

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**AHŞAP KİRİŞ ELEMANLARININ DENEYSEL OLARAK DAYANIMLARININ
BELİRLENMESİ**

Mehmet OKKA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**AHŞAP KİRİŞ ELEMANLARININ DENEYSEL OLARAK DAYANIMLARININ
BELİRLENMESİ**

Mehmet OKKA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP KİRİŞ ELEMANLARININ DENEYSEL OLARAK DAYANIMLARININ
BELİRLENMESİ**

Mehmet OKKA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

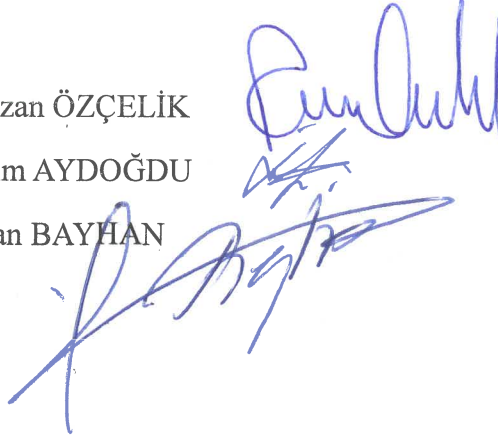
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 06.01./2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Doç. Dr. Beyhan BAYHAN



ÖZET

AHŞAP KİRİŞ ELEMANLARININ DENEYSEL OLARAK DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

Mehmet OKKA

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Ocak 2020; 39 sayfa

Ahşap elemanlar zamanla yapısal, kimyasal, fiziksel, biyolojik ve insan kaynaklı sebeplerle deformasyona uğramaktadır. Aynı zamanda statik ve dinamik yüklerden dolayı ahşap yapı elemanları büyük ölçüde hasara uğramakta olup fazla yükler altında dayanımı yetersiz kalmaktadır. Ahşap yapı elemanlarının dayanıklılığının artırılması, korunması ve gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi için ahşap elemanlarının güçlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında 8x20x290 cm ebatlarında çam solid, çam ekli, ladin solid, ladin ekli ve ladin karışık ekli kiriş ahşap elemanların yükleme çerçevesinde iki noktasal yük altında eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Ahşap elemanlar ALANYALI ENTEGRE AHŞAP SAN. İNŞ. NAKL. TURZ. İHR. TİC. A.Ş. firması tarafından imal edilmiştir. Kiriş elemanlar TS 5497 EN 408 standardına bağlı kalınarak, 4 noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Kirişlere, standartların izin verdiği yükler uygulanmış olup bu doğrultuda yük-deplasman ve moment eğrilik grafikleri oluşturulmuştur.

Yapılan testler sonucunda ahşap kiriş elemanlarının göçme yükleri, ortalama göçme yükleri, göçme yükü altındaki maksimum deplasmanları, göçme yükü altında elemanda meydana gelen moment, eğrilik değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler sonucunda hangi ahşap elemanın dayanımının yüksek olduğu karşılaştırmalı olarak tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Çam ekli, Çam solid, Ladin ekli, Ladin karışık ekli, Ladin solid, Kiriş ahşap elemanlar

JÜRİ: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Doç. Dr. Beyhan BAYHAN

ABSTRACT

EXPERIMENTALLY DETERMINATION OF STRENGTH OF TIMBER BEAM ELEMENTS

Mehmet OKKA

M.Sc. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

January 2020; 39 Pages

The timber structures are deformed in time due to different factors such as chemical, physical, biological and human-induced. Also, the timber structures that are damaged largely due to static and dynamic loads, fail to satisfy under excessive loads. In order to increase of strength of timber structure elements, to protect them and to hand down the next generations in safe, the timber elements need to be reinforced.

Within the scope of this study, bending tests of 8x20x20 cm pine solid, pine attached, spruce solid, spruce attached and spruce mixed attached timber beam elements under two point loads have been performed. Timber elements have been manufactured by ALANYALI ENTEGRE AHŞAP SAN. İNŞ.NAKL.TURZ.İHR.TİC. A.Ş. Keeping to TS 5497 EN 408 Standard, the experiments which are subject to the test apparatus in accordance with the method of determination of flexibility modulus in the global bending have been applied to the beam elements. The loads allowed by the standards have been applied and the load-displacement and moment-curvature graphs have been plotted.

As a result of the tests, the failure loads, average failure loads, maximum displacements, moments and curvature values occurring under failure loads have been measured. According to this, which timber element has high strength has been determined comparatively.

KEYWORDS: Pine attached, Pine solid, Spruce attached, Spruce mixed attached, Spruce solid, Timber structure elements

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

Assoc. Prof. Dr. Beyhan BAYHAN

ÖNSÖZ

Çalışmamda bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, bu konuyu seçmeme vesile olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e teşekkür ederim. Her anımda bana destek olan, bu günlere gelmemde en büyük emeği veren değerli ailem Şerife OKKA ve Halil OKKA'ya sonsuz teşekkürler. Bu çalışma süresince moralimi yüksek tutan, konsantrasyonumu sağlayabilmem için her şeyi yapan ve motivasyonumun kaynakları olan kardeşlerim Ayşen OKKA ve Bayram OKKA'ya teşekkür ederim. Çalışmam sırasında bana destek olan Korkuteli Belediyesine ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmaya destek veren ALANYALI ENTEGRE AHŞAP SAN. İMŞ. NAKL. TURZ. İHR. ve TİC. A.Ş.'ye ve tez juri üyeleri sayın Doç Dr. İbrahim AYDOĞDU ve Doç. Dr. Beyhan BAYHAN'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Ahşabın Özellikleri.....	3
2.1.1. Ahşapların sınıflandırılması	4
2.1.1.1. Ahşapların elde edildikleri ağaçlara göre sınıflandırılması	5
2.1.1.2. Ahşapların kalitelerine göre sınıflandırılması	5
2.1.2. Ahşap malzemenin dayanıklılığı.....	6
2.1.3. Ahşap malzemenin kusurları	6
2.1.4. Ahşap yapılar	8
2.1.4.1. Ahşap yapıların avantajları ve dezavantajları	8
2.1.5. Ahşabın kimyasal özellikleri	9
2.1.6. Ahşabın fiziksel özellikleri.....	10
2.1.6.1. Rutubet.....	10
2.1.6.2. Birim hacim ağırlık.....	10
2.1.6.3. Termik özellikler	11
2.1.6.4. Estetik özellikler	11
2.1.7. Ahşabın mekanik özellikleri.....	11

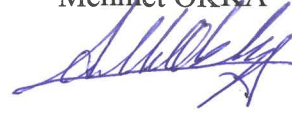
2.2. Literatür Özeti	13
3. MATERYAL VE METOT.....	18
3.1. 4 Noktalı Eğilme Deneyi	18
3.1.1. Deney parçası.....	18
3.1.2. İşlem.....	18
3.2. Eğilme Testleri	19
3.3. Moment – Eğrilik Grafiğinin Oluşturulması.....	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	22
4.1. Çam Solid Kiriş Elemanlar için Eğilme Testleri.....	22
4.2. Çam Ekli Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri	25
4.3. Ladin Solid Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri.....	27
4.4. Ladin Ekli Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri	29
4.5. Ladin Karışık Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri.....	31
5. SONUÇLAR.....	33
6. KAYNAKLAR	35
7. EKLER.....	39
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ahşap Kiriş Elemanlarının Deneysel Olarak Dayanımlarının Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak bulunduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

06/01/2020

Mehmet OKKA



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Eğilme deneyinde, yükleme noktası ile en yakın mesnet arasındaki mesafe(mm)
b	: Eğilme deneyinde enine kesitin genişliği veya daha küçük olan boyutu (mm)
$E_{m,g}$	: Global eğilme esneklik modülü(N/mm^2)
F	: Yük (N)
h	: Bir eğilme deneyinde en kesitin derinliği veya enine kesitin en geniş boyutu veya liflere dik deneylerde deney parçasının yüksekliği(mm)
l	: Eğilmede, mesnet açıklığı veya deney makinesinin basınç ve çekme kolları arasındaki deney parçasının uzunluğu(mm)
w	: Deformasyon (sehim)(mm)
W	: Mukavemet momenti(mm^3)
Φ_i	: İ'ninci andaki eğrilik değeri
ϵ_{ai}	: İ'ninci andaki alt şekil değiştirme değeri
$\epsilon_{üi}$	: İ'ninci andaki üst şekil değiştirme değeri
M_{maxi}	: İ'ninci andaki maksimum moment değeri
g	: Yerçekimi değeri

Kısaltmalar

gr	: Gram
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
LDTV	:Deplasman ölçer
mm	:Milimetre
n	:Newton
rad	:Radyan

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ahşapta rutubet-mukavemet ilişkisi	11
Şekil 2.2. Ahşapta birim ağırlık-rutubet-mukavemet ilişkisi.....	12
Şekil 2.3. Ahşapta gerilme-deformasyon eğrisi	12
Şekil 3.1. Eğilme esnekliği modülünün lokal ölçümü için deney düzeneği	18
Şekil 3.2. Deney düzeneği ve ölçüm sistemi	20
Şekil 3.3. Deney düzeneği yerleşim ölçüleri	21
Şekil 4.1. Deney düzeneği ve ölçüm sistemi	22
Şekil 4.2. Çam solid kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği.....	23
Şekil 4.3. Çam solid kirişe ait moment-eğrilik grafiği.....	24
Şekil 4.4. Çam solid kirişlere ait hasar fotoğrafları	24
Şekil 4.5. Çam ekli kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği	25
Şekil 4.6. Çam ekli kirişe ait moment-eğrilik grafiği	26
Şekil 4.7. Çam ekli kirişlere ait hasar fotoğrafları	26
Şekil 4.8. Ladin solid kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği	27
Şekil 4.9. Ladin solid kirişe ait moment-eğrilik grafiği.....	28
Şekil 4.10. Ladin solid kirişlere ait hasar fotoğrafları	28
Şekil 4.11. Ladin ekli kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği.....	29
Şekil 4.12. Ladin ekli kirişe ait moment-eğrilik grafiği.....	30
Şekil 4.13. Ladin ekli kirişlere ait hasar fotoğrafları	30
Şekil 4.14. Ladin karışık kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği.....	31
Şekil 4.15. Ladin karışık kirişe ait moment-eğrilik grafiği.....	32
Şekil 4.16. Ladin karışık kirişlere ait hasar fotoğrafları	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ahşap malzemenin diğer yapı malzemeleriyle taşıma gücü karşılaştırması	3
Çizelge 2.2. Ahşap malzemenin dayanım sınıflarına göre emniyet gerilmeleri	5
Çizelge 2.3. İşlenmemiş ahşap malzemenin dayanıklılık sınıfları.....	6
Çizelge 2.4. Bazı ağaç türlerine ait rutubet oranları	10
Çizelge 2.5. Doğal ahşap malzeme özellikleri.....	13
Çizelge 3.1. Ahşapta rutubet-mukavemet ilişkisi	19
Çizelge 5.1. Deney sonuçları	33

1.GİRİŞ

Ülkemizdeki yapılarda taşıyıcı sistemi oluşturan malzeme olarak beton, çelik ve ahşap kullanılmaktadır. Beton ve çelik, ahşaba göre daha dayanıklı olması ve uzun süre mukavemetini muhafaza edebilmeleri sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak ahşap doğada kolay bulunabilmesi ve estetik görünümü sebebiyle tercih edilen bir malzemedir. Hayatın her alanında kullanılan ahşap, dünden bugüne insanlığın yaşam alanı oluşturduğu andan itibaren kullanılmaktadır. Zayıf malzeme olmasına rağmen yüksek mukavemet göstermesi, sağlıklı ve doğal olması, diğer malzemelere göre ucuz olması, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi, kırılırken çıkardığı sesler sebebiyle tehlikeyi önceden haber vermesi gibi özelliklerinden dolayı ahşap, yapı malzemesi olarak kullanılmasında önem arz etmiştir. Özellikle dayanıksız zeminler ve uzun açıklıkların tasarlandığı durumlarda hafif ve yüksek mukavemeti sebebiyle alternatifi olmayan bir yapı malzemesi olarak düşünülmektedir. Kolay şekil verilmesi ve montaj edilmesi, pratik birleştirme elemanlarıyla (bulon, vida, çivi, tutkal vb.) hızlı birleştirilmesi, soğuk ve sıcaktan az etkilenmesi, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı olması gibi özellikleri sayesinde diğer malzemelere göre ahşap malzeme avantajlı bir yapı malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Avantajları olduğu kadar dezavantajları da vardır. Rutubete karşı dirençsiz olması, biyolojik canlılar tarafından deforme olabilmesi, hızlı tutuşması ve yanması, budaklı ve reçineli yapısı gibi dezavantajları vardır. Dezavantajları birtakım önlemlerle yok edilebilir ya da en az seviyeye düşürülebilmektedir. Bu önlemlerle birlikte ahşap malzemenin kullanım ömrü biraz daha uzamaktadır.

Yapılarda, eğilme direnci gösteren eleman olarak adlandırılan kirişler konumları ve görevleri açısından hayati önem taşımaktadır. Nedeni ise yapıya gelen dinamik ve statik yükler kolonlara ve kolonlardan da zemine iletilmesi kirişler aracılığıyla yapılmaktadır. Bu nedenle kullanıldıkları yerdeki performanslarının incelenmesi önem arz etmektedir. Deprem ülkesi olmamız sebebiyle, depremin yıkıcı etkileri esnasında yapı elemanlarının yapıda minimum mal ve can kabına neden olacak şekilde direnç göstermelidir. Organik ve doğal olan ahşap malzemenin yapıda kullanımında ortaya çıkan diğer önemli dezavantajı heterojen (iç yüzeyi eşit dağılmamış) yapıya sahip olmasıdır. Genetiksel durumlardan başka yetiştiği ortamdan kaynaklanan etkiler ahşap malzemenin çeşitlenmesinde değişikliğe neden olmaktadır. Bu nedendir ki ahşap malzeme özellikleri liflere dik ve liflere paralel doğrultularda önemli değişiklikler göstermektedir. Ahşap malzemenin bu gibi karakterize özellikleri performansında ve özellikle yapısal mukavemetinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu nedenle malzemenin karakter analizinde önemli zorluklara neden olması malzeme olarak tercih etmemizde önemli engel oluşturmaktadır. Sebebi ise yapı malzemesi olarak kullanılan malzemenin göstereceği performansın daha öncesinde bilmek veya büyük ölçüde doğru öngörülmesi,yapının kullanım ömrünü ve performans bakımından hayati önem taşımaktadır.

Ahşap malzemenin karakter analizindeki yöntemlerde geleneksel olarak, ahşap görsel olarak sınıflandırılır ve değerlendirilir veya tahribatlı testlere maruz tutulmaktadır. Görsel yapılan sınıflandırma ve değerlendirmede malzemenin dış görüntüsü, özellikle görüne dış yüzeylerinin özellikleri incelenmektedir. Yalnızca dış yüzeylerinin incelenmesi büyük bir dezavantaja sebep olmaktadır. Sebebi ise ahşap malzeme içerisindeki bulunması muhtemel çürükler, böcek yuvaları doğal kusurlar

(çatlak, budak, reçine vb.) belirlenmemektedir. Bunu gibi kusurlara yüzey kısımlarda görölse de malzemenin hangi oranda etkilendiği kesin bilinmemektedir. Ayrıca görsel sınıflandırma ve değerlendirme yöntemlerinin de kişiden kişiye farklı yorumlanabilmektedir. Görsel değerlendirmede bu sebeplerden dolayı ahşap yapı elemanlarının dayanım sınıflarının belirlenmesi yeterince sağlıklı olmayacaktır. Daha önemlisi de görsel sınıflandırmaya kriter esaslardaki kusurların mekanik performansa etkilerinin ne olacağı bilinmemektedir.

Ahşap yapı elemanlarının mekanik özelliklerinin analizi için yapılan geleneksel tahribatlı testlerde kesin sonuç elde edilmesine rağmen ahşap malzeme zarar görmektedir. Teste tabi tutulan malzeme aynı amaçla tekrar kullanılmadığından ekonomik olarak avantajlı değildir. Tahribatlı değerlendirme yöntemleri örnekleme yöntemine göre belirlenmektedir. Teste tabi tutulan bir ahşaptan ya da bir grup ahşap içerisinde tamamlını temsil edecek kadar örnek malzeme alınması gerekir. Ahşap malzeme, özellikleri aynı grup içerisinde farklılık gösteren malzemeler arasında bile örnek teşkil etmesi ve özelliklerinin belirlenmesi testler sonucunda sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Ayrıca tahribatlı testlerde laboratuvar ortamına ihtiyaç duyulmakta ve yerinde değerlendirme yapılamamaktadır. Bu sebeple dayanımın belirlenmesi en kötü sonuca göre yapılmalı ve testler belli aralıklarla tekrarlanmalıdır.

Bu tezin amacı ahşap yapı malzemelerinden olan çam, ladin ağaç türlerinden yapılan ahşap kirişlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ahşap malzemenin dayanım sınıflarının belirlenmesinde geleneksel tahribatlı test yöntemlerinin kullanılmasıdır. Çam ekli, çam solid, ladin ekli, ladin karışık ekli, ladin solid kiriş ahşap yapı malzemelerinin testlere tabi tutularak elde edilen sonuçlar sonunda kıyaslamalı olarak hangi ahşap malzemenin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Ahşabın Özellikleri

Doğadaki ağaçların yetişmesinde hepsi için ayrı bir hikaye bulunur. Yaşamları süresince hepsi ayrı ayrı etkenlere maruz kalmıştır. Bu yüzden hepsinin spesifik özellikleri farklı gelişmiştir. Ülkemizde bulunan ağaçlar, iğne yapraklılar, geniş yapraklılar, sert olan ağaçlar, yumuşak olan ağaçlar olarak ayrılır ya da dayanıklılık kalitesine göre 1,2,3. sınıf olarak ayrıldığı görülür. Ülkemiz dışındaki ülkelerde ise malzemelerin sınıflandırılması basınç, çekme, gerilme verilerine göre ayrılmaktadır.

Burada yapılmış olan sınıflandırmalar ahşabın performansı için öngörülebilir kapasiteye dair her ne kadar fikir vermiş olsa da ahşabın heterojen (iç yüzeyi eşit dağılmamış) ve anizotrop (bir noktasındaki özelliklerinin yönlerle bağlı olması ve değişebilmesi) malzeme olduğu gerçeğini değiştirmez. Bu olay bize gösteriyor ki, dayanım sınıflarında ahşap malzemeyi belli sınırlarda sınıflandırılmış olsa da özgün olan dayanımlar için karşılaşmak olasıdır. Örnek verecek olduğumuz zaman ahşap malzemenin liflere paralel; çekme, eğilme, kesme, makaslama dayanımları, liflere olan dik dayanımlarından daha fazla farklılıklar gösterir.

Yapılan araştırmaların çoğunda ahşap olan malzemelerin en güçlü durumda bulunan taşıyıcı malzeme olduğu görülmektedir. Bu olay çok etkileyici bir gerçeği bize göstermektedir. Ahşap için birim-hacim ağırlığının, taşıma gücüne olan oranının en düşük olduğu taşıyıcı malzemedir. (Yeni nesil olan Fiber Reinforced Polimer malzemeler bu duruma dahi değildir.)

Çizelge 2.1 Ahşap malzemenin diğer yapı malzemeleriyle taşıma gücü karşılaştırması (Sarııyık vd., 2009)

Malzeme Türü	Beton (C30)	Çelik (S500a)	Ahşap (1.Sınıf Meşe)
Birim HacimAğırlık (kgf/m ³)	2500	7850	800
Basınç Emniyet Gerilmesi ($\sigma_{b,em}$)(Mpa)	50	500	11
Çekme Emniyet Gerilmesi ($\sigma_{ç,em}$)(Mpa)	2.5	500	12
B.H.A(çelik)/B.H.A(malzeme) * $\sigma_{b,em}$ (malzeme) (Mpa x kgf/m ³ / kgf/m ³)	0.628	1	1.35
B.H.A(çelik)/B.H.A(malzeme) * $\sigma_{ç,em}$ (malzeme) (Mpa x kgf/m ³ / kgf/m ³)	0.314	1	1.472

Günümüzde ki ormanların çoğunun azalması ve yeni ormanların yetişmesindeki geçen zaman göz önünde bulundurulduğunda ahşap malzemenin değerinin ne kadar

arttığı bir kez daha gözler önüne serilmiştir. Ayrıca çoğu sarf malzemelerde ahşap yerine metal malzemeler, plastik malzemeler, çelik malzemeler ve betonlar almıştır. Ancak izolasyon kabiliyetinin, görünüşün ve kolay şekil verilebilmesinin avantajları göz önünde bulundurursak ahşap her zaman kabul edilen bir yapı malzemesi olmuştur. (Sarııyık vd.,2009).

Ayrıca her ahşabın kendine özgü dairesel bir kesiti vardır. Bu özgünlük dairesinde ahşap malzeme kusurları da özgündürler. Bunlar; çatlaklar-fissürler, budaklar, ahşap malzemelerin çalması, ur, eksantrik öz, çok özlülük, yapraklanma, reçine keseleri ve dış etmenlerdirler (Numan, 1964; Duman ve Öktem, 1988).

Ahşabın üretim alanının doğa olması ve kesitlerin hazırlanmasının en alt seviyede uğraş gerekmesinden dolayı hem erişimi hem de işlenmesi kolay olan bir malzemedir. Ahşap malzemelerin yenilenebilir olması doğanın inisiyatifindedir ancak ağaçlar için duyulan ihtiyaçların artmasının sonucunda insanlarda bilinçli olarak endüstriyel amaçlı ormanların oluşturulması amacı daha etkili bir rol oynamıştır. Bu bilinç 5.yy da Roma İmparatorluğunun bünyesinde bulunan ormanların ihtiyaçlar doğrultusunda yok etmelerinin karşısında rahipler tarafından, Romanya ve Adriyatik Sahilleri'ne çam ağaçlarının dikilmesiyle başlamıştır (Mirov ve Hasbrouck, 1976).

Ahşap yangına karşı dayanımı çok yüksek olan malzemelerdendir. Buna örnek verecek olursak Türkçü'ye göre ahşap malzemesi için saatte yanma hızı 5 cm olduğu bilinmektedir. (Türkçü, 2000) Başka bir araştırma da ise ahşap malzemelerinin kesitteki boyutlarına göre yangına karşı olan dirençlerinin 30-120 dakika aralarında bulunduğunu göstermektedir. Ahşap malzemeler içine yanma işlemi sırasında malzeme için kuruluk da dikkate alındığında dakikadaki ortalama kesit kaybı 0,7 cm dir (Erkoç, 2004), bunun yanı sıra çelik olan sistemler için dayanım yangının başlamasından 15 dakika, betonarme sistemler için dayanımını yangının başlamasından 30 dakika sonra içlerinde bulunan çelik malzemeleri yitirmektedirler ve buna bağımlı olarak yapının sisteminde büyük şekil değiştirmeler görülmektedir.

2.1.1. Ahşapların sınıflandırılması

Ahşap yapı alanlarında olduğu gibi daha bir çok alanda da üretimin hammaddesi olarak bulunmaktadır. Bunlardan örnekler verecek olursak gemi yapımında, mobilya üretiminde, heykel yapımı, basit araç-gereçlerin tasarlamasında, kalıplarda, kaplamaların üretimlerinde ahşap önemli bir yere sahiptir. Üretilmiş olan ürünler de karşılamak zorunda olduğu belli özellikler vardır, bu özelliklerin doğrultusunda ahşap malzemenin özellikleri bakımından sınıflandırılmış olması bu üretim işleminin kolaylaşmasını ve bu üretim hususlarını ilgilendiren bilimlerin ise ileri gitmesini sağlamaktadır.

Bu sınıflandırmaların en ilkel bakış açısıyla yapılandırılmasının hikayesi şu şekildedir; öncelikle en ilkel olarak ahşap malzemenin elde edildiği kaynağın tipine göre yapılmaktadır. Bu da esasında, ahşabın elde edildiği ağacın türünün sınıflandırılmasıdır. Ahşap malzeme elde edilmesi esnasında yapılan gözlemler ise (ağacın sertliği veya yumuşaklığı) ağacın sıradaki gözlemlenebilir özelliğidir. Sonrasında ağacın yapısından ötürü ihtiva ettiği nem oranı, suya atıldığında davranışı

ve en nihayetinde ise fiziksel özellikleri ihtiyaç duyuldukça gözlemlenmiş ve gerekli sınıflara ayrılmıştır.

2.1.1.1. Ahşapların elde edildikleri ağaçlara göre sınıflandırılması

Ahşaplar için, üretildikleri ağaçlardan biyolojik türlerine göre sınıflandırılması için, ağaçlar iki geniş aileye ayrılır.

1. Geniş yapraklı ağaçlar
2. İğne yapraklı ağaçlar

Geniş yapraklı olan ağaçlar; sert, ağır, yüksek mukavemete sahip olan ağaçlardır. Bunlardan üretilmiş olan ahşaplar genelde yapı alanında kullanılmamaktadır. Kullanıldığı alanlar genelde mobilyaların ve araç-gereçlerin üretimindedir. Bu aileden olan meşe ise yapı alanlarında da kullanılabilir. Kavak ise hızlı yenilenebilir olmasından dolayı betonarme yapılar için yardımcı eleman kalıp görevi görür. Bu ağaçlar için genelde sert ağaç (hardwood) olarak bilinir.

İğne yapraklı olan ağaçların odunları da yumuşaktırlar bu yüzden işlenmeleri de daha kolay olup ayrıca maliyetleri de daha ucuzdur. Daha hızlı yenilenebilir olduğundan dolayı yapı alanlarında daha fazlaca kullanılmaktadır. Reçineli olan türler genelde dış ortamlarda kullanılabilir. Reçinesiz olan ağaçlarda ise genelde iç ortamlarda kullanılır. Ülkemizde bu gruba ait ve en fazla kullanılan ağaçlardan biriside sarıçamdır. Yapılan bu çalışmada kapsamında ise performans artışı sağlamak için seçilmiş olan ağaç türü ise ladindir.

2.1.1.2. Ahşapların kalitelerine göre sınıflandırılması

Ülkemizde bu sınıflandırma tipi kullanılmaktadır. Ahşap yapıların hesaplanmasına ilişkin yönetmelikte de geçerli olan sınıflandırma tipi kalite odaklı sınıflandırmadır. Türk Standartları görünüş bazında kalite sınıflandırması yapmaktadır. Bu sınıflandırma altında ahşap malzemeye ait emniyet gerilmeleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.2. Ahşap malzemenin dayanım sınıflarına göre emniyet gerilmeleri (TSE, 1979)

(Mpa)	III. Sınıf		II. Sınıf		I. Sınıf	
	Çam (Mpa)	Kayın,Meşe (Mpa)	Çam (Mpa)	Kayın,Meşe (Mpa)	Çam (Mpa)	Kayın,Meşe (Mpa)
Çekme ($\perp$)	1.5	2	2.2	2.5	3	3
Çekme(//)	-	-	85	100	105	110
Basınç ($\perp$)	40	70	50	100	65	120
Basınç (//)	2	3	2	3	2	3
Eğilme	50	70	65	90	90	120

2.1.2. Ahşap malzemenin dayanıklılığı

Ahşap malzeme doğada bulunurken dışarıda bulunan dış etkenlerden zarar görebilirler. Ancak ahşabın dayanıklılığını ve kalitesini etkileyen unsurlar ağaç türü, ağacın yaşı, ağacın öz odun oranı, odunun birim hacim ağırlığı, anatomik yapısı ve kimyasal yapısı, yapısında bulunan veya sonradan emprenye edilmiş olan maddeler, kullanım yerlerindeki ortamda bulunan koşullar, yapının inşa edilme şekli, doğal zeminle olan ilişkisinin kesilmiş durumda olması, kesimin yapılmış olduğu mevsim, depolanma süresi ve depolanma şartları şeklinde sıralanabilir (Yalınkılıç, 1998).

Ağaç için dayanıklılık açısından belirlenmesinde öz odun büyük yer tutmaktadır. Amerika'daki bulunan en önemli ağaç türleri dayanıklılık açısından üç sınıfa ayrılmıştır ve bu sınıflandırma öz odun oranları ve özellikleri doğrultusunda yapılmaktadır (Panshn, 1980).

Willeitner ve Liese'nin 1992 yılında yayınladıkları makaleye göre ağaçların hizmet sürelerine göre dayanıklılık Çizelgesi aşağıda verilmiştir (Willeitner ve Liese, 1992).

Çizelge 2.3. İşlenmemiş ahşap malzemenin dayanıklılık sınıfları (Willeitner ve Liese, 1992)

SINIF	TANIM	ILIMAN İKLİMDE HİZMET SÜRESİ	TROPİK İKLİMDE HİZMET SÜRESİ
1	ÇOK DAYANIKLI	25 YIL VEYA DAHA FAZLA	15YIL VEYA DAHA FAZLA
2	DAYANIKLI	15-25 YIL	10-15 YIL
3	ORTA DAYANIKLI	10-15 YIL	5-10 YIL
4	DAYANIKSIZ	5-10 YIL	2-5 YIL
5	ÇOK DAYANIKSIZ	5 YIL VEYA DAHA AZ	2YIL VEYA DAHA AZ

Fakat Sheard yaptığı çalışma doğrultusunda ahşap eleman haline getirilmiş bir ağacın 5 yılda veya daha kısa bir sürede tahrip olabileceğini belirtmiştir (Sheard, 1988).

2.1.3. Ahşap malzemenin kusurları

Ahşap yetiştiği doğal ortamdan dolayı, üretilmiş olduğu ağacın dallı, reçineli olan yapısından, bulunduğu koşulların öz odunu çevrede bulunan diğer canlı türlerini etkilemesinden dolayı farklı kusurlar içerir. Bu kusurlara yol açan unsurlar ise, don, kuraklık, arazi eğimi, ağacın güneşlenme durumu ve hakim rüzgardır. Bu unsurların yol açtığı başlıca kusurlar şunlardır:

a) Budaklar: Budaklar, dallardaki ağaçların gövdesindeki izdüşümleri, kökleridir. Budaklar gövde üzerinde dairesel oluşumlar halinde bulunurlar, mukavemetleri açısından ortalara doğru çok yüksek, dairenin çevresinde ise mukavemetin az olmasına yol açar bu olayda ahşap eleman bütününde önemli derecede süreksizliğe yol açmaktadır. Yükün altındaki ilk oluşan çatlaklar budağın sınırlarında gözlemlenmektedir. Budaklar iki çeşit olarak incelenir

- 1. Düşer budaklar:** Ağacın gövdesinde kurumuş olarak bulunan dalların kökü olan düşer budaklar ağacın gövdesi büyürken ağacın gövdesi içerisinde kalırlar ve ahşap elemanlarının parçası olurlar. Bu budaklar diğer budaklara göre daha az nem içerdikleri için daha gevrektiler. İğne yapraklı ağaçlarda daha çok gözlemlenir.
- 2. Kaynar budaklar:** Dalları canlı olan budaklara kaynar budaklar denir. Daha sünektirler. Yine aynı şekilde gövdenin büyümesiyle içeride kalmış olan dal kökleridir. Geniş yapraklı ağaçlarda daha sık gözlenir.

b) Oluklu gövde: Bulunduğu arazinin yapısından ve çevredeki diğer etkenlerden dolayı genelde ağacın kökünün dışarıda kalmasından dolayı oluşmaktadır. Söz edilen kusur ağaç şekli için dairesel olmasını engeller ve böylece ağaç sarfiyatının da çoğalmasına yol açar. Bu olay bazı ağaçlar için genetiğinden gelen bir kusurdur. Bu durum lifler için düzgün şekilde olmamasına yol açar. Ayrıca ağacın kesildikten sonra ahşap kesitleri gövdesinden münferit parçalara halinde ayrıldığında ise kesitler düzensiz bir şekilde çalışabilir.

Ahşabın Çalışması: Ahşabın ağaç halindeyken dengede bulunan içsel kuvvetlerin, münferit olarak kesitlere ayrıldığı işlem sonucunda, lif düzensizliği ve dengeye gelmesi gereken içsel kuvvetler doğrultusunda kesit boyunca görülen deformasyonların genel adıdır.

c) Kaçık öz: Arazinin yapısı hakim olan rüzgar, güneşlenme faktörü gibi farklılıklardan oluşmuş olan bir ağaç kusurudur. Özünün tam olarak ortada bulunmama durumudur. Kerestenin hazırlanması durumunda öz odun yerleşiminin dikkate alınması gereklidir.

d) Yalancı öz odun: Ağacın yapısında bulunan, farklı çeşit ağaçlarda başka renklerle gözlemlenen ve farklı isimlerle anılabilen bir ağaç kusurudur. Dayanıklılık bakımından herhangi bir problem bulundurmamasına rağmen emprenye işlemi anında, bu yalancı öz odunlara emdirilme işleminin yapılması oldukça zordur.

e) Reçine keseleri: Reçine keseleri ağacın içerisine girmiş olan parazitler v.b. (böcek veya mantarların) açmış olduğu tahribata karşı canlı durumda olan ağacın almış olduğu önlemlerden bir tanesidir. Ağacın zarar görmüş olduğu bölgeleri için reçinenin akışını sağlayan yapısı sayesinde burada bulunan zararlı etkenlerden kendisini korumaya alır. İçerisindeki bu süreksizlikler yüzünden ağaç için şekil verme işlemi ve kesme işlemi zorlaşmaktadır. Maalesef buradaki karşılaştığımız durum ahşap için düzensiz çalışmalara da neden olabilmektedir. Hatta reçinenin salgısının aşırı şekilde olması durumunda boyanın yapılması daha zordur, az olduğu takdirde ise buradaki sorun ahşabı yakma işlemi ile giderilebilir (Duman, 1964).

2.1.4. Ahşap yapılar

Paleolitik Çağ'da, yerleşik hayata geçmemiş avcı toplayıcı gruplar, yerleşmenin gerekli olduğu kanısına varmışlar ve bunun sonucu olarak da dalları sepet gibi örerek, çamurla sağlamlaştırmış ve bunlardan kendilerine barınak inşa etmişlerdir (Acar, 1996). Orta Doğu'da Neolitik Çağ'da ise ağaç oyularak ve kesilerek ahşap elde edilmesi baş göstermiştir (Wright, 2000).

Selçuklu zamanında ise halkın barınma ihtiyacını gidermek için kullandığı temel unsur çadırlardır, ahşap çadırların kurulabilmesi için kullanılmıştır. Ahşap yapılar ise üst sınıf üyeleri için konut olarak hizmet verecek şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiştir(Tanyeli, 1996).16. yüzyıl Osmanlı'sında ise Türkiye'nin mirası olarak bekasını koruyan ahşap binalar(hımış) çoğunlukla inşa edilmiştir (Aktaş vd., 2014).

Ahşap malzemesi ülkemizde yapı inşasında betonarme sistemlerin yaygınlaşmasından önce tuğla-taş yığma binalar ile birlikte oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Hatta bu yığma tuğla-taş binalarla kompozit olarak da imal edilmişlerdir.

Günümüzde ise ahşap, çoğunlukla servis ömürlerini tamamlamış binaların aslına uygun olarak restorasyonu veya rekonstrüksiyonu çalışmaları esnasında kullanılmaktadır. Hatta ahşap malzemeyi tanıyan belediye yetkililerinin azlığı nedeniyle ahşap malzemeyle binanın temelden, çatıya yeni bir bina olarak projelendirilip imalinin yapılması oldukça zorlaşmıştır. Ahşap mühendisliğinin ülkemizde devamlılığının sağlanması ve bilinçlendirme çalışmaları Koruma Uygulama Denetim Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

2.1.4.1. Ahşap yapıların avantajları ve dezavantajları

Ahşap bulunması kolay bir malzemedir ve aynı zamanda kolay işlenebildiği için tercih edilmesi daha yüksek bir yapı malzemesi olmasına rağmen, projedeki hesapların güçlüğü ve ahşap olan malzemeleri işleyecek olan tecrübeli ustalarında oldukça azalmış olmasından dolayı bu alanda bulunan başlıca zorluklardır.

Ayrıca birleşim bölgelerinin işlem sırasında işlenebilirliğinin düzeyde zor oluşu, yani daha kompleks bir yapıya sahip olması bu malzeme için hızlı üretim sürecinde yavaşlatıcı bir unsur olmaktadır.

Ahşap malzemeler bu koşulların altında bile daha pek çok avantajlı özelliğe sahiptirler, bunlar:

- Kaynaklarının yenilenebilir durumda olması
- Ağır olmayıp hafif bir malzeme olmasından dolayı mobilizasyonunun kolay olması
- Kolayca işlenebilen bir malzeme olması
- Ahşap malzeme özelliği açısından geçirimli bir yapıya sahiptir ve bina bunun sayesinde nefes alabilmektedir.

- Ahşap doğal ve organik bir malzeme olmasından dolayı, insan sağlığı açısından daha uygun bir yapı malzemesi olması
- Birleşim bölgeleri için, istenilmesi durumunda lamalı ve çivili olacak şekilde kolayca ve hızlıca tertip edilebiliyor olması
- Yük taşıma kapasitelerinin oldukça yüksek olması
- Laminasyon tekniği sayesinde istenilen boyutlarda ve uzunluklardaki kesitlerin imal edilebilmesi
- Yangına karşı dayanımlarının yüksek olması
- Ahşabın tamiratının ve korunmasının çok kolay olması
- Boy değişim oranının ahşap çalışıyor olması durumunda bile çok düşük oluşu
- Çok fazla renkleri ve koku seçeneği vardır (Akgül, 2013).

Ahşap yapıların dezavantajları ise şunlardır:

- Kaynaklarının yenilenebilmesi uzunca bir süre almaktadır.
- İşlenmesi esnasında çok fazla işçilik veya başka cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Birleşim yöntemlerinde, ilave araç kullanılmadığında çok fazla işçilik gerektirmektedir
- Servis ömrü, ek kimyasallar kullanılmadığı zamanda çok daha az olmaktadır
- Laminasyon sürecinde, üretilecek kesite göre, ekstra işçilik ve yapıştırma maliyeti gerekmektedir.

2.1.5. Ahşabın kimyasal özellikleri

Ahşap, heterojen (iç yüzeyi eşit dağılmamış) ve anizotrop (bir noktasındaki özelliklerinin yönlerle bağlı olması ve değişebilmesi), lifli yapıda canlı bir organizma olan ağaçtan imal edilen organik bazlı bir yapı malzemesidir (Mıstak 2013). Bütün ağaçlar selüloz, lignin, hemiselüloz ve bazılarında reçine, nişasta, albümin, silikat asit kimyasal yapıdadır (Asarcıklı vd. 2005).

Ahşabın bünyesinde % 50-60 oranlarında bulunan selüloz, eğilme ve çekmeye karşı direnç veren maddedir. Hücre duvarını güçlendiren hemiselüloz; pentoz ve hektoz şekerlerinin kısa polimerleridir. Ağacın yapısında % 15-25 oranında bulunur (Asarcıklı vd. 2005). Lignin, selüloz fibrilleri içinde yer alır ve % 14-23 oranında bulunur. Gevrek bir madde olup ağacın dik durmasını ve ahşap malzemenin basınca karşı direncini sağlar. Bir fenol halkasının ana yapısına sahip amorf bir maddedir (Asarcıklı vd. 2005).

2.1.6. Ahşabın fiziksel özellikleri

2.1.6.1. Rutubet

Ahşap malzeme içerisindeki su miktarının, tam kuru ağırlığa oranı rutubet olarak adlandırılır. Ahşap malzeme içerisindeki rutubet ahşabın mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Çizelge 2.4 'de ağaç türlerinin rutubet oranları belirtilmektedir.

r = rutubet miktarı

m_s = tam kuru haldeki ağırlığı (gr)

m_0 = hava kurusu haldeki ağırlığı (gr)

Çizelge 2.4. Bazı ağaç türlerine ait rutubet oranları (A. Y. Bozkurt vd. 1987)

Ağaç Türü		Rutubet (%)	
		Diri Odun	Öz Odun
İğne Yapraklı Ağaçlar	Gökmar	165	40
	Ladin	145	35
	Çam	130	50
Geniş Yapraklı Ağaçlar	Kavak	135	80
	Kayın	110	55
	Kestane	90	80
	Ihlamur	75	80

Birim alana ait lif miktarı, lifler arası su miktarıyla orantılı olduğundan rutubet oranı ahşabın mekanik özelliklerini etkilemektedir. Ahşap malzeme kururken içerisindeki suyu kaybettiğinden dolayı büzülür ve gevrekleşir. Serbest su tamamen buharlaşıp ahşapta yalnız hücre çeperine bağlı su kaldığı anda ahşabın rutubeti lif doygunluğu noktasındadır. Lif doygunluğu noktası (LDN) rutubeti ağaç türlerine göre % 20-35 arasında değere sahiptir. Ortalama bir değer olarak LDN = % 28 kabul görebilir (A. Y. Bozkurt vd. 1987).

2.1.6.2. Birim hacim ağırlık

Ahşaba ait birim hacim ağırlık, nem içeriği ve korelasyona sahip bir özelliktir. %15 neme sahip ahşabın birim hacim ağırlığı ağaç türlerine göre 0,981 kN/m³ ile 1,47 kN/m³ arasında değişim göstermektedir. Birim hacim ağırlığı yüksek olan ahşabın işlenebilirliği azalmasına karşın dayanım ve dayanıklılık özellikleri daha iyidir (Örs vd. 2001).

2.1.6.3. Termik özellikler

Sıcaklık hemen hemen birçok yapı malzemesinde önemli bir etken olup genişmeye sebep olur. Bu sebep dayanımında ve dayanıklılık özelliklerinde düşüş etkisi yaratmaktadır. Ahşap tam kuru olduğu halde de ısıyla genişebilir. Fakat tam kuru olmadığı durumda ise içerisindeki suyu kaybederek kurur ve dayanımı artar (Y. Bozkurt vd. 1997).

2.1.6.4. Estetik özellikler

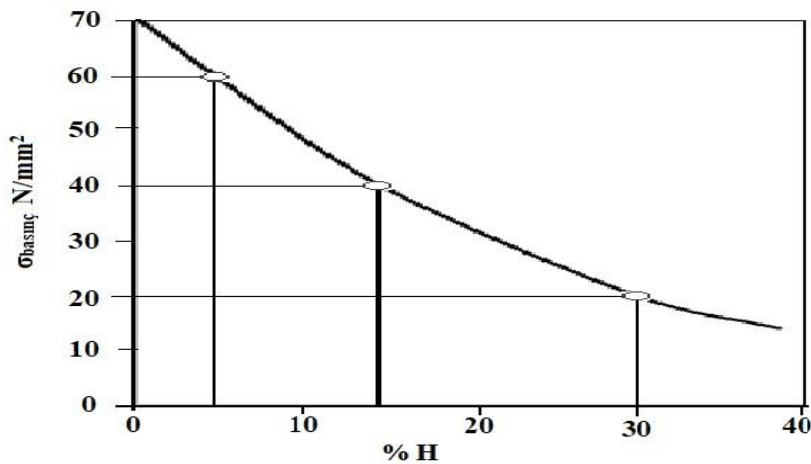
Ahşap doğanın bir eser ürünü olarak, kendine has rengi, kokusu ve şekli olan estetik ve dekoratif kullanıma olanak sağlayan ideal bir malzemedir. Farklı dizayn ve renk tercihinə göre değişik türlerde ahşap malzemesi bulmak mümkündür (Şimşek 2000).

2.1.7. Ahşabın mekanik özellikleri

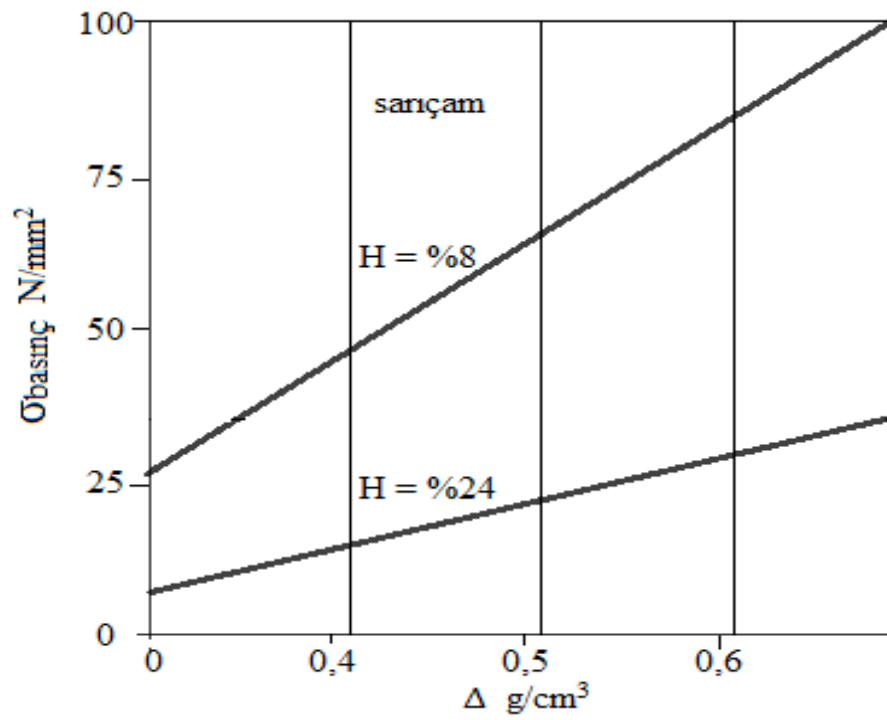
Ahşap içerisinde boşluklar bulundurmasına rağmen mukavemet özellikleri oldukça yüksek bir yapı malzemesidir. Mekanik özellikleri yetiştiği iklime, toprağa, ağaç cinsine, sertliğine göre değişiklik gösterebilir. Ahşabın bünyesindeki su muhtevası önemli bir parametre olup, mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir. Yapı malzemesi olarak kullanılan ahşabın mikroorganizmalar, rutubet, ısı, kimyasal etkiler, malzeme yorulması gibi etkenlerden dolayı zamanla mukavemetini yitirmektedir (Eriç 2002).

Ahşap içerisindeki liflerinin ayrışması için belli bir süre gerektiğinden çelik ve beton malzemeler gibi aniden çökme ya da kırılmaya uğramaz. Bu sebeple ahşabın gerilme-deformasyon eğrisi, diğer yapı malzemelerine göre çok farklıdır (Eriç 2002).

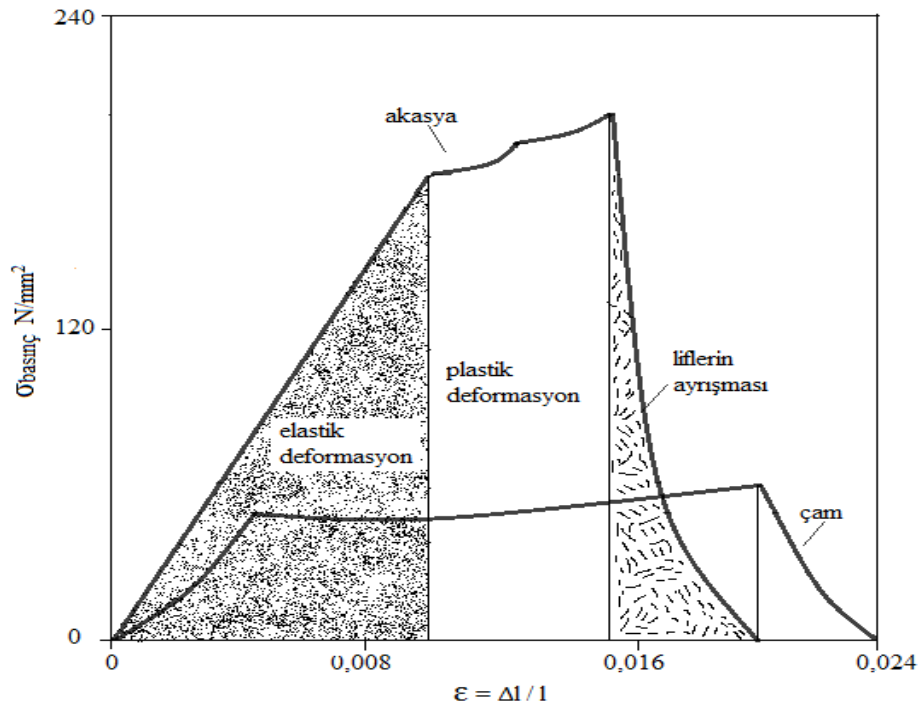
Ahşabın dokusu itibariyle lifli ve boşluklu olması, ahşabı hafif ve mukavemeti yüksek bir yapı malzemesi yapmaktadır. Fakat ahşabın organik bir malzeme olması sebebiyle mukavemetleri yüksek olmasına karşın emniyet gerilmelerinin düşük alınmasına neden olmaktadır. Ahşaba etkiyen farklı açılardaki gerilmeler liflerin yönlerine göre farklılık göstermektedir.



Şekil 2.1. Ahşapta rutubet-mukavemet ilişkisi (Eriç 2002)



Şekil 2.2. Ahşapta birim ağırlık-rutubet-mukavemet ilişkisi (Eriç 2002)



Şekil 2.3. Ahşapta gerilme-deformasyon eğrisi (Eriç 2002)

Çizelge 2.5. Doğal ahşap malzeme özellikleri (Eriç 2002)

Ağaç Cinsi	Fiziksel Özellikler			Mekanik Özellikler N/mm ²								
	Birim ağırlık (ρ)g/cm	Deformasyon(α)%	Isiletkenlik katsayısı	σ çekme		σ basınç		Makaslama(τ)	Eğilme(σ)	Elastisite Modülü(E)	H Brinell Sertlik	
				σ _l	σ _t	σ _l	σ _t					
Çam	0,50	12,3	0,13	104	2,1	37,9	4,6	3,6	64,8	10200	23	7
Ladin	0,43	11,5	-	-	-	31,1	4	-	69	8300	37	14
Kök nar	0,43	12,2	-	62	1,5	37,4	4,5	4,6	73	8300	19	14
Kayın	0,86	15,5	0,20	66	2,3	36,5	12	5,4	87	12500	56	25
Meşe	0,89	12,2	0,20	90	4	61	11	11	98	11700	64	41
Kavak	0,45	12,8	-	-	1,7	40	2,7	6,8	52	7000	23	10
Gürgen	0,83	16,2	-	135	24,5	66	12	7,4	130	16200	71	36
Diş budak	0,85	13,2	0,20	165	7	52	11	12	120	13400	65	-
Ihlamur	0,53	14,9	-	85	-	52	-	4,5	106	7400	-	16
Kestane	0,58	13,3	-	135	-	47	-	8	89,6	9000	38	18
Karağaç	0,64	13,2	-	90	4	56	10	7	89	11000	44	30

2.2. Literatür Özeti

Ohlsson vd. (1992) yaptıkları bu çalışmayla ahşap kirişlerin elastisite modülünü nümerik hesaplar ve dinamik testlerin sonucuna göre hesaplamışlardır. Ahşap kirişler için Timoshenko Teorisini temel almış sonlu elemanlar modeli kullanarak titreşim modlarını hesaplamışlar ve 13 değişik titreşim modun dinamik özelliklerini testlerle belirlemişlerdir.

Triantafillou (1997) çalışmasında GFRP ile güçlendirdiği ahşap kirişlerin, mekanik özelliklerini deneysel ve teorik hesaplamışlardır. Kirişlerin elastisite modülleri üç noktalı eğilme deneyi yapılarak yaklaşık hesaplanmıştır. Yük-deplasman eğrileri dört noktalı eğilme deneyi ve LVDT (Linear Variable Differential Transformer) kullanılarak elde edilmiştir. Sonuç olarak güçlendirmeden önce ve sonraki kayma dayanımı % 3 ile % 10 arasında arttığı tespit edilmiştir. Elastisite modülü 3 noktalı eğilme deneyi yardımıyla 12000 Mpa olarak tespit edilmiştir.

Davis (1997), kendisinin yaptığı Yapısal Ahşaplarda Yapıştırıcı Performansı adlı çalışmasında, sert ve yumuşak ahşapları içerisine çelik çubuklar ilave ederek

güçlendirmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu araştırmada Davis, ahşabın yapıştırıcı ile bütünleşmesi için iyi bir substrat olduğunu ifade etmiştir.

Claisse vd. (1998) yaptıkları çalışmada, ahşapların farklı birleşim noktaları üzerine yüksek performansa sahip cam elyaf lar sararak hazırladıkları numuneleri doğrudan çekme deneyine tabi tutmuşlardır. Cam elyaf larla güçlendirilen numuneler gerilme ve birim deformasyonlarda yüksek performans gösterdiğini tespit edilmiştir.

Chi-Jen (1999) çalışmasında cam fiberlerle güçlendirilen ahşap birleşimlerin mekanik performanslarını mikroskop ve ayrıca nümerik analizler kullanarak incelemiştir. Güçlendirme yapılan numunelerin daha iyi bir performans gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Ogawa (2000) ahşap kirişlerin karbon elyaf ve levhalarla güçlendirilmesi üzerine çalışmıştır. Karbon elyaf ve levhalarla güçlendirilen ahşapları eğilme deneyi ve 800°C'lik alev altındaki davranışlarını statik ve yapısal olarak incelemiştir. Hazırlanan numunelerde hem eğilme hem de yangına karşı direnç açısından %300 lük bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

X. Yang vd. (2002) yaptıkları çalışmada ahşabın boyuna rezonans frekansı (eğilme titreşimi) ile ortalama elastikiyet modülü arasında bir ilişki olduğu tespitine varmışlardır. Tahribatsız titreşim analiziyle elde edilen mod şekilleri, transfer fonksiyonuyla elde edilen mod şekilleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda teorik ve deneysel mod şekillerinin birbirine eşit olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında kirişin kusur bulunan bölgesinde dalga şekilleri tespit edilerek, kusurun bulunması sağlanmıştır. Kusurlu kısmın elastikiyeti, dalga şeklinin eğriliği ile tahmin edilebilmiştir.

Harvey ve Ansell (2003) yaptıkları çalışmada pull-out (koparma) testlerinde, liflere paralel ve dik yönlerde benzer çatlak modlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Borri vd. (2005) CFRP malzemesi ile değişik şekillerde güçlendirdikleri eski ahşap kirişlere dört noktalı eğilme deneyi uygulayarak güçlendirmenin kirişlerin eğilme kapasitesine, rijitliğine, yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisine olan etkilerini incelemiştir.

Dempsey vd. (2006) yaptıkları araştırmada GFRP ve HFRP ile ayrı ayrı güçlendirilen ahşap kirişlerin nihai momenti, başlangıç rijitliği, elastikiyet oranını incelemiştir. Dört noktalı eğilme deneyi ile potansiyometre kullanılarak kirişler için moment-eğrilik ilişkisi elde edilmiştir. Ahşaptaki nem oranının ahşabın diktülite/süneklik oranını oldukça etkilediğini tespit etmişlerdir.

Alam vd. (2009), 2006 yılında yaptığı araştırmada, Çatlamış Ahşap Kirişlerin Yapıştırılmış Güçlendirme Elemanlarıyla Mekanik Tamiri isimli çalışmalarında, üretim aşamasında kullanılan malzeme ve miktarın önemini şöyle ifade etmiştir; güçlendirmenin yapıldığı bölge ve entegrasyonunda yapıştırıcı hattı kalınlığı, tamir edilmiş kirişlerin kırılma mekanizmasında önemli rol oynamaktadır.

Moayyed vd. (2010) AFRP ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin kayma tepkisini deneysel ve nümerik analiz yöntemleri üzerine çalışmışlardır. AFRP kumaşlar kullanılarak güçlendirilen kirişlere gerilme testi ve dört noktalı eğilme testi uygulanmıştır. Bu testler sonucunda kirişlerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri, yük-deplasman grafikleri belirlenmiştir. Kirişlerin aynı zamanda sonlu elemanlar yöntemiyle bilgisayarda modellenmesi yapılarak orta noktadaki kayma, deplasman-zaman grafikleri çıkartılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda güçlendirilen kirişlerin boş kirişlere göre eğilme dayanımının %74'e kadar artış sağladığı gözlemlenmiştir. AFRP ile güçlendirme yönteminin kirişlerin kayma kapasitesinde olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Gentry (2011) çalışmasında tutkallı lamine ahşap kirişleri FRP ile güçlendirerek kayma ve eğilme performanslarını araştırmıştır. Tutkallı lamine kirişleri GFRP ile boyuna ve enine güçlendirmiş, ayrıca belirli çaplarda GFRP pimler kullanarak kiriş açıklığının belli noktalarından enine güçlendirmeler yapmıştır. Dört noktalı eğilme deneyi ile kirişlerin kırılma modları, yük-deplasman ilişkileri, kayma dayanımı ve eğilme dayanımı incelenmiştir. Kayma dayanımında %50 ye kadar arttığını göstermiştir.

Roohnia vd. (2011) yaptıkları çalışmada ahşap kirişler üzerinde açılan deliklerin, tahribatsız deney yöntemi kullanılarak ahşabın dinamik tepkileri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Delik açılmadan önce ve sonrasındaki serbest-serbest sınır şartında liflere paralel doğrultudaki elastisite modülleri incelenmiştir. Kirişlerin merkez noktalarında belli çaplarda delikler açılarak, delik genişliğinin etkileri teğet ve radyal yüzeylerine paralel yönde eğilme titreşimleriyle karşılaştırılmıştır. Kiriş radyal yönde titretildiğinde, deliklerin liflere paralel doğrultudaki elastisite modülünün azalmasına neden olduğu, teğet yöndeki delik boyunca sabit kaldığı görülmüştür. Teğet ve radyal yönde eğilme titreşimlerinin liflere paralel doğrultudaki elastisite modülü değerleriyle karşılaştırılmasından dolayı olan farklılıklar ile hasar tespitinin yapılabileceği sonucu elde edilmiştir.

Hu vd. (2011) ahşap yapıların kullanım ömrünü kısaltan budak, çürüme ve çatlakların bulunduğu zayıf yerlerin belirlenmesi ve hasarın en hızlı şekilde tespit edilerek onarılması için modal esneklik eğrilerine dayanan bir istatistik algoritma oluşturmak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Bu amaca yönelik olarak basit mesnetli kirişlerin uzunluğu boyunca belirlenen yerlerde boşluklar, çentikler açmışlardır. Hasar tespitinin analizi için mod şekilleri ve doğal frekans bilgileri kombine edilerek modal esneklik eğriliklerinin yardımıyla hasar indikatörlerini kullanmışlardır. Kullandıkları algoritmayı doğrulamak için farklı hasar şiddetleri ve yerleri oluşturulmuştur. Kirişlere bir ya da iki kusur vererek titreşim analizleri yapmışlar, hasar indikatörleri ile alanın ikinci eksenel moment kayıpları arasındaki ilişki incelenmiştir. Hasar indikatörü ve şiddeti arasında lineer bir korelasyon olmamasına karşın, hasar indikatörlerinin pik değerleri arttıkça ikinci eksenel moment kaybının da arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca modal esneklik ile doğal frekans arasında ters bir orantının olduğu gözlemlenmiştir.

Hunt vd. (2012) ince ve küçük ahşap ya da kompozit panel örneklerinin titreşim ve statik özelliklerini belirlemek için yeni bir konsol kiriş aparatı geliştirmek için çalışma yapmışlardır. Bu aparat yardımıyla konsol kirişin statik yükü ile yaptığı deplasman ve sonrasında yaptığı titreşim sonucunda birinci doğal frekansını hesaplayabilmişlerdir. Üç noktalı basit mesnetli kirişin statik eğilme deneyi ve titreşim deneyi sonuçları kıyaslanmışlardır. Farklı kalınlık ve yoğunluklardaki konsol fiberboard

paneller üzerinde yapılan deneylerde statik ve dinamik elastisite modülleri arasındaki lineer ilişki oldukça iyi olsa da standart üç nokta eğilme deneyinden elde edilen elastisite modülüne göre oldukça yüksek çıkmıştır. Sönüm oranı ise yoğunluk arttıkça azalmıştır.

Carreira vd. (2012) yaptıkları çalışmada ahşap kirişlerin rijitlik özelliklerini belirlemek adına gerekli olan E/G oranının hesabı için Timoshenko teoremine göre Genetik Algoritma kullanarak kiriş modellemiştir. Aynı zamanda ABAQUS yazılımı kullanılarak modellenen kirişin bilgisayar ortamında analizi yapılırken dinamik testlerle deneysel analizlerini de yapmışlardır. Analitik, teorik ve deneysel analizler sonucunda elde edilen E/G oranlarını karşılaştırmışlardır. Gerekli araştırmalarda tavsiye edilen E/G = 20 değerine yakın olarak E/G oranı 19 olarak tespit edilmiştir. E/G oranına yoğunluk, nem içeriği, ağacın yaş gibi faktörlerin etki ettiği de belirtilmiştir.

Wang vd. (2012) yaptıkları çalışmada PLW, HDF ve OSB vb. ahşap bazlı kompozitlerin tahribatsız deney yöntemleriyle dinamik elastisite modülleri (Ed) ve sönüm oranlarını hesaplamışlardır. Ayrıca eğilme deneyi ile statik elastisite modülleri (Es) bulunmuştur. Ed ve Es arasında lineer bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Es değerlerinin Ed değerlerinden daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bu araştırma kapsamında yoğunluğun sönüm oranını etkileyen doğrusal bir parametre olduğu belirlenmiştir.

De Luca vd. (2012) yaptıkları çalışmada çelik çubuklarla güçlendirilen tutkallı lamine kirişler ve öngerilmeli tutkallı kirişlerin, güçlendirilmemiş kirişlere göre mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Eğilme deneylerinde LVDT yardımıyla kirişlerin yük-deplasman, yük-şekil değiştirme, derinlik-şekil değiştirme grafikleri ve düktilitesini tespit etmişlerdir. Kırılma modları karakterize edilen ön gerilmeli ve basit güçlendirilmiş kirişlerin eğilme dayanımlarını araştırmışlardır. Öngerilmeli ve güçlendirilmiş kirişler için kontrole göre rijitlik %37,9; ortalama yük %40,2 ve düktilitesi de %79,1 arttığı belirlenmiştir.

Motlagh vd. (2012) yaptıkları çalışmada tarihi ahşap yapıların onarımı için eski ahşap kirişlerin CFRP ve GFRP kompozit malzemelerle güçlendirilmesiyle elde edilen kirişlerin yük kapasitesini, mevcut dayanımını, elastisite modülünü, kırılma modlarını incelemişlerdir. Üç nokta eğilme deneyinin sonuçlarına göre kirişlerin eğilme dayanımları % 31,26 ve kırılma yükünde ise % 56,65 güçlendirilme yapılmamış kirişlere göre arttığı gözlemlenmiştir.

De la Rosa García vd. (2013) yaptıkları çalışmada ahşap kirişleri güçlendirmek için bazalt fiber ve karbon fiber malzemeler kullanmışlardır. Karbon fiberleri bir ya da iki yönlü olması durumuna göre, bazalt fiberleri ise değişik gramajlar kullanarak güçlendirme yapmışlardır. Eğilme deneyi yapılarak kirişlerin davranışları incelenmiş, yük-deplasman ve gerilme şekil değiştirme grafikleri, rijitlik, dayanım gibi faktörleri güçlendirme yöntemlerine göre kıyaslamasını yaparak en uygun yöntemi bulmaya çalışmışlardır. Çekme dayanımında karbon fiberlerde %50, bazalt fiberlerde ise %21 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Jasieńko vd. (2014) yaptıkları çalışmada eski ve yeni ahşap kirişleri çelik plakalarla güçlendirmişlerdir. Güçlendirilen kirişlere dört noktalı eğilme deneyi

uygulanarak yük deplasman ilişkilerini incelemişlerdir. Nem içeriğinin yük taşıma kapasitesi ve kayma dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda güçlendirme öncesine oranla ahşabın yük taşıma kapasitesinin % 100 arttığı gözlemlenmiştir. Ahşap içerisindeki nemin dayanımda etkili bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

Li vd. (2014) yaptıkları çalışmada tahribata uğramış tarihi ahşap yapıların güçlendirilmesi amacıyla yaptıkları çalışma için daire kesitli ahşap kirişlere hem GFRP çubuklar hem CFRP kumaşlar ikisi bir arada kullanılarak güçlendirme yapmışlardır. Güçlendirme metotlarının performansları dört nokta eğilme deneyi yapılarak elde edilen yük-deplasman ilişkisine, deneysel gözlemlere ve kirişin kırılma modlarına göre incelenmiştir. Yapılan güçlendirme, eğilme dayanımının %3,5 ile %9,5 arasında artışı sağlamıştır.

Sharma vd. (2015) bambuların, Çin’de üretimi yapılan ve mühendislerin güvenlikle kullanabileceği, standartlara uygun iki farklı üretim sonucu elde edilen Bambu Scrimber ve Bambu Laminelerin, basınç, çekme, kesme ve dört noktadan eğilme deneylerini yapılmışlardır. Yaptıkları bütün deney sonuçlarında Scrimber Bambunun dayanımının Lamine edilen bambudan yüksek olduğunu görmüşlerdir. Her iki Bambu dayanımının normal beton dayanımından yüksek çıktığı görülmüştür.

Corradi vd. (2016) eğilme testini kullanarak yumuşak ahşap kirişleri kimyasal yapıştırıcı kullanmadan organik reçine yardımıyla birleştirerek yapısal davranışındaki değişimleri incelemişlerdir. Birden fazla güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş ahşap kiriş elemanları üzerinde deneysel çalışmalar yaparken aynı zamanda üç boyutlu sonlu elemanlar modelini de oluşturularak analizler yapmışlardır. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve sonuçlara göre yük deplasman grafikleri yapılan bu doğal birleşim ve güçlendirmenin uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Bernard vd. (2018) yaptıkları çalışmada Gabon’da yetişen üç farklı ağaç (Iroko, Okume ve Padouk) türünden oluşan deney numunelerini çeşitli testlere tabi tutmuşlar ve karakteristik özelliklerini araştırmışlardır. Numunelerin test süresince gerilme-deplasman grafiklerinde Iroko ve Padouk ağaçlarından yapılan numunelerin üzerinde ki kuvvetin aynı kaldığı, deplasmanın ise arttığını gözlemlenmişlerdir. Okume ağacından yapılan numunede ise taşıyabildiği kuvvet azalırken, yaptığı deplasman artmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. 4 Noktalı Eğilme Deneyi

Bu tez kapsamındaki deneysel çalışmada TS 5497 EN 408 standardı kullanılmıştır. Bu standarda göre deney elemanının boyutları tayin edilmiştir.

3.1.1. Deney parçası

Deney parçasının/elemanının uzunluğu, kesit derinliğinin en az 19 katı olmalıdır. Bunun mümkün olmadığı yerde, kiriş açıklığı rapor edilmelidir (TS 5497 EN 408, 2006).

3.1.2. İşlem

Deney parçası Şekil 3.1’te görüldüğü gibi mesnetler arasındaki mesafe deney parçası/elemanı yüksekliğinin 18 katından fazla olacak şekilde, iki eğilme noktasında simetrik olarak yüklenmelidir. Deney numunesi ve cihaz, bu şartların tam olarak yerine getirilmesine izin vermiyorsa, yükleme noktaları ile mesnetler arasındaki mesafe, parça yüksekliğinin 1,5 katını geçmeyecek, mesnet açıklığı ve deney parçasının uzunluğu parça yüksekliğinin 3 katını geçmeyecek ve simetriyi bozmayacak şekilde değiştirilebilir. Deney numunesi basitçe mesnetlenmelidir (TS 5497 EN 408, 2006).

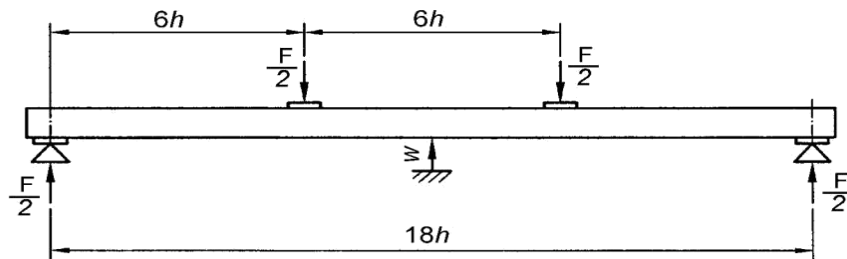
Deney eleman boyu fabrika üretiminden dolayı 290 cm alınmıştır. Söz konusu bu boy standart kiriş eleman olarak kullanılmaktadır.

Not 1 – Lokal ezilmeleri en aza indirmek için; deney parçası ile mesnetler veya yükleme başlıkları arasına, deney parçası yüksekliğinin yarısını geçmeyecek uzunlukta küçük çelik plâkalar konulabilir.

Yanal sıkıştırma, burulmayı önleyecek şekilde hazırlanmış olmalıdır. Bu sıkıştırma numunenin önemli bir sürtünme direnci göstermeden eğilmesine izin vermelidir. Yük sabit bir oranda uygulanmalıdır.

Yükleme başlığının hareket hızı, 0,003 h mm/s’den daha büyük olmamalıdır (Şekil 3.1).

Uygulanan en büyük yük $0,4F_{\max}$ ’ı geçmemeli veya deney parçasında hasara sebebiyet vermemelidir.



Şekil 3.1. Eğilme esnekliği modülünün lokal ölçümü için deney düzeneği(TS 5497 EN 408, 2006)

Kullanılan yükleme cihazı, deney parçasına uygulanan yükü, uygulanan yükün % 1'i doğrulukla veya uygulanan en büyük yükün % 10'undan daha az yükler için ise, uygulanan en büyük yükün % 0,1'i doğrulukla ölçebilecek kapasitede olmalıdır.

Sehim w , mesnet açıklığının ortasında ve çekme veya basınç kenarının ortasında ölçülmelidir. w , nötr ekseninde ölçüldüğünde, deney parçasının her iki kenarında yapılan ölçümlerin ortalaması olmalıdır. Sehimler % 1 doğrulukla veya 2 mm'nin altındaki sehimler, 0,02 mm doğrulukla tayin edilmelidir.

Not 2 –Deneyin yapılışı yukarıdakilerden daha farklıysa bu farklar kaydedilir ve ayarlama faktörleri tayin edilir.

Not 3 –Sehimler w , mesnetlerde ve yükleme noktalarında oluşabilecek bazı lokal ezilmeleri kapsar.

Global eğilme esneklik modülü (3.1) formülüne göre hesaplanacaktır.

$$E_{m.g} = \frac{\ell^3 (F_1 - F_2)}{bh^3 (W_1 - W_2)} \times \left[\left(\frac{3a}{4\ell} \right) - \left(\frac{a}{\ell} \right)^3 \right] \quad (3.1)$$

Burada:

- $F_2 - F_1$, Yük sehim eğrisinin doğru hattı üzerindeki yük oranının artışı, N ,
- $w_2 - w_1$, $F_2 - F_1$ 'e karşılık gelen deformasyondaki artış, mm.
- $E_{m.g}$; yük/sapma doğrusal regresyonundan hesaplanırsa, korelasyon katsayısının karesi 0,99'dan büyük olmalıdır.
- Esneklik modülü, % 1 doğrulukla hesap edilmelidir.(TS 5497 EN 408, 2006)

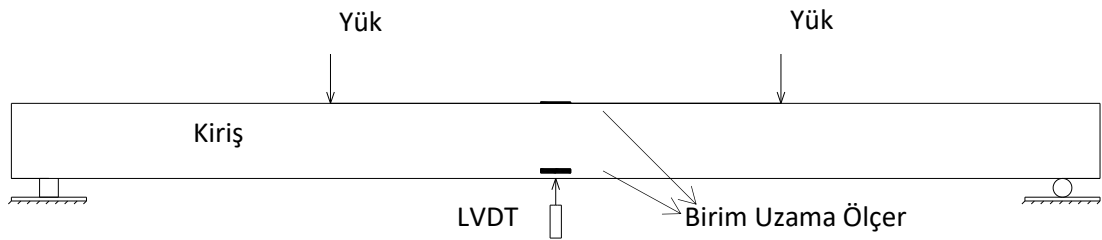
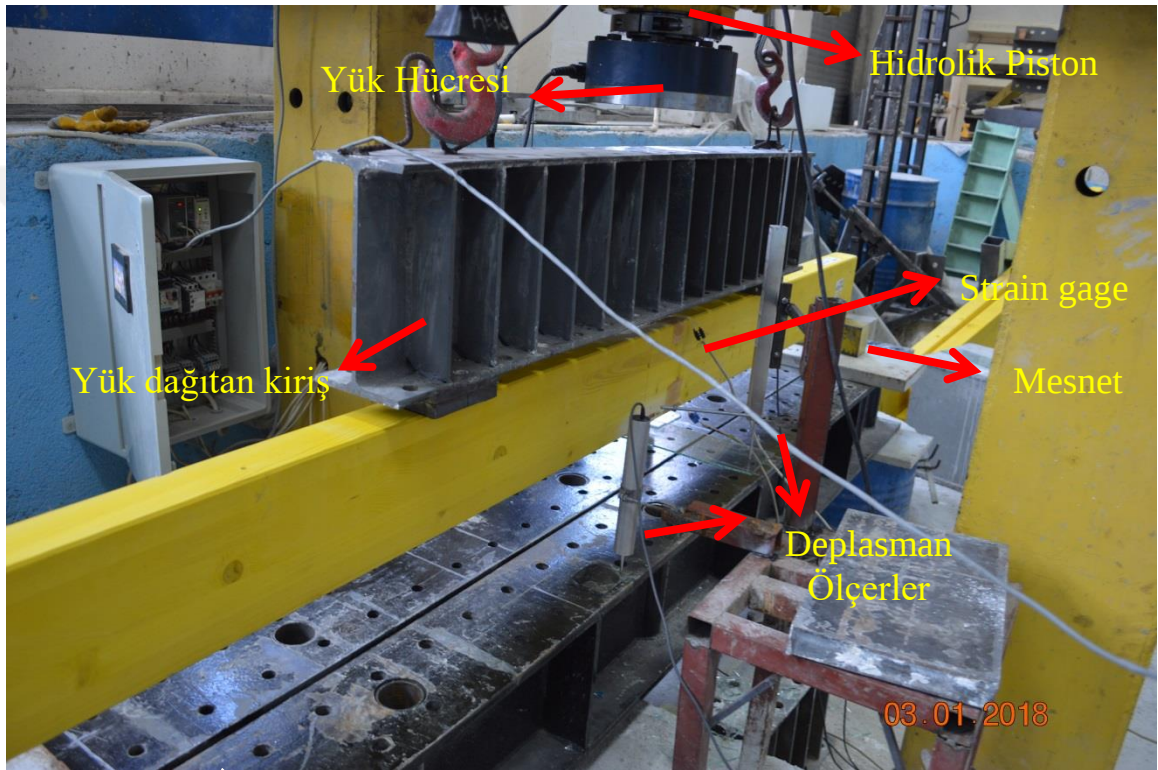
3.2. Eğilme Testleri

ALANYALI ENTEGRE AHŞAP SAN. İMŞ. NAKL. TURZ. İHR. ve TİC. A.Ş. tarafından imal edilen ahşap kiriş elemanların eğilme testleri bu tez kapsamında yapılmıştır. Eğilme testleri yapılan kiriş elemanların geometrik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1'de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ahşap kiriş elemanlar

Malzeme Özeliği	En (cm)	Yükseklik (cm)	Boy (cm)	Adet
Çam Solid Kiriş	8	20	290	3
Çam Ekli Kiriş	8	20	290	3
Ladin Solid Kiriş	8	20	290	3
Ladin Ekli Kiriş	8	20	290	3
Ladin Karışık Ekli Kiriş	8	20	290	3

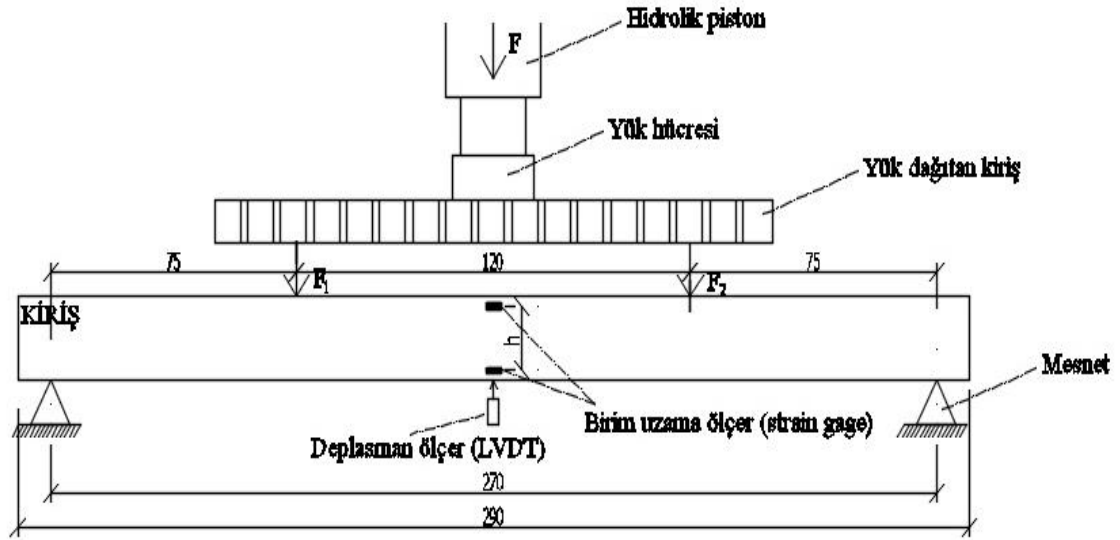
Firma tarafından temin edilen, boyutları 8x20x290 cm olan ve her bir en kesitte 3 adet ahşap kiriş elemanlar test edilmiştir. Hazırlanan deney elemanlarının 100 ton kapasiteye sahip yükleme çerçevesinde iki noktadan yüklemeye tabi tutularak eğilme dayanımları belirlenmiştir. Yükleme çerçevesine bağlanmış olan 100 ton kapasiteli hidrolik pistonla bir hassasiyetine sahip yük hücresi monte edilerek yük değerleri okunmuştur. Yük hücresi ve deplasman ölçerlerin okuyacağı değerler veri toplama sistemi kanalıyla bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 3.2’de detayları ile gösterilen deney düzeneğinde de görüldüğü üzere yükleme sırasında elemanlarda meydana gelecek deplasmanların ölçülmesi amacıyla deney düzeneğine 4 adet LVDT (deplasman ölçer) yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Deney düzeneği ve ölçüm sistemi

Ayrıca her bir seride sadece bir adet kiriş elemanına 80mm uzunluğunda 2 adet birim uzama ölçer (strain gauge) kirişin alt ve üst bölgesine yapıştırılmıştır. Bu birim uzamalar sayesinde kiriş orta açıklığında kiriş eğrilik değerleri hesaplanmıştır.

3.3. Moment – Eğrilik Grafiğinin Oluşturulması



Şekil 3.3. Deney düzeneği yerleşim ölçüleri

Her bir seride bir adet kiriş elemanına 80mm uzunluğunda 2 adet birim uzama ölçer (strain gauge) kirişin alt ve üst bölgesine yapıştırılmıştır. Birim uzama ölçerden deney boyunca artan yükleme anında ölçülen gerilme değerleri veri toplama sistemi kanalıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bu birim uzamalar sayesinde formül 3.3 kullanılarak i'ninci andaki kiriş orta açıklığında kiriş eğrilik değerleri ϕ_i rad/m olarak hesaplanmıştır.

$$\phi_i = 0,001 \times \frac{|\varepsilon_{ai}| + |\varepsilon_{bi}|}{h} \quad (3.3)$$

Her hangi bir andaki yükleme değeri veri toplama sistemi kanalıyla bilgisayara kaydedilmiş ve bu yük değerlerine göre oluşan maksimum moment formül 3.4'e göre i'ninci andaki $M_{\max}$ kNm olarak hesaplanmıştır.

$$M_{\max i} = l \times \frac{F}{2} \times g \times 10^{-5} \quad (3.4)$$

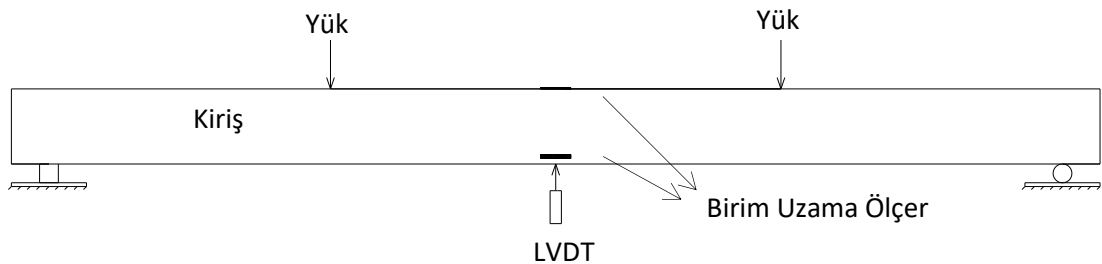
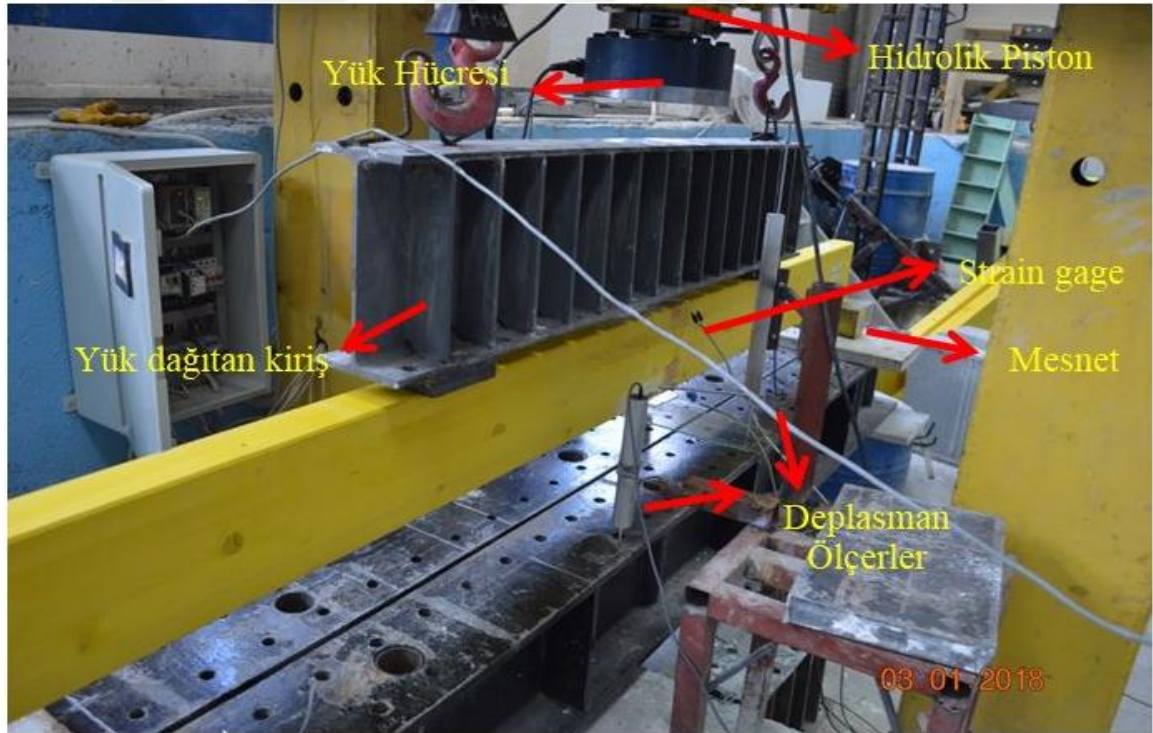
Elde edilen i'ninci andaki değerler kullanılarak moment-eğrilik grafiği oluşturulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 8x20x290 cm ebatlarında çam solid, çam ekli, ladin solid, ladin ekli ve ladin karışık ekli kiriş ahşap elemanların yükleme çerçevesinde iki noktasal yük altında eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Söz konusu testler TS 5497 EN 408 standardına göre yapılmış olup elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

4.1. Çam Solid Kiriş Elemanlar için Eğilme Testleri

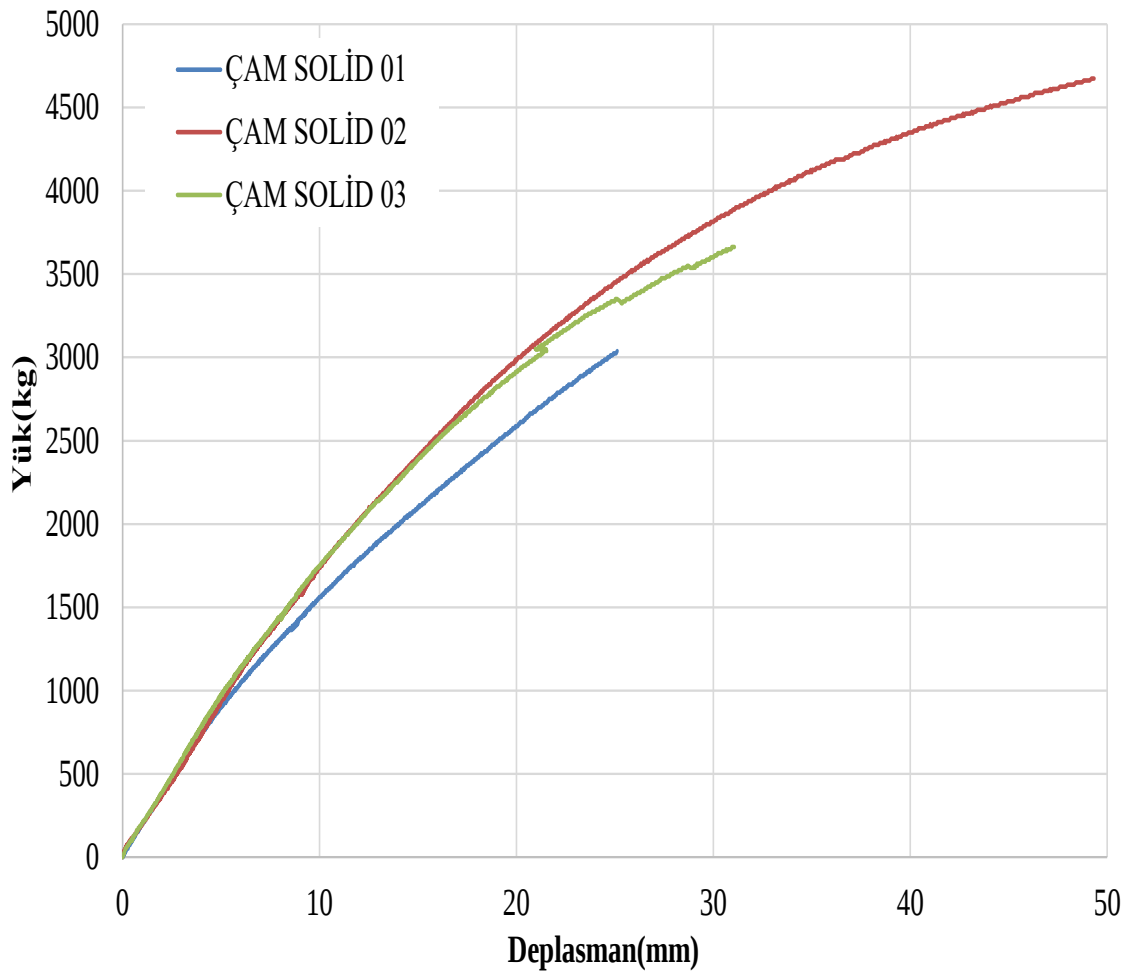
Firma tarafından temin edilen, boyutları 8x20x290 cm olan 3 adet ahşap kiriş elemanlar test edilmiştir. Hazırlanan deney elemanlarının 100 ton kapasiteye sahip yükleme çerçevesinde iki noktadan yüklemeye tabi tutularak eğilme dayanımları belirlenmiştir. Yükleme çerçevesine bağlanmış olan 100 ton kapasiteli hidrolik pistonla binde bir hassasiyetine sahip yük hücresi monte edilerek yük değerleri okunmuştur. Yük hücresi ve deplasman ölçerlerin okuyacağı değerler veri toplama sistemi kanalıyla bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 4.1’de detayları ile gösterilen deney düzeneğinde de görüldüğü üzere yükleme sırasında elemanlarda meydana gelecek deplasmanların ölçülmesi amacıyla deney düzeneğine 4 adet LVDT (deplasman ölçer) yerleştirilmiştir.



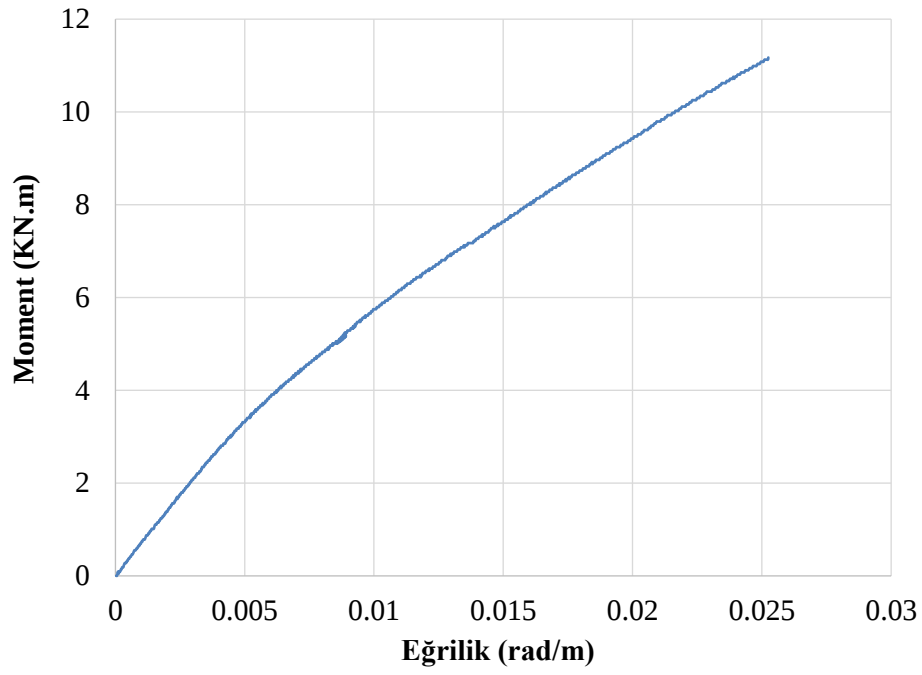
Şekil 4.1. Deney düzeneği ve ölçüm sistemi

Ayrıca bir adet kiriş elemanına 80mm uzunluğunda 2 adet birim uzama ölçer (staingauge) kirişin alt ve üst bölgesine yapıştırılmıştır. Bu birim uzamalar sayesinde kiriş orta açıklığında kiriş eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Bütün deneylerde aynı yol izlenmiştir.

Deney sonuçlarına bakıldığı zaman 1., 2. ve 3. Çam Solid kiriş elemanlarının taşıdığı maksimum yük değerleri sırasıyla 3037 kg, 4675 kg ve 3662 kg olarak ölçülmüştür. Bu yük değerlerinde kiriş orta açıklığında meydana gelen maksimum düşey deplasman ise sırasıyla 25.1mm, 49.3mm ve 31.1mm'dir. Şekil 4.2'de 1., 2. ve 3. Çam Solid kiriş elemanlarının yük-deplasman grafikleri görülmektedir. Şekil 4.3'de ise 1. kiriş elemana ait moment-eğrilik grafiği görülmektedir. Deney sonrası çekilmiş fotoğraflar ise Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Çam solid kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği



Şekil 4.3. Çam solid kirişe ait moment-eğrilik grafiği



1.Kiriş

2. Kiriş

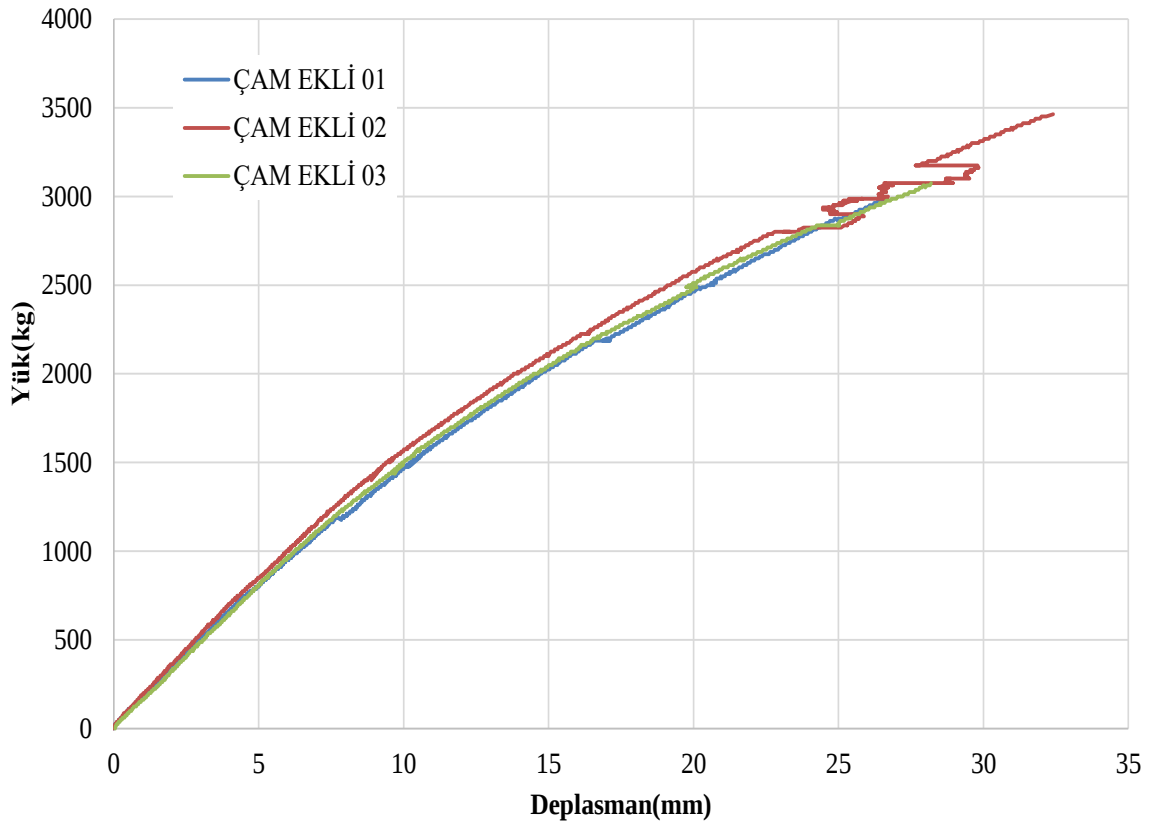


3. Kiriş

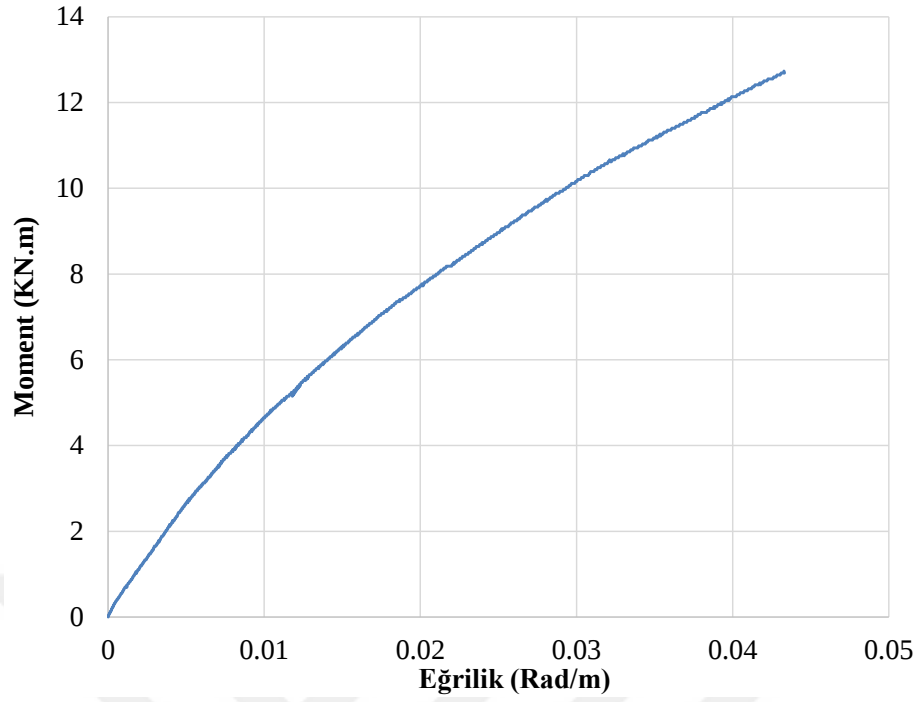
Şekil 4.4. Çam solid kirişlere ait hasar fotoğrafları

4.2. Çam Ekli Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri

Deney sonuçlarına bakıldığı zaman 1., 2. ve 3. Çam Ekli kiriş elemanlarının taşıdığı maksimum yük değerleri sırasıyla 2988 kg, 3463 kg ve 3075 kg olarak ölçülmüştür. Bu yük değerlerinde kiriş orta açıklığında meydana gelen maksimum düşey deplasman ise sırasıyla 26.7mm, 32.4mm ve 28.2mm'dir. Şekil 4.5'de 1., 2. ve 3. Çam Ekli kiriş elemanlarının yük-deplasman grafikleri görülmektedir. Şekil 4.6'da ise 1. kiriş elemana ait moment-eğrilik grafiği görülmektedir. Deney sonrası çekilmiş fotoğraflar ise Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Çam ekli kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği



Şekil 4.6. Çam ekli kirişe ait moment-eğrilik grafiği



1.Kiriş



2. Kiriş

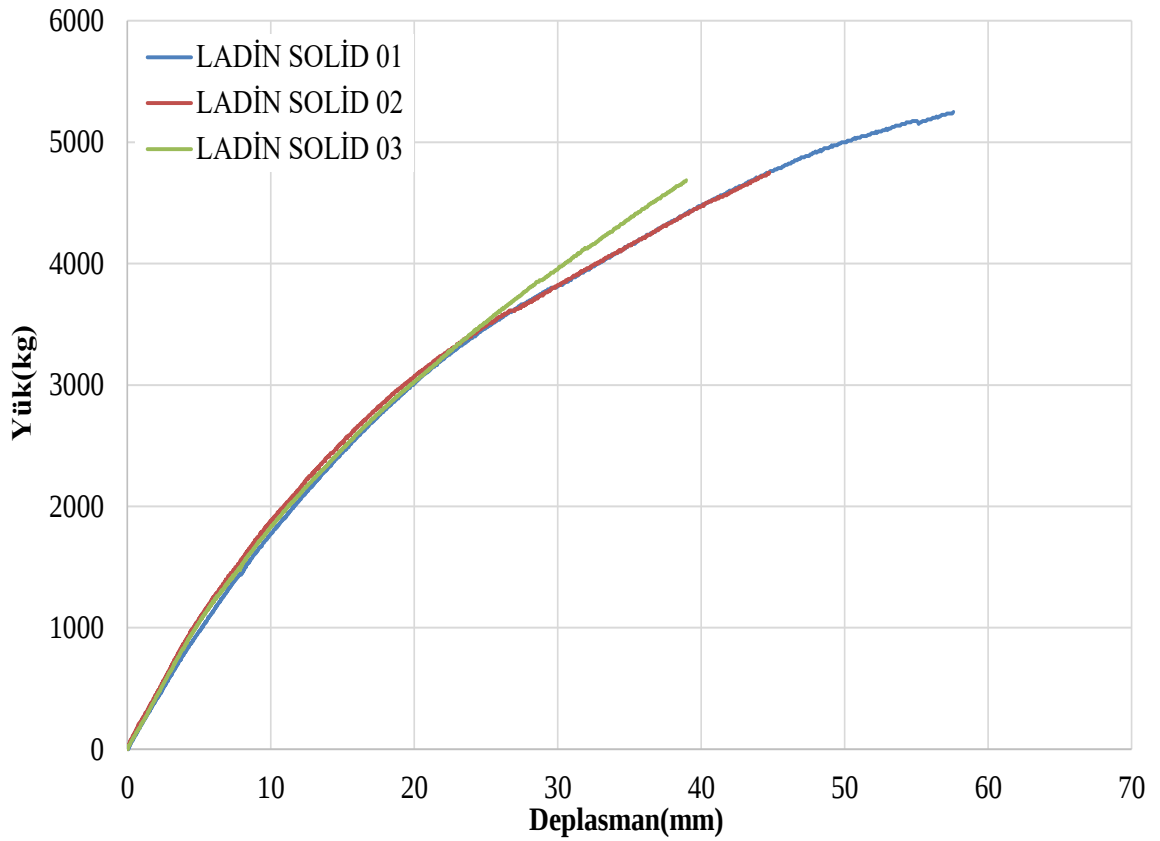


3. Kiriş

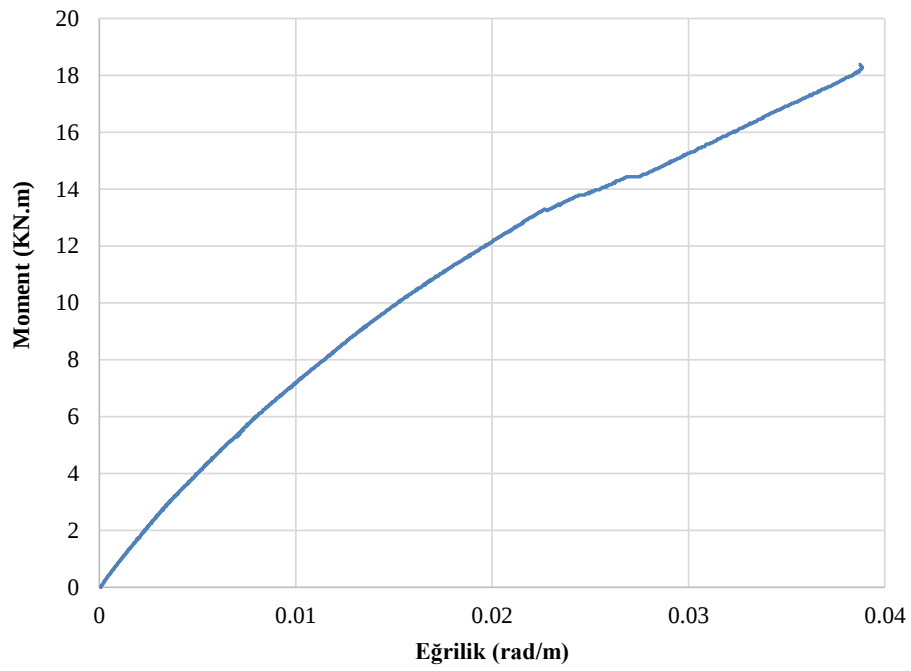
Şekil 4.7. Çam ekli kirişlere ait hasar fotoğrafları

4.3. Ladin Solid Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri

Deney sonuçlarına bakıldığı zaman 1., 2. ve 3. Çam Ekli kiriş elemanlarının taşıdığı maksimum yük değerleri sırasıyla 5250 kg, 4750 kg ve 4688 kg olarak ölçülmüştür. Bu yük değerlerinde kiriş orta açıklığında meydana gelen maksimum düşey deplasman ise sırasıyla 57.6 mm, 44.8 mm ve 39 mm'dir. Şekil 4.8'de 1., 2. ve 3. Ladin Solid kiriş elemanlarının yük-deplasman grafikleri görülmektedir. Şekil 4.9'da ise 1. kiriş elemana ait moment-eğrilik grafiği görülmektedir. Deney sonrası çekilmiş fotoğraflar ise Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.8. Ladin solid kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği



Şekil 4.9. 1. Ladin solid kirişe ait moment-eğrilik grafiği



1.Kiriş

2. Kiriş

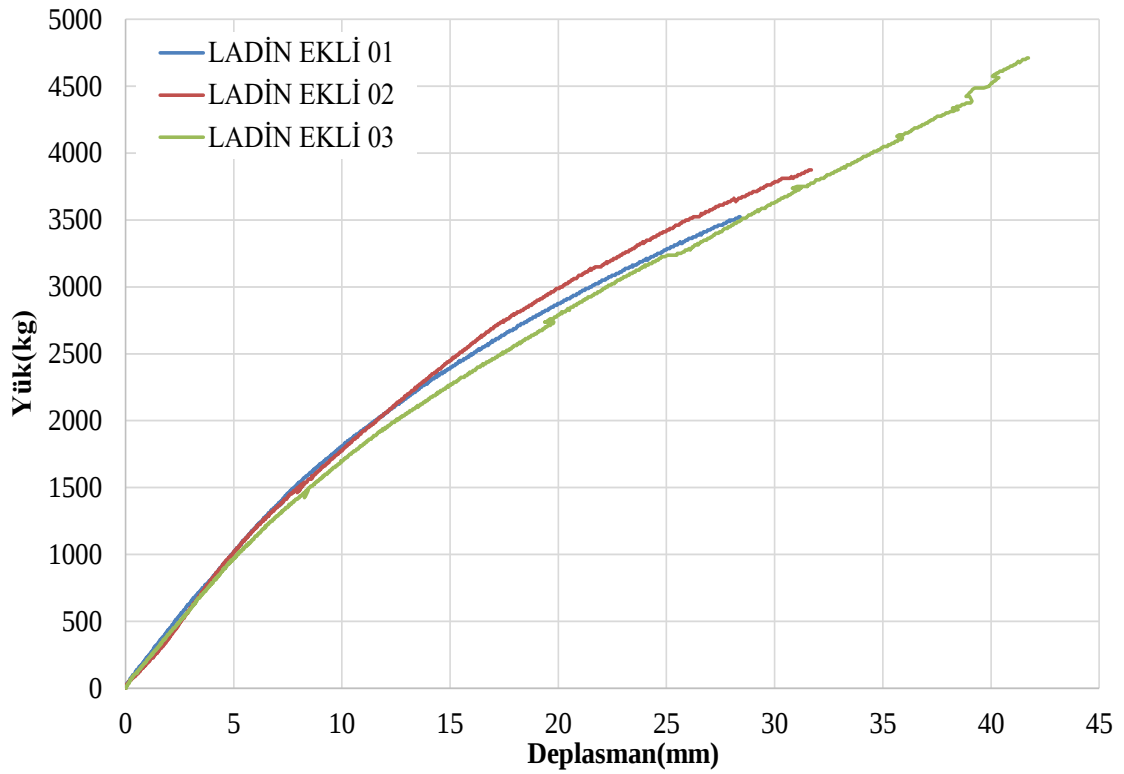


3. Kiriş

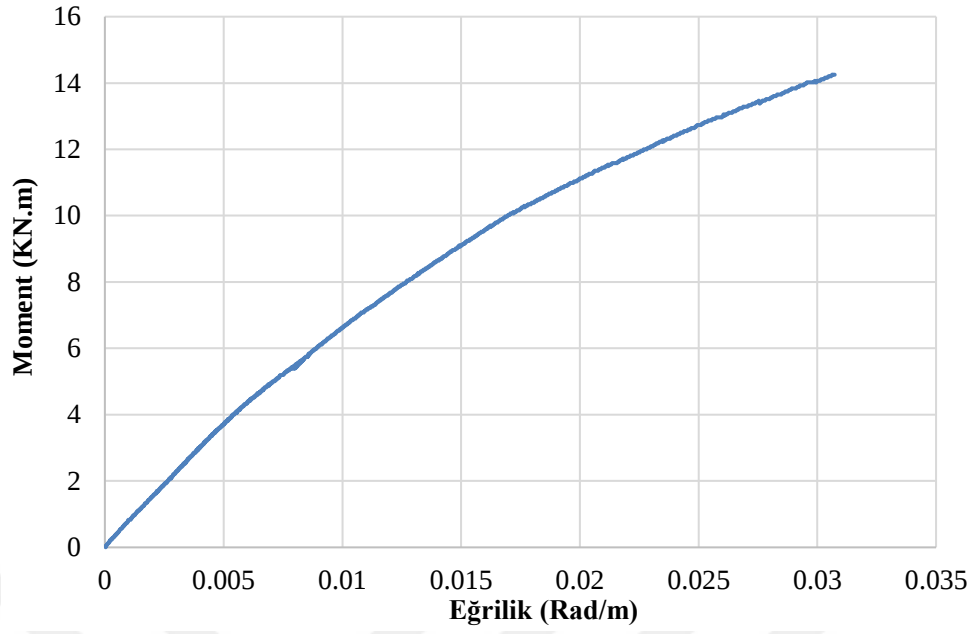
Şekil 4.10. Ladin solid kirişlere ait hasar fotoğrafları

4.4. Ladin Ekli Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri

Deney sonuçlarına bakıldığı zaman 1., 2. ve 3. Ladin Ekli kiriş elemanlarının taşıdığı maksimum yük değerleri sırasıyla 3525 kg, 3875 kg ve 4713 kg olarak ölçülmüştür. Bu yük değerlerinde kiriş orta açıklığında meydana gelen maksimum düşey deplasman ise sırasıyla 28.4 mm, 31.7 mm ve 41.7 mm'dir. Şekil 4.11'de 1., 2. ve 3. Ladin Ekli kiriş elemanlarının yük-deplasman grafikleri görülmektedir. Şekil 4.12'de ise 1. kiriş elemana ait moment-eğrilik grafiği görülmektedir. Deney sonrası çekilmiş fotoğraflar ise Şekil 4.13'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Ladin ekli kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği



Şekil 4.12. Ladin ekli kirişe ait moment-eğrilik grafiği



1. Kiriş



2. Kiriş

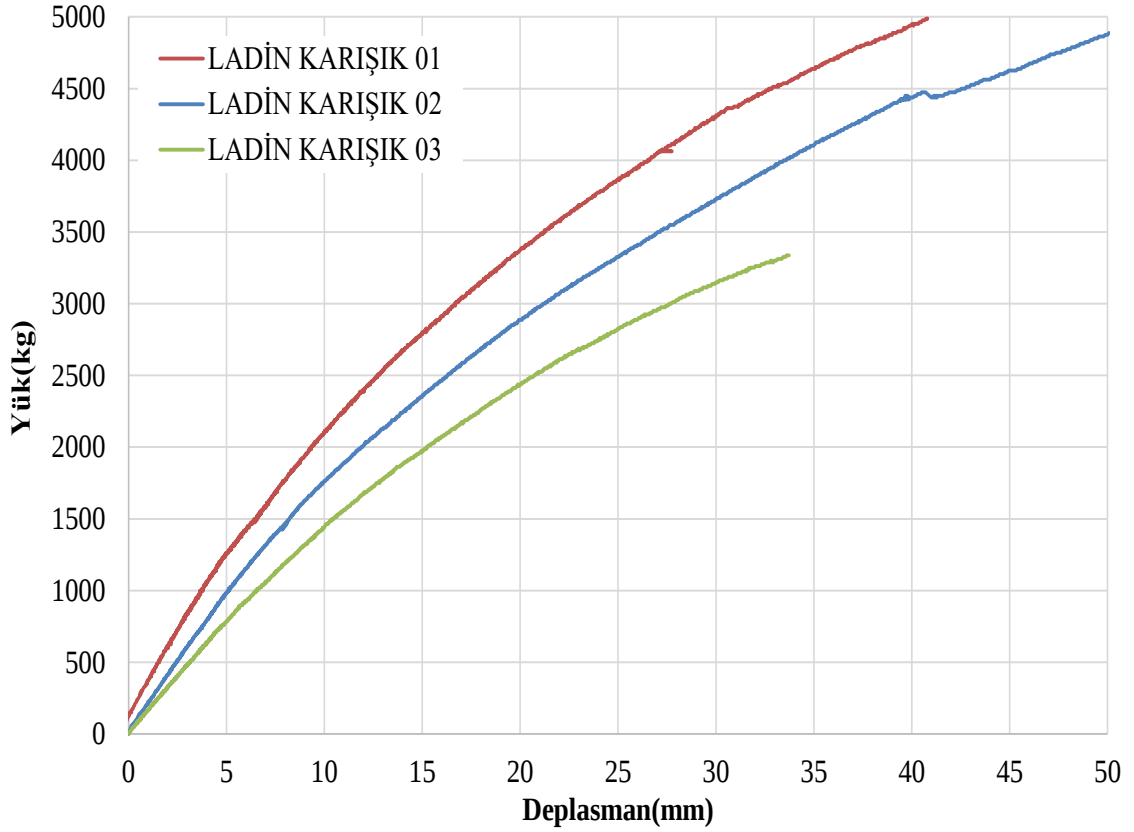


3. Kiriş

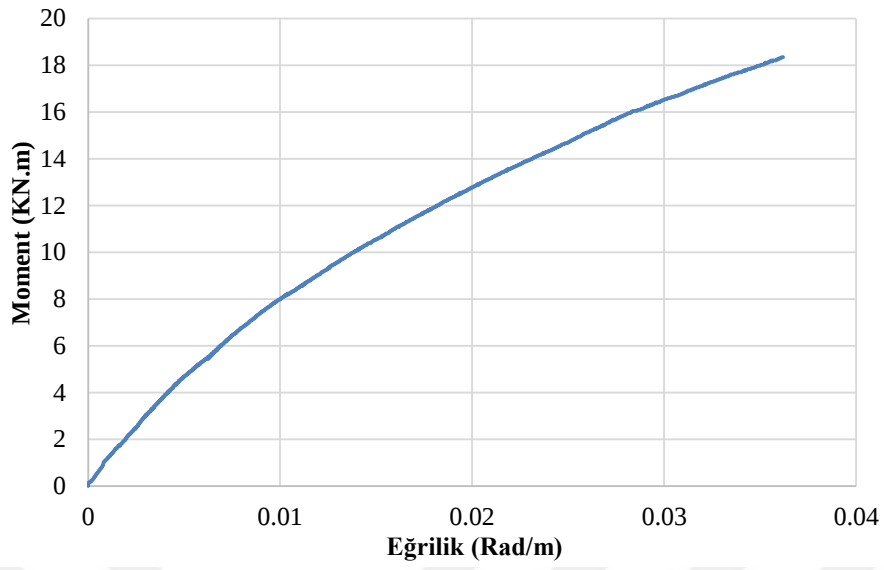
Şekil 4.13. Ladin ekli kirişlere ait hasar fotoğrafları

4.5. Ladin Karışık Kiriş Elemanlar İçin Eğilme Testleri

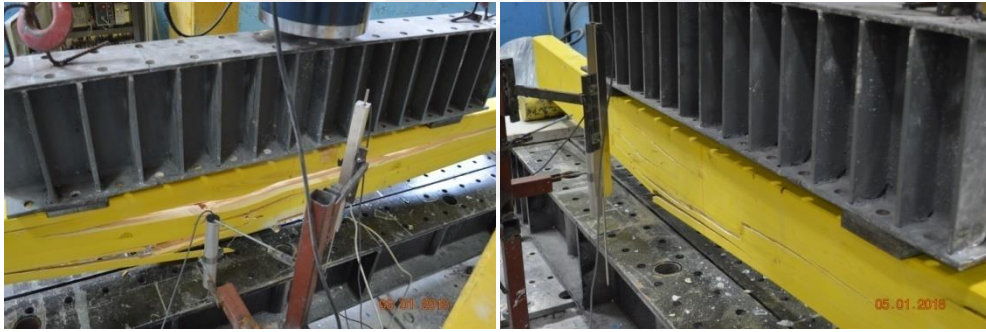
Deney sonuçlarına bakıldığı zaman 1., 2. ve 3. Ladin Karışık kiriş elemanlarının taşıdığı maksimum yük değerleri sırasıyla 4988 kg, 4888 kg ve 3338 kg olarak ölçülmüştür. Bu yük değerlerinde kiriş orta açıklığında meydana gelen maksimum düşey deplasman ise sırasıyla 40.8 mm, 50.1 mm ve 33.7 mm'dir. Şekil 4.14'de 1., 2. ve 3. Ladin Karışık kiriş elemanlarının yük-deplasman grafikleri görülmektedir. Şekil 4.15'de ise 1. kiriş elemana ait moment-eğrilik grafiği görülmektedir. Deney sonrası çekilmiş fotoğraflar ise Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.14. Ladin karışık kiriş elemanlarının yük-deplasman grafiği



Şekil 4.15. 2. Ladin karışık kirişe ait moment-eğrilik grafiği



1. Kiriş

2. Kiriş



3. Kiriş

Şekil 4.16. Ladin karışık kirişlere ait hasar fotoğrafları

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 8x20x290 cm ebatlarında çam solid, çam ekli, ladin solid, ladin ekli ve ladin karışık ekli kiriş ahşap elemanların yükleme çerçevesinde iki noktasal yük altında eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda ahşap kiriş elemanlarının göçme yükleri, ortalama göçme yükleri, göçme yükü altındaki maksimum deplasmanları, göçme yükü altında elemanda meydana gelen moment, göçme yükü altında elemanda meydana gelen eğrilik Çizelge 5.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney sonuçları

Eleman	Deney No	P yük (kg)	P ort (kg)	Ort. Dayanım (kg/cm ²)	Ort. Güv. Dayanım (kg/cm ²)	Deplasman (mm)	Moment (kN.m)	Eğrilik (rad./m)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
Çam Solid Kiriş	1	3038	3792	267	178	25,1	11,17	0,0252	11745
	2	4675				49,3			12403
	3	3663				31,1			12835
Çam Ekli Kiriş	1	2988	3175	223	149	26,7			11227
	2	3463				32,4	12,73	0,0433	11415
	3	3075				28,2			11301
Ladin Solid Kiriş	1	5250	4896	344	230	57,6	19,31	0,0388	11902
	2	4750				44,8			13033
	3	4688				39,0			12741
Ladin Ekli Kiriş	1	3525	4038	284	189	28,4			13611
	2	3875				31,7	14,25	0,0307	13414
	3	4713				41,7			11394
Ladin Karışık Ekli Kiriş	1	4988	4404	310	206	40,8	18,34	0,0362	14132
	2	4888				50,1			11755
	3	3338				33,7			10308

P yük: Deney esnasında ölçülen maksimum yük, P ort: 3 deneyin yük ortalaması, Ortalama güvenli dayanım: ortalama yük değerinden hesaplanan eğilme dayanımı (1.5 ile bölünmüştür), Deplasman: maksimum yük altında meydana gelen düşey deplasman, Moment: ilgili kirişin maksimum yük altında elemanda meydana gelen moment, Eğrilik: ilgili kirişin maksimum yük altında elemanda meydana gelen eğrilik

Çizelge 5.1’deki verilere göre 8x20x290 cm ebatlarındaki çam solid, çam ekli, ladin solid, ladin ekli ve ladin karışık ekli olmak üzere 5 farklı eleman için ortalama eğilme dayanım kuvvetleri değerleri sırasıyla 3792 kg, 3175 kg, 4896 kg, 4038 kg ve 4404 kg olarak hesaplanmıştır. Ahşap kiriş elemanları üzerinde yapılan eğilme testleri sonucunda elde edilen dayanımlara bakıldığında zaman ladin solid kiriş elemanlarının uygulanan kuvvete karşı göstermiş oldukları dayanım 4896 kg ile ilk sırada yer almaktadır. Ladin solid kirişten sonra ladin karışık ekli kiriş 4404 kg göçme yükü ile

ikinci sırada yer almıştır. Ladin ekli kiriş 4038 kg göçme yükü ile 5 eleman arasında 3. en iyi performansı göstermiştir. Çam solid kiriş 3792 kg'lık göçme yükü ile ladin solid, ladin karışık ekli kiriş ve ladin ekli kirişten daha düşük göçme yüküne sahip olmuştur. Beş farklı elemanın eğilme testleri sonucunda çam ekli kiriş 3175 kg ortalama ile en düşük göçme yüküne sahip olarak öne çıkmaktadır. Sonuçlara bakıldığında zaman ladin malzemenin her durumda çam malzemeye oranla daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir.

Deney sonuçlarına bakıldığında tip olarak ladin solid kirişin diğer tiplere göre daha iyi dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Bunun sonucuna herhangi bir ek işleme tabi tutulmaması yada ekle yapılmaması gösterilebilir. Ladin solid diğer ekli kirişler gibi herhangi bir ek işleme tabi tutulmamaktadır. Ekli kirişler tutkallanma ve preslenme işlemlerinden geçmektedir. Bu sebeple ladin solid kirişin daha iyi dayanıma sahip olmasının yanı sıra imalatı sırasında zamandan ve işçilikten tasarruf sağlandığı için diğer kiriş tiplerine göre daha ekonomiktir.



6.KAYNAKLAR

- Acar, E. 1996. "*Anadolu'da tarihöncesi çağlardan tunç çağı sonuna kadar konut ve yerleşme*", Tarihten Günümüze Anadolu'da Konut ve Yerleşme– Habitat II: 380-395.
- Akgül, T. 2013. CCB Nano Partiküllerle Güçlendirilmiş Ahşap Yapı Elemanlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi: T.C. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Aktas, Y.D. Akyüz, U. Türer, A. Erdil, B. ve Güçhan, N.S. 2014. "*Seismic resistance evaluation of traditional Ottoman timber-frame himis houses: Frame loadings and material tests*", Earth quake Spectra, 30: 1711-1732.
- Alam, P. Ansell, M.P. ve Smedley, D. 2009. "*Mechanical repair of timber beams fractured in flexure using bonded-in reinforcements*", Composites Part B: Engineering, 40: 95-106.
- Asarcıklı, M. ve Keskin, H. 2005. Ahşap süsleme teknikleri: teknik & projeler. Gazi Kitabevi,
- Bernard, O., Rostand, M. P., Evelyne, T., Michel, G. (2018). Experimental investigation o f mixed mode fracture of tropical wood material. *Procedia Structural Integrity*, 13, 347-352.
- Borri, A.,Corradi, M. ve Grazini, A. 2005. A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials. Composites Part B: Engineering, 36,pp. 143-153.
- Bozkurt, A. Y. ve Göker, Y. 1987. Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N.1997. Ağaç Teknolojisi, İÜ Orman Fak.
- Carreira, M. R.,Alcantara Segundinho, P. G. D. ve Dias, A. A. 2012. Determination of the e/g ratio of wood logs using transverse vibration. Wood Research, 57, pp. 207-220.
- Chi-Jen, C. 1999. Mechanical behavior of fiber glass reinforced timber joints. World Conference On Timber Engineering WCTE, 31p.
- Claisse, P. A. ve Davis, T. J. 1998. High performance jointing systems for timber. Construction and Building Materials, 12, pp. 415-425.
- Corradi, M., Borri, A., Castori, G., Speranzini, E. 2016. Fully reversible reinforcement of softwood beams with unbonded composite plates. *Composite Structures*, 149, 54-68.
- Davis, G. 1997. "*The performance of adhesive systems for structural timbers*", International Journal of Adhesionand Adhesives, 17:247-255.

- de la Rosa García, P., Escamilla, A. C. ve García, M. N. G. 2013. Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials. *Composites Part B: Engineering*, 55, pp. 528-536.
- De Luca, V. ve Marano, C., 2012. Prestressed glulam timber reinforced with steel bars. *Construction and building materials*, 30, pp. 206-217.
- Dempsey, D. D. ve Scott, D. W. 2006. Wood members strengthened with mechanically fastened FRP strips. *Journal of Composites for Construction*, 10, pp. 392-398.
- Duman, N. 1964. *Tutkallı Ahşap Yapılar*, 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Duman, N., Öktem, S. 1988. *Ahşap Yapı Dersleri*: 1, 2. Baskı, YEM Yayınevi, İstanbul.
- Eriç, M. 2002. *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Literatür Yayıncılık, 2. Baskı, İstanbul,
- Erkoç, E. 2004. *Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama- Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Gentry, T. R. 2011. Performance of glued-laminated timbers with FRP shear and flexural reinforcement. *Journal of Composites for Construction*, 15, pp. 861-870.
- Harvey, K. ve Ansell, M.P. 2003. *Improved timber connections using bonded-in GFRP rods*: University of Bath.
- Hunt, J. F., Zhang, H., Guo, Z. ve Fu, F. 2012. Cantilever beam static and dynamic response comparison with mid-point bending for thin MDF composite panels. *BioResources*, 8, pp. 115-129.
- Jasieńko, J. ve Nowak, T. P. 2014. Solid timber beams strengthened with steel plates—Experimental studies. *Construction and Building Materials*, 63, pp. 81-88.
- Li, Y.-F., Tsai, M.-J., Wei, T.-F. ve Wang, W.-C. 2014. A study on wood beams strengthened by FRP composite materials. *Construction and Building Materials*, 62, pp. 118-125.
- Mıstak, O. 2013. *Sarıçam Ağaç Malzeme Ve Farklı Fiber (FRP) Kumaşları İle Elde Edilen Lamine Ağaç Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Mirov, N.T. ve Hasbrouck, J. 1976. *The story of pines*: Indiana University Press.
- Moayyed, M. Y. ve Taheri, F. 2010. Creep response of glulam reinforced by a novel pre-stressed FRP-wood composite system. *Proceedings of the 11th world conference on timber engineering*, Trentino, Italy, pp. 20-24.

- Motlagh, B.,Gholipour, Y. ve Gh, E. 2012. Experimental Investigation On Mechanical Properties Of Old Wood Members Reinforced With Frp Composite. Wood Research, 57, pp. 285-296.
- Ogawa, H. 2000. Architectural application of carbon fibers: Development of new carbon fiber reinforced glulam. Carbon, 38, pp. 211-226.
- Ohlsson, S. ve Perstorper, M. 1992. Elastic wood properties from dynami tests and computer modeling. Journal of Structural Engineering, 118,pp. 2677-2690.
- Örs, Y. ve Keskin, H. 2001. Ağaç Malzeme Bilgisi, Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Yayın,
- Panshin, A. 1980. Carl. De Zeeuw. Textbook of wood technology, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Roohnia, M.,Alavi-Tabar, S.-E., Hossein, M.-A.,Brancheriau, L. ve Tajdini, A. 2011. Dynamic modulus of elasticity of drilled wooden beams. Nondestructive Testingand Evaluation, 26, pp. 141-153.
- Sarıbıyık, M. AKGUL, T. APAY, A. ve Sarıbıyık, A. 2009. "*Bending Analysis of Timber Connection Strengthen with Glass Fiber Reinforced Plastic*",2009:43-49.
- Sharma, B., Gatóo, A., Bock, M., Ramage, M. 2015. Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66-73.
- Sheard, L. 1988. "*Ahşap Malzemenin Korunmasında Geçerli Uygulama ve Araştırmalar, Ahşap Malzemenin Korunması*", MPM Yayınları, 338: 24-33.
- Şimşek, O. 2000. Yapı Malzemeleri Cilt: 1-2. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Tanyeli, U. 1996. "Anadolu'da Bizans, Osmanlı Öncesi ve Osmanlı Dönemlerinde Yerleşme ve Barınma Düzeni", Derleyen Yıldız Sey, Tarihten Günümüze Anadolu'da Konut ve Yerleşme. Tarih Vakfı, İstanbul, Tarihsiz: 405-471.
- Triantafillou, T. C. 1997. Shearrein forcement of wood using FRP materials. Journal of Materials in Civil Engineering, 9, pp. 65-69.
- TSE, 1979. TS 647 Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı, Ankara.
- TSE, 5497. EN408. 2006.Ahşap Yapılar - Yapı Kerestesi Ve Tutkallanmış Lamine Kereste – Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkçü, Ç. 2000. Yapım, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- Willeitner, H. ve Liese, W. 1992. "*Wood protection in tropical countries*", A manual on the know-how. GTZ Schriftenreihe.
- Wright, G. 2000. "*Ancient Building Technology I-II-III.*", Leiden, Boston: Köln: Brill.
- Yalınkılıç, B. 1998 *Enhancement of the biological resistance of wood by phenylboronic acid treatment.*" Journal of wood science 44.2,152-157.
- Yang, X., Ishimaru, Y., Iida, I. ve Urakami, H. 2002. *Application of modal analysis by transfer function to nondestructive testing of wood I: determination of localized defects in wood by the shape of the flexural vibration wave.* Journal of wood science, 48, 283-288.



7. EKLER



T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığına

Firmamız tarafından üretilen 8x20x290 cm ebatlarında çam solid, çam ekli, ladin solid, ladin ekli ve ladin karışık ekli kiriş ahşap elemanların yükleme çerçevesinde iki noktasal yük altında eğilme dayanımı testleri için Fakülteniz İnşaat Mühendisliği Bölümünce yapılmasını talep ettiğimiz çalışmanın Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisi Mehmet OKKA'nın yüksek lisans tez çalışması olarak kullanmasında Firmamız açısından bir sakınca yoktur.

Bilgilerinize arz ederim.

17.12.2019

Mustafa Alanyalı

ALANYALI ENTEGRE AHŞAP
SAN. İNŞ. NAİL TUNÇTİH. İHR. ve TİC. A.Ş.
Tic.Sic.No: 29522 Mersis No: 0948 010 6413 0001
Cda Sic.No: 31645 www.alanyaliahsap.com.tr
Tel: 0242 258 18 58 Fax: 0242 258 10 55
Organize San. Bölg. 2.Kısım 23. Cad. No: 3
Ant. Kurumlar V.D. 048 010 6413 ANTALYA

Antalya Fabrika: Organize Sanayi Bölgesi 2.Kısım 23.Cad. No:3 Antalya - TÜRKİYE
Tel: +90 242 258 18 58 - Fax: +90 242 258 10 55

alwado® transforest

Rusya Fabrika: Industrialnaya 26 Pankovka Setli Velikiy Novgorod RUSSIA
Tel: +7 816 279 91 99 - Fax: +7 816 279 93 03

www.alanyaliahsap.com.tr

alanyali@alanyaliahsap.com.tr

www.alwado.com.tr

info@alwado.com.tr

ÖZGEÇMİŞ

MehmetOKKA

mehmetokka@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2016- 2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2001-2006	İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Mühendis	Korkuteli Belediyesi
2015-Devam Ediyor	İnşaat Mühendisi, Korkuteli, Antalya
Statik Proje Mühendisi	OKKA Mühendislik
2013-2015	İnşaat Mühendis, Korkuteli, Antalya
Statik Proje Mühendisi	BST Mühendislik
2007-2013	İnşaat Mühendis, Antalya