i kullanılmıştır. Ağırlık çekicinin istenilen yüksekliğe kolayca çıkarılması için deney düzeneğine ayrıca motorlu bir kaldırma sistemi dahil edilmiştir. Bu kaldırma sistemi doğrudan başlık kısmına bağlanmış, böylelikle ağırlığın düşürülmesi planlanan yüksekliğe kolayca taşınması sağlanmıştır. Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi test elemanlarının üzerinde açıklık ortasına, tam olarak simetri eksenine uygulanmış ve bu noktada çarpma enerjisinin test elemanı kesitine uniform olarak etkitilebilmesi için yüksek dayanımlı çelikten üretilmiş, 150x100x15 mm boyutlarında çelik bir yükleme plakası kullanılmıştır. Ahşap kiriş test elemanlarından, kiriş simetri ekseninden 50 mm uzaklıkta sol ve sağ taraftan 2 adet açıklık ortası deplasmanı, kiriş simetri ekseninden 300 mm uzaklıkta sol ve sağ taraftan 2 adet ivme ölçümü alınmıştır. Aynı zamanda ahşap kiriş açıklık ortasının alt kısmında bulunan kiriş çekme bölgesine yakın bir alan yüzeyinden 1 adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Ayrıca çelik çekiç üzerine bağlanan bir dinamik yük hücresi (halka kuvvet algılayıcı) ile deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi de ölçülmüştür. Tüm ölçümler zamana bağlı olarak kanal başına 10 kHz ölçüm alabilen özel olarak dinamik çarpma testleri için tasarlanmış veri toplama sistemleri kullanılarak alınmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan yazarlar tarafından tasarlanmış serbest ağırlık düşürme test düzeneği Resim 3.2'de verilmiştir.



Resim 3.2. Ağırlık düşürme deney düzeneği genel görünüm

Halka kuvvet algılayıcı

Mekanik deneylerde yaygın olarak kullanılan çekme ve basınç kuvvetlerinin oluşturduğu etki kuvvetlerini ölçmeye yarayan dinamik ölçü aletleridir. Ağırlık düşürme deneylerinde doğru ölçüm alabilmek için kuvvet algılayıcının bağlantısının doğru yapılması gerekmektedir. Bu bağlantının sağlam ve sağlıklı olması için yüksek sertlik kazandırılmış bir malzeme olan Berilyum-Bakır vida ile birleşim yapılmıştır. Deney düzeneği üzerinde PCB Group firmasının ürettiği 200C50 model numaralı halka kuvvet algılayıcısı

kullanılmıştır. Tekrar edilebilirlik ve doğrusallık özellikleri oldukça iyidir. Deneyde kullanılan halka kuvvet algılayıcısı Şekil 3.7’de sunulmuştur.



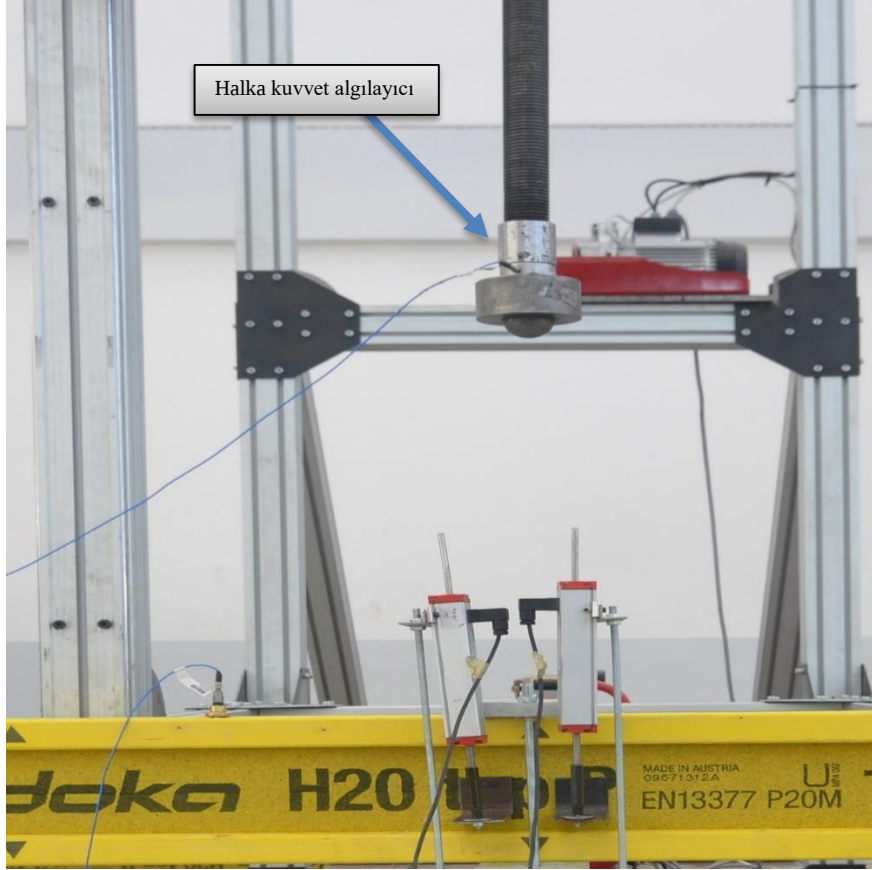
Şekil 3.7. Halka kuvvet algılayıcı PCB grup 200C50

Ağırlık düşürme deneylerinde kullanılan PCB Group firmasının ürettiği 200C50 model numaralı halka kuvvet algılayıcısının özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir. Halka kuvvet algılayıcı ile kuvvet kolu arasında Berilyum-Bakır vida kullanarak yüksek rijitlikli birleşim elde edildi [45].

Çizelge 3.4. Halka kuvvet algılayıcı PCB Group 200C50 teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Hassasiyet	22,48 mV/kN
Basınç kuvveti ölçüm aralığı ve maks. statik basınç kuvveti	222,4 kN ve 333,6 kN
Genişbant çözünürlüğü	4,45 N-rms
Alt -Üst frekans sınırı	0,0003 Hz – 30 kHz
Düzensizlik	$\leq 1\%$ FS
Çalışma sıcaklığı	-54 ile +121 °C
Sıcaklık hassasiyet katsayısı	$\leq 0,27$ °C
Boşaltma zaman sabiti	≥ 2 saniye
Uyarma voltajı ve akım sabiti	20 ile 30 V DC ve 2 ile 20 mA
Çıkış empedansı	$\leq 100 \Omega$
Çıkış öngerilim voltajı	8 ile 14 V DC
Malzeme sertliği	17 kN/ μ m
Gövde malzemesi	Paslanmaz çelik
Elektrik bağlantı girişi	10-32 koaksiyel jak

PCB Group firmasının üretmiş olduğu 2000C50 halka kuvvet algılayıcısının deney düzeneği üzerinde kullanım yeri ve şekline ait görsel Resim 3.3’te sunulmuştur.



Resim 3.3. Halka kuvvet algılayıcının ağırlık düşürme deney düzeneğine montajı

Piezoelektrik ivmeölçerler

Günlük hayatta karşılaşılan şok, darbe ve titreşimler farklı nedenlerle oluşmakta ve insanlar üzerinde çeşitli rahatsız edici etkileri olmaktadır. Bu etkinin frekansına ve büyüklüğüne bağlı olarak malzemeler üzerinde de çeşitli hasarlara yol açmaktadır. Malzeme teknolojisinin geliştirilmesi, bakımının yapılabilmesi için darbe ve titreşimlerin boyutlarının bilinmesini sağlayan ölçü araçlarıdır.

Piezoelektrik malzemeler mekanik gerilmelerle zorlandığında yapısında bulunan + ve – iyonlar yaklaşacak ve bir yük birikimi olacak. Bu yükün bir iletken ile birleştirilmesi sonucunda akımı meydana getirecek ve bu akımın frekansı ve değeri, malzemenin yapısı hakkında bilgi verecektir. Bu malzemeler mikrofonda ve çakmakta kullanılan piezoelektrik malzemelerdir. Darbe ve titreşimlerin ölçülmesi için genellikle yapısında kurşun, zirkonyum ve titanyum bulunan seramikler kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; Kuartz (SiO_2), Turnalin, Baryum Titanat (BaTiO_3) ve Çinko Oksit (ZnO) sayılabilir. Yapılan bu çalışmada PCB Group firmasının ürettiği 1 adet ICP 352B70 model piezoelektrik ivmeölçerler

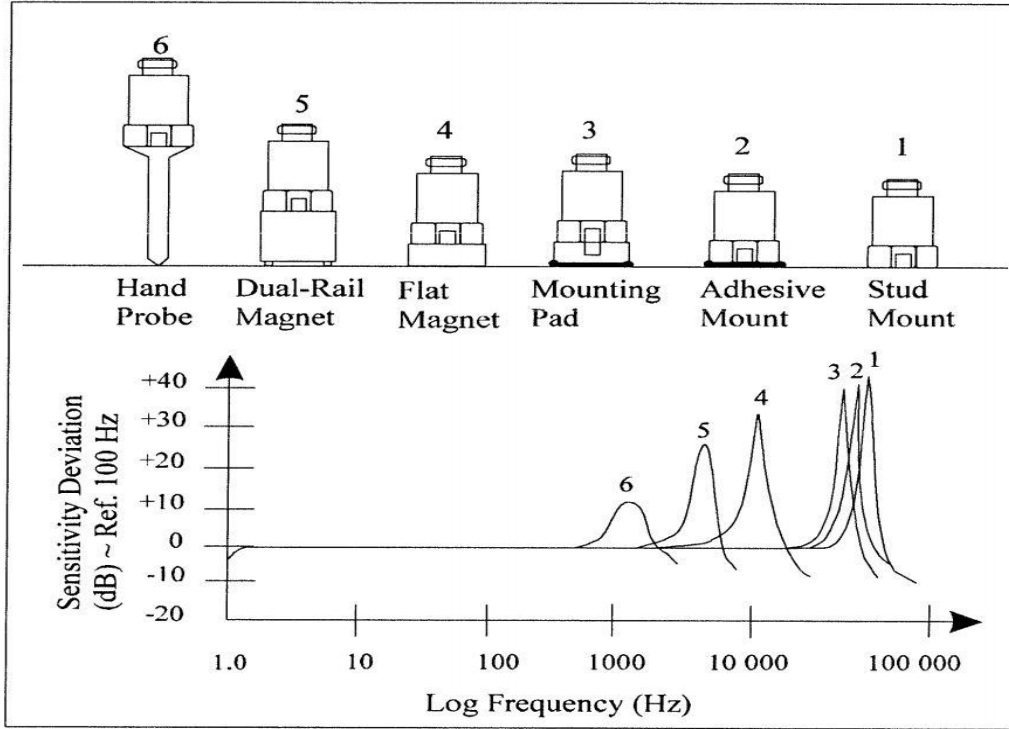
kullanılmıştır. Ağırlık düşürme deneylerinde kullanılan PCB firmasının ICP 352B70 model numarası ile ürettiği piezoelektrik ivmeölçer Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8. Piezoelektrik ivmeölçer PCB grup ICP 352B70 model

Piezoelektrik ivmeölçerlerin, doğru ölçümler alabilmesi için deney elemanı üzerine montajının doğru yapılması gerekmektedir. Hassas bir konu olan piezometrik ivmeölçerlerin montajı Şekil 3.9’da gösterilen “Stud Mount” olarak isimlendirilen vida ve pirinç aparat ile montaj şekli yüksek frekansları, yüksek hassasiyet ile algıladığını göstermektedir. Diğer montaj türlerine bakıldığında; 2 ile gösterilen yapıştırıcı, 3 ile montaj pedi, 4 ile düz mıknatıs, 5 ile çift taraflı mıknatıs ve 6 ile manuel tutularak ölçümlerin hassasiyetlerini göstermiştir.

Piezoelektrik ivmeölçerlerin, kullanım alanlarına ve şekline göre farklı hassasiyet ve özellikte olanlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ağırlık çarpışma deneylerinde kullanılan ICP 352B70 model numaralı piezoelektrik ivmeölçerlerin teknik özellikleri Çizelge 3.5’de sunulmuştur.

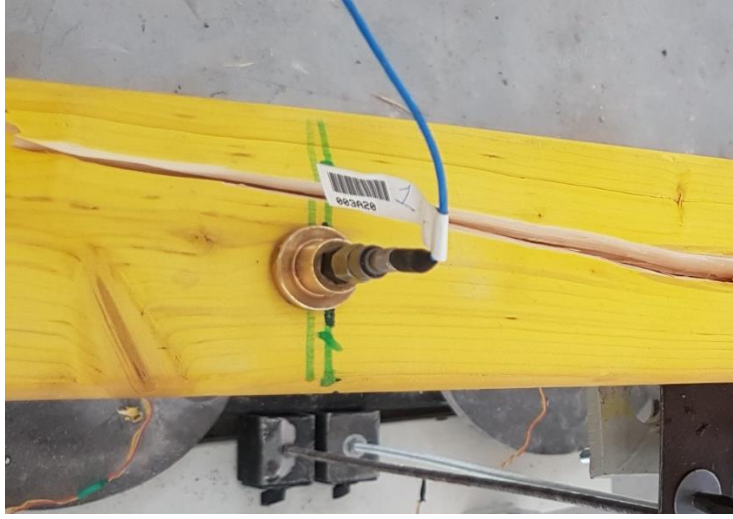


Şekil 3.9. Piezoelektrik ivmeölçerlerin doğru montajı yöntemleri

Çizelge 3.5. İvmeölçerler PCB firması ICP 352B70 model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değer ve Birimler
Hassasiyet	0.1 mV/(m/s ²)
Ölçüm aralığı	±49,000 m/s ² pk
Frekans aralığı (±5%)	0.7 to 9,000 Hz
Frekans aralığı (-3 dB)	0.4 to 20,000 Hz
Rezonans frekans	≥55 kHz
Genişbant hassasiyet	0,25 m/s ²
Düzensizlik	≤1 %
Çaprazlama hassasiyeti	≤7 %
Aşırı yük sınırı	±98,000 m/s ²
Çalışma sıcaklığı	-54 ile +121 °C
Uyarma voltajı	20-30 VDC
Sabit akım uyarma	2-20 mA
Çıkış empedansı	≤200 ohms
Çıkış öngerilim voltajı	8-14 VDC
Boşaltım zamanı	0,5-1,5 s
Hazır hale gelme zamanı	< 5 s
Algılama elemanı	Seramik
Elektrik bağlantısı	10-32 Koaksiyal Jak
Elektrik bağlantı yeri	Üst
Ağırlık	4,3 gr

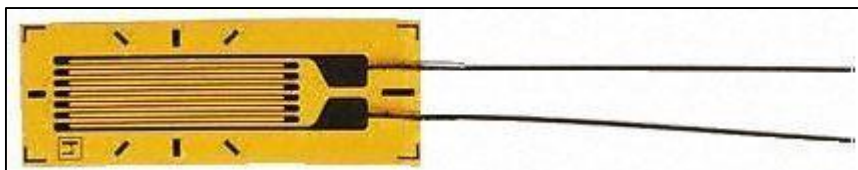
Piezoelektrik ivmeölçerin ahşap kiriş numuneleri üzerinde yüksek verimli ölçüm alınması amacıyla, montajında iletkenliği iyi olan pirinç aparat (Altın rengi olan metal parça) ve ahşap kirişin üst kısmında delik açılarak çelik dübel ve vida kullanılarak sağlanan bir yol seçilmiştir [40]. Resim 3.4'te montaj şekli gösterildiği gibi en yüksek frekanslarda en yüksek hassasiyet elde edebilmek için belirtilen montaj şekli uygulanmıştır [46].



Resim 3.4. Piezoelektrik ivmeölçerin deney elemanları üzerine montajı

Strain-gauge

Cisimlere etkiyen kuvvetlerin, cisim üzerinde meydana getirdiği birim şekil değişikliklerini ölçmek için kullanılan hassas araçlara duyurga veya sensör denir. Oluşan bu mekanik değişimlerin sensörler ile ölçülerek elektronik ortamda görüntülenmesini sağlayan araçlara ise transdüser denir. Genellikle enüstriyel sektörlerde üretim, kontrol ve geliştirme süreçlerinde kullanılırlar. Üç boyutlu bir cisme etkiyen kuvvetlerin malzeme üzerinde nasıl bir etki yapacağını bilmek, özellikle büyük boyutlu elemnalarda çok zordur. Bu yüzden şekil değişiminin bilinmesini istediğimiz bölgede ve istenilen doğrultuda strain-gauge'lar yapıştırılarak buradaki birim deformasyonun ölçülmesi sağlanır. Deneyde kullanılan HBM firmasının ürettiği K-LY11 model numaralı strain-gauge Şekil 3.10'da verilmiştir [47].



Şekil 3.10. Strain-gauge HBM firması H-LY11 model

Deneyde kullanılan ahşap kirişler üzerinde, gerilme sonucu oluşacak olan birim şekil değiştirmelerin ölçülebilmesi için 1 adet strain-gauge montajı yapılmıştır. Ahşap kiriş üzerine strain-gauge Resim 3.5’te görüldüğü şekilde Henkel firmasının ürettiği Loctite 401 adlı yapıştırıcılar ile montajı yapılmıştır.

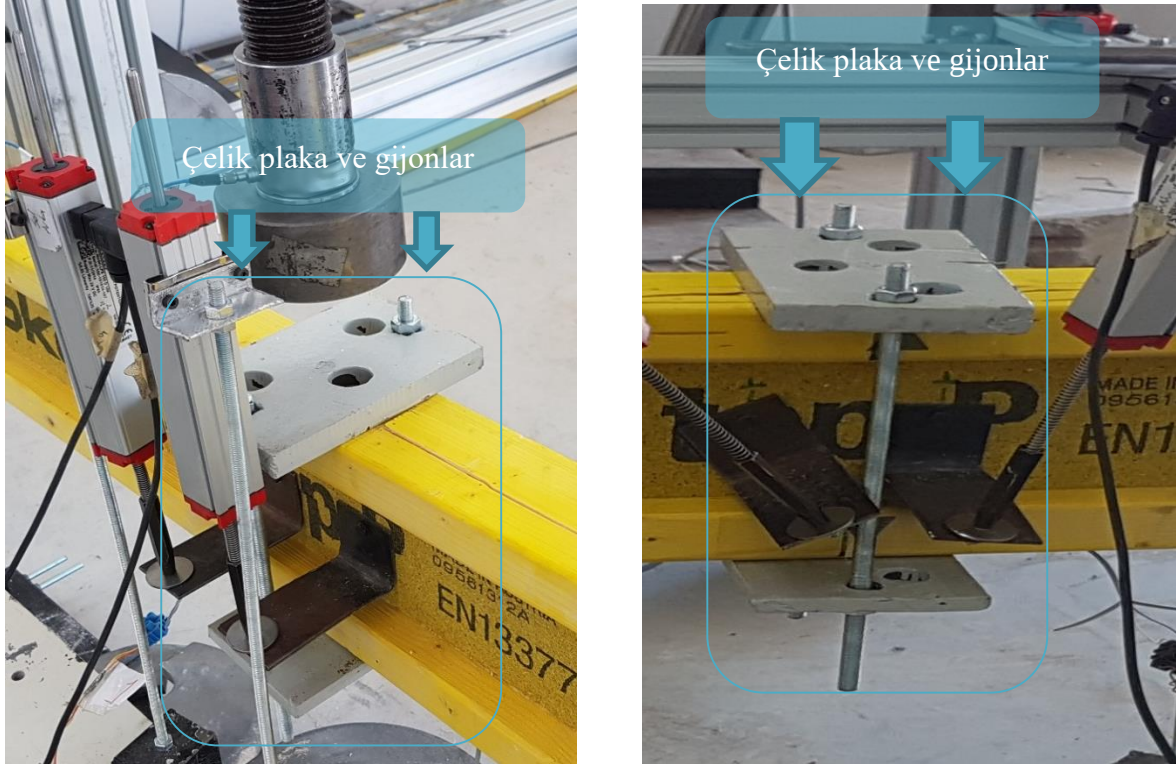


Resim 3.5. Strain-gauge’in deney elamanları üzerine montajı

Strain-gauge montaj yeri seçiminde, ağırlığın ahşap kiriş üzerinde düşürüleceği bölge olan üst-orta kısmın iz düşümü olan alt kısımda etkinin en büyük olduğu düşünüldüğünde bu bölgeye yakın mesafeye kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve çarpma sonucu kabloların çıkması için koli bandı ile bantlanmıştır.

Çelik plaka

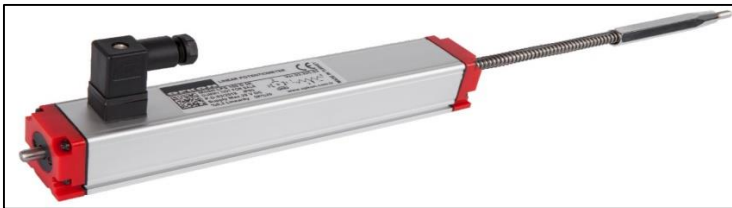
Ağırlık düşürme deney düzeneğinde ağırlık çekicinin düşerek ahşap kirişin üst bölgesinde lokal hasar oluşturmaması için üst ve alt kısma çelik plakalar yerleştirilerek bunların iki adet gijon ile birleştirilmesi sonucu darbe etkisi azaltılmış, böylelikle uygulanan kuvvet dağıtılarak kirişin lokal hasar alması engellenmiştir. Çelik plakalar TS EN 10025 standardına göre S 275 JR olarak adlandırılan (DIN 17100 standardına göre St 44) çelik sınıfından üretilmişlerdir. Çelik plaka ebatları, üstte 100 x 200 x 20 mm ve alt kısımda 100 x 200 x 10 mm’dir. Gijonlar ise TS 3576 (EN 20898-1 ve DIN 975) standardına göre üretilen 12 x 300 ebatlarına sahip çekme dayanımı 6,7 ton olan tam boy dişli paslanmaz inox malzemedir. Çelik plaka ve gijonlara ait görsel Resim 3.6’da sunulmuştur.



Resim 3.6. Çelik plaka ve gijonların deney elemanları üzerine montajı

Potansiyometrik lineer cetvel (Lvdt)

Potansiyel lineer cetveller, deney elemanların kuvvet altındaki deplasmanlarını ölçmek için genellikle endüstriyel uygulamalarda, araştırmalarda kullanılan ölçüm araçlarıdır. Aşağıda Şekil 3.11’ de deneyde kullanılan Opkon firmasının üretmiş olduğu LPS100 model numaralı Lvdt’yi görebilirsiniz.



Şekil 3.11. Potansiyometrik lineer cetvel Opkon firması LPS100 model (Lvdt)

Deplasmanların ölçülmesi konusunda oldukça hassas olan potansiyometrik lineer cetveller (Lvdt), deneyi yapılacak olan ahşap kirişlerin gövdesine vida ile montaj edilmiştir. En büyük deplasmanın ölçülmesi adına ağırlık çekicinin uygulandığı, kirişin orta kısmına gövdenin sol ve sağ tarafı olmak üzere 2 adet Lvdt montajı yapılmış, Lvdt’nin doğrultusunu, titreşim ve

darbeden bağımsız olan başka bir çelik yapı üzerine sabitlenmiştir. Deney düzeneği üzerine montajı yapılan Lvd't detayını Resim 3.7'de görebilirsiniz.



Resim 3.7. Potansiyometrik lineer cetvellerin (Lvd't) deney elemanları üzerine montajı

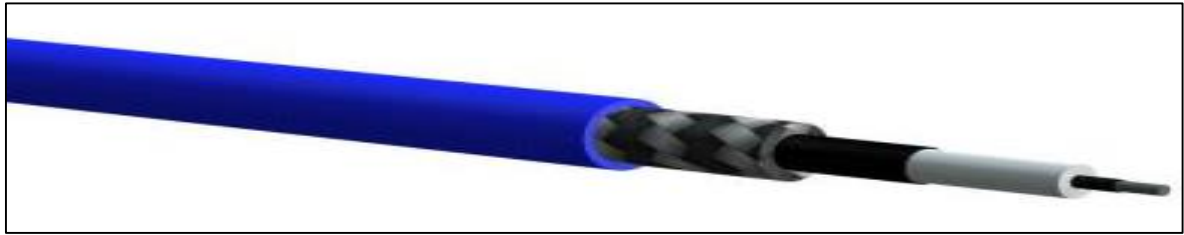
Deneyde kullanılan Opkon firmasının üretmiş olduğu potansiyometrik lineer cetvelin özellikleri aşağıda sunulan Çizelge 3.6'da sunulmuştur [48].

Çizelge 3.6. Lvd't Opkon firması LPS 100 Model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Ölçüm genişliği aralığı	30 ile 150 mm arasında
Doğrusallık	$\pm 0,1$ (130-200mm), $\pm 0,2$ (75130mm), $\pm 0,5$ (<75)
Tekrarlanabilirlik	<0,01 mm
Çözünürlük	Sonsuz
Direnç	5 k Ω yada 10 k Ω
Direnç toleransı	$\pm 0,20$
Yük direnci	100 kOhm min.
Tavsiye edilen kontakt akımı	<1 μ A
Maksimum besleme voltajı	28 VDC max.
Elektriksel bağlantı	4 konnektör çıkışlı
Hız	<5 m/s
Mekanik ömür	100 milyon tekrar
Gövde ölçüleri	33x33 mm
Gövde malzemesi	Eloksallı Alüminyum
Mil malzemesi	Paslanmaz çelik
Mil çapı	Ø6 mm
Mekanik sabitleme	Hareketli ayaklar
IP koruma sınıfı	IP 54
Çalışma sıcaklığı	-20°C ile +80°C
Saklama sıcaklığı	-30°C ile +90°C

Veri kabloları

Deney esnasında ölçüm cihazlarının algıladığı değerlerin veri toplayıcılara ve bilgisayar ortamına iletilmesine yarayan koaksiyel kablolar; halka kuvvet algılayıcı, ivmeölçerler ve LVDT’lerden algıladığı değerlerin yüksek frekanslı radyo dalgaları olmasından dolayı bozulmadan aktarılabilmesine olanak sağlayan bir kablo türüdür. Koaksiyel kablo yapısı en içte radyo dalgalarını ileten bakır kısım etrafında grafit kaplama, yalıtkan kaplama, teflon kaplama, kablonun bulunduğu yerlerdeki manyetik alanlardan ekilenmemesi için topraklama görevi görmekte olan iletkenlerden oluşan bir örgü tabakası ve en dış mavi renkli teflon malzemeden yapılmış kaplama bir kısım mevcuttur. Bu kablolar televizyonların anten ile bağlanmasında da kullanılan radyo dalgalarını (yüksek frekanslı elektromanyetik dalga) bozulmadan iletebilen bir kablo türüdür. Koaksiyel kablolarla ait kesit detayına Şekil 3.12’de ulaşabilirsiniz.



Şekil 3.12. Koaksiyel kablo PCB grup 003A20 model

Bu çalışmada kullanılan PCB firmasının ürettiği 2 mm kalınlıkta 003A20 model numaralı koaksiyel kabloların teknik özelliklerini Çizelge 3.7’de bulabilirsiniz [49].

Çizelge 3.7. Koaksiyel kablo PCB grup 003A20 model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Kablo tipi	Koaksiyonel-düşük gürültülü
Kablo empedansı	50Ω
Çalışma sıcaklığı	-90°C ile + 260°C
Kapasitans	95 to 105 pF/m

Çalışmalarda kullanılan koaksiyel kabloların deney düzeneği üzerinde gösterimi Resim 3.8’de sunulmuştur.



Resim 3.8. Koaksiyel kabloların çarpışma deneylerinde kullanımı

Veri toplayıcılar

Bu çalışmada, ağırlık düşürme deneylerinde kullandığımız halka kuvvet algılayıcı, piezoelektrik ivmeölçer, strain-gaugelar ve Lvdt'lerden alınan değerlerin bağlantı kabloları aracılığıyla veri toplayıcılara gelerek, burada bilgisayar ortamına atılacak hale getirilmesine yarayan araçlardır. Bu araçlar iki kısımdan oluşur, ilk kısım verilerin ölçüm araçlarından toplanmasında, İkinci kısım ise toplanan bu verilerin aynı zaman aralığında birleştirilerek bilgisayara sinyal olarak iletilmesini sağlayan araçlardır. Bu çalışmada 3 farklı veri toplama cihazı kullanılmıştır. 3 farklı veri toplama cihazını National Instruments firması üretmiştir. Model numarası NI 9234 olan veri toplama cihazı, halka kuvvet algılayıcı ve ivmeölçerlerden alınan verilerin bilgisayara aktarılmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Veri toplama cihazı NI firması 9234 model

NI 9234 model numaralı veri toplama cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.8’de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Veri toplama cihazı NI 9234 model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Kanal sayısı	4 tane analog giriş
Çalışma şekli	AC akım, 2 mA – 0,5 Hz
Çözünürlük	24-Bit
Dinamik aralık	102 dB
Maksimum veri oranı	51,2 kS/s
Frekans	13,1072 MHz
Çalışma sıcaklığı	-40°C ile + 70°C arasında

Deney elemanları üzerinde oluşan birim deformasyonları ölçmek için kullandığımız 2 adet strain-gauge bağlantısı için NI 9235 model numaralı veri toplama aygıtından yararlanılmıştır. NI 9235 model numaralı veri toplama cihazı Şekil 3.14’de sunulmuştur.



Şekil 3.14. Veri toplama cihazı NI firması 9235 model

NI 9235 model numaralı veri toplama cihazına ait teknik özellikler Çizelge 3.9’da sunulmuştur.

Çizelge 3.9. Veri toplama cihazı NI 9234 model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Kanal sayısı	8 Kanal
Çözünürlük	24-Bit
Maksimum veri oranı	10 kS/s/ch
Devre tamamlama direnci	120 Ω
Çalışma sıcaklığı	-40°C ile + 70°C arasında

Lvdt'lerin ölçmüş olduğu deplasman değerlerinin toplanmasında kullanılan NI 9201 model numaralı veri toplama cihazı Şekil 3.15'de sunulmuştur.



Şekil 3.15. Veri toplama cihazı NI firması 9201 model

NI 9201 model numaralı Lvdt'lerin ölçtüğü deplasmanların toplanması için kullanılan veri toplama cihazı teknik özellikleri Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

Çizelge 3.10. Veri toplama cihazı NI 9201 model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Kanal sayısı	8 Kanal
Çözünürlük	12-Bit
Maksimum veri oranı	500 kS/s
Giriş bant genişliği	690 kHz minimum
Çalışma sıcaklığı	-40°C ile + 70°C arasında
Devre tamamlama direnci	1 M Ω

İkinci kısım olarak adlandırdığımız National Instruments firmasının ürettiği veri toplayıcılardan aynı anda gelen verilerin, NI cDAQ-9174 model numaralı sinyal taşıyıcı vasıtası ile bilgisayar ortamına aktarımı sağlanmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan bu verilerin görüntülenmesinde ve cihazların kalibrasyonunun yapımında, National Instruments firmasının geliştirmiş olduğu LabVIEW yazılımı kullanılmıştır. NI cDAQ-9174 model numaralı sinyal taşıyıcı cihazın görseli Şekil 3.16’da sunulmuştur [50].



Şekil 3.16. Sinyal taşıyıcı NI firması cDAQ-9174 model

National Instruments firmasının geliştirmiş olduğu NI cDAQ-9174 model numaralı sinyal taşıyıcının teknik özelliği Çizelge 3.11’de sunulmuştur [51].

Çizelge 3.11. Sinyal taşıyıcı cihaz NI cDAQ-9174 model teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler ve Birimler
Kanal sayısı	4 Kanal
Çözünürlük	32-Bit
Zamanlama hassasiyeti	50 ppm
Zamanlama çözünürlüğü	12,5 ns
Çalışma sıcaklığı	-20°C ile + 55°C arasında

3.3. Deney, Ölçüm ve Yükleme

Deneysel değişken olarak seçilen yükleme türü olarak ahşap kalıp kirişleri 3 farklı türde yükleme etkisinde test edilmiştir. Deney elemanlarına monotonik olarak artan statik

yüklemeye, yüksek yük, düşük tekrar sayılı yorulma yüklemesi ve 3 farklı seviyede değişen enerji düzeyinde ani dinamik impulsif çarpma yüklemesi olmak üzere toplamda 3 farklı yük türü uygulanmıştır. Kiriş özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ahşap kirişlerden 1800 ve 2450 mm olacak şekilde iki farklı uzunluğa sahip beşer adet numune temin edilmiştir. 2 farklı uzunluk seçilmesindeki temel neden elemanlar üzerinde yapacak olduğumuz çalışmanın uzunluk ile olan ilişkisine bağlı olarak davranışın daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Deneyin takip ve yöntemi aşağıda sunulan Çizelge 3.12’de sunulmuştur.

Çizelge 3.12. Deney elemanları ve deney yöntemleri

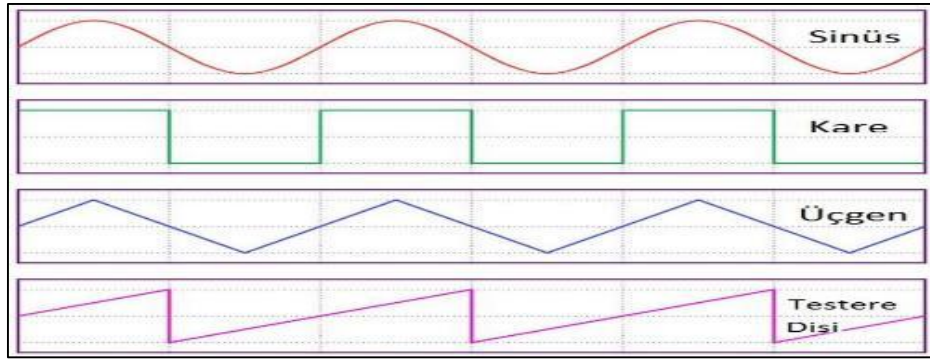
Deney Elemanı No	Test Türü	Kiriş Türü	Kiriş Açıklığı (mm)	Düşü Yüksekliği (mm)	Düşü Ağırlığı (kg)
1	Monotonik Statik	H20 Top P	1800	-----	-----
2	Yorulma Testi			-----	-----
3	Çarpışma Testi			500	84
4				750	
5				1000	
6	Monotonik Statik		2450	-----	-----
7	Yorulma Testi			-----	-----
8	Çarpışma Testi			500	84
9				750	
10				1000	

Deneyisel çalışmada ilk olarak iki farklı uzunluktaki ahşap kalıp kirişleri monotonik olarak artırılan statik yüklemeye şekilde üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Bu testler ile ahşap kalıp kirişi deney elemanlarının genel yük-deplasman davranışları ve kapasiteleri belirlenmiştir. Deney cihazına veri girişi olarak deneyde kullanılacak elemanın geometrik şekli cihaza veri tanımlaması zor olduğu için basit bir şekilde dikdörtgen olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.13’de monotonik statik yüklemeye için cihaza girilmesi gereken veriler sunulmuştur.

Çizelge 3.13. Statik deney bilgisayar veri giriş bilgileri

Kiriş Türü	Mesnet Aralığı [mm]	Ebatlar [mm]	Kuvvet Piston Hızı [mm/sn]	Ön Yükleme [N/sn]	Kırılma Hassasiyeti [%]	Yük Hassasiyeti [kN]	Kırılma Eşik Değeri [kN]
Kısa	1600	80x200	2	150	30	5	5
Uzun	1900	80x200	2	150	30	5	5

Daha sonra her iki uzunluktaki ahşap kiriş deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerlerinin 85%'i ile %10'u arasında değişim gösteren yüksek yük düzeyli bir yorulma yüklemesi etkisinde testleri yapılmıştır. Deney elemanlarına uygulanan yorulma yüklemesi frekans değeri 4 Hz olarak Şekil 3.17'de görülen sinüs dalgası ile etkitilmiştir. Maksimum yorulma yüklemesi ile minimum yorulma yüklemesi değerlerinin oranları her iki uzunluktaki kiriş test elemanları için 8,5 olup, minimum yorulma yükü maksimum yorulma yükünün 12%'si düzeyindedir. Bu yorulma yükleme çevrimi test elemanlarına saniyede dört kere uygulanmıştır. Deney elemanlarına uygulanan yorulma yüklemesi statik yükleme ile özdeş olarak, 3 nokta eğilme yüklemesi şeklinde uygulanmış, deney elemanlarının kiriş açıklık ortası deplasman değerleri ve uygulanan yüklemenin değişimleri ölçülmüştür.



Şekil 3.17. Yorulma deneylerinde kullanılan dalga tipleri

Yorulma deneyleri de yine 322 Test Frame adlı deney cihazına veri girişinde monotonik statik yükleme deneyinde olduğu gibi ilk olarak üzerinde çalışılacak deney numunesinin ebatları girilmiştir. Yorulma testine ait diğer veri girişleri aşağıdaki Çizelge 3.14'de sunulmuştur.

Çizelge 3.14. Yorulma deneyi bilgisayar veri giriş bilgileri

Kiriş Açıklığı	Mesnet Aralığı [mm]	Ebatlar [mm]	Dalga Tipi	Dalga Frekansı [Hz]	P min [N/sn]	P maks [%]	Ön Yükleme [kN]	Tekrar [x1000]
Kısa	1600	80x200	Sinüs	2	150	%30	5 kN	100
Uzun	1900	80x200	Sinüs	2	150	%30	5 kN	100

Son olarak 2 farklı uzunluktaki ahşap kiriş deney elemanlarına üç farklı enerji düzeyinde ani dinamik çarpma yüklemesi deney elemanları üzerinde Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,

Mekanik Laboratuvarında bulunan serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak etkitilmiştir. Deney elemanlarına uygulanan çarpışma enerjisi ağırlık sabit tutulup, düşü yüksekliği değiştirilerek 3 farklı düzeyde uygulanmıştır. Deney elemanlarına 84 kg ağırlığındaki çekiç kısa kirişler üzerine sırasıyla 500, 750 ve 1000 mm yükseklikten düşürülerek üç farklı enerji düzeyinde çarpma yüklemesi test elemanlarına aktarılmıştır. Uzun kirişler üzerine ise sabit tutulan 84 kg ağırlığındaki çekiç sırasıyla 500, 750 ve 1000 mm yüksekliklerden düşürülerek üç farklı enerji düzeyinde çarpma yüklemesi test elemanlarına aktarılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler ahşap kalıp kirişlerinin açıklığı ve kirişlere etkitilen yükleme türüdür. Deneyi yapılan ahşap kirişin sol üst kısmına ivmeölçerler ve kuvvet pistonunun ahşap kirişe etki ettiği kısım olan kiriş orta kısmının gövde sol ve sağ kısımlarına deplasman ölçerler (Lvdt) ve kirişin orta noktasının alt yüzeyine 1 adet birim deformasyon ölçer monte edilmiştir. Bu sayede kuvvet-deplasman grafiği alınarak deney elemanlarının performansları irdelenmiştir.

4. DENEYLER

Bu bölümde Çizelge 3.14’de verilen deney programı takip edilerek 10 farklı deney elemanının testlere tabi tutulması sürecinde nelerin yapıldığı, nasıl yapıldığı üzerinde durularak genel gidişat hakkında bilgi verilmiştir. Ahşap kirişlerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde üç farklı test tekniği, iki farklı boyda ahşap kirişler üzerinde yapılmıştır. Deneyde kullanılan numuneler, boyları 1800 mm olan ilk sıra deney elemanları ve boyları 2450 mm olan ikinci sıra deney elemanları olarak gruplandırılmıştır.

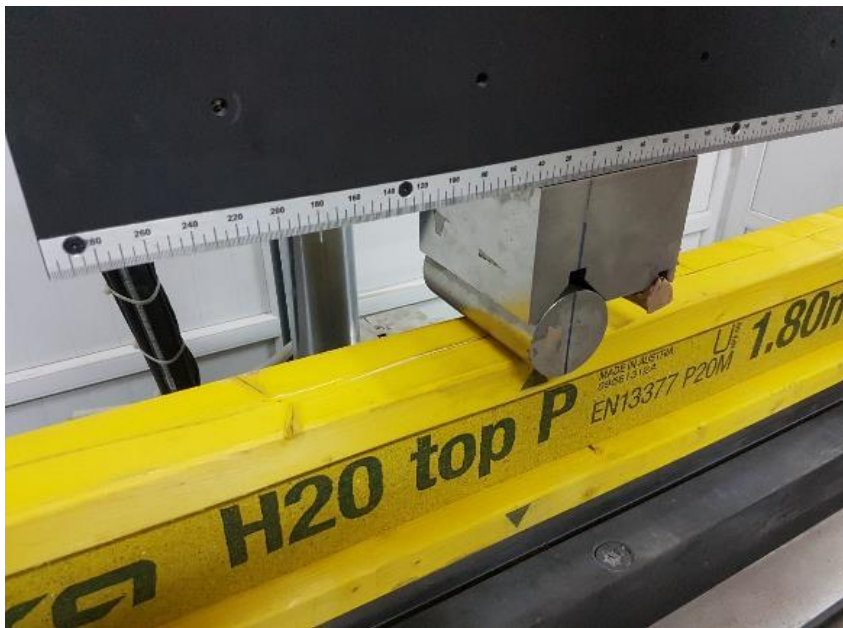
4.1. Deney Elemanı-1

İlk deney numunemiz 1800 mm uzunlukta olan H20 Top P tipi ahşap kirişin monotonik statik yükleme testi ile deneylere başlanmıştır. MTS 322.41 Test Frame cihazı ile yapılan deneyde ilk olarak mesnet açıklığı 1600 mm olarak ayarlanarak mesnetler üzerine konulan ahşap kirişin orta noktası, kuvvetin uygulanacağı pistonu gelecek şekilde hizalandı ve test cihazının pistonu kirişe baskı yapmayacak şekilde kiriş üzerine indirilerek boşluğu alındı. Kuvvet pistonunun ahşap kirişin orta noktasında konumlandırılarak hazır hale gelmiş hali Resim 4.1’de sunulmaktadır. Ardından deney cihazına teste girecek olan Deney elemanı-1’in geometrik boyutları tanımlanmıştır. Ahşap kirişin boyutlarını temsil edecek ve bilgisayara tanımlaması yapılabilecek gerçeğe en yakın geometrik şekil dikdörtgen olarak belirlenerek veri girişi yapılmıştır. Deney elemanı-1 için kalınlık 80 mm, yükseklik 200 mm ve açıklık ise 1600 mm olarak deney cihazına tanımlandı. Kiriş üzerine uygulanacak kuvvet pistonunun hızı 2 mm/sn, kiriş üzerine uygulanacak kuvvet hassasiyeti 150 N/sn, ahşap kirişin kırılma hassasiyeti olarak %30 ve bilgisayar ortamına veri alma miktarı olarak 5 Hz seçilmiştir.



Resim 4.1. Deney elemanı-1 monotonik statik yükleme deneyi

Deney elemanı-1’de ahşap kirişin üst yüzeyinde Resim 4.2’de görüldüğü üzere çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Çatlakların oluşum merkezi kirişin üst kısmında kuvvet uygulanan ahşap kiriş yüzeyinin orta kısmı olmak üzere, kiriş boyunca uzamaktadır.



Resim 4.2. Deney elemanı-1 ilk çatlak oluşumu

Ahşap kiriş üzerinde kuvvet uygulayan pistonun saniyedeki hareketi 2 mm aşağı yönde, 150 N yük olarak yukarıda belirtildiği şekilde deneye devam edilmiştir. İlerleyen safhalarda alt başlıkta oluşan Resim 4.3’de görülen çatlak oluşmuştur.



Resim 4.3. Deney elemanı-1 alt başlık kısmında çatlak oluşumu

İlerleyen sürede ahşap kirişin alt kısmında oluşan küçük çatlaklar birleşerek daha büyük çatlakları oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ahşap kirişin gövde kısmını oluşturan kompozit (Talaşlı) kısımda yatay düzleme dik olarak bir çatlak oluştuğu Resim 4.4 ve Resim 4.5’de görüldüğü şekilde oluşmuştur.

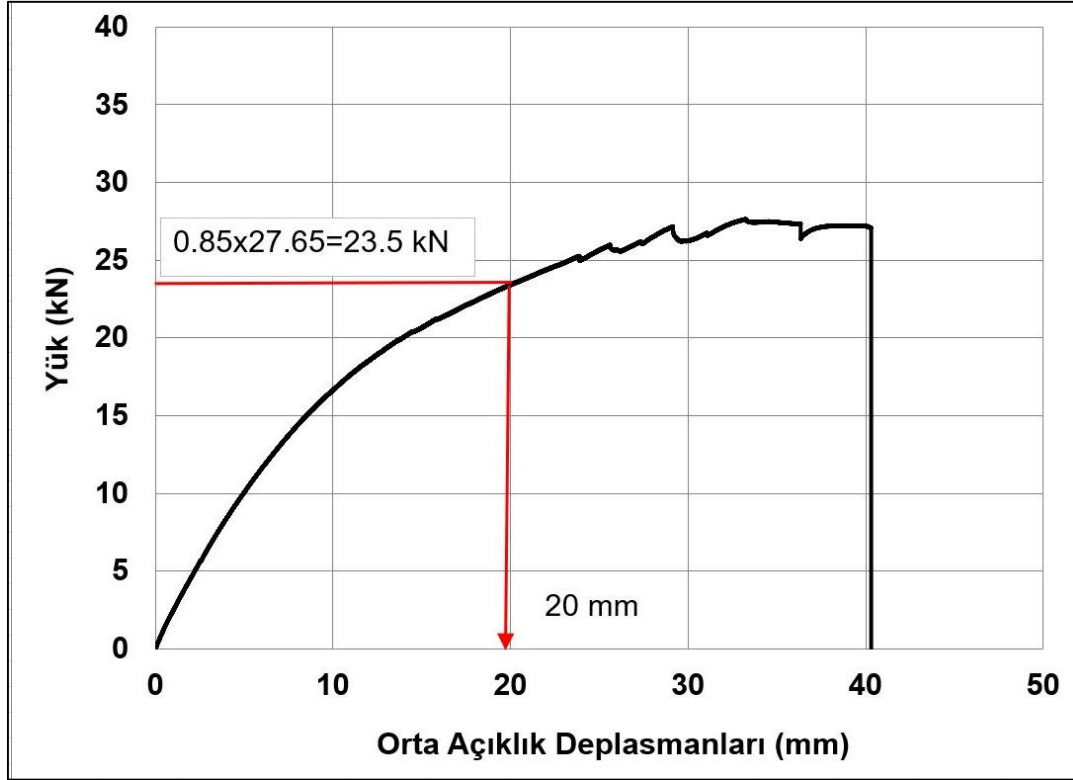


Resim 4.4. Deney elamanı-1’de oluşan yatay düzleme dik hasar oluşumu



Resim 4.5. Deney elemanı-1 test sonucu ağır hasar oluşumu

Test sonucunda ahşap kirişin büyük plastik deformasyonlara uğradığı kuvvet uygulanan bölgenin ezildiği, alt-üst başlık ve gövde de çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Deney elemanı-1 ilk önce elastik değişim gösterdiği, daha sonra plastik değişim göstererek göçtüğü görülmüştür. Deney elemanı-1'in monotonik statik yükleme deneyinde Şekil 4.1'de görüldüğü üzere son evrelerinde çok fazla atımlar oluşmuş, bu atımlardan nihai kuvvet değeri 27,65 kN ve bu değerde göstermiş olduğu deplasman değeri 33,20 mm olarak ölçülmüştür. Bu atımların nedeni ahşap kirişin gövde ve başlık kısımlarında bulunan ahşabın doğal yapısındaki liflerin kopması sonucu meydana gelen çatlak hasarlarından oluştuğu kaydedilmiştir. Deneyin ilerleyen 80. dakikası içerisinde, ahşap kirişin aldığı yük 27,047 kN ve yaptığı deplasmanın 40,301 mm olarak ölçülmüş ve bu anda kirişte ani bir göçme meydana gelmiştir.



Şekil 4.1. Deney elemanı-1 Statik test sonucunda yaptığı yük-deplasman grafiği

Deney elemanı-2'nin yorulma deneylerinde kullanılacak olan maksimum ve minimum kuvvet değerleri olarak Deney elemanı-1'in göstermiş olduğu nihai kuvvet dayanımının %85 ve %10'u olan 23,7 kN ve 2,77 kN kuvvet değerleri kullanılmıştır.

4.2. Deney Elemanı-2

Ahşap kirişler üzerinde yapılan 2. deney olarak, 1800 mm uzunluğunda ki Deney elemanı-2 üzerinde yapılacak olan yorulma deneyidir. Bu deneyde monotonik statik yükleme deneyinde olduğu gibi, 322.41 model numaralı deney cihazı kullanılmıştır. Ahşap kiriş test cihazına yerleştirirken mesnet açıklığı olarak 1600 mm seçilmiş ve kirişin orta noktası, yükü uygulayacak olan pistonu hizalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Piston kiriş üzerinde yük uygulamayacak şekilde indirildikten sonra, yapılacak olan deney ile ilgili veriler, yorulma deneyinin yapılacağı 322.41 deney cihazına girilmiştir.

Bilgisayara deney cihazının çalışma prensibi olarak girilecek bazı veriler bir önceki deneyden farklılık göstermektedir. Yorulma testi deneyi; kiriş üzerinde uygulanan kuvvetin belli bir zaman aralığında, belli kuvvet değerleri arasında tekrarlı şekilde uygulanması

esasına dayanır. İlk girilecek veri; deney elemanı üzerinde uygulanacak olan kuvvetin ahşap kiriş üzerine ne sıklıkla ve ne şekilde uygulanmasına karar verilen dalga türü belirlenmiştir. Uygulanacak kuvvet Sinüs dalgası şeklinde belirlenmiştir. Uygulanacak kuvvetin periyodu ise 4 Hz olarak belirlenmiştir. Deney elemanı-2'ye uygulanan yorulma yüklemesi profilinde maksimum ve minimum yük düzeyleri sırasıyla Deney elemanı-1'in maksimum taşıma gücü değerinin 85%'i ile %10'u olarak belirlenmiştir. Buna göre hesaplanan yorulma yük değerleri 2,77 kN ile 23,5 kN olarak deney elemanına etkilmiştir. Ön yükleme değeri olarak 1 kN, uygulanacak bu kuvvet şekli 100 000 tekrar yapacak şekilde ayarlanmıştır. Son olarak veri toplama hızı 5 Hz olarak girilmiştir. Deney elemanı-2'nin yorulma testleri için düzenek üzerine Resim 4.6'da görüldüğü şekilde hazırlıklar tamamlanmıştır.

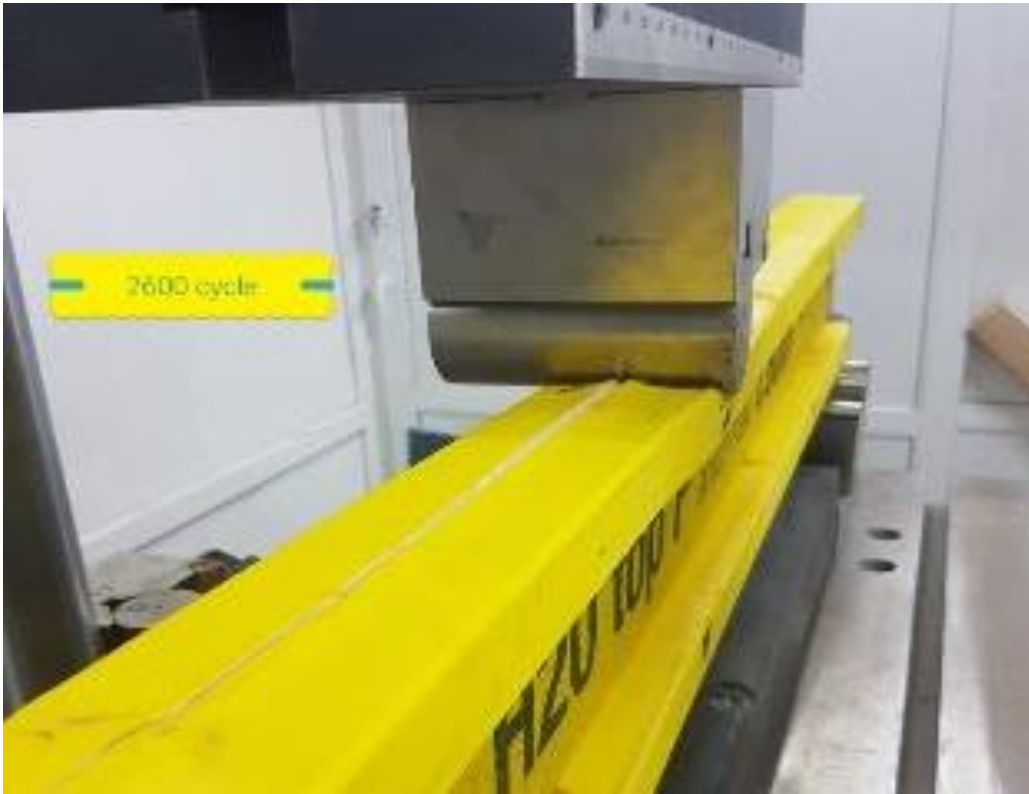


Resim 4.6. Deney elemanı-2 yorulma deneyi

Deney elemanı-2 üzerinde yapılan deneyde 2600 tekrara kadar sadece üst başlık kısmında çatlaklar oluşmuş, gövde ve alt başlıkta çatlak oluşmamıştır. Deney elemanı-2 üzerinde yorulma sonucu oluşan çatlaklar Resim 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir.



Resim 4.7. Deney elemanı-2 üzerinde 2550 tekrarda oluşan çatlaklar



Resim 4.8. Deney Elemanı-2 üzerinde 2600 tekrarda oluşan çatlaklar-1



Resim 4.9. Deney elemanı-2 üzerinde 2600 tekrarda oluşan çatlaklar-2

Deney elemanı-2’de 3200 tekrarda Resim 4.10 ve 4.11’de görüldüğü üzere üst başlıkta ezilmeler ardından da çatlak oluşumu gözlenmiştir, alt başlık ve gövde üzerinde bir deformasyon gözlemlenmemiştir.

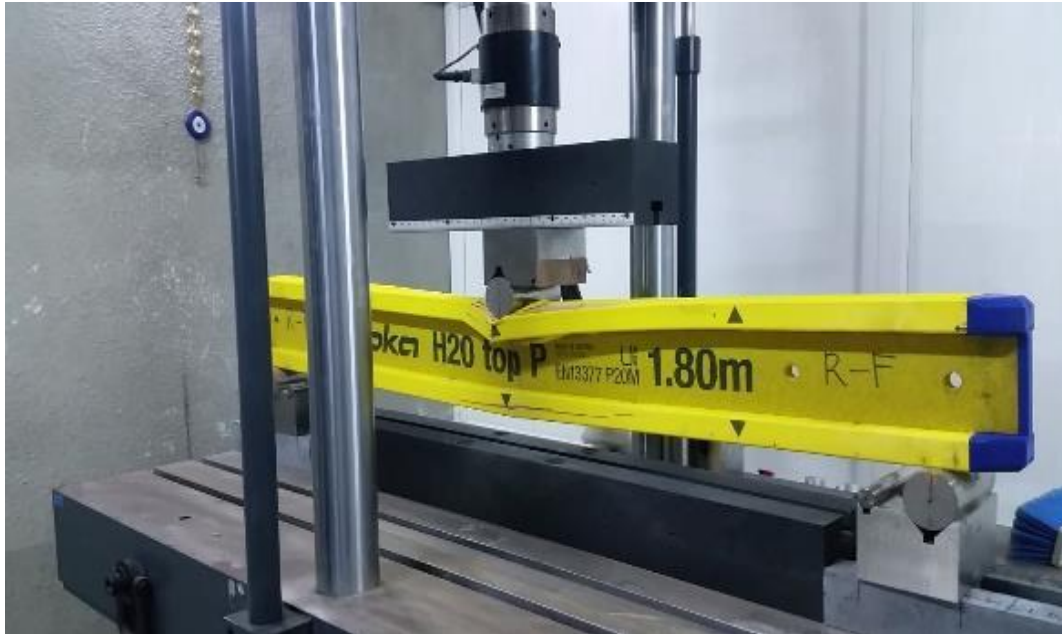


Resim 4.10. Deney elemanı-2 üst başlıkta 3200 tekrarda oluşan ezilme-1



Resim 4.11. Deney elemanı-2 üst başlıkta 3200 tekrarda oluşan ezilme-2

Deney elemanı-2’de 3366 tekrarda alt başlıkta ani bir çatlama ve saniyeler içinde kompozit gövdede bir çatlak oluşumu Resim 4.12’de görüldüğü şekilde gerçekleşmiştir.



Resim 4.12. Deney elemanı-2 alt başlık 3366 tekrarda oluşan çatlak

Deney elemanı-2’de 3374 tekrardan sonra ani bir çökme gözlemlenmiş, çökme anında alınmış görsel Resim 4.13’de sunulmuştur.



Resim 4.13. Deney elemanı-2 üzerinde 3373 tekrarda çökme oluşumu

Deney elemanı-2 yorulma deneyi sonucunda aldığı hasarlar Resim 4.14, 4.15 ve 4.16’da sunulmuştur.



Resim 4.14. Deney elemanı-2 yorulma deneyi sonucunda ağır hasar alarak kırılmıştır

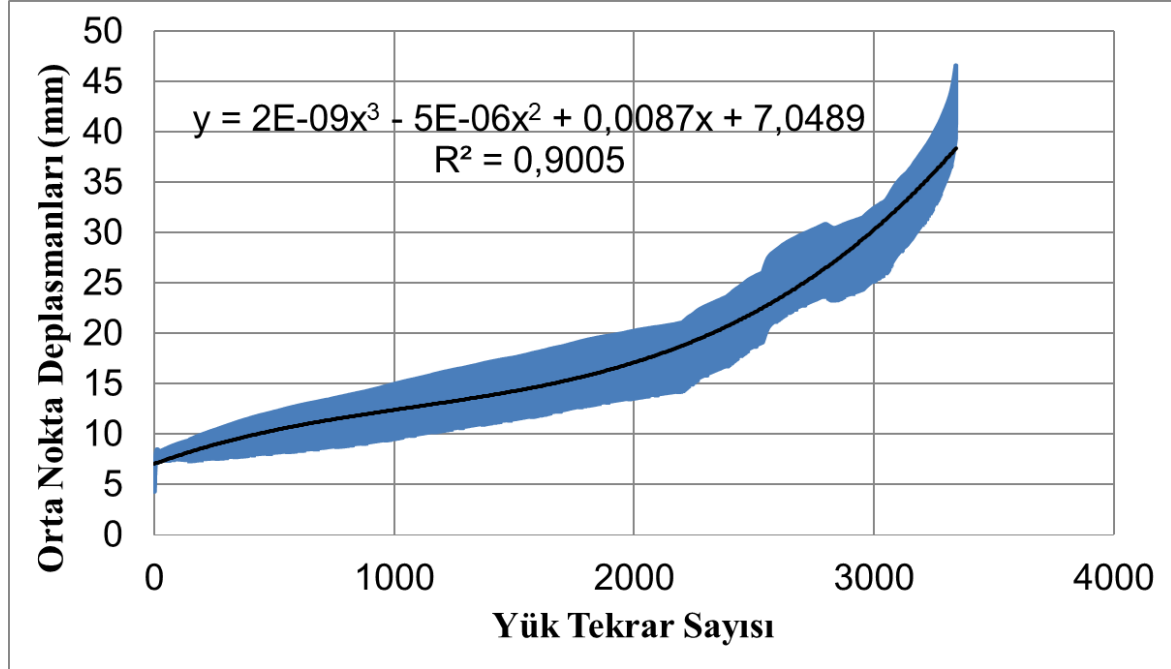


Resim 4.15. Deney elemanı-2 yorulma deneyi sonucunda üst başlık ezilmiştir



Resim 4.16. Deney elemanı-2 yorulma deneyi kiriş göçmesi

Ahşap kiriş 3373 yorulma yüklemesi çevrimi sonucunda 46,58 mm değerinde deplasman yaparak kırılmıştır. Sonrasında yük almamaya başlamış ve bunun sonucu deplasman aniden Şekil 4.2’de görüldüğü şekilde artmıştır.

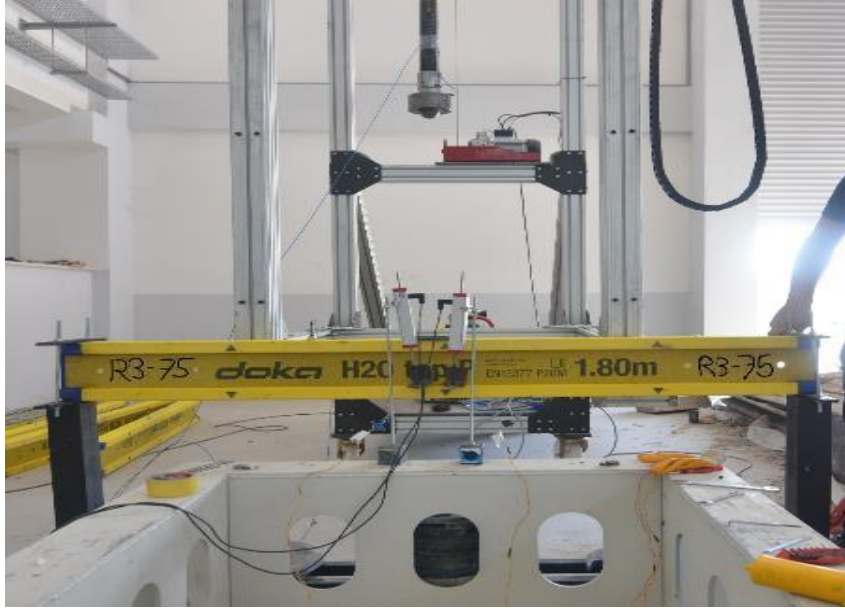


Şekil 4.2. Deney elemanı-2 deplasman- yorulma yük çevrim sayısı

4.3. Deney Elemanı-3

Ahşap kirişler üzerinde yapılan çarpışma testleri için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bulunan ağırlık düşürme deney düzeneği kullanarak deneyler yapılmıştır. Deney elemanı-3 çarpışma deneyi yapılan ilk deney numunesi ayrıca ilk seri deney elemanlarının ilki olarak deney yapılmıştır.

Deney düzeneğine yerleştirilen 1800 mm uzunluğundaki Deney elemanı-3’ün üst kısmına, serbest düşü yapılacak ağırlığın ahşap kiriş üzerindeki iz düşümünün 300 mm sol kısmına piezoelektrik ivmeölçer, kirişin alt yüzüne 1 adet birim deformasyonun ölçülmesi için yapıştırılan strain-gauge, kirişin orta nokta deplasman ölçümü için orta kısma 2 adet potansiyometrik lineer cetveller ve uygulanan çarpma etkisinin ölçülmesi için ağırlık çekicinin kuvvet uygulayan ucu üzerine halka kuvvet algılayıcı montajı Resim 4.17’de gösterildiği şekilde yapılmıştır. Deney elemanı-3 üzerine 750 mm yükseklikten 84 kg ağırlık serbest olarak bırakılmıştır.



Resim 4.17. Deney elemanı-3 ağırlık düşürme deney düzeneği

Deney elemanı-3 üzerinde yapılan çarpışma deneyinden sonra kirişte meydana gelen hasar Resim 4.18’de gösterilmiştir.



Resim 4.18. Deney elemanı-3 ağırlık düşürülmesi sonrasında oluşan hasar

Ahşap kirişinin orta noktasına 750 mm yükseklikten serbest düşü şeklinde bırakılan 84 kg ağırlığın Deney elemanı-3'ün sol üst kısmında meydana getirdiği hasar Resim 4.19’da

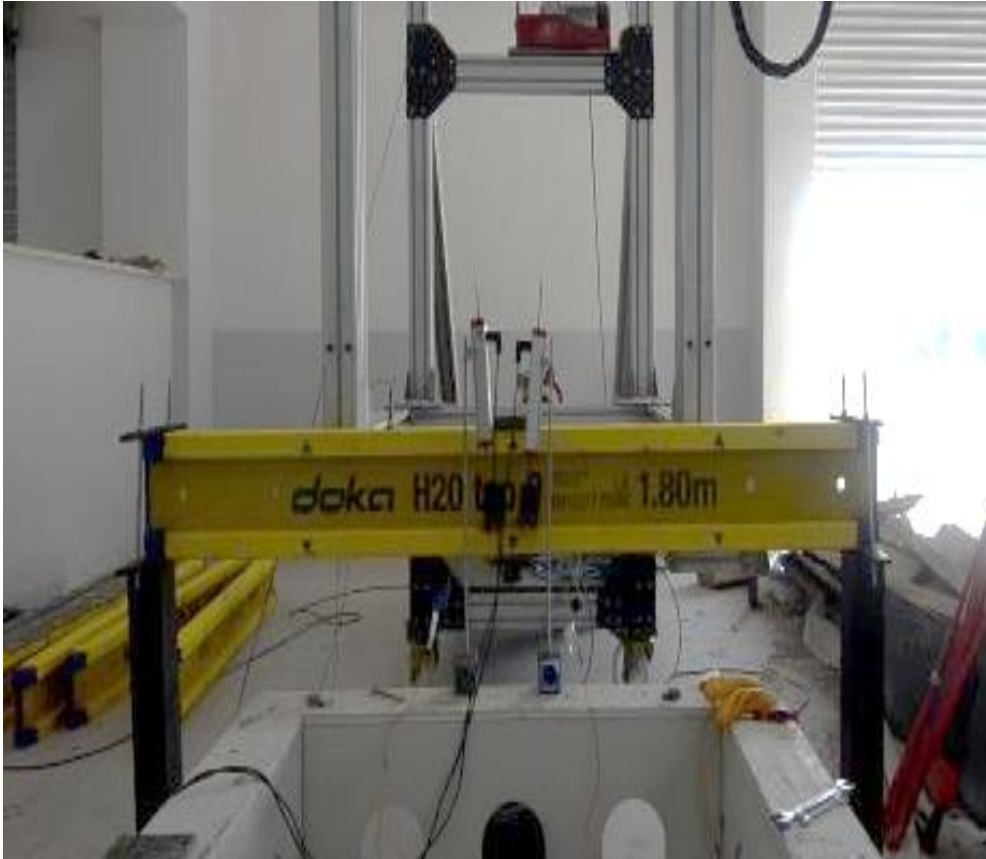
gösterilmiştir. Ahşap kirişin üst başlık kısmında çatlaklara yol açmasına rağmen, gövde ve alt başlık kısmında herhangi bir görsel hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Resim 4.19. Deney elemanı-3 ivmeölçer takılması için açılan delikler

4.4. Deney Elemanı-4

Ahşap kirişler üzerinde yapılacak olan ikinci çarpışma deneyidir. 1800 mm uzunluktaki ahşap kirişin orta kısmına 84 kg'lık yük serbest düşü ile 1000 mm'den bırakılacaktır. Test düzeneğine yerleştirilen ahşap kiriş Resim 4.20'de görüldüğü şekilde sol üst kısmına ivme ölçer ve alt kısmına 1 adet birim deformasyon ölçer takılarak deney yapılmıştır.



Resim 4.20. Deney elemanı-4 ağırlık düşürme deney düzeneği

1000 mm'den serbest bırakılan 84 kg ağırlık, Deney elemanı-4'ün üst başlık kısmını Resim 4.21 ve 4.22'de görüldüğü şekilde ağır hasar vermiştir.



Resim 4.21. Deney elemanı-4 çarpma sonucu üst başlık hasarı-1



Resim 4.22. Deney elemanı-4 çarpma sonucu üst başlık hasarı-2

4.5. Deney Elemanı-5

İlk seri deney elemanlarının sonuncusu ve çarpışma deneyi yapılacak olan üçüncü eleman olan 1800 mm uzunluğunda ki Deney elemanı-5 üzerine 1450 mm yükseklikten, 84 kg ağırlığında serbest düşü ile çarpışma deneyi yapılmıştır. Deney elemanı-5'in sol üst kısmına 1 adet ivmeölçer, alt kısmına 1 adet birim deformasyon ölçer ve iki adet LVDT'ler Resim 4.23'de görüldüğü şekilde montajı yapılmıştır.



Resim 4.23. Deney elemanı-5 çarpışma deneyi sensör montajları

Çarpışma sonrasında ahşap kirişin üst başlık kısmının bir tarafı tamamen parçalanarak kirişten kopmuş ve diğer kısmı büyük bir çatlak ile plastik deformasyona uğramıştır. Ahşap kiriş üzerinde oluşan hasar Resim 4.24 ve 4.25’de gösterilmiştir.



Resim 4.24. Deney elemanı-5 üzerinde çarpışma sonrası oluşan hasar



Resim 4.25. Deney elemanı-5 üzerinde oluşan hasar yan görünüş

4.6. Deney Elemanı-6

Ahşap kirişler üzerinde yapılacak olan 2. seri (uzunluğu 2450 mm olan ahşap kirişler ile yapılan deneyler) deney elemanlarının ilk numunesidir. 2450 mm uzunluğunda ki ahşap kiriş üzerinde monotonik statik yükleme testi yapılacaktır. Mesnet aralığı 1900 mm olarak ayarlanan ahşap kiriş, 322.41 Test Frame deney cihazı üzerine yerleştirilmiştir. Ardından ahşap kiriş üzerine kuvvet uygulamayacak şekilde lineer actuator indiriliyor. Monotonik statik test için deney cihazına bilgisayar vasıtasıyla girilen veriler şu şekildedir; ahşap kiriş kalınlığı 80 mm, yüksekliği 200 mm, mesnet açıklığı 1900 mm, yükleme hızı 2 mm/s, ön yükleme 150 N/s, kırılma hassasiyeti %30, kırılma eşik değeri 5 kN, yük hassasiyeti 5 kN,

veri aktarma hızı 5 Hz olarak girilerek deneye Resim 4.26’da gösterildiği şekilde başlanmıştır.



Resim 4.26. Deney elemanı-6 monotonik statik yükleme testi

Ahşap kiriş üzerine yükleme sürecinde çatlama sesleri belli aralıklarla tespit edilmiş, ancak 48 dakika sonra bir anda alt başlık kısmının kırılmasıyla birlikte gövde kısmında ani çatlama ve sonrasında takip eden saniyelerde göçme Resim 4.27, 4.28 ve 4.29’da gösterildiği şekilde ağır hasar olarak oluşmuştur.



Resim 4.27. Deney elemanı-6 alt başlık ve gövde de kırılma



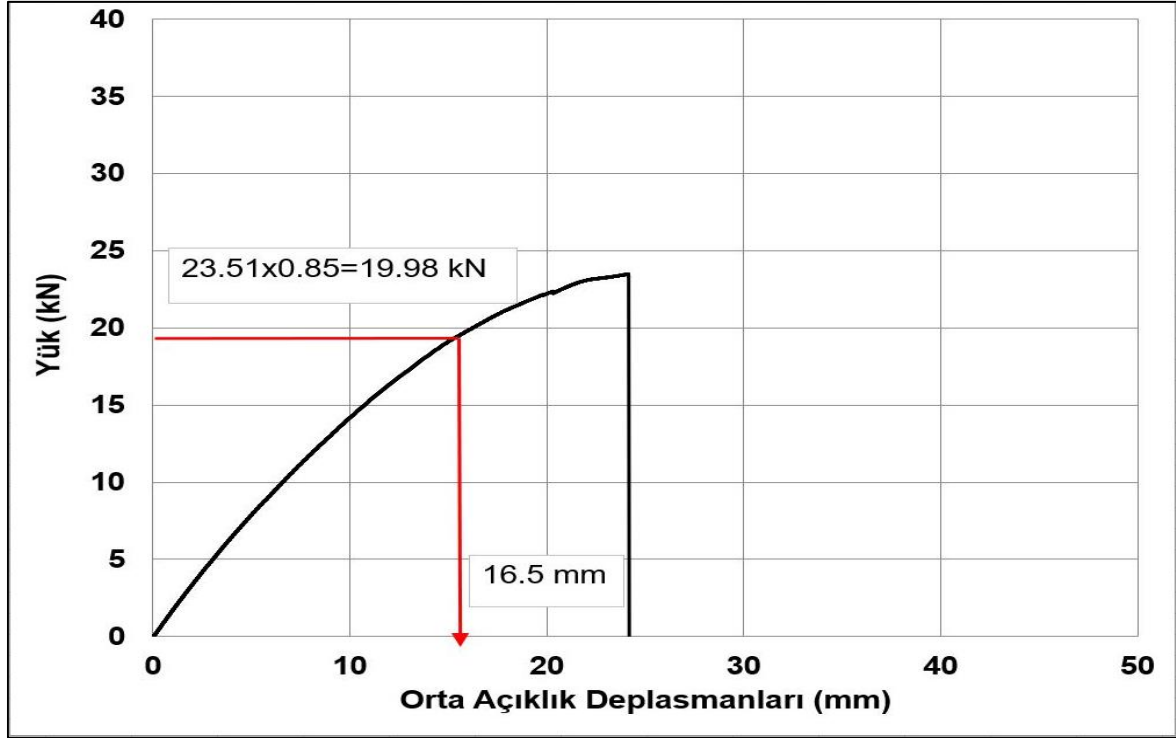
Resim 4.28. Deney elemanı-6 gövde ve alt başlık çatlak



Resim 4.29. Deney elemanı-6 oluşan çatlağın alt kısımda artması

Ahşap kirişin uygulanan yüklemelere karşılık düzenli bir dayanım gösterdiği ve arasına atım yaptığı tespit edilmiştir. Bu atımlardan en yüksek kuvvet değerini gösteren nihai yük dayanım değeri 23,51 kN ve bu nihai kuvvette yapmış olduğu deplasman değeri 24,11 mm olarak ölçülmüştür. Deney elemanı-6 çalışmanın 48. dakikası içinde ölçülen 24,151 mm deplasman ve 23,35 kN yük değeri karşısında, önce alt başlık sonrasında gövde kısmının çatlaması sonucu ağır hasar alarak Şekil 4.3’de grafikte aniden kırılma ve göçme meydana geldiği görülmüştür.

Deney elemanı-6’da monotonik statik yükleme deneyi sonucu ölçülen nihai kuvvet dayanımının %85 ve %10’u kadarı aynı uzunluk ve profil özelliklerine sahip Deney elemanı-7 üzerinde yapılacak olan yorulma deneyinde maksimum ve minimum etkitilecek kuvvetolarak kullanılacaktır. Deney elemanı-6 üzerinde yapılan monotonik deney sonucunda göre Deney elemanı-7 üzerinde yapılacak yorulma deneyinde kullanılacak olan yük değerleri 19,98 kN ve 2,35 kN’dur.



Şekil 4.3. Deney elemanı-6 yük-deplasman grafiği ani göçme

4.7. Deney Elemanı-7

Ahşap kalıp kirişlerde 2. seri deney elemanı olan 2450 mm uzunluktaki Deney elemanı-7 üzerinde yorulma deneyi 322.41 Test Frame cihazı ile yapılmıştır. Mesnet açıklığı 1900 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney elemanı-7 üzerinde Resim 4.30'de görüldüğü gibi yük uygulayacak piston kuvvet uygulamayacak şekilde ahşap kiriş üzerine indirilmiş ve bilgisayara deneyde kullanılacak veriler girilerek teste başlanmıştır.

Yorulma deneyi için girilen veriler; dalganın tipi olarak sinüs dalgası, dalga frekansı olarak 4 Hz, tekrar sayısı 100 000, ön yükleme değeri -1 kN ve veri toplama hızı olarak 5 Hz değerleri seçilmiştir. Deney elemanı-7'ye uygulanan yorulma yüklemesi profilinde maksimum ve minimum yük düzeyleri sırasıyla Deney elemanı-6'in maksimum taşıma gücü değerinin 85%'i ile %10'u olarak belirlenmiştir. Buna göre hesaplanan yorulma yük değerleri aralığı 2,35 kN ile 19,98 kN olarak deney elemanına etkitilmiştir.



Resim 4.30. Deney elemanı-7 yorulma deney düzeneği

Deney elemanı-7 ile yorulma testi sürecinde 2500 tekrarda Resim 4.31’de görüldüğü üzere küçük çatlaklar birleşerek, üst başlık bölgesinde büyük bir çatlığa neden olmuştur.



Resim 4.31. Deney elemanı-7 üzerinde 2500 tekrar hasar oluşumu

Yorulma deneyi, 7 nolu ahşap kirişin üst başlık kısmında oluşan büyük çatlığın ilerleyerek büyümesine sonrasında ise gövde üzerinde çatlak oluşumuna neden olmuştur. Bu çatlak yaklaşık 3 saniye içinde üst başlıktan başlayarak kompozit gövde üzerinden, alt başlığa

ulaşarak göçme meydana getirmiştir. Test sonucunda ahşap kirişin alt-üst başlık ve gövdesi tamamen kırılarak Resim 4.32’de görüldüğü şekilde göçmüştür.



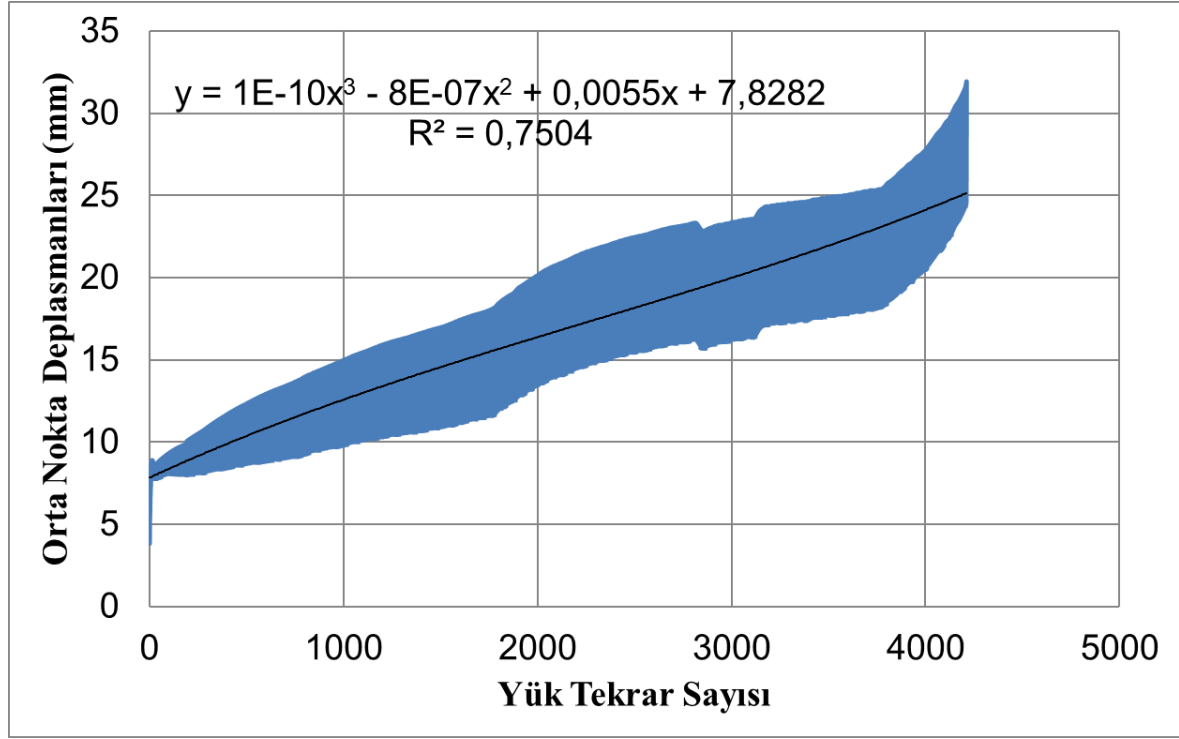
Resim 4.32. Deney elemanı-7 yorulma deneyi sonucunda ağır hasar oluşumu



Resim 4.33. Deney elemanı-7 yorulma deneyi göçme oluşumu

Deney elemanı-7 üzerinde yapılan yorulma testinde, ahşap kirişin 120 mm civarında deplasman yaparken etkili bir çatlama geçirdiği Şekil 4.4’de verilen deplasman – yorulma yüklemesi çevrim sayısı grafiği üzerinde çizdiği büyük atlamadan anlaşılmaktadır.

Tamamen göçme ise deneyin başlangıcından 36 dakika sonra ulaşmış olduğu 4 339 tekrarda gözlemlenmiştir. Kırılma anında ki deplasmanı 31,92 mm ve aldığı yük 18,304 kN'dur.



Şekil 4.4. Deney elemanı-7 deplasman – yorulma yüklemesi çevrim sayısı grafiği

4.8. Deney Elemanı-8

Ahşap kirişler üzerinde yapılan ikinci seri elemanlar ile çarpışma testlerine Deney elemanı-8 ile başlanmıştır. Uzunluğu 2450 mm olan ahşap kirişlerin, ilki olarak 500 mm yükseklikten serbest düşü ile 84 kg ağırlık bırakılarak yapılmıştır. Ahşap kirişin sol üst kısmına ivmeölçer, alt kısma ise 1 adet elektronik birim deformasyon ölçer ve 2 adet LVDT montajları Resim 4.34'te görüldüğü gibi yapıldıktan sonra, Deney elemanı-8'in (2. seri ilk çarpışma deney elemanı) çarpışma deneyi yapılmıştır.



Resim 4.34. Deney elemanı-8 ağırlık düşürme deney düzeneği

Test sonucunda ahşap kirişin sadece üst başlık kısmında Resim 4.35 ve 4.36’da görüldüğü üzere yaklaşık 1120 mm uzunluğunda büyük bir çatlak ve buna bağlı küçük kılcal çatlaklar oluşmuş ancak, göçme meydana gelmemiştir.



Resim 4.35. Deney elemanı-8 çarpışma deneyi hasar oluşumu



Resim 4.36. Deney elemanı-8 üzerinde 1120 mm çatlak oluşumu

4.9. Deney Elemanı-9

Uzunluğu 2450 mm olan ahşap kirişler üzerinde yapılacak olan ikinci çarpışma testi için elemanın sol üst yüzüne ivmeölçer, alt kısmına 1 adet birim deformasyon ölçer ve kiriş orta açıklık kısmına deplasman ölçümü için 2 adet Lvd't'ler takılmıştır. Deney düzeneğinde, kiriş üzerinden 750 mm yükseklik olacak şekilde yerleştirilen 84 kg'lık yük, kaldıraç yardımı ile kaldırılarak Resim 4.37'da gösterildiği şekilde deneye hazır hale getirilmiştir.



Resim 4.37. Deney elemanı-9 çarpışma test düzeneği

Deney elemanı-9 üzerinde yapılan çarpışma deneyi sonucunda ağır hasar almadığı Resim 4.38’de görölmektedir.



Resim 4.38. Deney elemanı-9 çarpışma deney sonucu hasar oluşumu

4.10. Deney Elemanı-10

Son numune olan, 2450 mm uzunluğundaki Deney elemanı-10 üzerinde 1000 mm yükseklikten 84 kg serbest düşü ile çarpışma testi yapılmıştır. Sensörleri yerleştirilen 10 numaralı deney elemanı ağırlık düşürme deney düzeneğine Resim 4.39’da görüldüğü şekilde yerleştirilmiştir.



Resim 4.39. Deney elemanı-10 deney düzeneği genel görünüş

Deney elemanı-10 üzerinde yapılan çarpışma deneyi sonucunda Resim 4.40, 4.41 ve 4.42’de görüldüğü şekilde üst başlık kısmında büyük bir çatlak oluştuğu bunun dışında bir çatlağın oluşmadığı görülmüştür.



Resim 4.40. Deney elemanı-10 çarpışma deneyi hasar oluşumu-1



Resim 4.41. Deney elemanı-10 çarpışma deneyi hasar oluşumu-2

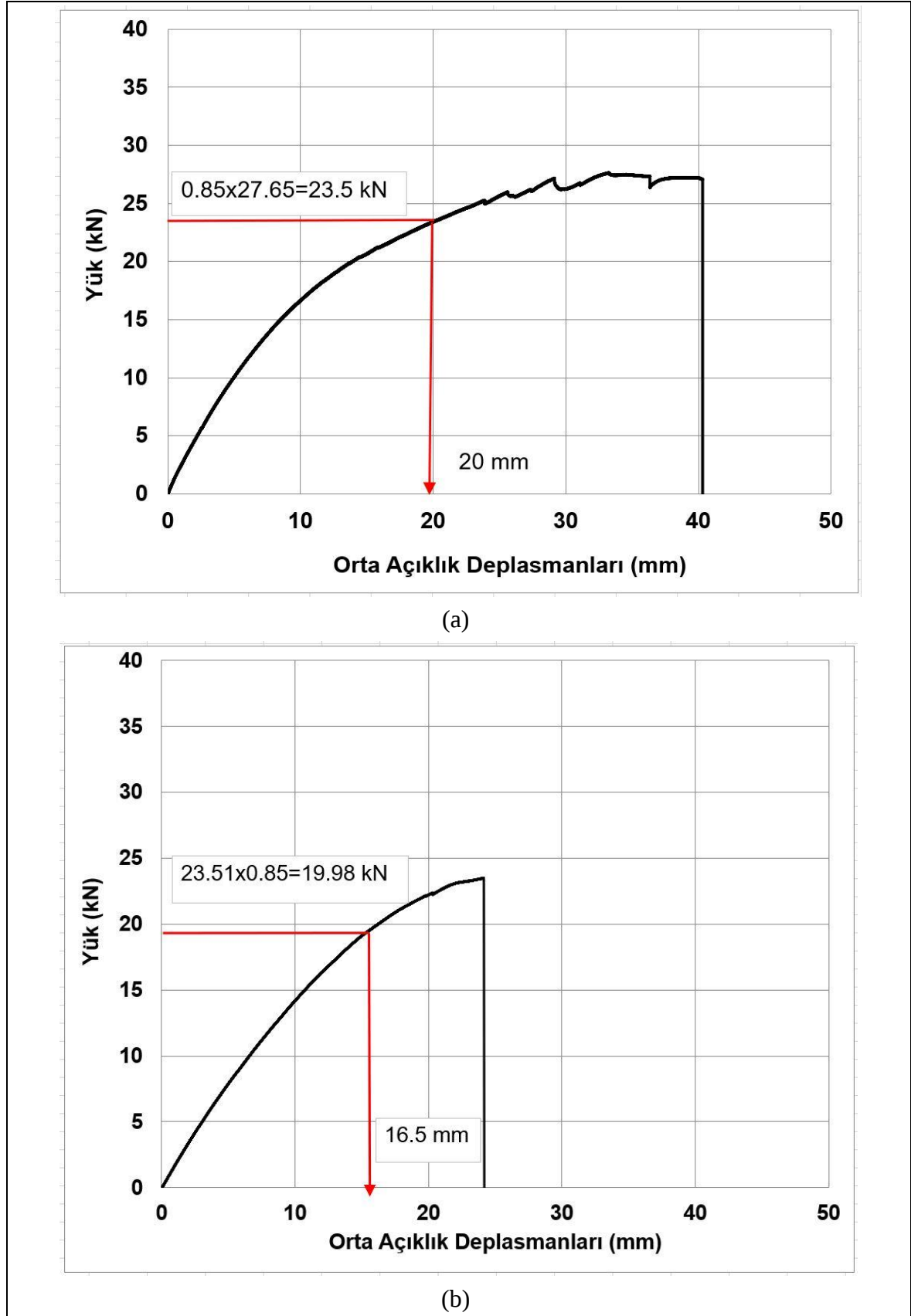


Resim 4.42. Deney elemanı-10 çarpışma deneyi hasar oluşumu-3

5. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyssel çalışma kapsamında ilk olarak ahşap kalıp kirişlerinin monotonik artan statik yükleme etkisi altındaki testleri gerçekleştirilmiş ve kirişlerin yük-deplasman davranışları elde edilmiştir. Yapılan deney sonuçları incelendiğinde 1800 mm açıklıklı Deney elemanı-1'in, 2450 mm açıklığa sahip Deney elemanı-6'dan sırasıyla %18 daha fazla maksimum taşıma gücüne sahip olduğu ve bu yük düzeyine %38 daha fazla deplasman yaparak ulaştığı görülmüştür. Deney elemanı-1 maksimum taşıma gücüne çok daha fazla deplasman yaparak ve daha sünek bir davranış sergileyerek ulaşmasının yanısıra aynı zamanda Deney elemanı-6'dan %37 daha fazla başlangıç rijitliği sergilemiştir. Deney elemanı-1'in deplasman süneklik oranı Deney elemanı-6'dan %21 daha fazla olup, ayrıca Deney elemanı-1'in enerji tüketim kapasitesi Deney elemanı-6'dan %128 gibi çok büyük bir oranda daha fazladır. Deney elemanı-1'in Deney elemanı-6'dan çok daha iyi bir davranış sergilemiş, yüksek dayanım ve rijitliğe sahip bir yük-deplasman davranışı göstermiş olmasına rağmen aynı zamanda daha iyi bir süneklik ve enerji tüketim kapasitesi performansı göstermiştir.

1800 mm uzunluğundaki Deney elemanı-1 ve 2450 mm uzunluğundaki Deney elemanı-6 deney elemanlarının testler sonucunda elde edilen yük-deplasman grafikleri Şekil 5.1'de ve belirlenen sonuçlar ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

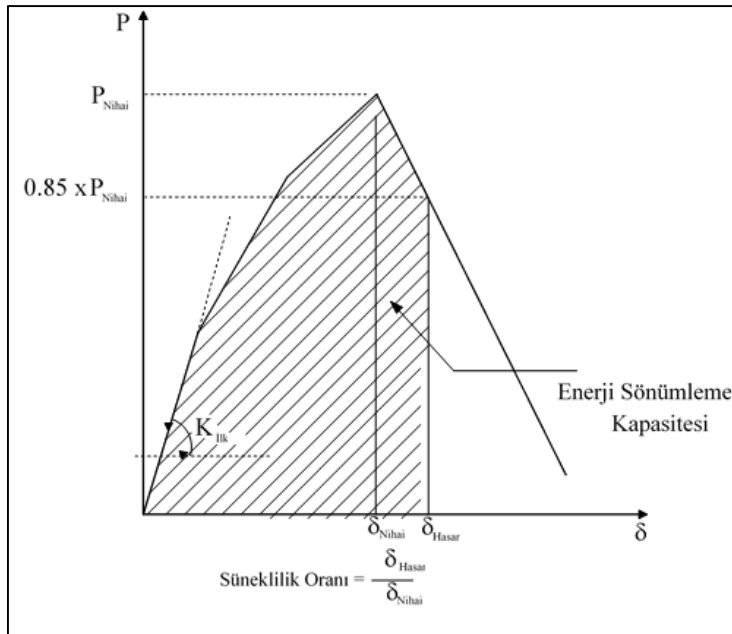


Şekil 5.1. Deney elemanlarının statik yük – deplasman grafikleri; a) Deney elemanı-1 monotonik static yükleme – deplasman grafiği, b) Deney elemanı-6 monotonik static yükleme – deplasman grafiği

Çizelge 5.1. Statik yüklemenin deneysel sonuçları

Deney Numarası	Nihai Yük (kN)	Nihai Yükleme deplasman değerleri (mm)	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Süneklik Oranı (%)	Enerji Tüketim Kapasitesi (kN-mm)
1	27.65	33.20	2.27	1.21	834.21
6	23.51	24.11	1.66	1.00	365.62

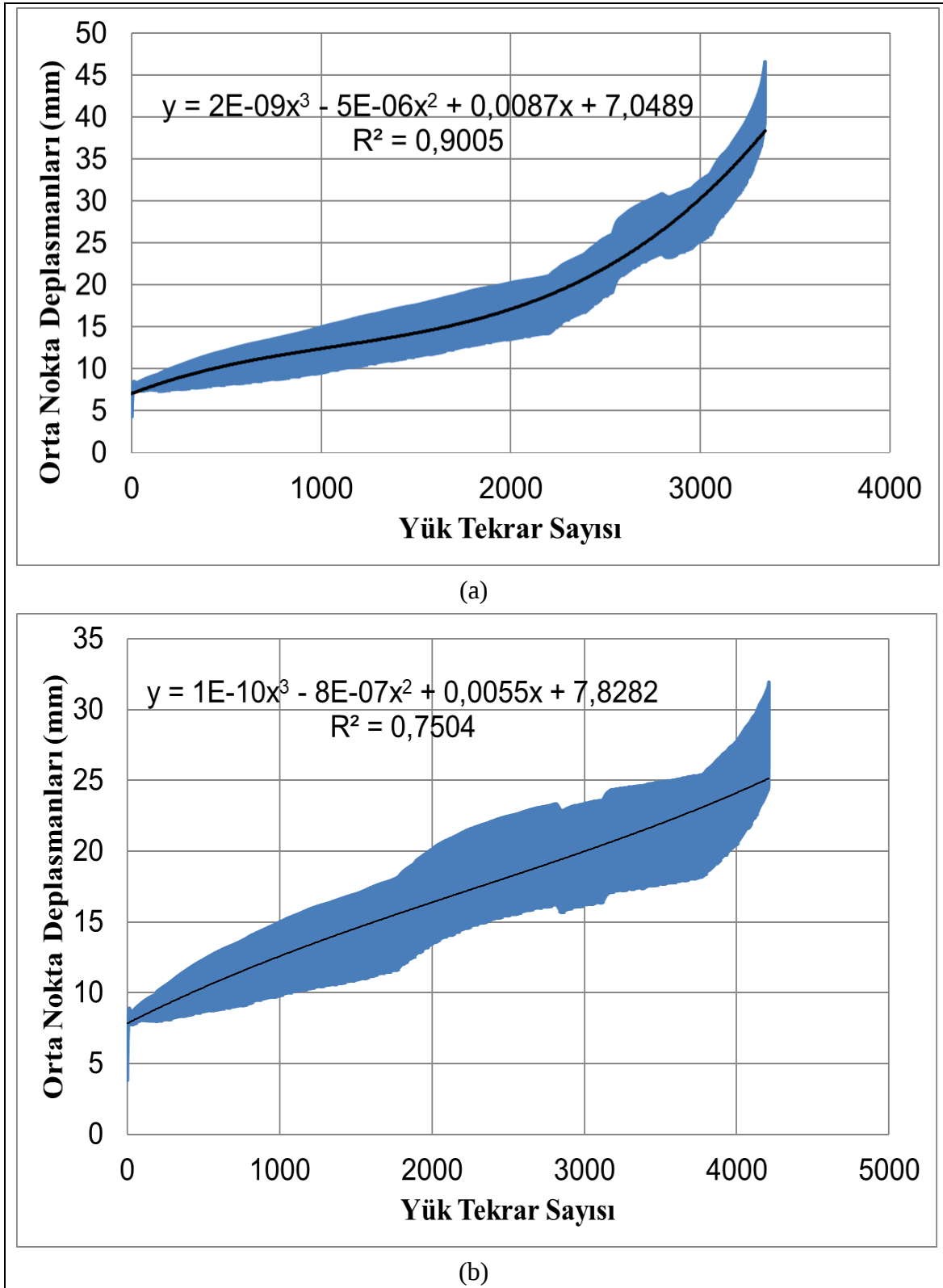
Deneyler sonucunda elde edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmış ve belirlenmiştir. Deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri yük-deplasman grafiğinde eğim değişikliğinin ilk olarak meydana geldiği noktayı orjine bağlayan doğrunun eğimi hesaplanarak belirlenmiştir. Deplasman süneklik oranı değerleri deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerlerinin 15% azalarak %85'i düzeyine düştüğü nokta göçme noktası olarak tanımlanmış ve bu noktanın deplasman değerinin, maksimum taşıma gücüne ulaşılan deplasman değerine oranlanması ile hesaplanmıştır. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesi değerleri yük-deplasman grafiklerinin göçme noktasına kadar olan kısımlarının altında kalan bölümlerinin alanının hesaplanması ile elde edilmiştir. Göçme noktası deplasman süneklik oranları için tanımlanan ve kullanılan nokta ile özdeştir. Deney elemanları için hesaplanan değerlerin belirlenmesinde kullanılan metodlar Şekil 5.2'de sunulmuştur.



Şekil 5.2. Nihai yük kapasitesi, ilk sertlik, deplasmanlı süneklik oranları ve enerji yayılma kapasitesinin hesaplama yaklaşımı

Çalışmada incelenen ikinci yükleme türü yorulma yüklemesidir. 1800 mm uzunluğundaki ahşap kiriş Deney elemanı-2'ye uygulanan yorulma yüklemesi profili, Deney elemanı-1'den elde edilen sonuçlar kullanılarak belirlenmiştir. Deney elemanı-2'ye uygulanan yorulma yüklemesi profilinde maksimum ve minimum yük düzeyleri sırasıyla Deney elemanı-1'in maksimum taşıma gücü değerinin %85'i ile %10'u olarak belirlenmiştir. Deney elemanı-2'ye uygulanan 3373 yükleme çevrimi sonucunda deney elemanı göçmüş ve test sonuçlanmıştır. Deney elemanına yorulma yüklemesi uygulanmaya başlandığında kiriş orta nokta deplasmanı 4,34 mm değerinde iken, test sonucunda göçmeden hemen önce orta nokta deplasmanı değeri 46,58 mm'ye kadar artış göstermiştir. Aynı özelliklerdeki Deney elemanı-1 statik yükleme etkisi altında 23,5 kN yük düzeyinde 20 mm deplasman yaparken, yorulma yüklemesi etkisinde aynı yük düzeyindeki deplasman değeri 3373 yükleme çevrimi sonucunda %133 daha fazla olmuştur. Deney elemanına uygulanan yorulma yüklemesi profili etkisinde yükleme değeri maksimum ve minimum değerler arasında değişim gösterirken kiriş orta nokta deplasmanındaki değişim miktarı test sonunda 6,61 mm'ye kadar artış göstermiştir.

Deney elemanı-7 ile Deney elemanı-6 özdeş özelliklerde olup, 2450 mm uzunluğunda ahşap kiriş test elemanına yorulma yüklemesi uygulanmıştır. Deney elemanı-7'ye uygulanan yorulma yüklemesi maksimum ve minimum değerleri Deney elemanı-6'nın maksimum taşıma gücü değerinin sırasıyla %85'i ve %10'u olarak, 1800 mm uzunluğundaki kiriş deney elemanı ile benzer şekilde belirlenmiştir. Deney elemanı-7'de uygulanan yorulma yüklemesi 4339 yükleme çevriminden sonra test elemanı göçmüş ve deneye son verilmiştir. Deneyin başlangıcında Deney elemanı-7 kirişinin orta nokta deplasman değeri 3,83 mm iken, test sonucunda 4339 yükleme çevrimi uygulandıktan sonra, hemen göçmeden önce kiriş orta nokta deplasmanı değeri 31,92 mm'ye kadar artış göstermiştir. Aynı özelliklerde statik yükleme etkisinde test edilen Deney elemanı-6'da aynı 19,98 kN yük düzeyinde kiriş orta nokta deplasmanı değeri 16,5 mm olup, yorulma yüklemesi etkisindeki Deney elemanı-7'de test sonunda hemen göçme öncesinde kiriş orta nokta deplasmanı değeri %93 daha fazla düzeye kadar artış göstermiştir. Deney elemanı-7'ye uygulanan yorulma yüklemesi etkisinde test sonunda, göçme öncesinde maksimum ve minimum yük düzeylerinde kiriş orta nokta deplasmanı değerleri arasındaki fark 7,2 mm değerine kadar artış göstermiştir. Deney elemanı-2'ye ve Deney elemanı-7'ye uygulanan yorulma testleri sonucunda elde edilen deplasman değişimi grafikleri Şekil 5.3'de ve deney sonuçları ise Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Yorulma yüklemesi altındaki deney elemanlarının deplasman grafikleri: a) Deney elemanı-2 deplasman – yorulma yüklemesi tekrar sayısı grafiği, b) Deney elemanı-7 deplasman – yorulma yüklemesi tekrar sayısı grafiği

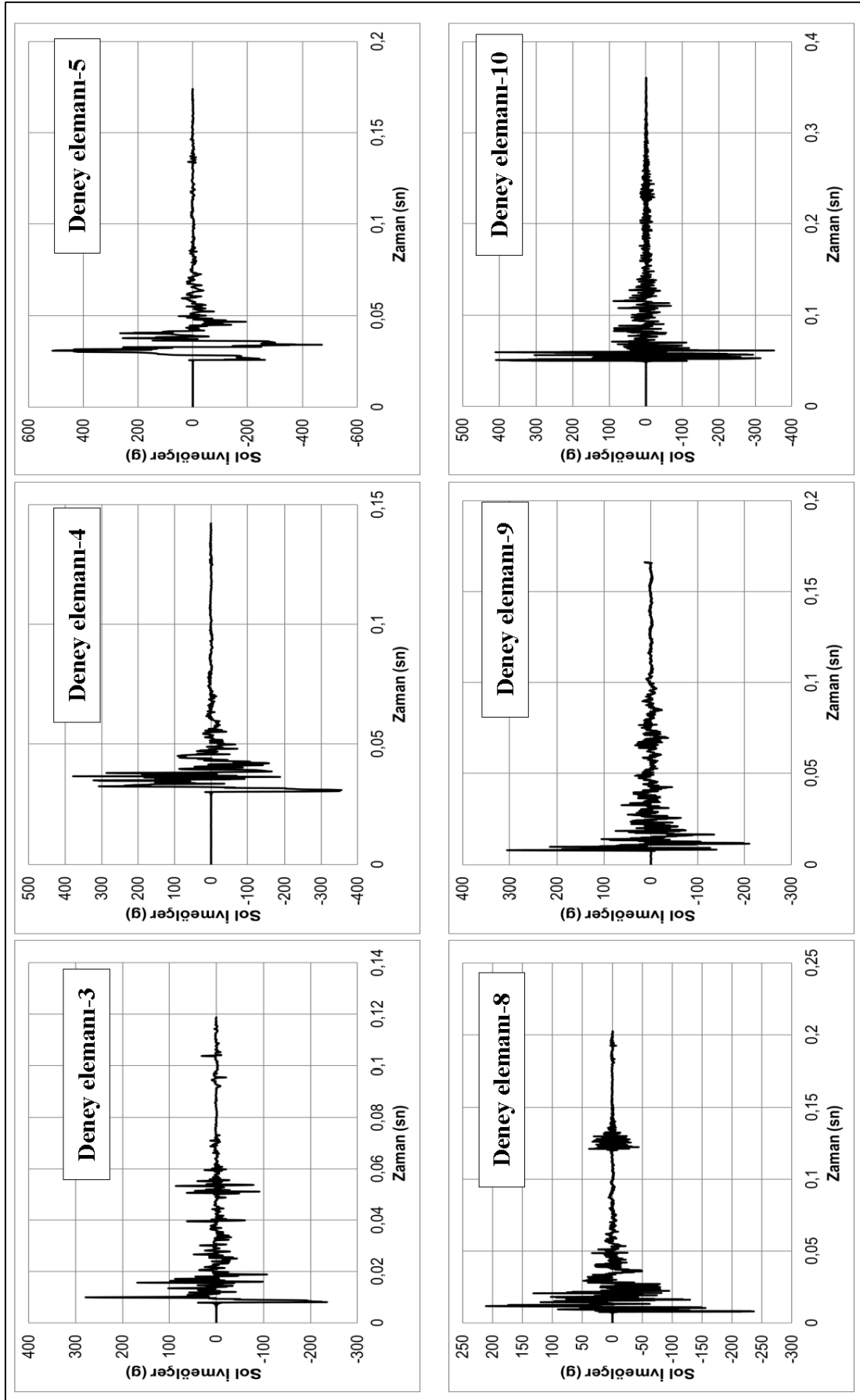
Çizelge 5.2. Yorulma yüklemesi deney sonuçları

Deney Numarası	Yorulma Yükleri (kN)		Deplasmanlar (mm)		Yükleme Tekrar Sayıları
	Maksimum	Minimum	Hasar Durumunda	Başlangıç	
2	23.50	2.77	46.58	4.34	3373
7	19.98	2.35	31.92	3.83	4339

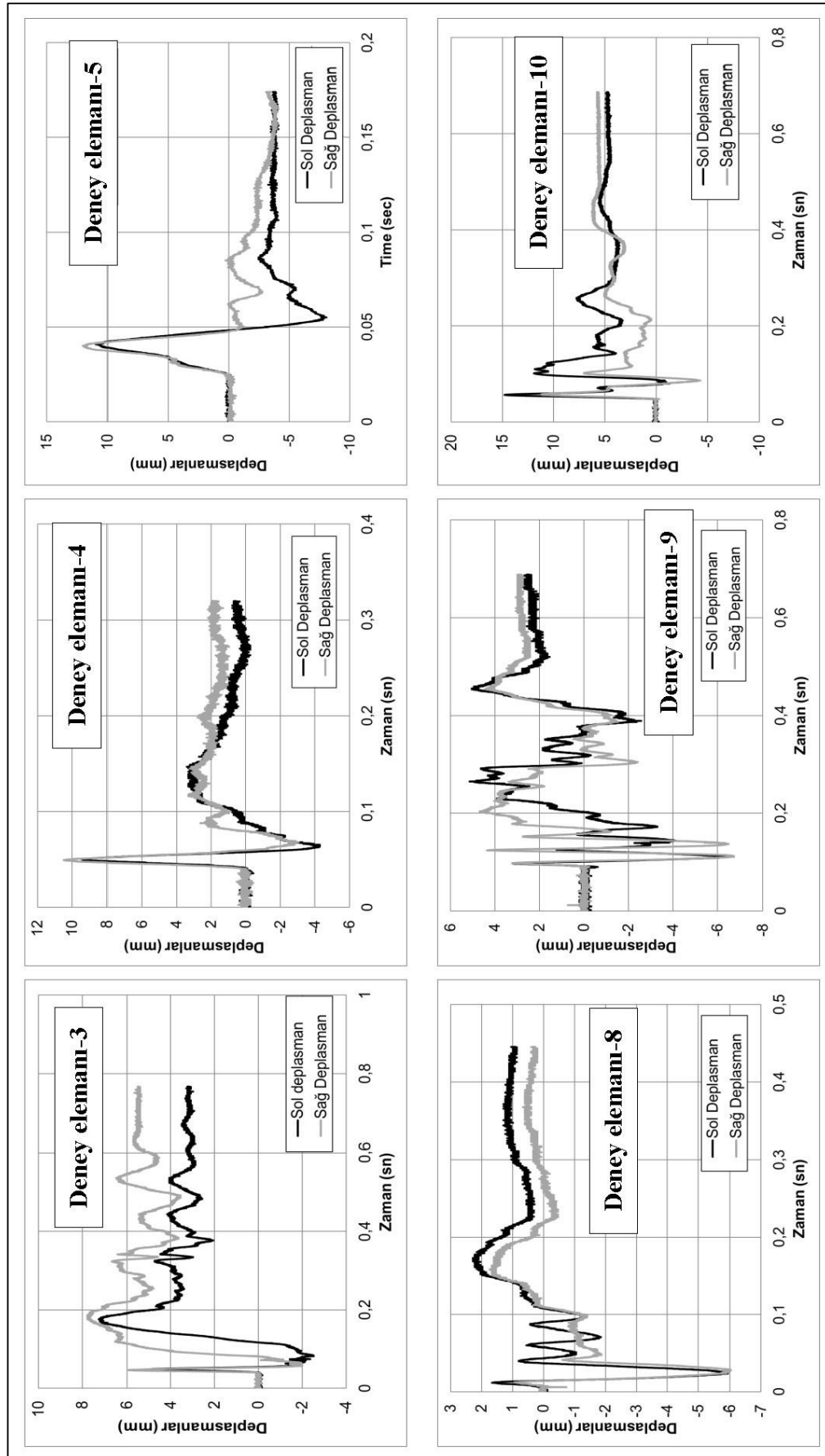
Deneyssel çalışma kapsamında 1800 ve 2450 mm açıklıklara sahip ahşap kalıp kirişlerine üçüncü yükleme türü olarak ani dinamik çarpma yüklemesi uygulanmıştır. Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi 3 farklı enerji düzeyinde uygulanabilmesi için 3 farklı yükseklikten 84 kg ağırlığındaki çekiç düşürülerek testler gerçekleştirilmiştir.

Deneyssel programda ilk olarak 1800 mm açıklığa sahip Deney elemanı-3, 4, ve 5 deney elemanlarına sırasıyla 500, 750 ve 1000 mm yükseklikten düşürülen ağırlık etkisiyle çarpma yüklemesi uygulanmıştır. 2450 mm açıklığa sahip Deney elemanlar-8, 9, ve 10 da aynı şekilde sırasıyla 500, 750 ve 1000 mm yükseklikten sabit ağırlıktaki çekiç düşürülerek çarpma testleri yapılmıştır.

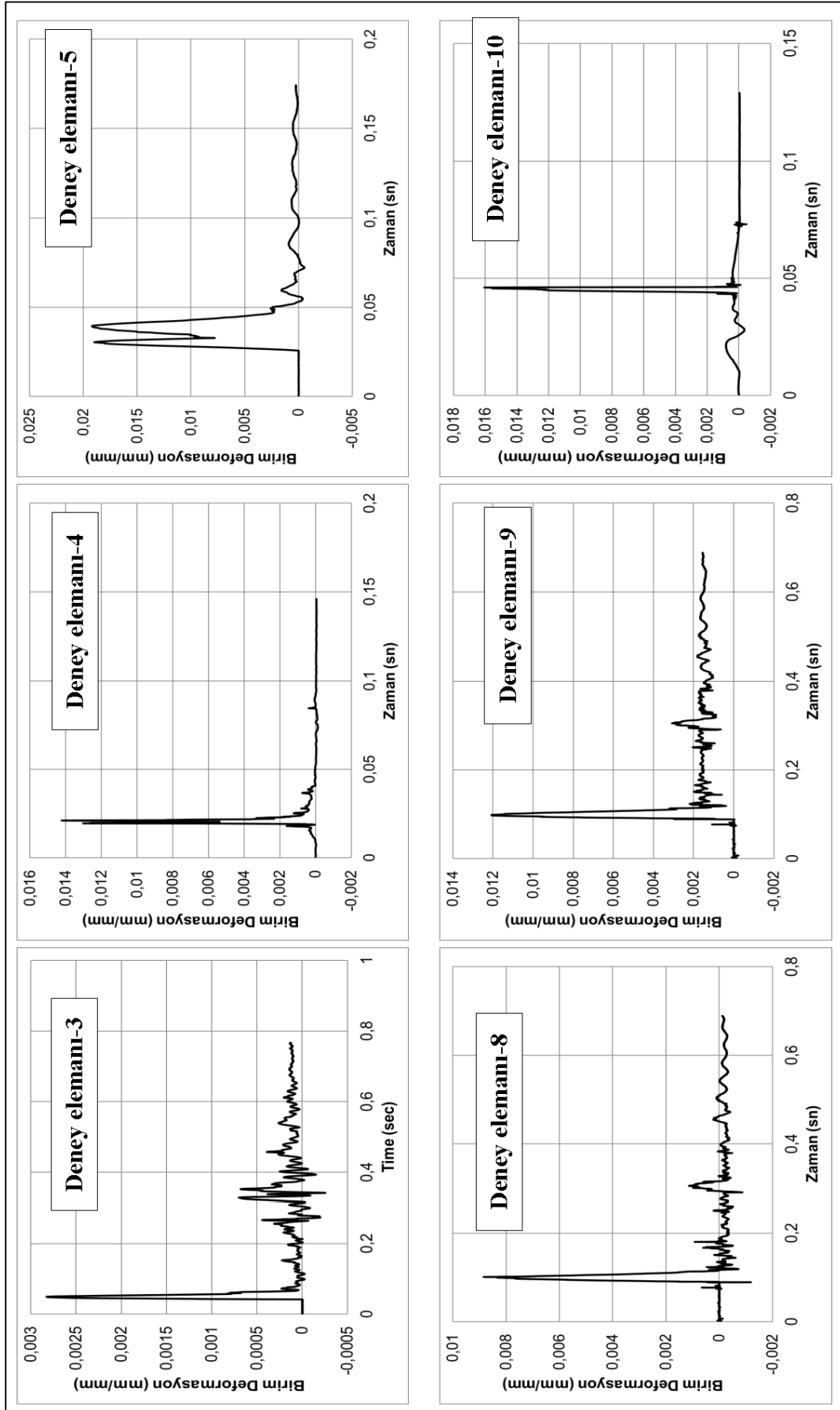
Deney elemanlarından ölçülen sol ivme-zaman, sol ve sağ deplasman-zaman, maksimum birim şekil değiştirme zaman ve uygulanan çarpma yüklemesi zaman grafikleri sırasıyla Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7’de sunulmuştur. Deney elemanlarına uygulanan çarpma testleri sonucunda elde edilen deney sonuçları ise Çizelge 5.3’de verilmiştir.



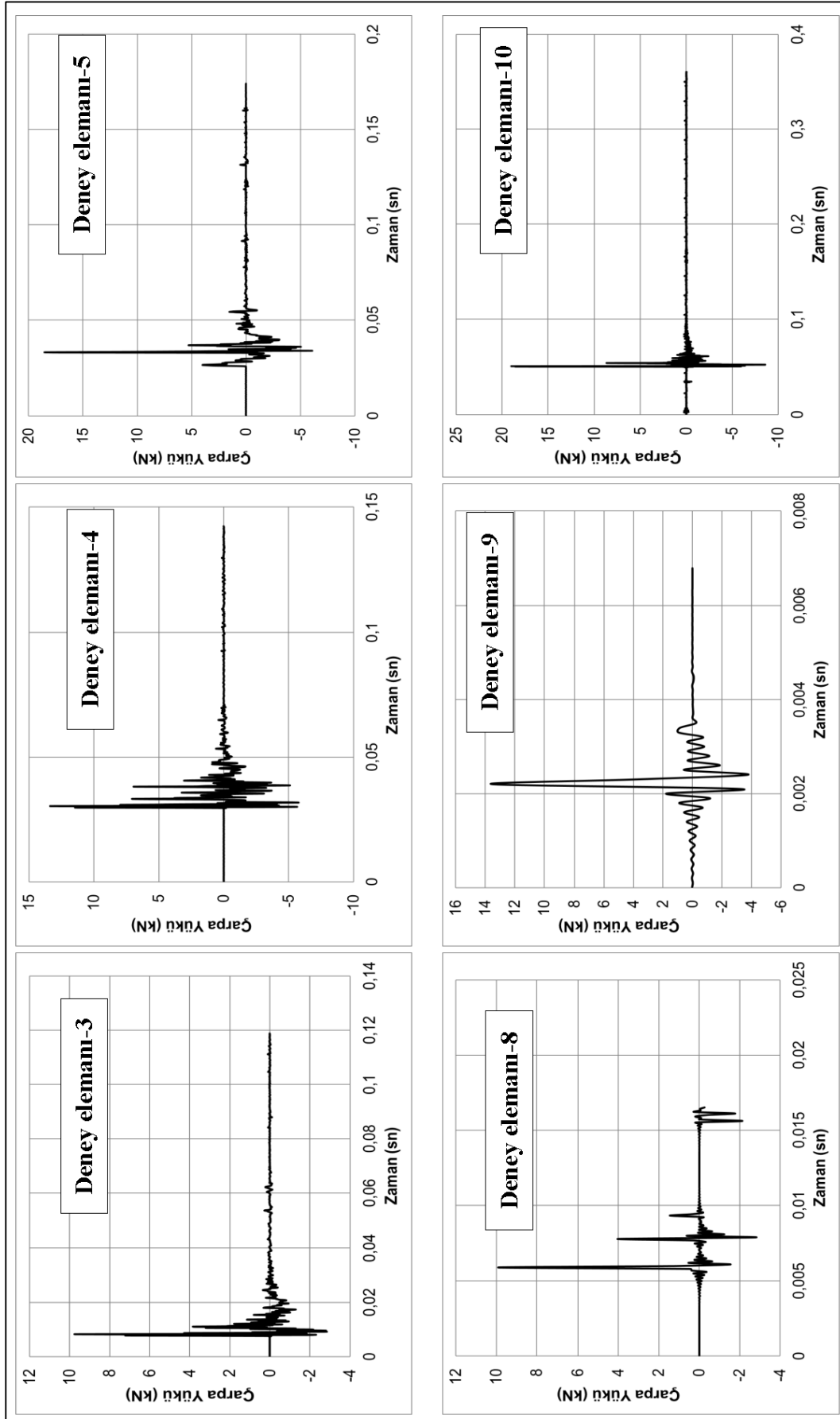
Şekil 5.4. Çarpa etkisi altındaki elemanların sol ivmeölçer – zaman grafikleri



Şekil 5.5. Çarpma etkisi altındaki elemanların deplasman – zaman grafikleri



Şekil 5.6. Çarpma etkisi altındaki elemanların maksimum deformasyon – zaman grafikleri



Şekil 5.7. Deney elemanlarının çarpma yükü – zaman grafikleri

Çizelge 5.3. Çarpışma testlerinin deney sonuçları

Deney Numarası	Sol İvmeölçer (g)		Sol Deplasman (mm)	Sağ Deplasman (mm)	Maksimum Deformasyon (mm/mm)	Çarpma Yüğü (kN)
	Maksimum	Minimum				
3	277.55	-232.15	9.77	9.78	0.01042	9.63
4	378.01	-355.50	13.73	13.56	0.01421	13.37
5	510.45	-469.25	19.01	16.11	0.01920	18.54
8	211.08	-236.10	8.21	7.76	0.00884	9.90
9	305.03	-208.46	11.62	11.39	0.01208	13.50
10	410.50	-348.57	16.11	15.51	0.01591	18.49

1800 mm açıklığa sahip Deney elemanları-3, 4 ve 5'e ait test sonuçları incelendiğinde artan düşü yüksekliği ile test elemanlarına uygulanan çarpma enerjisi ve yüklemesinin artış göstermesi sonucunda deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerleri, kiriş orta noktası deplasman değerleri, kiriş çekme yüzeyi maksimum birim şekil değiştirme değerlerinin hepsi de artış göstermiştir. 1000 mm yükseklikten düşü uygulanarak test edilen Deney elemanı-5, 750 mm yükseklik ile test edilen Deney elemanı-4'den sırasıyla %35, %38, %19, ve %35 oranlarında daha fazla maksimum ivme, maksimum sol deplasman, maksimum sağ deplasman ve maksimum birim şekil değiştirme değerleri sergilemiştir. Deney elemanı-5'e uygulanan çarpma yüklemesi ise Deney elemanı-4'den %39 daha büyük değere sahiptir. 750 mm düşü yüksekliği ile test edilen Deney elemanı-4, 500 mm düşü yüksekliği ile deneyi gerçekleştirilen Deney elemanı-3'den sırasıyla %36, %41, %39 ve %36 oranlarında daha fazla maksimum ivme, maksimum sol ve sağ deplasman ile maksimum birim deformasyon değerlerine sahiptir.

Benzer davranış trendi 2450 mm açıklığa sahip Deney elemanı-8, 9 ve 10'da da gözlenmiştir. Düşü yüksekliğinin artması ile uygulanan çarpma enerjisi artmış dolayısıyla deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme, maksimum deplasman, maksimum birim şekil değiştirme değerlerinin hepsi önemli oranlarda artış göstermiştir. 1000 mm yükseklikten düşü uygulanarak test edilen Deney elemanı-10, 750 mm yükseklik ile test edilen Deney elemanı-9'dan sırasıyla %35, %39, %36, ve %32 oranlarında daha fazla maksimum ivme, maksimum sol deplasman, maksimum sağ deplasman ve maksimum birim şekil değiştirme değerleri sergilemiştir. Deney elemanı-10'a uygulanan çarpma yüklemesi ise Deney elemanı-9'dan %37 daha büyük değere sahiptir. 750 mm düşü yüksekliği ile test

edilen Deney elemanı-9, 500 mm düşü yüksekliği ile deneyi gerçekleştirilen Deney elemanı-8'den sırasıyla %45, %42, %47 ve 37% oranlarında daha fazla maksimum ivme, maksimum sol ve sağ deplasman ile maksimum birim deformasyon değerlerine sahiptir.

Çarpma yüklemesi etkisinde ahşap kiriş deney elemanlarının açıklıkları artış gösterdiğinde kiriş deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme, maksimum sol ve sağ deplasmanlar ile maksimum birim şekil değiştirme değerlerinin tümü azalmıştır. 1800 mm açıklığa sahip deney elemanlarının maksimum ivme, maksimum sol ve sağ deplasman ile maksimum birim deformasyon değerleri, 2450 mm açıklığa sahip deney elemanlarından sırasıyla ortalama %27, %18, %16 ve %19 oranlarında daha büyük elde edilmiştir. Deney elemanlarına uygulanan yükleme türlerine bağlı olarak test sonrasında deney elemanlarında meydana gelen hasar dağılımı ve göçme mekanizmaları Resim 5.1'de seçilerek verilen fotoğraflardan görülmektedir.



Deney elemanı-1



Deney elemanı-2



Deney elemanı-3



Deney elemanı-4



Deney elemanı-5



Deney elemanı-6



Deney elemanı-7



Deney elemanı-8



Deney elemanı-9



Deney elemanı-10

Resim 5.1. Deney elemanlarında meydana gelen hasarlar ve göçmeler

Statik yükleme etkisinde test edilen Deney elemanı-1 ve Deney elemanı-6'da meydana gelen göçme mekanizmaları incelendiğinde, kiriş orta noktasında yüklemenin etkitildiği kesitte, ahşap kirişin alt kısmında bulunan çekme bölgesi yüzeyinden başlayarak kirişin üst kısmına doğru ilerleyen dik bir eğilme çatlağı olduğu görülmektedir. Kirişte meydana gelen hasar ve çatlaklar yüklemenin uygulandığı kiriş orta noktasındaki kesite yakın bir bölgede lokalize olmuş ve hasar kiriş üzerine yayılmamıştır. Kiriş üst başlığında yüklemenin uygulandığı noktada belirli bir bölgede ezilme meydana gelmiş, kiriş alt başlığı tüm kesit boyunca çatlayarak, geniş bir eğilme çatlağı kiriş orta noktasına ve yükün uygulandığı noktaya yakın bir bölgede gelişmiştir. Kiriş üzerinde dağılım gösteren bir çatlak veya hasar meydana gelmemiş, hasar ve plastik deformasyon kiriş orta noktasında yükün uygulandığı noktada meydana gelmiştir.

Yorulma yüklemesinin uygulandığı Deney elemanı-2 ve Deney elemanı-7'nin göçme mekanizmaları incelendiğinde deney elemanlarında meydana gelen hasar ve çatlak dağılımının statik yüklemeye göre daha fazla sayıda olduğu ve kiriş açıklığı boyunca yayılım gösterdiği görülmektedir. Yorulma yüklemesi etkisiyle en geniş çatlaklar ve hasar statik yüklemeye olduğu gibi yüklemenin uygulandığı kiriş orta noktasında meydana gelmiş, ancak statik yüklemeye olduğu gibi hasar bu bölge ile sınırlı kalmamış ve kiriş boyunca yayılım göstermiştir. Özellikle yorulma yüklemesinin uygulandığı deney elemanlarında kiriş eksenine paralel yönde kiriş alt ve üst başlığında kiriş boyunca ilerleyen ayrılma çatlakları meydana gelmiştir. Yorulma yüklemesi etkisinde meydana gelen hasar 2450 mm açıklığa sahip Deney elemanı-7'de çok daha fazla olmuş, meydana gelen çatlakların sayısı ve genişliği 1800 mm açıklıklı Deney elemanı-2'ye göre daha fazla oluşmuştur.

Çarpma yüklemesinin uygulandığı deney elemanlarının göçme mekanizmaları incelendiğinde deney elemanlarına uygulanan çarpma enerjisi arttıkça, deney elemanlarında meydana gelen hasar ve çatlak dağılımı önemli oranda artış göstermiştir. Ayrıca çarpma yüklemesi etkisinde test edilen deney elemanlarında meydana gelen hasar dağılımı ve çatlakların statik ve yorulma yüklemesi etkisinde oluşanlara göre daha büyük olduğu, deney elemanlarının çok daha ağır hasar aldıkları görülmüştür. Deney elemanlarında çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çatlakların sayısı ve genişlikleri diğer yükleme türlerine göre çok daha fazladır. Kirişlerin kesitlerinde ve kiriş eksenı boyunca meydana gelen çatlaklar haricinde çarpma yüklemesi etkisiyle kiriş orta noktasında kiriş üst ve alt

başlıklarından parça kopmaları da meydana gelmiş, kiriş orta noktasında çok daha ağır hasar oluştuğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yürütülen çalışma kapsamında ahşap kalıp kirişlerinin değişik yükleme türleri etkisindeki genel davranışları ve performansları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler; ahşap kalıp kirişlerinin açıklığı ve ahşap kalıp kirişlerine uygulanan yükleme türüdür. Çalışmada deney elemanı olarak fabrikasyon şekilde kalıp kirişi üretimi yapan ve yaygın olarak tercih edilen DOKA® firmasının ürettiği H20 top P türü ahşap kalıp kirişi seçilmiştir. 2 farklı açıklığa sahip kirişlere monotonik olarak artırılan statik yükleme, yüksek yük düzeyli yorulma yüklemesi ve 3 farklı enerji düzeyinde ani dinamik çarpma yüklemesi etkiltilerek testler gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda ahşap kalıp kiriş deney elemanlarının 3 farklı yükleme türü etkisindeki, yük-deplasman davranışları, taşıma güçleri, rijitlikleri, deplasman süneklilik oranları, enerji tüketim kapasiteleri, ivme, deplasman ve birim şekil değiştirme değerlerinin zamana göre değişimleri ve göçme mekanizmaları incelenerek yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Ahşap kalıp kirişleri kullanım ömürleri esnasında çok farklı yükleme türleri etkisinde kalabilen, kalıp sistemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan ve betonarme yapıların imalatları esnasında dayanım kazanana kadar yapının yüklerini taşıyan temel kalıp sistemi yapı elemanlarıdır. Yapılan incelemede fabrikasyon olarak üretilen ahşap kalıp kirişlerinin yapısal davranışlarını inceleyen ve değişik yükleme türleri etkisindeki performanslarını araştıran kapsamlı bir deneysel çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma düzenlenmiştir. Çalışmadan elde edilen verilerin bu konudaki literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Ahşap kalıp kirişleri kullanım ömürleri esnasında monotonik olarak artan statik yükleme, yüksek yük düzeyli yorulma ve ani dinamik çarpma yüklemesi gibi değişik yükleme türleri etkisinde kalabilecek yapısal elemanlardır. Bu üç farklı yükleme etkisi altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiş ve yük-deplasman davranışları elde edilmiştir.
- Monotonik olarak artan statik yükleme etkisi altında ahşap kalıp kirişlerinin açıklıkları arttıkça kirişlerin taşıma gücü, başlangıç rijitliği değerlerinin azalmasının yanısıra aynı anda deplasman süneklilik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri de azalmıştır. 1800 mm açıklığa sahip ahşap kiriş deney elemanlarının maksimum taşıma güçleri ve rijitliklerinin yanısıra aynı anda deplasman süneklilik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri de daha uzun açıklığa sahip 2450 mm uzunluğundaki ahşap kirişlerden daha fazla olduğu

belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç kalıp sistemleri oluşturulurken mimari zorunluluklar nedeniyle geniş açıklıkların olduğu kalıp sistemlerinde ara mesnetler oluşturularak uzun açıklıkların tek ve daha uzun kalıp kirişleri ile geçilmesi yerine daha kısa kirişler ile geçilmesinin daha iyi bir çözüm olabileceğini göstermiştir.

- Yorulma yükleri etkisi altında kısa uzunluğa sahip kirişlerin daha az yükleme tekrarı sonucunda kiriş orta noktasında meydana gelen deplasman değerlerinin çok daha büyük değerlere ulaştıkları ve uzun kirişlerde deplasman değerlerinin daha düşük değerlerde kalarak, fazla yükleme tekrar sayılarında kirişlerin göçtükleri elde edilen önemli deneysel bir bulgudur. Yorulma yüklemesi etkisi altında uzun açıklığa sahip ahşap kirişler kısa açıklıklı kirişlerden daha başarılı bir performans sergilemişlerdir.
- Yorulma yüklemesinde uygulanan yükleme profilinde ahşap kiriş test elemanlarına etiketlenen maksimum yorulma yük düzeyi, deney elemanlarının statik yükleme sonucunda belirlenen maksimum taşıma gücü değerlerinin %85'i düzeyine kadar çıkartılmıştır. Deney elemanlarına uygulanan yüksek yük düzeyli yorulma yüklemesi, ahşap kirişlerin servis ömürlerini kısaltmış ve deney elemanları 3373 ve 4339 gibi oldukça düşük yükleme tekrarları sonucunda göçmeye ulaşmışlardır. Elde edilen bu sonuç kalıp kirişlerinin kullanım ömürleri içerisinde çok daha uzun süre kullanılabilmeleri için servis yüklerinin, maksimum taşıma güçleri değerlerinin çok daha altında kullanılmaları gerektiği, kapasitelerine yakın düzeylerde kullanılmaları durumunda çok daha kısa sürede servis dışı bırakılmaları gerektiğini göstermiştir. Özellikle daha kısa uzunluğa sahip kirişlerde servis ömrü, açıklığı uzun olanlara göre daha fazla kısalmaktadır.
- Yorulma yüklemesi ahşap kalıp kirişleri üzerinde monotonik olarak artan statik yüklemeye göre çok daha olumsuz etkiler yaratmış, taşıma gücünün %85'i düzeyinde kirişlerde meydana gelen deplasman, statik yüklemeye aynı yük düzeyi için elde edilen deplasmanlardan ortalama %113 daha fazla olmuştur. Kiriş boyu uzadıkça statik yüklemeye göre deplasman değerlerindeki artış oranı azalmış ve yorulma yüklemesinin olumsuz etkileri daha az görülmüştür.
- Deney elemanlarına uygulanan ani dinamik çarpma yüklemesinin enerji düzeyi arttıkça ahşap kiriş elemanlarının ivme, deplasman ve maksimum birim şekil değiştirme değerleri de önemli oranda artış göstermiş ve deney elemanları daha yüksek enerji düzeyli çarpma yüklemesi etkisinde çok daha ağır hasar almıştır. Çarpma yüklemesi etkisinde meydana gelen hasar dağılımı ve çatlak genişlikleri, yorulma ve monotonik statik yükleme türlerine göre çok daha fazladır.

- Ahşap kiriş test elemanlarının açıklığı artıkça çarpma yüklemesi etkisi altındaki performansları iyileşmiştir. Daha uzun ahşap kiriş test elemanları aynı enerji düzeyli çarpma yüklemesi etkisinde daha kısa olan deney elemanlarına göre daha iyi bir performans sergilemiş, daha uzun kirişlerden ölçülen maksimum ivme, açıklık deplasmanları ve maksimum çekme yüzeyi birim şekil değiştirmesi değerlerinin hepsi kısa açıklıklı kirişlerden daha düşük elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Hurd, M.K. (2005). *Formwork for concrete* (7 ed. Vol. 1). United States of America: Michigan American Concrete Institute.
2. Naik, M.B., Rathod, H.A. (2015). A Review on innovating formwork systems. *International Journal of Advanced Research in Engineering, Science & Management*. 1(6), 8.
3. Karke, S.M., Kumathekar, M.B. (2014). *Comparison of the use of traditional and modern formwork systems, in civil engineering systems and sustainable innovations*. G.C. Mishra (Ed.). New Delhi: Excellent Publishing House, 348-351.
4. Poon, C.S., Yip, R., (2005). *Comparison of the use of traditional and low waste formwork systems in Hong Kong*. The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 2741-2748.
5. Shen, L.Y., Jorge Ochoa, J., Shah, M.N., Zhang, X. (2011). The application of urban sustainability indicators – A comparison between various practices. *Habitat International*, 35(1), 17-29.
6. Nemati, K.M. (2007). *Temporary structures: Formwork for concrete, in construction management*. USA: University of Washington, 36.
7. İnternet: Birleşmiş Milletler. (1998). İklim değişikliği çerçeve sözleşmesi. *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fiklim.cob.gov.tr%2Fiklim%2FFiles%2FMevzuat%2Fkyoto_protokol.pdf&date=2019-04-18, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
8. Görgün, H. V. (2013). *Ahşap kirişlerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün tahribatsız ve tahribatlı test yöntemleri ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-11.
9. Boyer, H.E. (1986). *Atlas of fatigue curves- fatigue testing*. Ohio State: ASM International.
10. Franke, S., Franke, B., Harte, A. M. (2015). Failure modes and reinforcement techniques for timber beams–State of the art. *Construction and Building Materials*, 97, 2-13.
11. Doka© Timber-Formwork-Beams - User Information: Instructions for assembly and use (Method Statement) 999791002 – 07/2018.
12. İnternet: André, A., Kliger, R. (2009). *Strengthening of timber beams using FRP, with emphasis on compression strength: a state of the art review*. Proceedings of the Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2009), URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs3.amazonaws.com%2Facademia.edu.documents%2F39879785%2FSTRENGTHENING_OF_TIMBER_BEAMS_USING_FRP_20151110-15700-c5ofb.pdf%3FAWSAccessKeyId%3DAKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%26Expires%3D1555605835%26Signature%3DqpXxO%252BMoq20yfnJa5N25n%252FAGzU%2

53D%26response-content-disposition%3Dinlin&date=2019-04-18, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.

13. Richart, F. E., Williams, C. B. (1943). *Tests of composite timber and concrete beams*. University of Illinois Bulletin, 40, 38.
14. Leichti, R. J., Tang, R. C. (1989). Effect of creep on the reliability of sawn lumber and wood-composite I-beams. *Mathematical and computer modelling*, 12(2), 153-161.
15. Fiorelli, J., Dias, A. A. (2003). Analysis of the strength and stiffness of timber beams reinforced with carbon fiber and glass fiber. *Materials Research*, 6(2), 193-202.
16. Frühwald, E., Serrano, E., Toratti, T., Emilsson, A., & Thelandersson, S. (2007). Design of safe timber structures— How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber. Report TVBK- 3053, *Lund*, 1-222.
17. Kuhlmann, U., Aldi, P. (2008). *Fatigue of timber-concrete-composite beams: characterization of the connection behaviour through push-out test*. Institute of Structural Design, University of Stuttgart, Germany, 1-7.
18. Neubauerová, P. (2012). Timber beams strengthened by carbon-fiber reinforced lamellas. *Procedia Engineering*, 40, 292-297.
19. Gečys, T., Daniūnas, A. (2013). Experimental investigation of glued laminated timber beam to beam connections filled with cement based filler. *Procedia Engineering*, 57, 320-326.
20. Ahmad, Y. (2013). Ductility of timber beams strengthened using fiber reinforced polymer. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 7(5), 535.
21. Fu, M., Liu, Y., Li, N., Zhang, Z., Siviero, E. (2014). Application of modern timber structure in short and medium span bridges in China. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(1), 72-80.
22. Sharma, B., Gatóo, A., Bock, M., Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66-73.
23. Awaludin, A., Rachmawati, K., Aryati, M., Danastri, A. D. (2015). Development of cold formed steel-timber composite for roof structures: compression members. *Procedia Engineering*, 125, 850-856.
24. Yulianto P. P., A. Kitamari, K. Komatsu. (2015). Bending Strength of Damaged Timber Beam Repaired by Adhesive-Vacuumed Method. *Procedia Environmental Sciences* 28-799-803.
25. Liddell, I. (2015). Frei Otto and the development of gridshells. *Case Studies in Structural Engineering*, 4, 39-49.
26. Rumlová, J., Fojtík, R. (2015). The Timber Tie Beam: The Analysis of Spatial Framework Joint. *Procedia Engineering*, 114, 132-139.

27. Ceranic, B., Latham, D., Dean, A. (2015). Sustainable design and building information modelling: case study of energy plus house, Hieron's Wood, Derbyshire UK. *Energy Procedia*, 83, 434-443.
28. Corradi, M., Borri, A., Castori, G., Speranzini, E. (2016). Fully reversible reinforcement of softwood beams with unbonded composite plates. *Composite Structures*, 149, 54-68.
29. Jaskowska-Lemańska, J., Wałach, D. (2016). Impact of the direction of non-destructive test with respect to the annual growth rings of pine wood. *Procedia engineering*, 161, 925-930.
30. Hildebrandt, J., Hagemann, N., Thrän, D. (2017). The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in Europe. *Sustainable cities and society*, 34, 405-418.
31. Raposo, P. C., Correia, J. A., Sousa, D., Salavessa, M. E., Reis, C., Oliveira, C., de Jesus, A. (2017). Mechanical properties of wood construction materials from a building from the 19th century. *Procedia Structural Integrity*, 5, 1097-1101.
32. Halicioğlu, F. H., Yürekli, B. (2016). Ahşap-beton kompozit döşemelerin binalarda ve köprülerde kullanımı üzerine bir inceleme. *Engineering Sciences*, 11(4), 109-124.
33. Juwita, R., Kalsum, S. A. U., Awaludin, A., Samad, F. A. (2017). Structural Test of Traditional Arfak House in Papua. *Procedia Engineering*, 171, 1542-1549.
34. Lokaj, A., Klajmonová, K. (2017). Problems of wood-based I-beams carrying capacity. *Procedia Engineering*, 190, 271-274.
35. Ramage, M. H., Burrige, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P.F. Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333-359.
36. Lokaj, A., Vavrusova, K., Mikolasek, D. (2017). Analysis of behavior and carrying capacity of glued timber-timber joints loaded with bending moment. *Procedia Engineering*, 190, 263-270.
37. Buka-Vaivade, K., Serdjuks, D., Goremikins, V., Vilguts, A., Pakrastins, L. (2017). Experimental verification of design procedure for elements from cross-laminated timber. *Procedia Engineering*, 172, 1212-1219.
38. Fragiaco, M., Gregori, A., Xue, J., Demartino, C., Toso, M. (2018). Timber-concrete composite bridges: Three case studies. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 5(6), 429-438.
39. Barozzi, G., Cosentino, N., Lanzoni, L., Tarantino, A. M. (2018). Safety assessment of historic timber structural elements. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 530-541.
40. Loss, C., Hossain, A., Tannert, T. (2018). Simple cross-laminated timber shear connections with spatially arranged screws. *Engineering Structures*, 173, 340-356.

41. Zaher Ali, Y. A. (2018). Flexural behavior of FRP strengthened concrete-wood composite beams. *Ain Shams Engineering Journal*, 9, 3419-3424
42. Bernard, O., Rostand, M. P., Evelyne, T., Michel, G. (2018). Experimental investigation of mixed mode fracture of tropical wood material. *Procedia Structural Integrity*, 13, 347-352.
43. Croce, P., Beconcini, M. L., Formichi, P., Landi, F., Cardella, D. (2018). Fatigue behaviour of composite timber-concrete beams. *Procedia Structural Integrity*, 11, 363-370.
44. İnternet: MTS Systems Corporation Series 322 Load Frames User's Manual. (2019). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.manualsdir.com%2Fmanuals%2F568024%2Fmts-series-322-load-frames.html&date=2019-04-18>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
45. İnternet: PCB Force Sensor Model 200C50 Installation and Operating Manual. (2019). URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.pcb.com%2Fcontentstore%2Fdocs%2FPCB_Corporate%2FForceTorque%2FProducts%2FManuals+%2F200C50.pdf&date=2019-04-18, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
46. İnternet: PCB Accelerometer Model 352B70 Installation and Operating Manual. (2019). URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.pcb.com%2Fcontentstore%2Fdocs%2FPCB_Corporate%2FVibration%2FProducts%2FManuals%2F352B70.pdf&date=2019-04-18, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
47. İnternet: HBM Strain Gauge Model K-LY 11 Installation and Operating Manual. (2019). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fspectromas.ro%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F10%2FS01265.pdf&date=2019-04-18>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
48. İnternet: OPKON Lineer Potentiometer Model LPS100 Installation and Operating Manual. (2019). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.opkon.com.tr%2FContent%2FUpload%2FKatalog%2FOPKON2017-tr.pdf.pdf&date=2019-04-18>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
49. İnternet: PCB Coaxial Cable Model 003A20 Installation and Operating Manual. (2019). URL: <http://web.sensor-ic.com:8000/ZLXIAZAI/PCB/450465e72e62e952dc67aa05c833f9a6.pdf>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
50. İnternet: National Instruments Signal Acquisition Model 9201, 9234, 9235 Installation and Operating Manual. (2019). URL: <http://www.ni.com/pdf/manuals>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.
51. İnternet: National Instruments Chassis Model cDAQ-9178 Installation and Operating Manual. (2019). URL: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374046a.pdf>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2018.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DÖNMEZ, Taki Ünal
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.04.1990, Gaziantep
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (530) 420 74 33
 e-mail : udonmez90@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Pamukkale Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2016
Lise	Antalya Gebizli Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Swietelsky m.b.H., Almanya	Yapım Şefi
2015-2018	Astaldi-Türkerler A.O., Türkiye	Yapım Mühendisi
2014-2015	OOO BM Construction, Rusya	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

Donmez, T. U. and Anil, O. (2018). *Behavior of CLT Formwork Beams Retrofitting with CFRP Strip under Static Loading*. ISAS 2018 – Winter, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies. Samsun, Turkey.

Hobiler

Kitap Okumak, Futbol, Trekking, Yüzme, Müzik Dinleme



GAZİ GELECEKTİR..