

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK ÇUBUK TAKVİYELİ AHŞAP KİRİŞLERİN TAŞIYICI PERFORMANSININ  
DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

ÖZGÜN FURKAN SARAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN  
YARD. DOÇ. DR. FATİH ALEMDAR

İSTANBUL, 2016

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇUBUK TAKVİYELİ AHŞAP KİRİŞLERİN TAŞIYICI PERFORMANSININ  
DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ**

Özgün Furkan SARAL tarafından hazırlanan tez çalışması 18.11.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Fatih ALEMDAR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yard. Doç. Dr. Fatih ALEMDAR  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Barış SEVİM  
İstanbul Üniversitesi

Prof. Dr. Özkan İŞLER  
Sabahattin Zaim Üniversitesi

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışmanın fikri, yıllar önce aklıma düşmüş ve bu süre zarfında aklımdaki yerini korumuştur. Hayatın günlük koşturmasında kendine bir yer bulamamış, hep geride kalmış olan ve üzerine çalışmaya vakit bulamadığım bu fikir tohumunun yeşermesine imkan veren, bunun hayata geçebilmesini sağlayan herkese sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Öncelikle sırf bu çalışmanın yapıldığı esnada değil her daim, varlıklarını arkamda hissettiğim ve desteklerini bir an bile benden esirgemeyen, bugünler için dünlerini sermaye eden, annem Tülay SARAL'a ve babam Ahmet SARAL'a , bu çalışma süresince her daim moralimi yüksek tutan, konsantrasyonumu sağlayabilmem için herşeyi yapan ve motivasyonumun kaynağı olan nişanlım Gülçin MOLLAOĞLU'na, her çıkmaza girdiğimde yolumu bulmamı sağlayan ve bu çalışmayı daha da ileriye götüren saygıdeğer danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fatih ALEMDAR'a ve ihtiyacım olduğu her anda bilgisi, araştırma şevki ve arkadaşlığıyla yanımda olan Şebnem ÖZGÖK'e, numune üretim sürecinde benim elimden çok elim olan Bayram Bey'e, Selahattin Bey'e ve Murat Bey'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak TR10/15/YNK/0034 kodlu proje kapsamında, Yıldız Teknik Üniversitesi'ne bu deneyleri yapmamı sağlayacak makineleri tedarik eden İstanbul Kalkınma Ajansı'na teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2016

Özgün Furkan SARAL

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT .....	xiv
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1    Literatür özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	4
1.3    Hipotez .....	5
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>8</b>
2.1    Ahşap .....	8
2.1.1    Ahşapların Sınıflandırılması.....	10
2.1.1.1    Ahşapların Elde Edildikleri Ağaçlara Göre Sınıflandırılması .....	10
2.1.1.2    Ahşapların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması.....	11
2.1.2    Ahşap Malzemenin Dayanıklılığı.....	11
2.1.3    Ahşap Malzemenin Kusurları .....	12
2.1.4    Ahşap Yapılar .....	14
2.1.4.1    Ahşap Yapıların Avantajları ve Dezavantajları.....	15
2.1.5    Ahşap Yapı Sistemleri.....	16
2.1.5.1    Ahşap Yapıların Ana Taşıyıcı Sistemleri.....	16
2.1.5.2    Ahşap Yapıların Döşeme Sistemleri .....	18
2.2    Çelik Malzemeler .....	20
2.2.1    Donatı.....	20

2.2.2	Tijler .....	21	
2.3	Epoksi Reçinesi .....	22	
BÖLÜM 323			
MALZEMELERİN İŞLENMESİ VE NUMUNE ÜRETİMİ.....23			
3.1	Numune Malzemeleri .....	23	
3.1.1	Ahşap.....	23	
3.1.2	Güçlendirme Malzemeleri.....	26	
3.1.2.1	Donatı .....	26	
3.1.2.2	Tij.....	27	
3.1.2.3	Sikadur 330.....	28	
3.2	Deney Cihazları ve Yardımcı Unsurlar .....	31	
3.2.1	Instron.....	31	
3.2.1.1	Instron 8803 Deney Cihazı.....	31	
3.2.1.2	Instron 8800 Kontrol İstasyonu .....	32	
3.2.1.3	Bluehill® 3 Statik Test Yazılımı .....	34	
3.2.2	Deney Fikstürleri.....	34	
3.3	Numune Üretimi .....	37	
3.3.1	Çekme Deneyi Numunelerinin Üretimi.....	38	
3.3.2	Koparma (Pull-Out) Deneyi Numunelerinin Üretimi .....	39	
3.3.3	Dört Noktalı Eğilme Deneyi .....	40	
3.3.3.1	Numune Üretiminde Kullanılacak Elemanların Hazırlanması .....	42	
3.3.3.2	Laminasyon İşlemi.....	47	
BÖLÜM 4			
ANALİTİK MODEL OLUŞTURULMASI.....51			
4.1	Abaqus/CAE.....	51	
4.1.1	Önişlemler ve Modelleme .....	52	
4.1.1.1	Parts .....	53	
4.1.1.2	Materials.....	56	
4.1.1.3	Sections .....	56	
4.1.1.4	Assembly.....	56	
4.1.1.5	Steps.....	57	
4.1.1.6	Constraints.....	58	
4.1.1.7	Boundary Conditions (BCs).....	59	
BÖLÜM 5			
DENEYLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARI .....			60
5.1	Deney Öncesi .....	60	
5.2	Deneylerin Yapılması .....	63	
5.2.1	Çekme Deneylerinin Yapılması .....	63	

5.2.2	Dört Noktalı Eğilme Deneyinin Yapılması.....	72	
5.3	Deney Sonuçları .....	80	
5.3.1	Çekme Deneyi Sonuçları .....	80	
5.3.1.1	Donatı Çekme Deneyleri .....	80	
5.3.1.2	Tij Çekme Deneyleri .....	82	
5.3.1.3	Ahşap Çekme Deneyleri .....	83	
5.3.1.4	Yapıştırıcı Çekme Deneyleri .....	84	
5.3.2	Pull - Out Deneyi Sonuçları .....	86	
5.3.3	Dört Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçları .....	88	
BÖLÜM 6			
ANALİTİK MODELİN DOĞRULANMASI .....			101
6.1	Analitik Model Sonuçları.....	101	
6.2	Zaman - Deplasman İlişkisi.....	101	
6.3	Deplasman - Yük İlişkisi.....	103	
BÖLÜM 7			
SONUÇ VE ÖNERİLER.....			104
7.1	Sonuç.....	104	
7.2	Öneriler .....	106	
KAYNAKLAR .....			108
EK-A			
AHŞAP SERTİFİKALARI.....			112
ÖZGEÇMİŞ.....			113

## SİMGE LİSTESİ

---

$\sigma_{b,em}$	Basınç emniyet gerilmesi
$\sigma_{ç,em}$	Çekme emniyet gerilmesi
D	Donatı çapı
D	Delik çapı
$f_{ck}$	Ahşap basınç emniyet gerilmesi
$f_{yk}$	Donatı çekme emniyet gerilmesi
$l_{ankraj}$	Ankraj boyu
$\gamma_t$	Malzeme güvenlik katsayısı

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Instron 8803 deney cihazı .....	31
Şekil 3.2 Instron 8800 kontrol istasyonu.....	33
Şekil 3.3 Pull - out fikstürü çizimi.....	35
Şekil 3.4 Dört noktalı eğilme deneyi yükleme fikstürü .....	36
Şekil 3.5 Dört noktalı eğilme deneyi mesnet fikstürü.....	36
Şekil 3.6 Ahşap çekme numunesi çizimi.....	39
Şekil 3.7 Numunelerin pull - out fikstürüne oryantasyonu.....	39
Şekil 3.8 Pull - out fikstürü ve numuneleri .....	40
Şekil 3.9 Dört noktalı eğilme deneyi numune boyutları [49] .....	41
Şekil 3.10 MID kodlu numunenin kesim işlemi .....	43
Şekil 3.11 MID kodlu numuneye kanal açılması işlemi.....	44
Şekil 3.12 LOW kodlu numunenin kesimi .....	45
Şekil 3.13 LOW kodlu numuneye kanal açılması.....	45
Şekil 3.14 BOT kodlu numuneye kanal açılması .....	46
Şekil 3.15 Laminasyon işlemi için çita üretimi.....	48
Şekil 3.16 Laminasyon reçinesinin hazırlanması .....	49
Şekil 3.17 Laminasyon işlemi.....	49
Şekil 3.18 Presleme işlemi.....	49
Şekil 3.19 Çelik çekme numuneleri.....	50
Şekil 3.20 Ahşap çekme numuneleri .....	50
Şekil 3.21 Dört noktalı eğilme deneyi numuneleri.....	50
Şekil 4.1 Abaqus programı genel menüsü.....	52
Şekil 4.2 Abaqus programı section parts menüsü .....	53
Şekil 4.3 Abaqus programı kesit tasarımı menüsü .....	54
Şekil 4.4 Abaqus programı partition cell .....	55
Şekil 4.5 Abaqus programı instance menüsü .....	57
Şekil 5.1 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 1 .....	64
Şekil 5.2 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 2 .....	65
Şekil 5.3 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 3 .....	65
Şekil 5.4 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 4 .....	66
Şekil 5.5 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 5 .....	67
Şekil 5.6 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 6 .....	67
Şekil 5.7 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 7 .....	68
Şekil 5.8 Çelik çekme deneyi .....	68

Şekil 5.9	Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 1.....	69
Şekil 5.10	Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 2 .....	69
Şekil 5.11	Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 3 .....	70
Şekil 5.12	Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 4 .....	70
Şekil 5.13	Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 5 .....	71
Şekil 5.14	Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 6 .....	71
Şekil 5.15	Pull - out numunesi - 1 .....	72
Şekil 5.16	Pull out numunesi – 2 .....	72
Şekil 5.17	Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 1 .....	72
Şekil 5.18	Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 2 .....	73
Şekil 5.19	Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 3 .....	73
Şekil 5.20	Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 4 .....	74
Şekil 5.21	Dört noktalı eğilme deneyleri yazılım ayarları -5.....	74
Şekil 5.22	Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 6 .....	75
Şekil 5.23	Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 7 .....	75
Şekil 5.24	MID REF - 2 numunesi .....	76
Şekil 5.25	LOW REF - 2 numunesi .....	76
Şekil 5.26	REF 2 numunesi .....	77
Şekil 5.27	MID Ø 8 R - 3 numunesi .....	77
Şekil 5.28	MID Ø 8 T - 2 numunesi.....	78
Şekil 5.29	LOW Ø 8 R - 3 numunesi .....	78
Şekil 5.30	LOW Ø 8 R - 3 numunesi .....	79
Şekil 5.31	BOT Ø 8 R – 1 numunesi.....	79
Şekil 5.32	BOT Ø 8 T - 4 numunesi.....	80

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Ahşap malzemenin diğer yapı malzemeleriyle taşıma gücü karşı .....9
Çizelge 2.2	Ahşap malzemenin dayanım sınıflarına göre emniyet gerilmeleri .....11
Çizelge 2.3	İşlenmemiş ahşap malzemenin dayanıklılık sınıfları [31] .....12
Çizelge 3.1	Nem oranının pull - out deneyi sonuçlarına etkisi [14] .....24
Çizelge 3.2	Donatı çekme deneyi sonuçları.....27
Çizelge 3.3	Tij çekme deneyi sonuçları.....28
Çizelge 3.4	Sikadur 330 ürün bilgileri[46].....30
Çizelge 3.5	Yapıştırıcı kalınlığının pull - out deneyine dayanımına etkisi [15].....41
Çizelge 3.6	Numune şekil çizelgesi.....47
Çizelge 5.1	Donatı 1 ve donatı 2 numuneleri çekme deneyi grafikleri .....80
Çizelge 5.2	Donatı 3 ve donatı 4 numuneleri çekme deneyi grafikleri .....81
Çizelge 5.3	Donatı 1-2-3-4 çekme deneyi grafiği .....81
Çizelge 5.4	Tij numuneleri çekme deneyi grafikleri .....82
Çizelge 5.5	Tij numuneleri çekme deneyi süperpozisyon grafiği.....82
Çizelge 5.6	Ahşap numuneleri çekme deneyi grafikleri .....83
Çizelge 5.7	Ahşap 1-2-3-4-5 çekme deneyi grafiği.....84
Çizelge 5.8	Tutkal 1, tutkal 2 çekme numuneleri deneyi grafikleri .....84
Çizelge 5.9	Tutkal 3 çekme deneyi grafiği .....85
Çizelge 5.10	Tutkal 1-2-3 çekme deneyi grafiği.....85
Çizelge 5.11	Malzemelerin elastisite modülleri .....86
Çizelge 5.12	Pull - out 1, pull - out 2, pull - out 3 deney grafikleri .....86
Çizelge 5.13	Pull - out 1-2-3 deney grafiği .....87
Çizelge 5.14	REF 1 REF 2 deney grafikleri ve süperpozisyonları.....88
Çizelge 5.15	MID REF – 1 ve MID REF - 2 deney grafikleri .....88
Çizelge 5.16	MID REF 1 - 2 deney grafiği.....89
Çizelge 5.17	LOW REF 1 ve LOW REF 2 deney grafikleri ve süperpozisyonları .....89
Çizelge 5.18	MID Ø 8 R numuneleri deney grafikleri ve süperpozisyonları.....90
Çizelge 5.19	MID Ø 8 T numuneleri deney grafikleri ve süperpozisyonları .....91
Çizelge 5.20	MID Ø 8 R-3/T-4, REF - 1, MID REF-1, LOW REF-2 deney grafiği .....92
Çizelge 5.21	LOW Ø 8 R deney grafikleri ve süperpozisyonları.....93
Çizelge 5.22	LOW Ø 8 T deney grafikleri ve süperpozisyonları.....94
Çizelge 5.23	LOW Ø 8 R-4/T-1, REF-1, MID REF-1, LOW REF-2 deney grafiği .....94
Çizelge 5.24	MID Ø T - 4, LOW Ø 8 T - 1, BOT Ø T - 4, REF-1, MID REF-2, LOW REF-2 deney grafiği.....95

Çizelge 5.25	BOT Ø 8 R deney grafikleri.....	95
Çizelge 5.26	BOT Ø 8 R 1-2-3-4 süperpozisyon grafiği.....	96
Çizelge 5.27	BOT Ø 8 T deney grafikleri ve süperpozisyonları.....	96
Çizelge 5.28	MID Ø 8 R - 3, LOW Ø 8 R - 4, BOT Ø 8 R - 4, REF-1, LOW REF-2, MID REF-2 deney süperpozisyon grafiği.....	97
Çizelge 5.29	Referans numuneleri deney grafiği.....	97
Çizelge 5.30	Tüm dört noktalı eğilme deneylerinin grafiği .....	98
Çizelge 5.31	Tüm numunelerin taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması .....	99
Çizelge 5.32	Tüm numunelerin sehım kapasitelerinin karşılaştırılması.....	99
Çizelge 5.33	Tüm numune gruplarının ortalama taşıma kapasitelerinin karşı .....	100
Çizelge 5.34	Tüm numune gruplarının ortalama sehım kapasitelerinin karşı .....	100
Çizelge 6.1	MID Ø 8 T ve MID Ø 8 R kodlu numune ve model karşılaştırılması .....	101
Çizelge 6.2	LOW Ø 8 T , OW Ø 8 T ,BOT Ø 8 T ve BOT Ø 8 R kodlu numune ve model karşılaştırılması .....	101
Çizelge 6.3	MID Ø 8 T ve MID Ø 8, LOW Ø 8 T , OW Ø 8 T ,BOT Ø 8 T ve BOT Ø 8 R kodlu numune ve model karşılaştırılması .....	101

## ÇELİK ÇUBUK TAKVİYELİ AHŞAP KİRİŞLERİN TAŞIYICI PERFORMANSININ DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Özgün Furkan SARAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fatih ALEMDAR

Binyıllardır yapı inşasında ana taşıyıcı olarak kullanılmış olan ahşap malzemesinin karakteristik özellikleri, bölgeden bölgeye ve zamandan zamana, hem inşaa sistemi hem de işleniş yöntemi doğrultularında farklılık göstermiştir. Bu farklılıklar ahşap malzemenin dayanıklılığında ve dayanımında büyük roller oynamışlardır. Her bölgede farklı ağaçlar yetiştiği ve bu özellikler de çeşitliliği arttırdığı için, globalleşen dünyada mevcut ihtiyaca uygun ağaçların temini, karakteristik sınıflandırmalar ve kontrollü üretimler sayesinde kolaylaşmıştır. Dolayısıyla mühendisin öngördüğü malzemenin, pratikte uygulanması-erişilmesi imkan dahilindedir.

Günümüzde, mühendisler ve mimarlar tarafından üretilmiş - araştırılmış, ahşap yapıların taşıyıcı sistemlerinin çeşitleri: çerçeve sistemli ahşap yapılar, iskelet sistemli ahşap yapılar ve masif ahşap yapılarıdır. Bu çalışma doğrultusunda taşıyıcı sistem farkı gözetilmemektedir. Bunun sebebi ise, yukarıda bahsi geçen sistemlerin, genel itibarı ile düşey taşıyıcı sistemlerinin yapı farklılıklarından dolayı sınıflara ayrılmış olmasıdır. Çalışma kapsamında iyileştirme yapılacak olan husus ise yatay taşıyıcı sistemler, yani döşemeler, ana ve tali kirişlerdir.

Çalışma; ikincil taşıyıcı olan tali kirişler boyutundaki kirişlerin, çelik bazlı farklı malzemeler olan, yumuşak inşaat demiri ve ankraj tijlerinin içlerine yerleştirilerek performanslarının artırılması hususunu konu almaktadır. Bu performans artışı 2mt'lik güçlendirilmiş kirişlere, dört noktalı eğilme deneyi yapılması ile irdelenecektir. Toplamda 50 numune üzerinde yapılacak deneylerin kontrollü olabilmesini sağlamak

için: ahşap numuneler, laminasyon reçinesi numuneleri, çelik numuneleri ve pull - out deneyleri için çelik yapıştırılmış ahşap kesitler ve tüm numunelerin çekme etkisi altında deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışma doğrultusunda hedeflenenler ise şöyle sıralanabilir: ahşap sarfiyatını azaltmak, ahşap-arme sistem ile ahşap yapı dayanımını arttırmak, mimari çeşitliliğe olanak sağlamak.

**Anahtar kelimeler:** Eğilme momenti, Ahşap-arme, Çelik çubuk yapıştırılmış ahşap.



---

**EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL RESEARCH OF PERFORMANCE OF  
STEEL BAR REINFORCED TIMBER BEAMS**

Özgün Furkan SARAL

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Fatih ALEMDAR

Timber has been used as a main structural material since for milleniums. Characteristic properties and specifications of timber material depends on; time period, climate and region which grew in; how it is used and also differences in processing methods. These characteristical behaviors had an important role for timber materials strength and durability. Every region grow some endemical types of trees and this situation increase the diversity of timber, owing to this situation it is easy to reach the proper timber material, according to controllable production and characteristical classification, in this globalizing Earth.

In the last century, building systems which made by timber material, generally have three types, which are; log, panel (conventional) and massive timber constructions. In this study, type of construction has not been taken into consideration, because the aim of this research is improving the performance of secondary beams in timber slabs (also horizontal support beams of panel timber constructions).

The scope of this study's examination is about the performance increment of timber test specimens which reinforced by bonded-in steel based diverse bar shaped elements. The study proceed by comparing 4 point bending loading test results to 2 mt length reinforced beams. The total of 50 specimens with to maintain a controlled test: timber specimens, laminating resin specimens, steel bar specimens and pull-out test for bonded-in rods and also all the material using in the specimens tested by in

tension. Key words: Bending moment, Performance, Reinforced-timber, bonded-in rebar timber .

Objectives of this study is listed as: reducing usage amount of timber material, increasing reinforced timber strength, creating a potential for architectural diversity.

**Keywords:** Bending moment, reinforced timber, steel bar bond in timber.



#### 1.1 Literatür özeti

Davis,G. tarafından yapılmış olan Yapısal Ahşaplarda Yapıştırıcı Performansı isimli çalışmada, sert ve yumuşak ahşaplar içine çelik çubuklarla güçlendirme yapıp mekanik özellikleri incelenmiştir, bu çalışmada Davis, ahşabın yapıştırıcı ile bütünleşmesi için iyi bir substrat olduğu tanımını yapmıştır[1].

Negrão vd, ise, 2016 senesinde yayınladığı, ölçeklendirilmiş betonarme moment alan düğüm noktalarının deneysel ve analitik araştırması adlı çalışmada, kiriş ve kolonları birbirlerine bağlamak üzere çelik bazlı çubuklar kullanılmış ve bu yöntem, kolaylığı ve başarısı sebebiyle yüksek potansiyelli bir yöntem olarak sınıflandırılmıştır[2].

Serrano, E., 2001 senesinde yaptığı, Ahşap Yapılar için Yapıştırılmış çubuklar – 3 Boyutlu Sonlu Eleman Parametreleri çalışmasında yaptığı modelde nominal kayma mukavemetini yaptığı iki numunenin deneysel çalışmalarıyla tam bir öngöründe bulunabilmiştir[3].

Alam,P. vd, 2006 senesinde yaptığı,Çatlamış Ahşap Kirişlerin Yapıştırılmış Güçlendirme Elemanlarıyla Mekanik Tamiri adlı çalışmasında, üretim aşamasında kullanılan malzeme ve miktarın önemini şu şekilde dile getirmiştir; güçlendirmenin yapıldığı bölge ve entegrasyonu - yapıştırıcı hattı kalınlığı- tamir edilmiş kirişlerin kırılma mekaniğinde önemli rol oynamaktadır[4].

Borri,A. ve Corradi,M.'in yaptığı, 2011 seneli, Ahşap Kirişlerin Mukavemetinin Yüksek Mukavemetli Çelik Halatlarla Artırılması adlı çalışmasında, eğilme etkisi altındaki numunelerin nonlinear davranışının iki ihtimali olduğunu savunmuştur, bunlar ya

ahşabın akma dayanımını aşmış olması ya da kusursuz olmayan numune üretimidir. Sonuç olarak çatlak kesitlerin çelik halat geçmediği bölgelerde olduğu gözlemlenmiştir[5].

Harvey, K., Ansell, M., tarafından yapılan, GFRP Çubuklarla Güçlendirilmiş Ahşap Bağlantıları isimli çalışmada, pull-out (koparma) testlerinde, liflere paralel ve dik yönlerde benzer çatlak modları gözlemlendiği ifade edilmiştir[6].

Tlustochowicz, G., Serrano, E. ve Steiger R. tarafından yapılan Teknoloji Harikası - Yapıştırılmış Çelik Çubuklu Ahşap Bağlantılar adlı çalışmada, bu çelik çubukların liflere hem paralel hem de dik yapıştırılması halinde mükemmel yakın bir sonuç aldığı bahsi geçmektedir, çelik çubuklar gerilmeyi aktarmakta ve çatlakları önlemekte oldukça iyi performans sergilemişlerdir[7].

Broughton, J. G. ve Hutchinson A.R. tarafından 2001 senesinde yapılan, Yapıştırılmış Çelik Çubuklu Ahşapların Pull- Out Davranışı adlı çalışmada, ucu kapalı deliğe yapıştırılmış pull-out numunesi ile iki ucu açık pull out numuneleri de karşılaştırılmıştır. Pull-out deneyi için gerekli olan kuvvetin, yapıştırıcının temas ettiği alanlarla lineer olarak bağlantılı olduğu bu çalışma sonucunda açıkça gözlemlenmiştir[8].

Custódio ,J., Broughton J., Cruz H. tarafından hazırlanmış olan, Ahşap Yapıların Bakımı: Yapıştırılmış Çelik Çubuklu Bağlantıların Dayanıklılığını belirlemek için Yeni Deney Yöntemleri isimli çalışmada, dayanıklılığı etkileyen özelliklerin kullanılan her elemanın, hem geometrik hem de malzeme özellikleri doğrultusunda farklılık göstereceği konusuna değinmişler ve kısa dönemli yüklemeler yerine iklim çeşitliliği deneylerinin daha verimli olduğunu savunmuşlardır[9].

Lorenzis vd, tarafından 2005 senesinde yapılan,Glulam Ahşaba Yapıştırılmış CFRP Çubukların Analitik ve Deneysel Çalışması isimli çalışmada, çubukların yapıştırılmasının sonrasında, mukavemetinin liflere paralel olması halinde, dik olması halinden daha az dayanım gösterdiği anlatılmıştır[10].

Steiger, R. vd'nin, 2005 senesinde yaptığı, Glulam Ahşap Liflerine Paralel Yapıştırılmış Çelik Çubukların Aksiyel Pull-Out Dayanımı adlı çalışmada, çelik çubukların yükü ahşaba aktarabilmesi için optimum boyutların küçük boyutlar olduğu saptanmıştır[11].

Chans, O. vd'nin yaptığı, Bir Deneysel Çalışma: Çelik Çubuk Yapıştırılmış Ahşap Düğüm Noktalarının Dayanımına Ahşap Yoğunluğunun Etkisi isimli çalışmada, düğüm noktaları çelik çubuk yapıştırılarak güçlendirilmiş birleşimlerin aksiyel yüke dayanımlarının lineer olmadığını ve çubukların yapıştırılma derinliğinin daha fazla araştırma gerektirdiği kanısına varmışlardır[12].

Adam, M. vd 'nin hazırladığı, Ahşap Mühendisliği için Ön-Uygulamalı Yapıştırıcı ile GFRP çubuk Yapıştırılması isimli çalışmada, yapıştırıcının ısıtılması ile priz alma süresinin hızlandırılabilip, servis mukavemetine getirilebildiği görülmüştür[13].

Broughton, J. G. ve Hutchinson A.R. tarafından 2000 senesinde yapılan, Ahşapa Yapıştırılmış Çelik Çubuklara Nemin Etkileri isimli çalışmada, yapılan deneyler sonucunda nem oranının yapıştırılmış çelik çubukların, ahşaptan pull-out deneyiyle koparılması esnasında mukavemetin, %25 azaldığı saptanmıştır[14].

Steiger, R., Serrano E.,vd'nin hazırladığı, Ahşap Yapıların Yapıştırılmış Çelik Çubuklarla Güçlendirilmesi adlı çalışmada, bu yöntem için hazırlanan yönetmeliklerin henüz yeterli cevap vermediğini, bu yöntemin tam anlamıyla uygulanabilmesi için öncelikli olarak deney standartları, sonrasında ürün standartları, ve nihayet tasarım yönetmeliklerinin güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmış[15].

Yeboah, D. vd.'nin hazırladığı, Ahşap Liflerine paralel olarak Yapıştırılmış Çelik Çubukların Düğüm Noktalarında Davranışları adlı çalışmada, Pull-out kapasitesi Riberholt'un çalışmasındaki denklem ile belirlenmiş ve denklem uyum sağlamıştır, kapasitenin çubuğun yapıştırılan kısmının uzunluğuna ve cinsine bağlı olduğu kanaatine varılmıştır[16].

De Luca, V. ve Marano, C.'nin yaptığı, Çelik Çubuklarla Güçlendirilmiş Öngermeli Ahşap Elemanlar adlı çalışmasında, ahşap numunelerin altından ve üstünden çelik çubuk geçirilmesi halinde taşıma kapasitesinin %48.1, rijitliğin de %25.9 arttığı gözlemlenmiştir, öngerme ile bu oranlar sırasıyla %40.2 ve % 37.9 değerlerini elde etmişlerdir[17].

Bainbridge, R., vd'nin üzerinde çalıştığı, Çelik Yapıştırılmış Ahşap Bağlantıların Deney Gözlemlerinde ve Tasarım Yöntemlerinde İyileştirme isimli çalışmasında, yapıştırıcı

seçiminin tam anlamıyla doğru olması halinde yöntem için oldukça yüksek potansiyel barındırdığı kanaatine varılmıştır[18].

Custódio, J., Broughton, J., Cruz H. tarafından hazırlanmış olan, Düğüm Noktaları Yapıştırıcı ile Üretilmiş Ahşap Yapıların Dayanıklılığına Etkiyen Faktörler isimli çalışmada, düğüm noktalarının incelenmesinde tek bir deney yönteminin yeterli olmayacağı ve yöntemlerin çeşitlendirilmesi gerektiği görüşünde hem fikir olmuşlardır[9].

Ling, Z., vd'nin hazırladığı, Glulam Yumuşak Ağaçla Epoksi Reçinesi ile Yapıştırılmış Çelik Çubukların Yapışma Davranışı adlı çalışmada, hazırlanan pull-out numunelerinin deneyleri yapılırken yapıştırılmış çeliğin koparılması esnasında gerilme dağılımının üniform olmadığı ve çeşitli noktalarda odaklanmış olduğu gözlemlenmiştir. Yapıştırıcının başlangıç ve bitiş uçlarında gerilme odaklanması azamiye ulaşmıştır[19].

## **1.2 Tezin Amacı**

Bin yıllara meydan okuyup, kullanımını bugün dahi biz inşaat mühendisleri için zorunlu kılan bu malzemenin, kendisinden çok daha yeni olan betonarme sisteme yapısı bakımından yakınsatılması. Bu sistem değişikliği vasıtasıyla malzemenin güçlendirilmesi ve sarfiyatın azaltılması bu tezin başlıca amaçlarındandır.

Ayrıca azaltılan sarfiyat doğrultusunda, ahşap malzeme kesiti de azalmış olacağı için bu hem daha büyük açıklıklar geçmeye, hem de geçilen açıklıkta estetik unsurunu zedeleyecek olan yüksek kirişlerin, döşemenin altına sarkan kesitlerinin azaltılmasını sağlayacaktır.

Ayrıca bu sistemin geliştirilmesi halinde ahşap malzemenin birleşim noktalarında yeni çözümler doğurabilecektir. Örneğin; tasarlanacak gerek-yeter koşulları doğrultusunda, ahşap elemanların içinden geçen performans artırıcı elemanlar, sürekli tasarlanacak kolon ve kirişler içine, yerleştirilebilir ve uygun yapıştırıcıyla bu süreklilik sağlanabilir. Bu yöntem doğrultusunda üretilen bu elemanlara ön gerilme verilebileceği de öngörülebilmektedir.

Doğada yüzlerce çeşit ağaç yetişir ve bunlardan elde edilen odun türlerinin özellikleri geniş limitler arasında değişir. Botanik bakımdan bu çeşitler:

a) İğne yapraklı (genellikle kozalaklı)

b) yapraklı ağaçlar

olarak ikiye ayrılır. İğne yapraklı ağaçların odunu daha yumuşak, işlenmesi daha kolay ve ucuz olduğu için yapıda daha çok kullanılır. Bunlar arasında reçineli olanlar dış etkilere açık kısımlarda, reçineli olmayanlar ise yapıların iç kısımlarında kullanılırlar. Yapraklı ağaçların odunu ise daha sert, daha yüksek mukavemetli, daha güzel ve daha pahalıdır. İnşaatta kullanılan türleri meşe ve kayındır[20].

### 1.3 Hipotez

Ahşap, insanların barınma ihtiyacı duydukları ve bu ihtiyaçlarını kendilerine barınak inşa ederek gidermeye başladıkları zamanlardan günümüze kadar bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu malzeme; doğadan kolayca temin edilebilen ve kısa vadeli kullanılması halinde, uzun işlemlerden geçmesine gerek kalmayan işlenmesi de en kolay malzemelerden biridir. Ayrıca ahşap yapıların, kaynakları açısından hem yenilenebilir olması, hem de hasar gören bölgeleri kolayca değiştirilebilir olması sebebiyle, hem geleneksel hem de modern mimaride ve dolayısıyla inşaat mühendisliğinde sahip olduğu yeri hala koruyabilmiştir.

Ahşap yapılar hakkında yapılan araştırmalar 1900'lü yılların başında oldukça hız kazanmıştır. Bunun başlıca sebebi çeliğin savaş sanayisinde kullanımı esnasında ülkelerin sahip oldukları bu hammadde oldukça azalmıştır. Bu durum da ilgili bilim insanlarını ahşap hususunda araştırmalar yapmaya ve bu malzemeyi tanımaya itmiştir. Ahşabın birleşim alanlarındaki modernleşme tam olarak da bu araştırmaların yapıldığı döneme rastlar [21].

İkinci Dünya Savaşı sıralarında; sığağa, soğuga ve her türlü iklim şartlarına karşı dayanıklı suni reçine yapıştırıcısının icadı ve ahşap yapıda kullanılması, ahşabın yapı malzemeleri arasında bugünkü sahip olduğu ileri mevkiyi almasını sağlamıştır. Ahşap, bugün diğer yapı malzemeleriyle yarışır bir duruma gelmiştir. Yapıştırıcılı taşıyıcı ahşap yapı elemanlarının kullanılması, büyük bir reform niteliğindedir. Bugünkü teknik, istenilen kesit ve uzunlukta ahşap yapı elemanlarının imalini mümkün kılmaktadır [22].

Yapıştırıcılı ahşap malzeme Otto - Hetzer metoduyla 1900 - 1904 seneleri arasında Almanya'da ilk olarak üretilmiş ve buradan dünyanın dört bir yanına dağılmıştır. Doç. Y. Müh. Niyazi (1964)[23] kitabında bu dönemden "ahşap mühendisliğinin başladığı dönem" olarak söz edilmektedir. Dönemin bu yeni metoduyla ahşap sarfiyatı azalmaktadır. Bu da küçük parçalı ağaçların birleştirilerek çok büyük yekpare bir ahşap elemana dönüşmesiyle gerçekleşmiştir. Bu yeni metot doğrultusunda hem büyük açıklıklar geçilebilmekte, hem de taşıma kapasitesi artırılabilir. Bu yöntem yaygınlaştıkça laminasyon işlemi adını almıştır.

Üretilen bu ahşap taşıyıcıların, kullanılan yapıştırıcılar ile ve birbirleriyle etkileşiminin artırılması için çeşitli yöntemler denenmiştir. Günümüzde en çok kullanılan yöntem ise parmak birleşim yöntemidir. Bu yöntem lifleri birbirlerine paralel doğrultuda iki ahşabın uç uca eklenebilmesi için geliştirilmiştir.

Yukarıda sözü geçen ahşap mühendisliği bu üretilen lamine edilmiş malzemenin üretimiyle bitmemiş olup bilakis yeni başlamıştır. Her ne kadar ahşap tanınmış en eski malzeme de olsa bu yeni yöntem hesapları, emniyet katsayılarını ve yapı inşası sistemini farklılaştırmıştır. Bu değişiklik de doğal olarak sadece pratiğe değil tasarıma da yansımıştır, en basit örnek olarak bina boyutları ve hesap yapılan bölgeleri farklılık kazanmıştır (örneğin, kesit tesirlerinin en yüksek olduğu noktaya yakın parmak birleşim noktaları (finger joint)).

Mühendislik yapısı tanımı itibarı ile genel olarak bilindiği üzere; emniyet, ekonomi ve estetik unsurlarını bir arada barındırması gerekmektedir. Bu üç etken ise malzemeler gelişebildiği müddetçe daha verimli bir şekilde sağlanabilir.

Bu çalışma doğrultusunda ahşap-arme yapının üretim maliyetinin artacağı bir gerçektir, fakat bu husus elemanların seri üretimi doğrultusunda üstesinden gelinmeyecek bir durum değildir. Emniyet faktörünün verimliliği ise, ahşap elemanların belirli bir standart doğrultusunda üretildiği ve denendiği takdirde malzemenin tanınması ve bu tanınan malzemenin tasarımcı tarafından doğru bir yöntemle dizayn edilmesi halinde artacaktır. Bu tasarım doğrultusunda küçülen kesit boyutları daha estetik bir görünüm kazandıracak gibi, mimara da tasarımı konusunda oldukça yardımcı olacaktır.

Ahşap her ne kadar hafif bir malzeme olması sebebiyle, yer hareketlerinden asgari düzeyde etkilense de (diğer yapı malzemelerine kıyasla), günümüzde yapıların kullanım amaçları eskiye göre oldukça çeşitlenmiştir ve bu sebeple yapı yükleri, ahşap yapının tasarlandığı zamanki yüklere oranla daha fazla olabilir. Bu şartlar altında da ahşap yapı üzerine gelen yüklerin sistemin taşıma gücünün üzerinde olması kuvvetle muhtemeldir. Bu doğrultuda ülkemizde yapılan restorasyon çalışmalarına hız verilmelidir.

Bu yapılan çalışma doğrultusunda da deneyleri yapılan ahşap-arme yapı sistemi, ahşap yapı sistemine göre, yukarıda bahsi geçen servis yükleri ve deprem yükleri altında daha yüksek performans göstereceği aşikardır.

Ahşap malzemenin tercih edilmesinin sebeplerinden biri de geçirgen yapısıdır. Ahşap yapılarda, inşa edilmiş yapının nefes alıyor olması tabiri sıkça kullanılmaktadır. Bu şartlar altında -ahşap eleman performansının çelik bazlı farklı malzemeler ile arttırılması- ahşap-arme eleman içerisindeki çelik elemanın korozyonunun önlenmesi ya çelik eleman yüzeyinde antipas katman vasıtasıyla, ya da ahşap elemanın geçirimsiz bir elemana döndürülecek şekilde emprenye edilmesi yoluyla sağlanabilir. Bu emprenye işlemi yukarıda bahsi geçen ahşabın geçirimliliği (nefes alması) özelliğini tamamen sonlandıracağı için tercih edilmemelidir.

Bu performans artışı ayrıca geleneksel yöntemden uzaklaşılarak -teknolojinin de ilerlemesiyle- fiber reinforced polimer olarak tanınan, frp çubuk malzemeleri ile yapılabilir. Çalışma kapsamında bu malzemenin seçilmemesinin başlıca sebebi, bu malzemenin ahşap malzemesi ile arasındaki büyük dayanım farklılığıdır.

Bu çalışma; benzeri ülkemizde erişilebilir kaynaklarda bulunmaması nedeni ile yapılan çıkarım sonucunda, bir ilk niteliği taşımaktadır ve önceliği ahşabın güçlendirildiği takdirde nasıl davrandığını, performans artışının verimliliğini ve uygulanabilirliğini incelemektir. Bu doğrultuda, numuneler üretilirken ve yöntem belirlenirken, ülke dahilinde kolayca elde edilebilen ve fiyat olarak da uygun malzemeler kullanılmıştır.

### MALZEMELERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

#### 2.1 Ahşap

Doğada yetişen binlerce çeşit ağacın her birinin kendi hikayesi vardır, hepsi ömrü boyunca farklı etkenlere maruz kalıp her biri de ayrı spesifik özellikleri geliştirmiş ve bu doğrultuda benzersiz olmuş ve olacaktırlar. Bu spesifik özelliklere rağmen ağaçların sınıflandırılabilmesi için her otoritenin farklı yöntemleri, sınıfları ve özellikleri vardır. Ülkemizde bunlar; iğne yapraklı ağaçlar, geniş yapraklı ağaçlar, sert ağaçlar, yumuşak ağaçlar gibi sınıflandırılabilir veya dayanım kalitelerine göre 1, 2, 3. sınıf olarak sınıflandırıldığı gözlemlenir. Yurtdışında ise, özellikle Avrupa ülkelerinde, bu sınıflandırmalar malzemenin çekme, basınç, gerilme değerlerine göre yapılabilmektedir.

Bu sınıflandırmalar ahşap performansının öngörülebilir kapasitesine dair ne kadar fikir verse de; ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzemedir. Bu da demek oluyor ki, dayanım sınıfları ahşap malzemeyi belli sınır bandında sınıflandırabilse de özgün dayanımlarla karşılaşmak olasıdır. Örneğin, ahşap malzemenin liflere paralel; çekme, eğilme, kesme, makaslama dayanımları, liflere dik dayanımlarından çok daha farklıdır.

Çoğu araştırmada ahşap malzemenin en güçlü taşıyıcı malzeme olduğu ifade edilir. Bu durum oldukça etkileyici bir gerçektir, ahşabın birim-hacim ağırlığının, taşıma gücüne oranının en düşük olduğu taşıyıcı malzemedir. (Yeni nesil Fiber Reinforced Polimer malzemeler hariç.)

Çizelge 2.1 Ahşap malzemenin diğer yapı malzemeleriyle taşıma gücü karşılaştırması

Malzeme Türü	Beton (C30)	Çelik (S500a)	Ahşap (1.Sınıf Meşe)
Birim Hacim Ağırlık (kgf/m <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> / kgf/m <sup>3</sup> )	0.628	1	1.35
B.H.A(çelik)/B.H.A(malzeme) * $\sigma_{ç,em}$ (malzeme) (Mpa x kgf/m <sup>3</sup> / kgf/m <sup>3</sup> )	0.314	1	1.472

Günümüzde ormanların azalması ve yerine yeni ormanların yetiştirilmesi zor ve uzun bir süreç olduğu için ahşap malzemesinin değeri gün geçtikçe artmıştır ve çoğu sarf malzemelerinde ahşabın yerini metal, plastik, çelik ve beton almıştır fakat izolasyon kabiliyeti, görünüşü ve kolay şekil verilebilmesi ahşabı her daim kabul gören bir yapı malzemesi kılmıştır[24].

Ayrıca bu özgünlük dairesinde ahşap malzeme kusurları da özgündürler. Bunlar; çatlaklar - fissürler, budaklar, ahşap malzemenin çalışması, ur, eksantrik öz, çok özlülük, yapraklanma, reçine keseleri ve dış etmenlerdirler[22], [20].

Ahşap, üretim alanı doğa olduğu için ve kesit hazırlanmasında asgari düzeylerde uğraş gerektirdiği için, hem erişimi hem de işlenmesi kolay olan bir malzemedir. Ahşap malzemenin yenilenebilirliği, ilk etapta doğanın insiyatifindedir fakat ağaçlara karşı duyulan bu ihtiyacın artması ile insanoğlu bilinçli ve endüstriyel amaçlı ormanların oluşturulmasında etkin rol oynamıştır. Bu bilinç 5.yy'da Roma İmparatorluğunun bünyesindeki ormanları ihtiyaç doğrultusunda yok etmesi karşısında rahiplerin, Romanya ve Adriyatik Sahilleri'ne çam dikmesiyle başlamıştır[25].

Ayrıca ahşap yangın dayanımı oldukça yüksek bir malzemedir. Örneğin; Türkçü ahşap malzemenin yanma hızının saatte 5 cm olduğunu vurgulamaktadır [26], bir diğer araştırma da ahşap malzemenin kesit boyutuna göre yangına karşı direncinin 30-120 dakika arasında olduğunu belirtmektedir. Ahşap malzeme yangın esnasında -malzeme

kuruluğu da göz önünde bulundurularak- dakikada ortalama 0,7 cm kesit kaybına uğrar [27], bunun yanında çelik sistemler dayanımını yangın başladıktan 15 dakika, betonarme sistemler ise dayanımını yangın başladıktan 30 dakika sonra -içlerinde bulundurduğu çelik malzemeler dolayısıyla- yitirmektedirler ve bu duruma bağlı olarak yapı sisteminde büyük şekil değiştirmeler gözlemlenmektedir.

### **2.1.1 Ahşapların Sınıflandırılması**

Ahşap yapı alanının yanı sıra pek çok alanda üretim hammaddesi olarak kendini göstermektedir. Örneğin gemi, mobilya, heykel, basit araç-gereç, kalıp, kaplama üretimlerinde ahşap çok önemli bir hammaddedir. Üretilmiş her bir ürünün de karşılamak durumunda olduğu belirli özellikler vardır, bu özellikler 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 atıldığındaki davranışı ve en nihayetinde ise fiziksel özellikleri ihtiyaç duyuldukça gözlemlenmiş ve gerekli sınıflara ayrılmıştır.

#### **2.1.1.1 Ahşapların Elde Edildikleri Ağaçlara Göre Sınıflandırılması**

Ahşapların, üretildiği ağaçların biyolojik türlerine göre sınıflandırılması için, ağaçlar iki büyük aileye ayrılır, bunlar:

Geniş Yapraklı Ağaçlar

İğne Yapraklı Ağaçlar

Geniş yapraklı ağaçlar; sert, ağır, yüksek mukavemetli ağaçlardır. Bu ağaçlardan üretilen ahşaplar genellikle yapı alanında kullanılmazlar. Kullanıldıkları alanlar genellikle mobilya ve araç-gereç üretimidir. Bu aileden olan meşe yapı alanında da

kullanılabilir. Kavak ise hızlı yenilenebilir olduğu için betonarme yapılarda yardımcı eleman -kalıp- görevi görür. Bu ağaçlar genellikle sert ağaç (hardwood) olarak nitelendirilebilir.

İğne yapraklı ağaçların odunu daha yumuşak, işlenmesi daha kolay ucuz ve daha hızlı yenilenebilir olduğu için yapı alanında daha çok kullanılır. Reçineli türleri genel itibarıyla dış ortamlarda kullanılabilir, reçinesiz ağaçlar ise iç ortamda sıklıkla kullanılır. Ülkemizde bu aileye ait ve en sık kullanılan ağaçlardan biri sarıçamdır. Bu çalışma kapsamında performans artışı sağlamak üzere seçilmiş olan ağaç türü 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[28]

(Mpa)	III. Sınıf		II. Sınıf		I. Sınıf	
	Çam	Kayın,Meşe	Çam	Kayın,Meşe	Çam	Kayın,Meşe
Çekme (I)	1.5	2	2.2	2.5	3	3
Çekme(//)	-	-	85	100	105	110
Basınç (I)	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 bulunduğu halinde, yani yaşam döngüsünü devam ettiren dahi bazı dış etkenler tarafından zarara uğrayabilir. Fakat ahşabın dayanıklılığını etkileyen unsurlar genel itibarı ile ağaç türü, yaşı, öz odun oranı, odunun birim hacim ağırlığı, anatomik ve kimyasal yapısı, yapısındaki veya sonradan empenye edilen maddeler, kullanım yerindeki ortam koşulları, yapının inşa şekli, doğal zeminle ilişkisinin kesilmiş olması, kesim mevsimi, depolama süresi ve depolama şartları şeklinde sıralanabilir[29].

Ağacın dayanıklılığının belirlenmesinde öz odun büyük bir rol oynamaktadır, öyle ki Amerika'daki en önemli ağaç türleri dayanıklılık bakımından üç sınıfa ayrılmıştır ve bu sınıflandırma öz odun oranları ve özellikleri doğrultusunda yapılmaktadır[30].

Willeitner ve Liese'nin 1992 yılında yayınladıkları makaleye göre ağaçların hizmet sürelerine göre dayanıklılık Çizelgesi aşağıda verilmiştir[31].

Çizelge 2.3 İşlenmemiş ahşap malzemenin dayanıklılık sınıfları [31]

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[32].

### 2.1.3 Ahşap Malzemenin Kusurları

Ahşap doğal ortamda yetişmesinden, üretildiği ağacın dallı, reçineli yapısından, bulunduğu koşulların öz odunu çevredeki diğer canlı türlerini etkimesinden dolayı çeşitli kusurlar barındırır. 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, dalların ağaç gövdesindeki izdüşümleri, kökleridir. Budaklar gövdede dairesel oluşumlar halinde gözlemlenebilirler, mukavemetleri ortalarına doğru çok yüksek olması, daire çevresinin mukavemetinin az olmasına yol açar bu da ahşap eleman

bütününde önemli bir süreksizliğe yol açar. Yük altında ilk çatlaklar budak sınırlarında gözlemlenirler. Budaklar iki çeşide ayrılır:

**1) Düşer budaklar:** Ağaç gövdesinde kurumuş olan dalların kökü olan düşer budaklar, ağaç gövdesi büyürken gövde içinde kalırlar ve ahşap elemanın bir parçası olurlar. Bu budaklar diğer budaklara kıyasla nem muhtevası düşük olduğu için daha gevrek bir özellik gösterirler. İğne yapraklı ağaçlarda daha çok gözlemlenir.

**2) Kaynar budaklar:** Bu tip budaklar dalları henüz canlı olan budaklardır. Daha sünek bir özellik gösterirler. Yine gövdenin büyümesi esnasında içeride kalan dal kökleridir. Geniş yapraklı ağaçlarda daha sık gözlenir.

#### **b) Oluklu Gövde**

Arazi yapısından ve diğer çevresel faktörlerden ötürü genellikle ağaç kökünün dışarıda kalmasıyla oluşmaktadır. Bahsi geçen kusur ağaç şeklinin dairesel olmasını engellemekte ve bu durumda ağaç sarfiyatının artmasına yola açmaktadır. Bu bazı ağaçların ise genlerinden ileri gelen bir kusurdur. Bu durum liflerin düzgün olmayan bir şekilde dağılmasına yol açmaktadır. Ayrıca ağaç kesilip ahşap kesitler gövdeden münferit parçalara ayrıldığında, kesitler düzensiz bir şekilde çalışabilir.

**Ahşabın Çalışması:** Ahşabın ağaç halinde dengede olan içsel kuvvetlerin, münferit kesitlere ayrılması işlemi sonrasında, lif düzensizliği ve dengeye gelmesi gereken içsel kuvvetler doğrultusunda kesit boyunca görülen deformasyonların genel adıdır.

#### **c) Kaçık Öz:**

Arazi yapısı, hakim rüzgar, güneşlenme durumu gibi farklılıklardan meydana gelen bir ağaç kusurudur. Özün tam olarak ortada olmaması halidir. Kereste hazırlanırken öz odun yerleşimi göz önünde bulundurulmalıdır.

#### **d) Yalancı Öz Odun:**

Ağacın yapısı gereği, farklı ağaçlarda çeşitli renklerle gözlemlenen ve değişik isimlerle anılabilen bir ağaç kusurudur. Mukavemet açısından herhangi bir sorun teşkil etmemesine rağmen emprenye işlemi esnasında, bu yalancı öz odunlara emdirilme işlemi yapılması zordur.

#### **e) Reçine Keseleri:**

Reçine keseleri ağaç içine giren parazitlerin (böcek veya mantarların) tahribatına karşı canlı olan ağacın aldığı bir önlemdir. Ağaç zarar gören bölgelerine reçine akışını sağlayan yapısı sayesinde buralarda zararlı etkenlerden kendini koruma altına alır. İçerisinde bulunan bu süreksizlikler doğrultusunda ağaca şekil vermek, kesmek zorlaşmaktadır. Hatta bu durum ahşabın düzensiz çalışmasına da neden olabilmektedir. Hatta reçine salgısının çok olması halinde boya yapılması zordur, az ise bu sorun ahşap yakılarak giderilebilir[22].

#### **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[33]. Orta Doğu'da Neolitik Çağ'da ise ağaç oyularak ve kesilerek ahşap elde edilmesi baş göstermiştir[34].

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.[35] 16. yüzyıl Osmanlı'sında ise Türkiye'nin mirası olarak bekasını koruyan ahşap binalar(hımış) çoğunlukla inşa edilmiştir[36].

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 temin edilmesi kolay bir malzeme olması ve kolay işlenebilmesi açısından tercih edilme ihtimali yüksek bir yapı malzemesi olmasına rağmen, projenin kesin hesaplamasının zorluğu ve ahşap malzemeyi işleyecek olan deneyimli ustaların azalmış olması bu alanda başlıca zorluklardır.

Ayrıca birleşim bölgelerinin uygulama esnasında işlenebilir düzeyde olacak şekilde tertibinin zor oluşu, yani karmaşık olması bu malzemenin hızlı üretim süreci için yavaşlatıcı bir unsur olmaktadır.

Ahşap malzemeler bu koşullar altında dahi pek çok avantajlı özelliğe sahiptir, bunlar:

- Kaynakların yenilenebilir olması
- Hafif bir malzeme olması ve bu durumun mobilizasyonu kolaylaştırması
- Kolay işlenebilir bir malzeme olması
- Ahşap malzeme özelliği açısından geçirimli olduğundan , binanın nefes alıyor olması
- Ahşabın, doğal ve organik bir malzeme olması sebebiyle, insan sağlığı için bir yapı malzemesi olarak daha uygun olması
- Birleşim bölgelerinin, arzu edildiği takdirde lamalı ve çivili şekilde kolay ve hızlı bir şekilde tertip edilebiliyor oluşu
- Yük taşıma kapasitesinin yüksek oluşu
- Laminasyon tekniği ile istenilen boyutta ve uzunlukta kesitlerin imal edilebilmesi
- Yangına karşı dayanımının yüksek oluşu
- Ahşabın tamiri ve korunması oldukça kolay oluşu
- Boy değişim oranının -ahşabın çalışması halinde dahi- çok düşük olması
- Çok farklı renk ve koku seçeneği vardır [37]

Ahşap yapıların dezavantajları:

- Kaynakların yenilenmesi için uzun bir süre beklenmesi gerekmektedir
- İşlenmesi esnasında işçilik veya ek cihazlar gerekmektedir

- Birleşim metotları, ek vasıta kullanılmadığı takdirde çok işçilik gerekmektedir
- Servis ömrü, ek kimyasallar kullanılmadığı takdirde kısa olmaktadır
- Laminasyon işlemi için, üretilecek kesite göre, ek işçilik ve yapıştırıcı maliyeti gerekmektedir

### **2.1.5 Ahşap Yapı Sistemleri**

Ahşap yapı sistemleri, salt ahşap malzeme kullanıldığı takdirde üç ayrı gruba ayrılır. Bu sistemlerin birbirinden farklılaşmasının sebepleri, bölge farklılıkları ve malzeme farklılıklarıdır. Dayanımı yüksek malzemelerle daha fazla açıklık geçilebilirken, standart dayanımlı malzemelerle geleneksel yakın bir sistem kurulabilir veya ahşap rezervlerinin yüksek olduğu bölgelerde sarfiyat bir sorun teşkil etmediğinden ahşap malzeme, yapı performansı için gereğinden fazla malzeme kullanılabilir.

Her ne kadar malzeme ve bölge önemli bir etken olsa da mühendisin malzeme ve yöntem seçimi bu farklı sistemlerin varlıklarını korumaları için temel etkindir. Bu farklı sistemler düşey taşıyıcılar ve yatay taşıyıcılar olarak iki farklı yönetime ayrılabilir.

Ana taşıyıcı sistemlerin, yapı inşaatının yapılması ve kullanılan malzeme sınırları doğrultusunda üç farklı çeşidi vardır, bunlar:

- Ahşap çerçevesel sistemler
- Ahşap iskeletli sistemler
- Ahşap yığma sistemler

Döşeme sistemleri ise kullanılan malzeme doğrultusunda iki farklı çeşide ayrılır, bunlar:

- Kirişli Döşeme Sistemleri
- Masif Döşeme Sistemleri

#### **2.1.5.1 Ahşap Yapıların Ana Taşıyıcı Sistemleri**

##### **- Ahşap Çerçevesel Sistemler**

Ahşap çerçevesel sistemler geleneksel yapıya en yakın sistemlerdir. Ülkemizde yetişen ağaçlardan elde edilen masif ahşaplardan imal edilebilirler. Duvarlar yanal yükleri

aktarabilecek şekilde tertip edilir ve panel görevi görebilmektedir. Bu durum yapı için malzeme sarfiyatını arttırsa da yanal yer değiştirmelerine ve burulmaya karşı yüksek rijitlik sağlanabilmektedir.

Ülkemizde restorasyon ve rekonstrüksiyon işlemlerinden geçen binalar bu yöntemle imal edilirler çünkü ülkemizde ahşap yapı "yeni binalar oluşturmak üzere değil geğmişi korumak" fikrinin temeli üzerine oturmaktadır.

Bu yapı sisteminde kolonlar, duvar kalınlıkları kadar seçilebilir ve gerekli görüldüğü miktarda sık atılabilir. Aralarına yatay bağlantılar da yapılan hesaplarda yanal ötelemeyi, burulmayı önlemeyi sağlayacağı öngörüldüğü miktarda atılabilir.

#### **- Ahşap İskeletli Sistemler**

Ahşap iskeletli sistemler yapı itibarı ile çelik yapılara çok benzemektedirler. Büyük masif ahşap elemanlarla tertip edilebilir veya lamine edilmiş ahşaplar da bu sistemler için kullanılabilirler. Bu sistemler geniş açıklıklar geğmeyi sağlayabilir. Mimari olarak seyrek duvarlı yapılarda bu sistemler tercih edilmektedir. Bunun sebebi kesitleri büyütebilmek konusunda özgür olunabilmesidir.

Kolonlar, hazırlanmış duvar kalınlıklarından bağımsız olarak seçilebilir. Bu binalarda yanal öteleme ve burulma dış duvarlara atılabilecek yeni nesil taşıyıcı panel malzemeler vasıtasıyla tolere edilebilir.

#### **- Ahşap Yığma Sistemler**

Ahşap yığma yapılar adından da anlaşılabilereği üzere duvarları büyük ahşap kütlelerden -hatta kütüklerden- oluşan yapılardır. Çok katlı imal edilmeleri güç olmalarının yanı sıra üretim esnasında malzeme sarfiyatı da çok olmaktadır. Dağ evleri genel olarak bu yöntemle imal edilmektedirler. Çünkü çevrede kullanılabilerecek kütük miktarı çok fazladır ve üretim süreci çevresel şartlardan ötürü asgariye indirilmelidir. Ayrıca, bir dağa işlenmiş ahşap malzeme çıkarılması oldukça zor ve masraflı bir iş kalemidir. Bu malzemeyi yapı inşaatının yapılacağı bölgeye yakın yerlerden tedarik edip minimum işçilikle üretmek yapılabilecek en mantıklı üretim yöntemidir.

Bu yöntem sadece dağ evlerinde ve kütükler vasıtasıyla kullanılan üretim süreçlerinde gözlemlenmez, ayrıca lamine ahşap paneller vasıtasıyla da üretilebilir. Hatta

Japonya'da, 2009 senesinde, sarsma tablasına imal edilmiş olan yedi katlı, 12.4m\*18.4 m oturma alanlı, 20.4 m yükseklikli ikonik ahşap yapı bu yöntemle, CLT paneller vasıtasıyla üretilmiştir.

Bu yöntemle inşa edilmiş binalar, yanal öteleme ve burulma etkisinde ahşap çerçeveli sistemlere nazaran çok daha mukavimdir. Sarfiyatı çok arttırmasına rağmen yangın dayanımı açısından da diğer yapılara nazaran çok daha dayanıklıdır.

### **2.1.5.2 Ahşap Yapıların Döşeme Sistemleri**

#### **- Kirişli Döşeme Sistemleri**

Kirişli döşeme sistemleri genel itibarı ile çelik kiriş sistemlerine oldukça benzemektedir. Bunlar bünyesinde birincil (ana) kirişleri ve ikincil (tali) kirişleri barındırmaktadır. Ahşap malzemenin taşıma gücü doğrultusunda malzeme masif veya lamine ahşap olarak seçilebilir. Tali kirişler, ana kirişlerden küçük olarak tertip edilirler ve açıklık doğrultusunda ardışık sıralı olarak ana kirişlere bağlanırlar.

Bu bağlantılar gerekli görüldüğü takdirde farklı birleşim vasıtalarıyla, kirişlerin üst yüzeyleri arasında kot farkı olmadan yerleştirilebilir veya ana kiriş üst yüzeyi, tali kirişin alt yüzeyine denk gelebilecek şekilde üst üste yerleştirilebilir. Kirişler üst üste konularak tertip edildiği takdirde, mesnet uçlarında burkulma deformasyonuna mahal verilmemesi için yastık kirişleri kullanılmalıdır. Yastık kirişleri, tali kirişlerin üst yüzeyinin, kendisinin alt yüzeyine denk geldiği şekilde, üst kata doğru devam eden kolonların alt kısmına denk gelecek şekilde tertip edilmelidir.

Bu burkulma tipi deformasyonun, açıklık ortasında kontrol altına alınması gerekmektedir bu durum için ise süreksiz, kısa, tali kirişlerle aynı yükseklikli ahşap elemanlar tarafından bu görev yüklenilebilmektedir.

Bu yöntemle üretilen döşemelerin, döşeme görevini tam olarak yerine getirebilmeleri için, tali kirişlere dik doğrultuda, tali kirişlerin üstlerinden kaplama niteliğinde, aradaki yükü tolere edebilecek malzemeler kullanılır.

## - Masif Döşeme Sistemleri

Masif döşemeler, yapısal lamine ahşap plakalarından oluşurlar. Bu plakaların döşeme olarak yerleştirilebilmeleri için kolonların ve kolonları birbirlerine bağlayan kirişlerin yani ana taşıyıcı sistemin hazırlanmış olması gerekmektedir. Plakalar istenilen boyutlarda üretilmektedirler. Laminasyon işlemi, her ne kadar ahşap sarfiyatını azaltsa da bu döşeme sistemleri, döşeme üretimin maliyetini azami düzeye çıkarmaktadır.

Masif döşemeler çok katmanlı, iki veya çok yönlü olarak üretilirler. Bu üretim farklılığının da kendilerine özgü isimleri vardır. İki doğrultulu döşemelere Glued Laminated Timber (GLT), çok doğrultulu döşemelere ise Crossed Laminated Timber (CLT) adı verilir. Bu döşeme tiplerinin yerleştirilme doğrultuları, açıklıkların boyutu nazarında, yapının hesabını yapan mühendis tarafından belirlenir.

Bu yöntem estetik bir görünüme sahip olup, kaplamaya ihtiyaç duymadığı için, üretim ve taşıma süreçleri göz önünde bulundurulmadığı takdirde, bina inşaat süreci, kirişlerin ve kaplamanın tertibi açısından, üç - dört kat daha hızlanır.

### • Glued Laminated Timber (GluLam-GLT)

Glued Laminated Timber (GLT) esasında lamine ahşabın ihtiva ettiği çok güçlü yapıştırıcılarla nemden etkilenmeyen ve durabilitesi yüksek olan, küçük parçalardan oluşturulan büyük ahşap kesitlerdir. Ahşap kesitlerin istenilebildiği kadar büyütülebilmesi, arzu edilen açıklığın geçilebilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca atık niteliğindeki parçaların dahi değerlendirilebildiği bu yöntem, masif ahşap kesitlerden çok daha çevre dostudur.

Bu yöntemlerle ahşap döşemeler imal edildiği gibi, ahşap kolon ve kirişler de imal edilebilmektedir. Ahşap laminasyonu ilk uygulanmaya başladığı dönemden bu yana kalıcılığını koruyan sağlıklı ve mantıklı bir yöntemdir. GLT elemanların üretimi, bir araya getirilecek küçük ahşap elemanlarının, lifleri birbirlerine paralel olabileceği doğrultuda birleştirilerek yapılır. GLT elemanlarda farklı doğrultuda liflere rastlanmaz. Bunun başlıca sebebi kolon ve kiriş elemanlarında farklı doğrultuda liflerin olması, ahşap elemanın yük altındaki davranışına yüksek oranda etkili olmasına yol açacaktır. Bu

durum yük dağılımları kolon ve kiriş gibi olan elemanlar için bir fayda sağlamaz, aksine kesiti zayıflatır.

- **Crossed Laminated Timber (CLT)**

Bu üretim sistemi ülkemizde de, betonarme inşaatlarda kalıp olarak kullanılan ve oldukça rağbet gören plywood ürünü ile benzeri bir yapıya sahiptir. Aralarındaki en büyük fark katman kalınlıkları ve dayanım sınıflarıdır.

Crossed Laminated Timber, yani CLT elemanlar GLT elemanlar gibi yüksek dayanım performansına sahip laminasyon reçineleri tarafından birleştirilirler. Bu elemanlar genel itibarı ile döşemeler için imal edildiklerinden ötürü yassı ve geniş yüzeyli elemanlardır. Kendi içlerindeki birleşimi kamalı birleşimlerle sağlar ve yüksek frekanslı ışınlar ile birlikte laminasyon reçinesinin priz süresi kısaltılır.

Bu elemanların GLT elemanlardan en büyük farkı ise, laminasyonu yapılan katmanlarda; lifler, aynı düzleme paralel kalacak şekilde fakat ardışık katmanların liflerine de 90° açı yapacak şekilde yerleştirilir. Genel itibarı ile minimum katman sayısı; beş ince veya üç kalın katmandır. Bu üretim tekniği sayesinde betonarmede iki doğrultulu çalışan döşemeye eşlenik bir sistem tertip edilebilmektedir. Bu durum da döşeme kalınlığını azaltabildiği gibi, performansı da hatırı sayılır derecede artırmaktadır.

Bu üretim sistemi Plywood üretimi sisteminde de görüldüğü gibi, sadece 90°'lik lif doğrultu açılarıyla sınırlanmamıştır. Farklı ihtiyaçlar duyulması halinde, lif doğrultuları ardışık katmanlarla farklı açılar yaparak birleştirilebilir ve bölgesel çözümler üretilebilir.

## **2.2 Çelik Malzemeler**

### **2.2.1 Donatı**

Donatı, betonarme yapıların betonları içerisine, beton dökülmeden hazırlanan çelik kafeslerin üretildiği, silindir formu, çelik malzemenin genel adıdır. Kolayca şekil alabilmesi ve birbirleri ile bağlanması oldukça hızlı olması sebebiyle inşaat sektöründe sık tercih edilir. Mukavemeti oldukça yüksek olan çeliğin, kesit alanında artması doğrultusunda, betonarme elemanın taşıma kapasitesi de artmaktadır. Kesitteki bu

performans artışı, malzemenin işlenmesi ve montajı için sarf edilen zamanı kabul edilebilir kılmaktadır.

Donatı çeliğinin günümüzdeki nervürlü(dişli) forma gelmesi uzun bir zaman almıştır, bu formun öncesinde dümdüz silindirik bir kablo formundadır. Donatı kullanımının ilk örneklerinden biri, 15. yy'da inşa edilmiş olan Vincennes Şatosudur[38].

Donatılar, tuğla yığma yapılarda da sık kullanılmışlardır. Esasen bu iki malzeme de, - beton ve tuğla- basınç dayanımı konusunda yeterli fakat çekme gerilmesi etkisi altında gerekli performansı gösterememektedirler. Bu sebepten ötürü, çekme dayanımı yetersiz malzemelerin güçlendirilmesinde donatılara sıkça rastlanabilir. Fakat donatılar da bir yandan basınç gerilmesine karşı mukavemeti yüksek malzemelere ihtiyaç duyarlar çünkü bu formdaki çelikler, ince ve uzun yapılarından ötürü oldukça narindirler.

Beton çelikleri üretim yöntemlerine göre iki gruba ayrılabilir, bunlar:

- a) Doğal sertlikte çelikler
- b) Özel beton çelikleri

Her çelik ilk etapta sıcakta çekilerek işlenebilir. Arzu edilirse karbon eklenerek sertleştirilebilir veya farklı metallerin çelik alaşımındaki konsantrasyonu arttırılarak daha yüksek mukavemetli çelikler elde edilebilir.

Bunun yanı sıra sıcakta haddelenen çelik soğukta işlenerek daha yüksek mukavemetli çelikler elde edilebilir. Bu tip çeliklere de özel beton çelikleri denir[39].

### **2.2.2 Tijler**

Tijler genellikle iki farklı elemanı birbirlerine bağlamada kullanılırlar. İngilizce isimleri "tie rod" yani bağlama gergisidir. Esasında uzun ve başlıksız civatalardır. Başlıklarının olmaması, tijlerin formunun civatalardan çok donatılara benzemesine yol açmaktadır.

Tijlerin, donatılardan mekanik özellikleri açısından farklı olmalarının yanı sıra şekil olarak farklı oldukları bir özellik daha vardır, o da tijin dişli yapısı. Donatılar tijlerle yan yana getirildiğinde nervürleri ufak ve süreksiz çentikler gibi dururken, tijlerin dişleri

ince ve sürekli dir. Bunun sebebi elemanların bağlanması sonrasında somunlarla bu bağlantısının sabitle nmesi zorunluluğudur.

### 2.3 Epoksi Reçinesi

Epoksi, suya, aside ve alkali etkenlere karşı dayanımı yüksek, dayanıklılık süresi uzun kimyasal, yapıştırıcı bir maddedir. Prepolimer ve polimerlerin birleşimi ile oluşur, priz süresi, kullanılan malzeme veya malzemeler arasında farklılık gösterebilir. Günümüzde inşaat alanında ankraj uygulamalarında önemli bir rol oynar.

Epoksi reçinesine ait olan ilk bulgu 1934 senesinde, Almanya'da Paul Schlack tarafından bulunmuştur[40]. Buna müteakiben 1938 senesinde Dr. Pierre Castan İsviğre'de Bisphenol A epoksi reçinesinin patentini alabilmiştir.

Epoksi, kimyasal yapısı sebebiyle beş farklı tre ayrılabilir, bunlar:

- Bisphenol A
- Bisphenol F
- Novolac
- Alifatik
- Glisidilamin

Bu çeşitlerin her biri farklı dallarda kendilerine kullanım alanları bulabilir. Örneğin: kaplama ve özel kullanım alanlı boyalar, su izolasyonu, yapıştırıcı, endüstriyel araç, dünya dışı yapıştırıcı ve güçlendirme uygulamaları bu alanlardan birkaçıdır[40], [41].

Epoksi reçinesi çoğu yazında, yapısal yapıştırıcı olarak da adlandırılmıştır. Farklı yapıdan malzemelerin yapıştırıldığı uygulamalarda sıkça kullanılır. Örneğin, cam, aēřap,taē, metal gibi.

Epoksi reçinesinin sertleēebilmesi, servis performansına ulaşabilmesi için priz sürelerini doldurmaları gerektirmektedir. Bu süre arzu edildiği takdirde, uygulama ortamının sıcaklığını artırarak veya yüksek frekanslı ultraviyole işık kullanılarak düşürülebilir[41].

### MALZEMELERİN İŞLENMESİ VE NUMUNE ÜRETİMİ

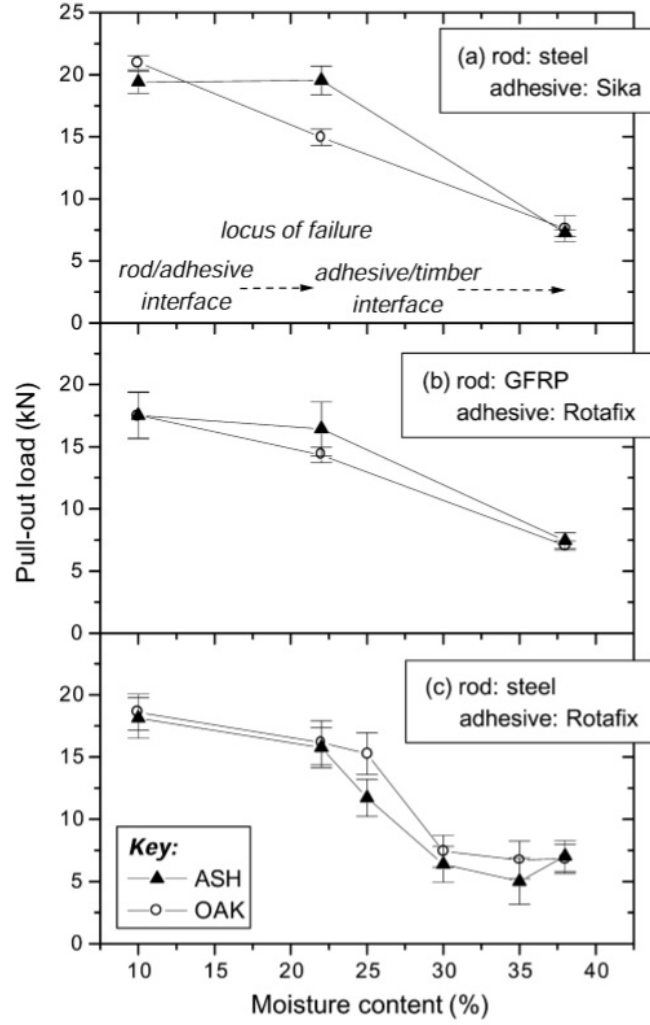
#### 3.1 Numune Malzemeleri

##### 3.1.1 Ahşap

Deneylerde kullanılacak ahşap, karakteristik özelliklerinin deney için yeterli olabiliyor oluşu ve erişilebilirliği sebebiyle ladin ağacının, Gl24h dayanım sınıflı lamine ahşap haline getirilecek şekilde işlenmiş bir hali tercih edilmiştir [42]. Deneylerde sertifikalı, lamine bir ahşabın kullanılmasının sebebi hem daha kontrollü bir numune geliştirebilmek, hem de ahşap içindeki nem oranlarının farklı olmamasını sağlamaktır.(Ahşap malzemeye ait sertifikalar tez sonunda Ek-A'da bulunmaktadır.)

Yapılan çalışmalar sonucunda, numuneler içerisindeki nem oranlarının hem yapıştırıcı performansında hem de ahşap performansında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Broughton, J. [14] çalışmasında, sert ahşapların nem oranı farkları altındaki davranışları incelenmiştir. Aşağıdaki şema bu çalışmaya aittir. Bu çalışma neticesinde koparma deneyi yapılırken uygulanan kuvvetin, nem oranının artmasıyla beraber düştüğü gözlemlenmektedir.

Çizelge 3.1 Nem oranının pull - out deneyi sonuçlarına etkisi [14]



Bu şema ışığında söylenebilir ki hem epoksi reçinelerinin performansları, hem de ahşap malzemelerin farklılıkları koparma deneylerinde önemli rol oynamaktadırlar. Şemada bulunan ilk ve son grafiklerde koparma deneyinde aynı saplama malzemesinin, aynı tür ağaçlarda farklı epoksi reçineleri tarafından yapıştırılması halinde ortaya çıkan farklar rahatça gözlemlenebilir.

Yine grafiklerde görüldüğü üzere ahşap malzemenin azami dayanım değerini en düşük nem oranında yakalamış olup, ahşap türleri farklı olsa dahi, deney bünyesinde test edilmiş maksimum nem oranlarında, birbirlerine yakın yük değerlerinde kopmaya uğramışlardır. Bu durum sayesinde anlaşılır ki, yüksek nem oranı, benzer tip ahşap malzemelerde (hardwood), yakınsak tahribata yol açmaktadır.

Malzemede yoğunluk artıkça eğilme dayanımı artar. Eğilme dayanımı % 3-5 nem oranında en yüksektir. Malzemenin %3-5 nem oranına getirilebilmesi için pek çok bekletilme işleminden geçmesi gerekmektedir, bunlar:

- Ağaç ormandan kesildiğinde %45-50 oranda serbest su ihtiva etmektedir
- Ağaç kesildikten sonra bir müddet ormanda bekletildiği takdirde bu oran %20-30 bandına kadar düşebilir.(orman kuru)
- Ağaç ormanda bekletildikten sonra bir çatı altında bekletilirse rutubet oranı %10-18'e kadar düşebilir.(hava kuru)
- Kesilen ürünler bu çatı altından alınıp kapalı bir ortamda bekletilirse nem oranı %5-10'lara kadar gerileyebilir. (oda kuru)
- Ahşabın tam olarak kurutulabilmesi için bu işlemlerden sonra, 100-105°C sıcaklıkta, toplam ağırlığından herhangi bir kayıp gerçekleşmeden bekletilmesi gerekmektedir(tam kuru)[43].

Bahsi geçen serbest su ağacın hücre boşluklarında bulunur, öz su ise ağacın hücre çeperine bağlı suya ise özsu adı verilir. Yukarıdaki aşamalarda anlatıldığı üzere serbest su ağaçtan ayrılır ve bunun için düzenli olarak, ortamın değiştirilmesine ihtiyaç duyar fakat özsu için ortamın ısıtılması gerekmektedir ve bu da serbest suyu atmaya nazaran daha zahmetli bir iştir. Ahşapta serbest suyun tamamen atıldığı ve öz suyun en yüksek oranda bulunduğu rutubet haline lif doygunluğu hali denir

Ahşap malzemenin, maruz kalabileceği yüklere karşı dayanımı, notlarda da belirtildiği üzere, lif doygunluğu nem derecesine kadar su miktarının artması ile azalmaktadır[44].

Malzememiz olan GL24h'nin isim kodlamasından anlaşılacak olan şey şudur: bu sınıftan olan bir malzeme öncelikle glulamdır (GL), eğilmeye karşı dayanımı ise 24 MPa'dır, "h" kodu ise malzemenin homojen olabilecek şekilde üretilmiş olmasını temsil etmektedir[45].

Lamine ahşaplar -Glulamlar- homojen olarak üretildiği gibi, kombine edilmiş şekilde de üretilebilirler. Bunlar gerilme dağılımının eleman üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak üretilmişlerdir. Lamine ahşap, küçük ahşap kesitlerin birleştirilerek büyük, tek bir ahşap kesit oluşturularak üretilmesi olduğu bilgisi de göz önünde

bulundurularak, BS EN 14080:2013'te de belirtildiği üzere iki bölgeye ayrılırlar. Bunlar iç ve dış bölgelerdir. Lamine ahşaplar pek çok katmandan oluşturulurlarken, dış kısımlara üretim safhasında, daha yüksek dayanımlı ahşaplar yerleştirilir. Bu durum mesnet ve açıklık ortasındaki yüksek eğilme gerilmelerinin daha küçük kesitler tarafından bertaraf edilmesini sağlar.

### **3.1.2 Güçlendirme Malzemeleri**

#### **3.1.2.1 Donatı**

Ahşap malzemenin güçlendirilebilmesi için pek çok malzeme bugüne kadar denenmiş ve pek çok sonuç alınmıştır. Ahşabın taşıma gücünün-performansının artırılması geçmişin gelecekle bir bağ kurabilmesi adına oldukça önemli bir adımdır. Bu hedef için ise hem betonarme geleneğine sadık kalıp, betonarme hesap yöntemine yakınsak bir hesap yaparak, malzeme kombinasyonunun bu duruma karşın davranışını öğrenmek, hem de ülkemiz için yeni olan bu çalışma için kendimize bir mesnet olarak alabileceğimiz bir malzeme olan donatı seçilmiştir. Bu durum da geleneksel betonarme inşaatlarda kullanılan, nervürlü inşaat demiri seçiminin yapılması sonucunu doğurmuştur.

Bu durum ise, ahşap yapıları, ahşap-arme bir yaklaşımla irdeleyen bu çalışma içerisinde hem erişilebilirliği hem de kolay işlenebilir olması sebebiyle bu malzeme tercih edilmesi gerekliliği perçinlenmiştir.

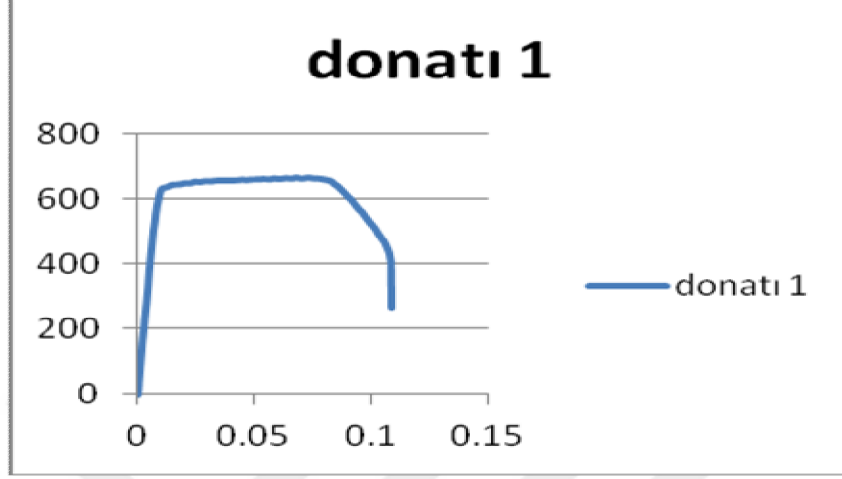
Piyasada sık bulunan S420 çeliği ilk etapta düşünülmüştür. Sonrasında yurt dışında bu alanda yapılan benzeri çalışmalarda kullanılan malzemelerin genel olarak çelik ve FRP çubuklar olduğu yapılan araştırmalarda göz önünde bulundurularak, S420 sınıfından bir sınıf daha yüksek bir malzeme tercih edilmiştir.

Bu çalışma sonrasında yapılacak ahşap-arme çalışmalarında, bu çalışmanın donatı ile yapılan numunelerinin sonuçlarının baz sonuçlar olarak alınacağı öngörülmektedir. Bu durumun sebebi ise ulaşılabilir olmasının yanı sıra üretim koşulları ve üretim ebatlarıdır.

Ahşap malzeme içerisine yerleştirilecek olan donatı çapı 8 mm olarak alınmıştır. Bunun sebebi ise ahşap kesitinin içerisine yerleştirilecek olan kesitin ahşap kesiti ataleti

sebebiyle zorlamamasıdır. Bahsi geçen inşaat çeliğinin, çelik çekme deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.2 Donatı çekme deneyi sonuçları



### 3.1.2.2 Tij

Tij (tie rod), çoğunlukla farklı türdeki yapıları birbirlerine ankre edilmesi amacıyla kullanılan yüksek mukavemetli çelik çubuklardır. Genellikle çelik yapıların betonarme yapıya veya çelik elemanların birbirlerine ankrajı için kullanılır. Temel olarak bakıldığında, görünüş itibarı ile başlıksız ve uzun civatalara benzerler. Bu malzemenin seçilmesinin temel sebeplerinden biri ise, sahip olduğu dişli yapısıdır.

Bu dişli yapısı sayesinde, üç bileşenli, iki etkileşim yüzeyli birleşimlerde kendi üstüne düşen görevi rahatlıkla yerine getirilebilir. Daha spesifik olmak gerekirse, bu malzemenin kullanıldığı uygulamalar genel itibarı üç farklı eleman bulundurur. Bunlardan ilki, sabitlenecek yüzey veya bölge, ikincisi, yapıştırıcı malzeme (ki bu malzeme bizim durumumuzda epoksi reçinesi) ve son olarak da tij malzemesidir.

Bu birleşimlerde yapıştırıcının, sabitlenecek olan alandan daha yüksek mukavemetli olması tercih edilir. Ayrıca hazırlanmış olan yüzeyin, yapıştırıcının tutunabileceği bir malzeme olması ve yapıştırıcının aderansı sağlayabilmek için gereksinim duyduğu sınırları sağlamak zorundadır. Yapıştırıcı, taşıyıcı yüzeye uygulandıktan sonra yapıştırılacak olan eleman - ki bu bizim durumumuzda tijler veya donatılar- bu bölgeye yerleştirilir, ana eleman ve yapıştırıcı arasındaki ilişki koşulları, yapıştırıcı ve taşınacak olan eleman için de geçerlidir, yani yapıştırıcının malzemeyle kullanılmasında kimyasal

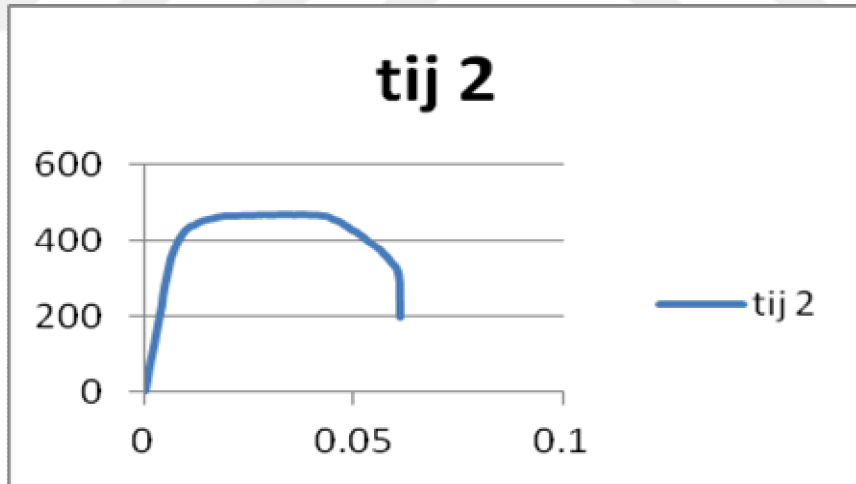
bir sakınca olmadığı gibi beraber kullanıma uygun olmalı ve geometrik koşullar tam anlamıyla sağlanabilmelidir.

Bizim durumumuzda bu koşullar nervürlü donatıdan ziyade tijler tarafından daha yüksek derecede sağlanabilmektedir. Bu birleşimlerde tijin yapıştırıcıyla aderansının, nervürlü inşaat çeliğine nazaran daha yüksek olacağı düşünülmektedir. Bunun sebebi ise yukarıda da belirtildiği üzere tijlerin sahip olduğu dişli yapısıdır.

Numunelerin üretildiği GI24 h dayanım sınıfı ahşabın kesme mukavemeti ve eğilme dayanımı için yapılan hesaplar(yapılan hesaplarda tarafsız eksenin tam olarak ortadan geçtiği kabul edilmiştir.) sonrasında kullanılacak tij çapı -donatıyla benzer olacak şekilde- 8 mm olarak belirlenmiştir. Bunun sebeplerinden biri ise seçilmiş olan donatı ile benzer bir güçlendirme sağlayıp, oranları ve davranışları birbirleriyle kıyaslamaktır.

Bahsi geçen tij malzemesinin kodu M8'dir. Bu kod dayanım sınıfını değil, boyut sınıfını temsil etmektedir. Tijin çelik çekme deneylerinde saptadığımız değerler aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Tij çekme deneyi sonuçları



### 3.1.2.3 Sikadur 330

Epoksi reçinesi bu çalışma için kilit niteliğinde bir malzemedir. Ahşap elemana gelecek yükün, numune içerisinde bulunan çelik güçlendirme elemanına aktarılması bu çalışmanın merkezindedir. Bu görevin yanı sıra epoksi reçinesinin daha büyük bir görevi daha vardır.

Ahşap malzemeler seçilen boyutlardan ötürü - ki boyutlar standartlara uygun olarak seçilmiştir- düz bir delik açılıp içine çelik güçlendirme elemanı eklenip kapatılacak bir seviyede değildir. Bu uygulama yerine, ahşap malzeme güçlendirme yapılacağı yüksekliklerden kesilip, epoksi uygulanıp, güçlendirme malzemesi yerleştirilip, tekrar lamine edilmiştir. Bu laminasyon işlemi de epoksi reçinesi ile yapılmıştır.

Bu üretim yöntemi dolayısı ile yapıştırıcı malzemeye çok fazla iş düşmektedir. Eğer deney esnasında yekpare hale getirilmiş numune, tekrar lamine edildiği yüzeyden ayrılırsa bu deney sonuçları arasında bir süreksizliğe neden olacaktır. Bu kırılma da, elde edilen deney sonuçlarının sağlıksız olmasına yol açacak ve deneyler farklı bir yapıştırıcı malzeme ile üretilmiş numuneler ile devam etme zorunda kalacaktır.

Yapılan araştırmalar doğrultusunda ise, yapıştırıcı seçimi yapılırken, üretilen düğüm noktalarına, yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzeme özelliklerine, üretim tekniğine ve delik çapına varana kadar irdelenmelidir [7].

Bu bilgiler ışında, yapılan çalışmada seçilecek olan yapıştırıcı malzeme için ayrıca bir araştırma yapılmış ve erişilebilirliği, benzeri çalışmalarda kullanılmış oluşu sebebiyle Sika firmasının ürettiği Sikadur 330 yapıştırıcısı seçilmiştir. Ürün aynı zamanda laminasyon için üretilmiş bir reçine olması sebebiyle çalışmamız için de tam uyum göstermiştir.

Sikadur - 330 iki bileşenli malzemesi iki bileşenlidir. İki ayrı kutuda gelir ve kutular arasında karıştırma oranına eşit olarak 1:4 oranı bulunmaktadır. Fazla olan malzeme beyaz ve kıvamlı ve homojendir, küçük olan gri kutu ise gri ve heterojen bir karışımdır. Gri bileşenin homojen bir yapı kazanabilmesi için karıştırılması gerekmektedir.

Malzeme solventsiz ve tiksotropik özelliklidir. Solventsiz oluşu çevresel etkenlere karşı tam bir koruma sağlamaktadır. Malzeme suya ve asite karşı dayanıklı olup, kimyasal reaksiyonlar karşısında kararlı bir davranış sergiler. Tiksotropi özelliği ise malzemenin uygulanmadan önce, atmosferde bulunan herhangi bir etkenle etkileşime girmemesini sağlar. Bir yandan da pot süresini oluşturan özelliklerinden biridir. İki malzeme karıştırıldığında uygulanabilir olarak kıvamını koruyabildiği süre ortam sıcaklığına göre farklılık göstermektedir. Ortam sıcaklığı arttıkça malzemenin uygulanabilir süresi azalmaktadır. İki bileşenli olması ve uygulamasının kolay oluşu da bu malzemeyi bu

çalışma için uygun kılmaktadır. Çünkü bu durum malzemeyi kontrol edilebilir ve uygulanabilir kılmaktadır.

Aynı zamanda, malzemenin epoksi esaslı doyumma reçinesi ve yapıştırıcısı olması, bizim malzeme seçimimizi yaparken karar vermemizi kolaylaştıran unsurlardan biridir.[46] Yapılacak deneyler için gerekli olan karakteristik özellikleri bünyesinde barındıran Sikadur - 330 malzemesi bu çalışma için seçilebilecek optimum özelliklere sahip malzemelerden biridir.

Bu malzemenin yapılan çalışma doğrultusunda kullanılmayacağını saptadığımız tek bir alan vardır. O da çekmeye çalışan, güçlendirilmiş ahşap elemanlardır. Malzemenin şekil değiştirmeye olan toleransı ahşap malzemeye yakın olmasına rağmen yeterli koşulları sağlamamaktadır. Bu durumun bir elverişsizlik yaratacağı tek durum ise güçlendirilmiş ahşap malzemesinden elde edilecek olan makasların sadece çekme çubuklarıdır. Ürün katalogundan elde edilen malzeme bilgileri ve yapıştırıcının çekme deneyinden alınan veriler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.4 Sikadur 330 ürün bilgileri[46]

Kullanım Süresi	(Potlife)	
	Sıcaklık	Süre
	10°C	90 dakika (5kg)
35°C	30 dakika (5 kg)	

#### Mekanik/Fiziksel Özellikler

<b>Çekme Dayanımı</b>	30N/mm <sup>2</sup> (23°C'de 7 günlük)	(DIN 53455)
<b>Yapışma Dayanımı</b>	Kumlanmış yüzeyde beton kırılması: > 1 gün	(EN 24624)
<b>Elastisite Modülü</b>	Eğilme	(DIN 53452)
	3800 N/mm <sup>2</sup> (23°C'de 7 günlük)	
<b>Kopma Uzaması</b>	Çekme	(DIN 53455)
	4500N/mm <sup>2</sup> (23°C'de 7 günlük)	
<b>Termal Dayanım</b>	%0.9 (23°C'de 7 günlük)	(DIN 53455)
<b>Termal Dayanım</b>	50°C Sürekli etkiye dayanabilmektedir.	

#### Uygulanan ürünün servise hazır olma süresi

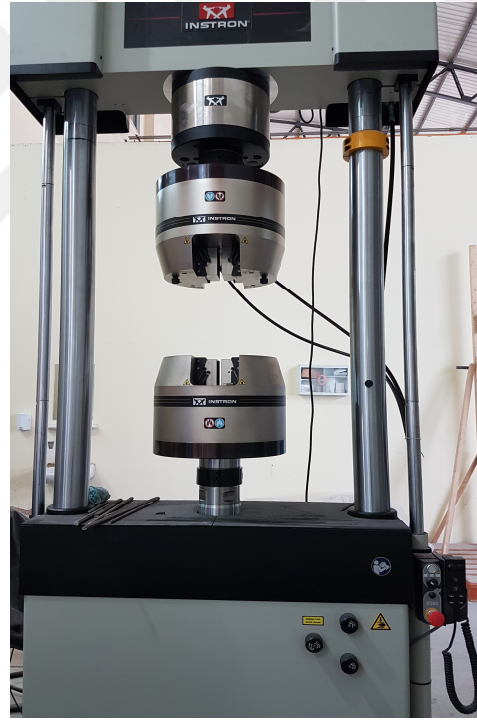
Sıcaklık	Tam Kürü Alma
10°C	7 gün
23°C	5 gün
35°C	2gün

## 3.2 Deney Cihazları ve Yardımcı Unsurlar

### 3.2.1 Instron

#### 3.2.1.1 Instron 8803 Deney Cihazı

İlk görüşte, Instron 8803 deney cihazının alt kısmında, cihazın çalışma prensibinin temeli olan, hidrolik basınç dağıtım ve kontrol merkezi göze çarpmaktadır, bir üst kısımda ise alt tutucu çenenin ayarlanabilir yüksekliğe sahip platformu ve iki yan tarafta kılavuz kesitleri bulunmaktadır. Kılavuz kesitler, alt sistemden bağımsız olan üst çenenin eksantrikite etkisini minimize etmek üzere tasarlanmış üst çene destek elemanlarıdır. Üst çene ise genel itibarı ile sabit olup genel hareketler ve deney yüklemesi alt çene tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 3.1 Instron 8803 deney cihazı

Deney cihazının yan tarafında bir kontrol kumandası ve hidrolik basınç dağıtım ve kontrol merkezi üzerinde de çeşitli ayar düğmeleri bulunmaktadır. Bunlar Raise, Lower, Clamp/Un-Clamp tuşlarıdır.

Kontrol kumandasında ise yedi ayar unsuru bulunmaktadır. Bunlardan üst kısımda bulunan ikisi alt çeneyi yukarı ve aşağı doğru hareket ettiren, diğer dördü alt ve üst

çenenin kıştırma ayarlarını kontrol eder. Tuşlar tek fonksiyonlu ve cihaz üzerinde ayardan bağımsızdır. Bunlar kapat komutu gelmesi halinde kapanır ve aç komutu gelmesi halinde açılır.

Instron 8803 basınç, çekme ve yorulma deneylerinin yapılabilmesi için ideal bir araçtır. Dinamik olarak 500 kN, statik olarak ise 600 kN yükleme kapasitesi bulunmaktadır. Ayrıca cihaz sadece hidrolik değil, servo hidrolik bir sisteme sahiptir. Servo opsiyonu, sistem içerisinde hatanın veya dengesizliğin algılanıp, bu hatanın uygulama sistemi içerisinde tolere edilebilmesi anlamına gelir.

Cihazın deney alanları genel itibarı ile şunlardır:

- Kırılma mekaniği
- İnşaat çeliği
- Uzay - uçak sanayi panelleri
- Kablo- halat elemanları
- İnşaat mühendisliği yapı ve parçaları
- Küçük ebatlı beton ve taşlar

[47]

### **3.2.1.2 Instron 8800 Kontrol İstasyonu**

Instron 8800 kontrol istasyonu, ana bilgisayara bağlı ikinci bir bilgisayar kasası görünümündedir. Bu cihaz servo-hidrolik deney cihazından gelen bilgileri işleme ve bunu bilgisayar içerisinde yüklü Instron yazılımına adapte edecek düzeyde işlem yapabilen münferit bir makinedir.

Verilerin elde edilmesi ve işlenmesi için önemli bir yere sahiptir. Aksi takdirde ana bilgisayarın hem verileri okuması hem de dönüştürmesi oldukça zor olacaktır. Bu cihazın hidrolik kontrol merkezine entegre olmayışı ise bu cihaza hem erişilebilirlik hem de müdahale edilebilirlik özelliği kazandırır. Bu durum cihaz içerisinde herhangi bir sorun olduğunda gerekli olacak servis uygulamalarını kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda Instron 8803 cihazı servo hidrolik bir cihaz dahi olsa, hidrolik ekipmanlarından çeşitli sıvı çıkışları olması muhtemeldir. Bu da Instron 8800 deney kontrol

istasyonunun, Instron 8803 deney cihazı içerisine entegre olması halinde çok çeşitli sorunlara yol açabilir ve cihazlar kullanılmaz hale gelebilir.



Şekil 3.2 Instron 8800 kontrol istasyonu

Instron 8800, Instron'un çekirdek sistemiyle üretilmiş servo hidrolik bir kontrol istasyonu olup, hem statik hem de dinamik testlere uygun olarak tasarlanmıştır. Gerekli hassasiyet için tüm veri dönüştürücüleri otomatik olarak tanımlanabilir ve kalibre edilebilmektedir. 19bit'lik veri çözünürlüğüne sahip olup, her daim tam kapasite çalışabilmekte ve böylece veri kalitesini bir standarda bağlamaktadır. Deney süresince, numunenin değişen karakteristik özelliklerine dair kontrol parametrelerine tam uyum sağlar, değişimi yüksek kalibrasyon yeteneği ile optimize edebilir.[47]

Bünyesinde, windows işletim sistemli ana bilgisayarla köprü kurabilecek pek çok yazılım sistemi barındırmaktadır. Bunlar:

- Bluehill® 3 Statik Test Yazılımı
- LCF3 Düşük Döngüsel Yorulma Yazılımı
- WaveMatrix™ Dinamik Test Yazılımı
- Kırılma mekaniği için özel hazırlanmış özel yazılımlar [47]

Bizim çalışmamız bünyesinde sadece statik yükleme yapılacaktır, diğer yazılımlar farklı çalışmalar için kullanılmaktadır.

### **3.2.1.3 Bluehill® 3 Statik Test Yazılımı**

Bluehill® 3 statik test yazılımı Instron 8800 ve 8803 cihazlarına erişimin, Windows işletim sistemli bir bilgisayar üzerinden yapıldığı, numunenin malzeme ve geometrik özelliklerinin, yapılacak deneyin maiyetini ve verilerin geçeceği işlemleri ayrıca deney sonuçlarının neye bağlı yapılabileceği kontrol edilebilen bir yazılımdır.

Deney numunelerinin her biri için ayrı ayrı deney taslakları oluşturulabilmesinin yanı sıra, pek çok numunenin verisini tek bir ekranda harmanlayarak da kullanıcılara sunabilir. Deney taslağı bilgisayar hafızasına kaydedildiği takdirde benzer deneyler farklı malzemeler üzerinde tekrar tekrar uygulanabilir ve deney neticesindeki sonuçlar gözlemlenebilir.

Yazılıma, deney yapılmadan önce girilen veriler doğrultusunda, yükleme yük değeriyle yapıldıysa, malzeme uzamasına ve boyutlarına göre anlık hesap yapıp, Young modülü ve anlık gerilmeyi sağlayabilmektedir, eğer uzama cinsinden bir yükleme yapıldıysa, yüke göre benzer hesapları yapmaktadır.

### **3.2.2 Deney Fikstürleri**

Çalışma bünyesinde yapılması tasarlanan tüm deneylerin yapılabilmesi için, Instron 8803 deney cihazı kullanılacaktır. Malzeme değerlerinin elde edilebilmesini sağlayan çekme deneyleri için numuneler cihaza ve standartlara göre üretilebilmiştir. Fakat cihaz yinede dört noktalı eğilme deneyini ve koparma (pull-out) deneyini

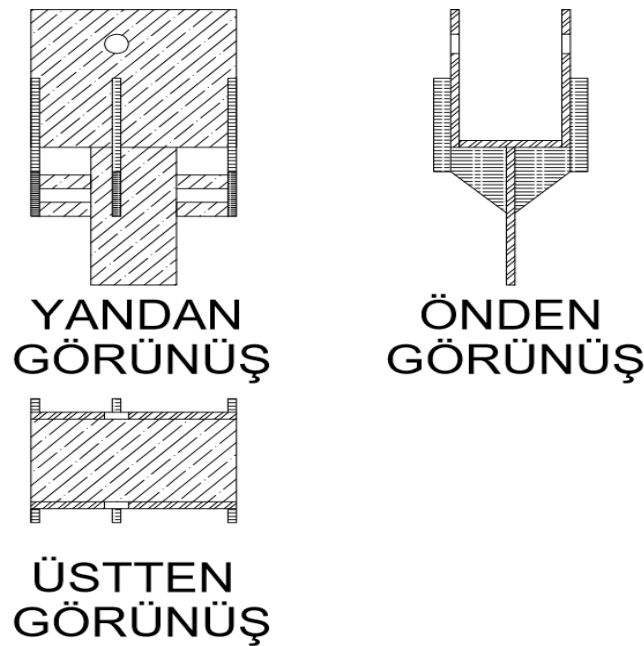
gerçekleştirememektedir. Bunun sebebi cihazın bunları tek başına yapabilecek şekilde tasarlanmamış oluşudur.

Bu elverişsizlik, cihaza uygun fikstürler üreterek bu durum bertaraf edilebilmektedir. Bunun için deney düzeneğinin ne olduğu ve nasıl işlediğine ait genel bilgiye sahip olmak, deney cihazını bu deneyi yapabilir hale getirebilmek için önemli bir etkidir.

Bu çalışma içerisinde yapılacak iki farklı deney olan, pull-out ve dört noktalı eğilme deneylerinin mekanik işleyişleri aşağıdaki gibidir.

- Pull-Out Deneyi: Pull-out deneyi, baz malzemenin içine yerleştirilmiş olan güçlendirme elemanını çekerek koparma işlemidir. Bunun için temel ihtiyaç alt çeneye, baz malzemeyi sabitleyecek ve buna rağmen güçlendirme elemanlarının kopartılarak çıkarılmasına imkan yaratacak bir fikstür gerekmektedir.

Bu ihtiyaçlar doğrultusunda aşağıdaki şekilde görülen fikstür üretilmiştir.

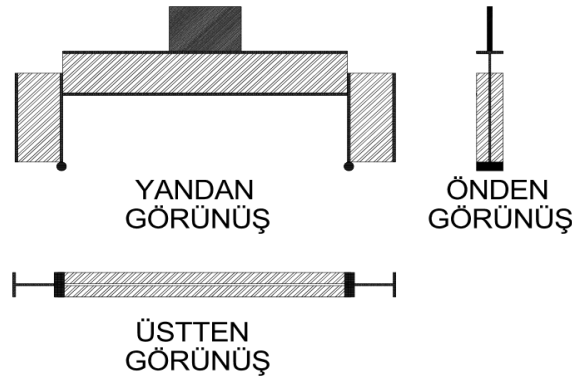


Şekil 3.3 Pull - out fikstürü çizimi

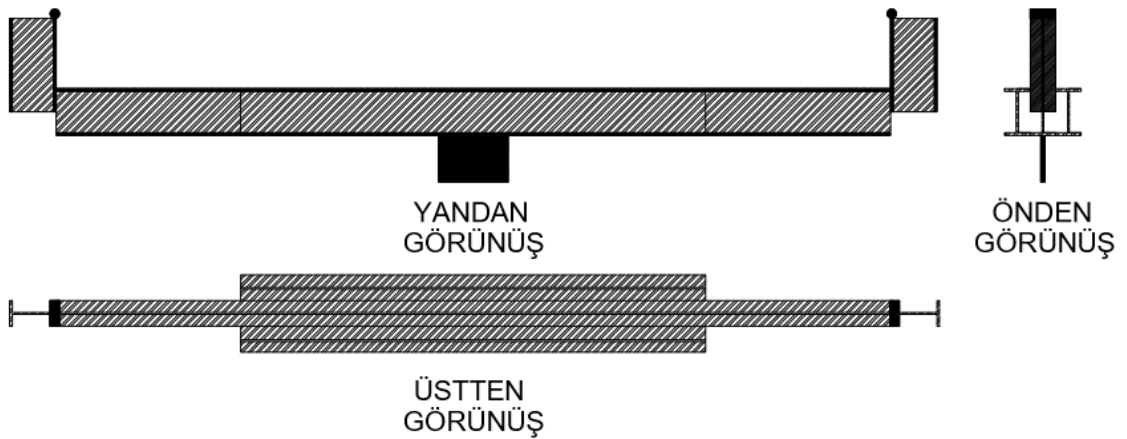
Pull-Out fikstürü, Görüldüğü üzere dört ana etmenden oluşmaktadır. Bunlar: Taban levhası, yan levhalar, berkitmeler ve çene adaptörü. Numune taban levhasına oturmakta ve yan levhalar tarafından desteklenmektedir. Yan levhalarda bulunan delik içinden kalın bir tij çubuğu geçirilerek, numunenin fikstüre bağlanması hedeflenmiştir. Berkitmeler ise hem taban levhasının hem de yan levhaların tij gelen yük yüzünden,

şekil değiştirmesini engelleyecek ve bu da yük deneyin sağlıklı bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Çene adaptörü ise fikstürün çene vasıtasıyla sabitlenebilmesi için gereklidir.

- Dört Noktalı Eğilme Deneyi: Standartlar tarafından uzunluğu belirlenmiş olan numunenin, yine standartlar tarafından belirtilen mesnet noktaları için ayrı bir fikstür üretmek gerekmektedir ve bu yapılırken deneye tabi tutulan numunenin eğilme gerilmesi altında sehim yapabilmesine olanak sağlanmalı, açıklık ortasında numune için ek bir mesnet oluşturulmamalıdır. Deney bu kısma kadar üç noktalı eğilme deneyi ile birebir aynıdır. Deneyin üç noktalı eğilme deneyinden ayrıldığı nokta ise, numunenin üstünden yine mesnetler gibi tekil bir kuvvet etkitebilecek olan iki farklı noktanın da tertip edilebilmesi gerekmektedir. Üç noktalı eğilme deneylerinde ise numuneye, tek bir tekil kuvvet etkimektedir.



Şekil 3.4 Dört noktalı eğilme deneyi yükleme fikstürü



Şekil 3.5 Dört noktalı eğilme deneyi mesnet fikstürü

Yükleme fikstürü, mesnet fikstürüne göre daha basit bir fikstürdür. Boyu kısa olduğu için burulma etkisinde kalmayacaktır. Bu fikstür de dört temel etkenden oluşmaktadır. Dik olarak tertip edilen ve iki kenarda bulunan yük aktarım profillerinin uçlarında, tekil yükün aktarılabilmesi için donatılar bulunmaktadır. Çeneler birbirlerine yaklaştıkça donatılar ahşap eğilme numunelerine tekil yük etkileyecektir. Çene adaptörü ile yük aktarım profilleri arasındaki uzun profil ise deneyin yapılabilmesi için gerekli açıklığı sağlamaktadır. Çene adaptörü ise fikstürün deney cihazına sabitlenebilmesi için, bizim deneylerimizde kullanılacak fikstürlerdeki en temel faktördür.

Mesnet fikstürü, yükleme fikstürünün hemen hemen ayağıdır. Tek farkı, ortada açıklık profiline iki yanında yüklemeye esnasında burulma etkisinin yol açacağı deformasyonu engelenebilmesi için açıklık profilleri ile aynı kesitlere sahip kesitler kaynaklanmıştır. Fikstürlerde kullanılan bütün profiller, St37 dayanım sınıfı IPE 100 profilleridir.

### **3.3 Numune Üretimi**

Numunelerin üretim safhasından önce numuneler yapılacak deneyler doğrultusunda sınıflandırıldı. Bu sınıflandırma hem yapılacak deneylere hem de kullanılan malzemelere göre yapıldı. Bu sınıflandırmalar:

- Çekme Deneyi

a) Donatı Çekme Deneyi

b) Tij Çekme Deneyi

c) Ahşap Çekme Deneyi

d) Yapıştırıcı Çekme Deneyi

- Koparma (Pull-Out) Deneyi

- Dört Noktalı Eğilme Deneyi

a) Güçlendirme Elemanının Ortadan Geçtiği Numuneler

b) Güçlendirme Elemanının Alt Yarısının Ortasından Geçtiği Numuneler

c) Güçlendirme Elemanının En Altından Geçtiği Numuneler

d) Boş Referans Numuneleri

e) Elemanın Ortadan Kesilip Tekrar Lamine Edildiği Numuneler

f) Elemanın Alt Yarısının Ortasından Kesilip Tekrar Lamine Edildiği Numuneler 'dir.

Bu sınıflandırmalar doğrultusunda deneylerin yapılabilmesi için gerekli ebatların tespiti için çeşitli ISO şartnameleri referans olarak alınmıştır.[45], [48], [49]

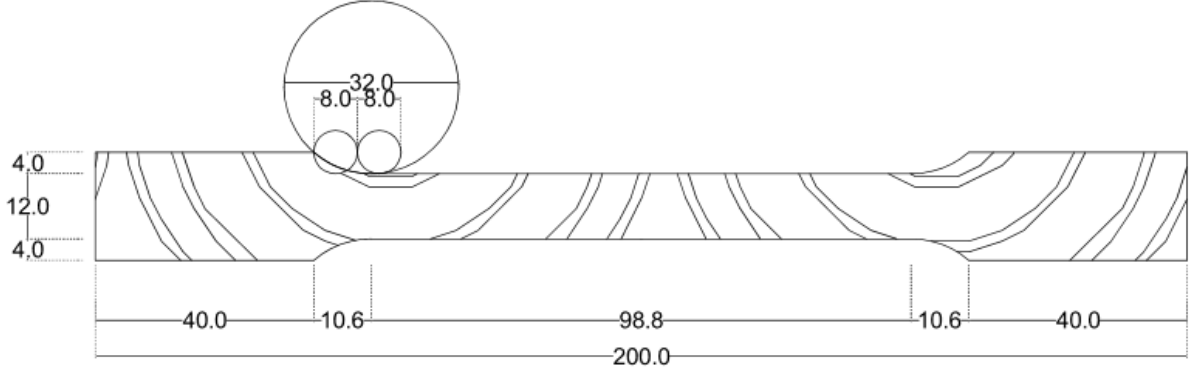
Numuneler üretilirken öncelikli olarak dikkat edilen husus, üretimin bir laboratuvar ortamında değil atölye ortamında ve profesyoneller tarafından yapılmasıdır. Bu gaye doğrultusunda numuneler herhangi bir işlem görmeden ve örselenmeden direkt olarak atölyeye taşınmıştır.

### **3.3.1 Çekme Deneyi Numunelerinin Üretimi**

Numune üretimine ilk olarak çekme numunelerinin üretiminden başlanmıştır. Dört farklı malzeme üretimi için farklı sayıda numuneler ve yedekleri üretilmiştir. Çelik alaşımlı numuneler için beşer adet, yapıştırıcı numunesi için üçer adet ve ahşap numuneleri için beşer adet üretilmiştir. Ahşap numuneler deney cihazının kapasite farklılıkları göz önünde bulundurularak 5mm ve 10 mm kalınlıklarda üretilmiştir.

Bütün numunelerin uzunlukları yirmişer cm olarak tayin edilmiştir. Çelik numunelerin hazırlanması sadece kesim işlemi yapılarak olmuştur. Yapıştırıcı numuneleri için ise ahşap malzemedan kalıp yapılmıştır. Kalıbın yapıştırıcıyla birleştiği bölgelerde sürtünme azaltıcı bant kullanılmıştır. Yapıştırıcı numuneleri ürün veri bilgilerinde yer alan talimatlara uygun olarak, karıştırıcı matkap vasıtasıyla hazırlanmış ve kalıba dökülürken hava boşluğu kalmayacak şekilde sarsılmıştır. Numuneler 200x20x2 mm dikdörtgen prizma şeklinde hazırlanmıştır. Yapıştırıcı kalıbının köpek kemiği şeklinde hazırlanmamış olmasının temel sebebi şekil verilmesi halinde boşluklu bir yapı kalması ihtimalidir.

Ahşap numuneler ise köpek kemiği şeklinde hazırlanmıştır. Masa tipi frezede üretilen ahşap numunelerinin boyutları aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 3.6 Ahşap çekme numunesi çizimi

### 3.3.2 Koparma (Pull-Out) Deneyi Numunelerinin Üretimi

Pull-Out numunelerinin üretimi için 240x120x300 boyutlu ahşap kesitler kullanılmıştır. Fikstür de bu kesite tam uyacak şekilde tasarlanmıştır. Kesitler 6 sıra 40x120x300 boyutlu ahşabın lamine edilmesiyle elde edilmiş bir kesittir.

Pull-out numunesinin oluşturulabilmesi için bu kesitte ortadaki katmanlardan birinin tam ortasına 10 mm çapında, 50 mm derinliğinde delikler açılmıştır. Sonrasında epoksi reçinesinin karışım oranı dikkate alınarak, delikler ağızlarına kadar silikon bir huni ile hem basınç uygulanarak, hem de dökülerek doldurulmuştur. Doldurulma esnasında hem sarsarak, hem de ince bir telle karıştırarak boşluk kalmaması sağlanmıştır.



Şekil 3.7 Numunelerin pull - out fikstürüne oryantasyonu

Donatı elemanları -ki bu deney numunelerinin üretimi için sadece donatı kullanılmıştır- 150 mm kesilerek deliğin tam ortasına yerleştirilmiş ve taşan yapıştırıcı, ahşap malzeme yüzeyinden temizlenmiştir. Numuneler deney uygulanmadan öncesinde yedi gün bekletilmiş ve deney sonrasında yapılmıştır.

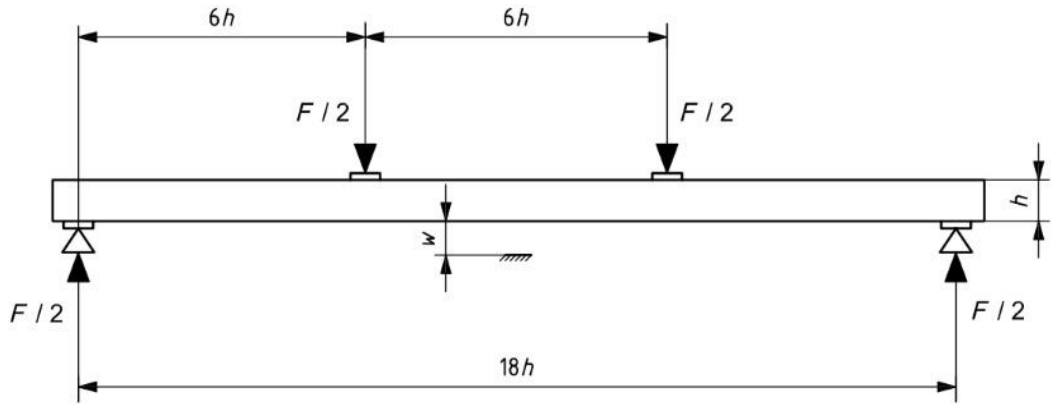
Numunenin fikstürle uyum sağlayabilmesi, deney yapılabilmesi için, ankraj deliğinin numuneler üzerinde de açılması gerekmektedir. Numuneler pull-out fikstürü içine yerleştirilip sırayla ankraj delikleri, masa tipi tek doğrultulu çalışan matkap vasıtası ile açılmıştır.



Şekil 3.8 Pull - out fikstürü ve numuneleri

### 3.3.3 Dört Noktalı Eğilme Deneyi

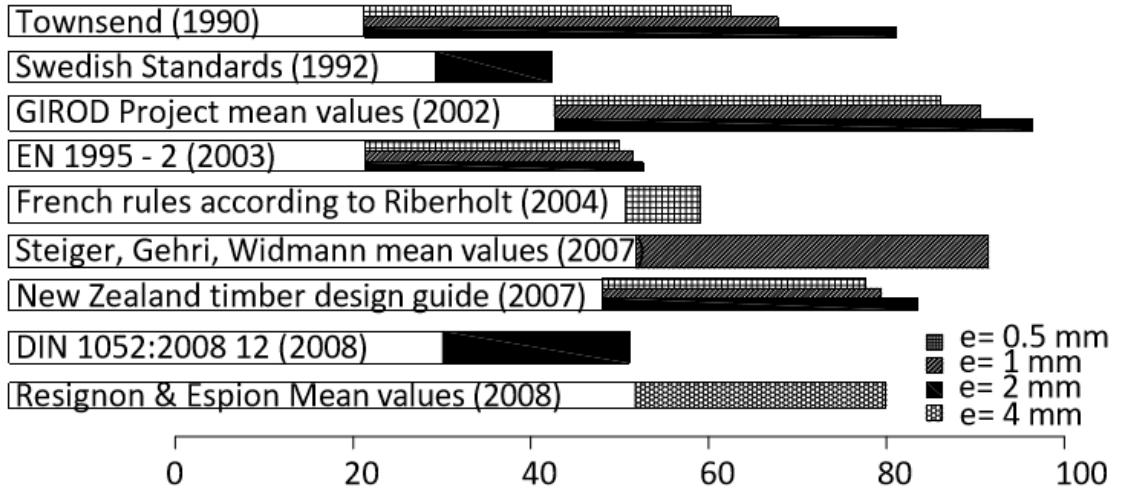
Numune üretimi öncesinde numunelerin boyutlarının ve kullanılacak malzeme miktarının belirlenebilmesi için, yapıştırıcı ile lamine edilmiş ahşapların deney yöntemleri üzerine yazılmış olan Avrupa standardı ve çeşitli makaleler incelenmiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda "ISO 8375-2009 Edition 2" de numune boyu, yapılacak olan deneyin çeşidi de göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Aşağıda numune boyunun belirlenmesine ilişkin şema görülmektedir[49].



Şekil 3.9 Dört noktali eğilme deneyi numune boyutları [49]

Yapıştırıcı kalınlığına karar verilmesi hususunda ise Steiger vd (2015) 'de yayınladığı kümülatif makalesinden destek alınmıştır. Makale kapsamında yapılan araştırmalar ve elde edilen veriler neticesinde aşağıdaki yapıştırıcı kalınlığı ve koparma deneyinde uygulanan kuvvetlerin, yapıştırıcı kalınlığıyla oranını gösteren bir Çizelge oluşturulmuştur[15].

Çizelge 3.5 Yapıştırıcı kalınlığının pull - out deneyine dayanımına etkisi [15]



Bu çalışma yapılırken [15], tutkalın en çok zorlandığı düğüm noktası kesitleri göz önünde bulundurulmuş ve bu konuda pek çok kapsamlı proje üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu çalışma doğrultusunda hazırlanan Çizelgeye bakılarak, yapıştırıcı kalınlığının artmasının pull-out deneyleri neticesinde donatının ahşaptan koparılmaya karşı sağladığı dayanım artışının, parabolik olarak azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla, ahşap dayanımı, donatı kalitesi-çapı göz önünde bulundurularak; yapıştırıcı kalınlığının 1.2 mm olmasında karar kılınmıştır.

Ahşap numunelerin en kesit boyutlarına karar verilirken, ahşap yapı sistemleri göz önünde bulundurularak, yapı inşasında üretilmiş zayıf bir tali kirişin basit eğilme etkisi altında gösterdiği performansın artırılması üzerine çalışıldığı da göz önüne alınmıştır. Numunenin işlenmeden önceki boyutları 240x120 mm idi. Bu boyuttaki yekpare numunenin yukarıda bahsi geçen zayıf bir tali kirişe yakınsayabilmesi için 4 eşit parçaya bölünmesi ile 118.5\*58.5 mm olarak belirlenmiştir. (Boyutların küsuratlı olmasının sebebi, masa tipi hızarın 3 mm zayıfata sebep olmasıdır.)

Numunelerin hangi lif doğrultusunda güçlendirileceği, Ünal, Ö. (2000). yayını baz alınarak belirlenmiştir. Bahsi geçen yayında, bu kararın verilmesine sebep olan ibare "Ahşabın liflere paralel yönündeki özellikleri ile farklı etkilere karşı dayanımları, liflere dik yöndeki dayanımlarından daha yüksektir" ifadesidir [50].

### **3.3.3.1 Numune Üretiminde Kullanılacak Elemanların Hazırlanması**

#### **a) Güçlendirme Elemanının Ortadan Geçtiği Numuneler**

Kesitlerin güçlendirilmesi kararlaştırıldığında, ahşabın nasıl davranacağından tam olarak emin olunabilmesi için güçlendirme elemanları üç çeşit yüksekliğe yerleştirilmiştir.

Mekanik açıdan bakılıp, inşaat mühendisliği temrinleri göz önünde bulundurulduğunda, en yüksek taşıma gücünün, ahşap kesitin en altından geçen kirişlerde olması beklenmektedir. Fakat ahşap kesit devam etmediği için yük altında donatının kurtulması ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır.

Güçlendirme elemanının tam ortadan geçtiği elemanlar, deneylerden elde edilen verilerin gerçeğe yakınsatılması için bir referans görevi görmektedirler.

Güçlendirmenin yapılması için, öncelikle yekpare kesitlerin dört parçaya ayrılması gerekmektedir. Sonrasında dört adet 2m uzunluklu ahşap eleman tam ortalarından kesilmiştir.



Şekil 3.10 MID kodlu numunenin kesim işlemi

Kesim işlemi tamamlandıktan sonrasında güçlendirme elemanının yerleştirilebilmesi için tek doğrultuya sabitlenmiş kılavuzlu sabit, 10.2 mm ağız genişlikli el frezesi ile kanal açma işlemi yapıldı. Bu işlemin tamamlanmasının ardından kesitler güçlendirilmeye ve tekrar lamine edilmeye hazır hale geldiler. Fakat yapıştırıcının otomasyona bağlı bir fabrika sistemi olmadan uygulanabilmesi için gerekli süre seri üretim ile uygulanabileceği süreden daha uzun olduğu için ve epoksi reçinesinin uygulama süresi bu sürenin altında kaldığı için kanal açılmış kesitler daha sonra lamine edilmek üzere çalışma alanından uzaklaştırıldı. Lif geometrisinin sürekliliğinin bozulmamasının, deney sonuçlarını etkileyecek bir unsur olduğu göz önüne alınarak, yekpare malzemeden dörde ayrılan numuneler de güçlendirilmek üzere kesildikten sonra eşlerinden ayrılmayacak şekilde istiflendiler.



Şekil 3.11 MID kodlu numuneye kanal açılması işlemi

#### **b) Güçlendirme Elemanının Alt Yarısının Ortasından Geçtiği Numuneler**

Yapılan çalışmada, ahşap hesaplarının ahşap-arme bir yaklaşımla çözüleceği düşünülmüştür. Numunelerin bu formatı da, betonarme formuna en yakın olan numunelerdir. Dolayısıyla bu çalışma açısından en önemli olduğu düşünülen numuneler, güçlendirme elemanının alt yarısının ortasından geçen numunelerdir.

Kesitin belirli bir yüksekliğinden, kesit boyunca kesilen bütün numunelerde üretim sistemi aynıdır. Bu numune için ise kesim yüksekliği 29.625mm'dir. Numune kesilirken, masa tipi hıvardaki kılavuz unsuruna bağlı kalınmış ve malzemeye baskı uygulanarak malzemenin kılavuzdan ayrılmaması sağlanmıştır.



Şekil 3.12 LOW kodlu numunenin kesimi

Kontrollü kesim işlemleri yapıldıktan sonra, yarım silindirik güçlendirme elemanı kanalı açılmış ve kesit laminasyon uygulamasına hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.13 LOW kodlu numuneye kanal açılması

### c) Güçlendirme Elemanının En Altta Geçtiği Numuneler

Bu numuneler, çalışma açısından hem en büyük potansiyeli hem de en büyük riski bünyesinden barındıran numunelerdir. Mekanik olarak en yüksek taşıma gücünün bu elemanlarda gözlemleneceği öngörülmüştür. Bunun sebebi ise açıklık ortasında çekme gerilmesinin kesitin en alt seviyesinde maksimum olması ve güçlendirme elemanının da çekme gerilmesini tam kapasiteyle karşılayabileceği yerden geçiyor olmasıdır.

Bu numunenin üretilebilmesi için kesit alt kısmına freze ile kanal açılması yeterlidir. Fakat bu kanal açılırken donatının yarısı kesit dışında kalmayacağından freze ucu, kanalı

derinleştirecek şekilde ayarlanmalı yani, kesitten 10.4 mm içeri girecek şekilde düzenlenmelidir.



Şekil 3.14 BOT kodlu numuneye kanal açılması

#### **d) Boş Referans Numuneleri**

Boş referans numuneleri, malzemenin işlem görmemiş halinin, yani değerleri belli olan GL24h dayanım sınıflı elemanın dört noktalı eğilme deneyine dayanımını göz önünde bulundurmak ve yapılan iyileştirmenin kalitesini kontrol etmek amacıyla işleme tabi tutulmadan bırakılmış nem dengesi ise herhangi bir şekilde diğerlerinden farklılık göstermeyecek şekilde saklanmıştır.

















#### **e,f) Elemanın Ortadan Kesilip Tekrar Lamine Edildiği Numuneler ve Elemanın Alt Yarısının Ortasından Kesilip Tekrar Lamine Edildiği Numuneler**

Tekrar lamine edilmiş ve güçlendirme elemanı yerleştirilmemiş numunelerde esasen çelik elemanların yerleşiminin, eğilmeye karşı performansı ne kadar arttırdığına dair bir

fikir vermesi ve laminasyon işleminin referans numunelerinden farkını gözlemlemek için oldukça önemli numune sınıflarıdır.

Bu numuneler hazırlanırken sadece kesim işlemi uygulanmış ve diğer elemanlarla birlikte laminasyon için beklemeye alınmıştır. Eğilme numunelerini özetleyen Çizelge aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.6 Numune şekil Çizelgesi

NUMUNE TİPLERİ	ÜST AHŞAP	ALT AHŞAP	TUTKAL	GÜÇLENDİRME ELEMANI	BÜTÜNLEŞİK ENKESİT
REF		YOK	YOK	YOK	
MID REF			—	YOK	
LOW REF			—	YOK	
MID Ø 8 R/T			○	●	
LOW Ø 8 R/T			○	●	
BOT Ø 8 R/T		YOK	□	●	

### 3.3.3.2 Laminasyon İşlemi

Numunelerin tanıtıldığı aşamada laminasyon için 1.2 mm yapıştırıcı kalınlığının tercih edileceği belirtilmişti. Bu işlem, bu kalınlıkta ince ahşap malzemelerin kesilmesi ve laminasyon yüzeyleri aralarına sabitlenmeleri sayesinde sağlanmıştır.



Şekil 3.15 Laminasyon işlemi için çita üretimi

10 mm kalınlıklı çıtalar üretildikten sonra, 30 mm boyunda kesilmişlerdir. Çıtalar ahşaplara sabitlenirken iki bileşenli farklı bir yapıştırıcı kullanılmıştır. İlk bileşen sıvı şeklinde çıtaya sürüldükten sonra ikinci ve sprey formunda olan bileşen yapıştırma yapılacak yüzeye sıkılmaktadır. İkinci bileşen ilk bileşenin priz süresini kısaltmakta ve dayanımını artırmaktadır. Çita yerleşimi 330 mm'de bir yapılmıştır.

Çıtalar hazırlanıp yerleştirildikten sonraki adım laminasyon reçinesinin hazırlanmasıdır. Daha önce de belirtildiği üzere uygulama elle karıştırılıp fırçayla sürüleceğinden ötürü ortam sıcaklığı düşürülmek durumundadır. Bunun için ise bir soğuk oda imal edilmiştir. Soğuk oda, iki farklı büyüklükte karton koli, iki farklı büyüklükte leğen, buz, izolasyon için kullanılabilir kalın örtü ve yine izolasyon için kullanılabilir A0 boyutlu kağıt vasıtasıyla kurulmuştur.

Öncelikle koliler iç içe yerleştirilip aralarına A0 kağıdı buruşturularak izolasyon sağlanmıştır. Sonrasında büyük leğen içine küçük leğen yapıştırılıp, arada kalan boşluklara buz doldurulmuştur. Laminasyon karışımı küçük leğen içinde karıştırılıp muhafaza edilerek uygulama esnasında da bu soğuk odada tutulmuştur.



Şekil 3.16 Laminasyon reçinesinin hazırlanması

Laminasyon reçinesi uygulanırken, soğuk oda ile laminasyon yapılan alan birbirlerine yakın yerleştirilmişlerdir. Laminasyon reçinesi kesitin lamine edilecek iki yüzüne de sürülmüş ve bu yüzeyler sonrasında tam olarak üst üste gelecek şekilde hizalanmıştır. Bu işlem tamamlandıktan sonrasında numuneler işkence ile sıkıştırılmıştır. Bu basınç uygulaması sonrasında, sıkışarak dışarı çıkan laminasyon reçinesi tekrar soğuk odaya alınmış ve uygulanmaya devam edilmiştir.



Şekil 3.17 Laminasyon İşlemi

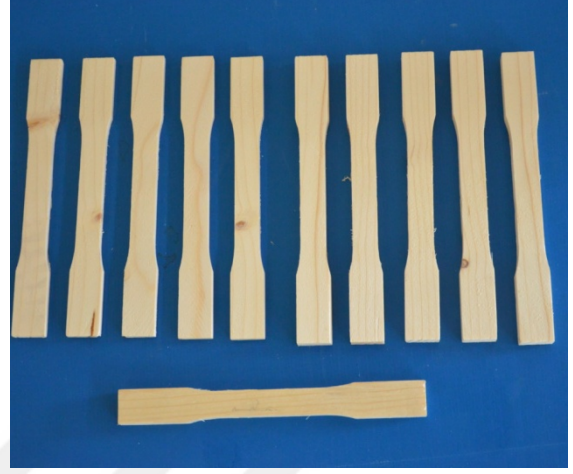


Şekil 3.18 Presleme işlemi

Numuneler preslenip bir gün işkencede bekletildikten sonra, Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuar'ına getirilmiştir. Priz sürelerini burada doldurmuşlar ve sonrasında da deneyler yapılmaya başlanmıştır.



şekil 3.19 elik çekme numuneleri



şekil 3.20 Ahşap ekme numuneleri



şekil 3.21 Dört noktalı eğilme deneyi numuneleri

### ANALİTİK MODEL OLUŞTURULMASI

#### 4.1 Abaqus/CAE

Abaqus/CAE (Complete Abaqus Environment ya da Computer-Aided Engineering[51]) Dassault Systemes yazılım şirketinin, Simulia alt grubunu hazırlamış olduğu modelleme ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz programıdır. Abaqus programı, akışkanlar mekaniği (CFD-Computant Fluid Dynamics) ve elektrik sistemleri (CE- Computational Electromagnetic) modellemelerinde ve analizlerinde de kullanılabilir.

Herhangi bir veri kütüphanesi bulunmamakla birlikte kullanıcıya geniş malzeme tanımlamaları olanağı sunmaktadır. Ayrıca programın ihtiyaçları karşılayamaması halinde, açık kodlu yapısı sayesinde gerekli görülen ekler Python yazılım dili kullanılarak programa eklenebilir.

Sonlu eleman modellemesi ve analizi yapan programlarda yapılan işlemlerin üç temel adımı vardır. Bunlar:

-Ön işlemler ve Modelleme: Bu bölümde programa işleyeceği verilerin girdisi yapılır.

-İşleme ve Sonlu eleman analizi: Bu bölümde girilen veriler ışığında, program analiz yapar ve görseller sunabilir.

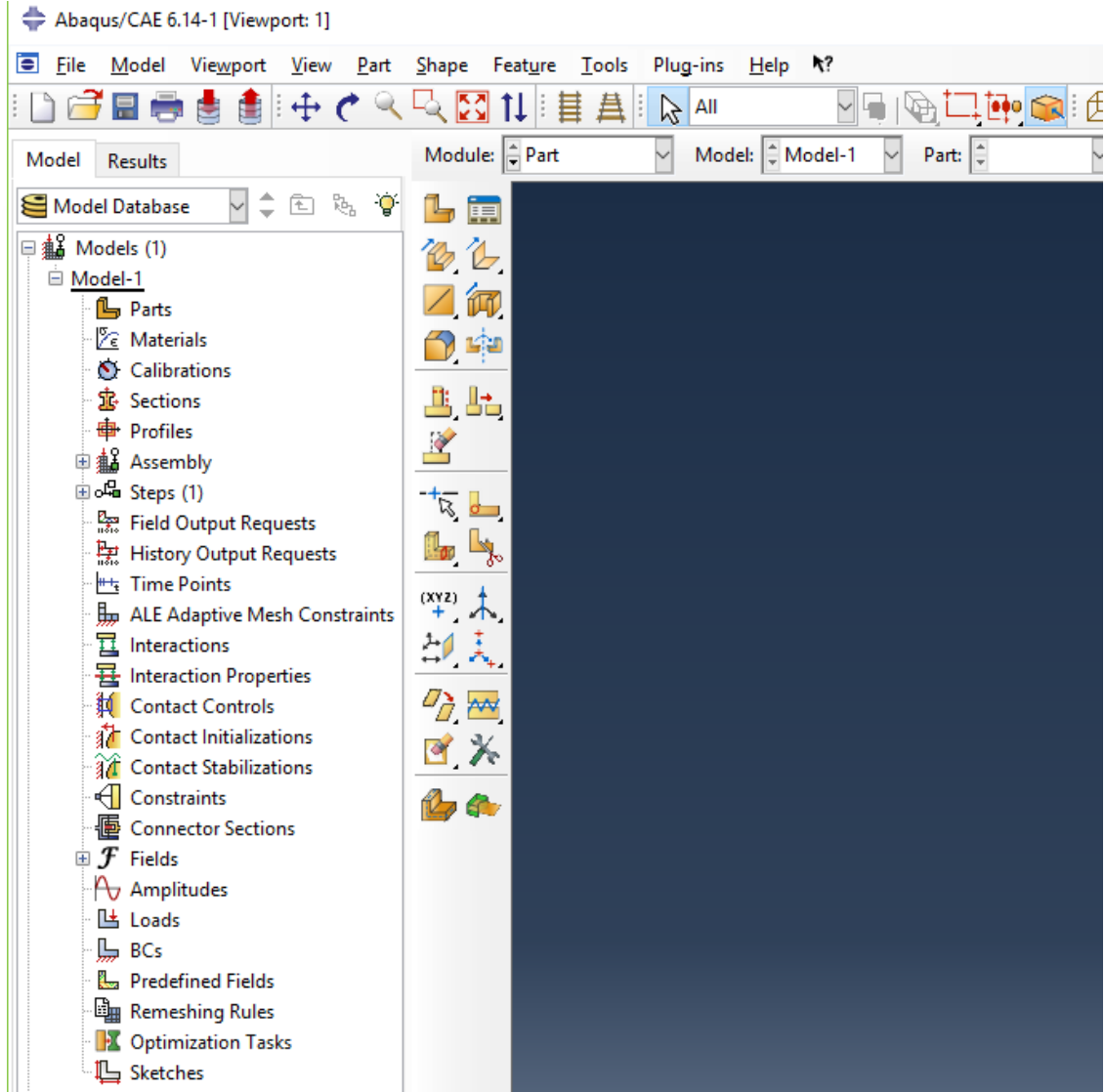
- Analiz sonrası: Analiz sonrasında programdan, rapor ve görsel oluşturulan adımdır.

Abaqus programı yukarıdaki bütün adımları tamamlayabilmektedir.

#### 4.1.1 Önışlemler ve Modelleme

Abaqus programında yapılacak modelleme içerisinde, yapılan deneyler de göz önünde bulundurularak modellemeler yapılmıştır. Her eğilme numunesi sınıfı için birer modelleme hazırlanmış ve deney şartları ve eşlenikleri bu modellemeler için oluşturulmuştur.

Modellemenin tasarlanması için veriler bir kaç basamaklı olarak girilmektedir.



Şekil 4.1 Abaqus programı genel menüsü

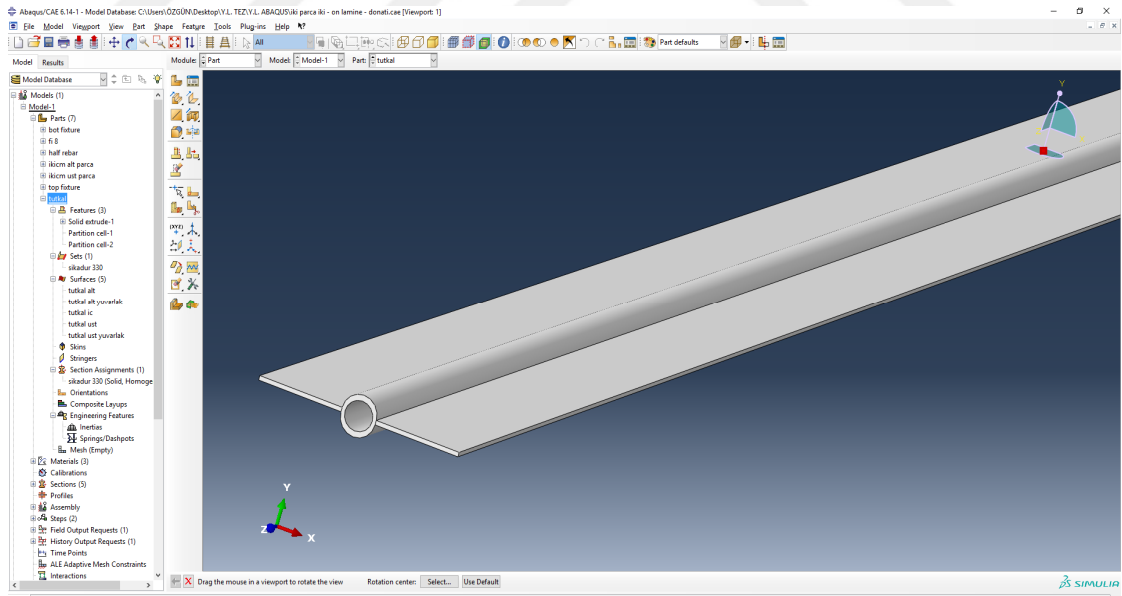
Modelleme yapılırken genel menünün sağ tarafında bulunan işlem ağacı sırasınca gidilmiştir. Fakat tüm adımlar girilmemiştir. Şekilde görülen menüde sırasıyla:

- Parts
- Materials
- Sections
- Assembly
- Constraints
- BCs (Boundary Conditions) kullanılmıştır.

#### 4.1.1.1 Parts

##### - Section Sketch

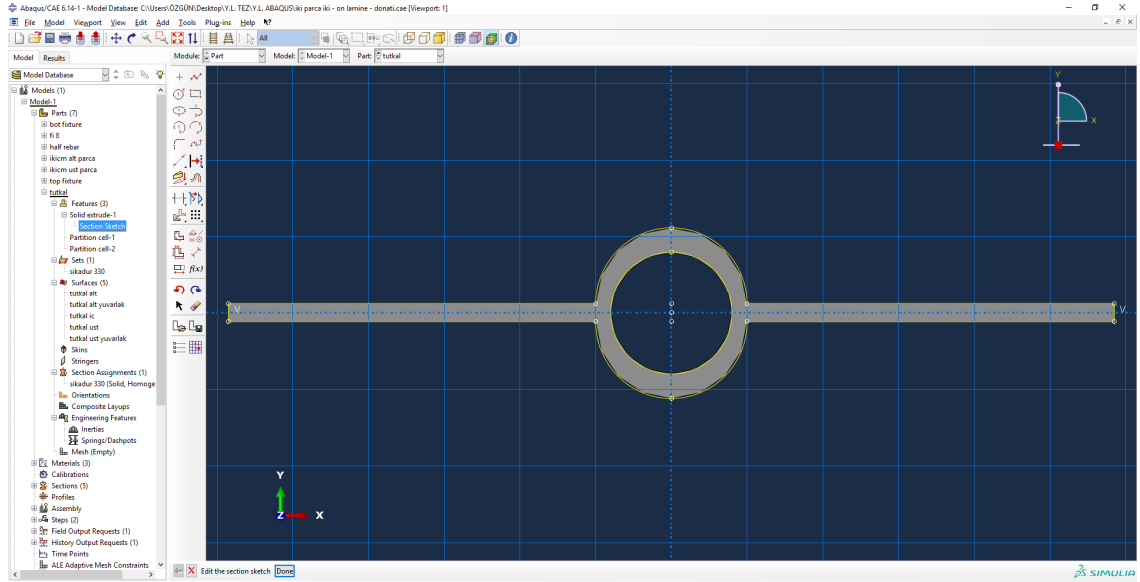
Bu bölümde birleştirilecek parçaların geometrisi hazırlanır, malzeme ve kesit atamaları yapılır. Diğer parçalarla etkileşim içerisine girecek yüzeyler, etkileşim alanlarının ve özelliklerinin tanımlanmasının kolaylaştırılması için hazır hale getirilebilir.



Şekil 4.2 Abaqus programı section parts menüsü

Öncelikle yapıştırıcı malzemesinin uygulandıktan sonra kesit içinde alacağı şekil ön görülür ve bu kesitin geometrisi, Features içindeki solid extrude menüsünde çizilir. Bu bölümde, çizim için pek çok araç vardır. Autocad benzeri tuşlar ile kesit tanımlama

işlemi oldukça hızlı bir şekilde tamamlanabilir. Ayrıca programın bu kısmı undo (geri al) seçeneğinin olduğu tek kısımdır. Bu sekmeden sonraki tanımlamalar yapıldıktan sonra geri alınamaz ancak silinip tanımlanan özellikler tekrar tanımlanabilirler.



Şekil 4.3 Abaqus programı kesit tasarımı menüsü

Features sekmesi altında bulunan partition cell seçeneği vasıtasıyla, yukarıdaki şekilde X-Y düzleminde kesiti gösterilen tutkal malzemesinin ince kanatlarını, çelik elemanı ve çevresindeki kanalları saran tutkal gövdesinden ayrı bölgelere ayırmak için kullanılmıştır. Bu ayırma işlemi ahşap malzeme içerisindeki kanalların, yapıştırıcının bu bölgelerini saran kısımları arasında bir etkileşim kurulabilmesi için yapılmıştır. Etkileşim için gerekli yüzeylere surfaces sekmesi altında yer verilecektir.

Model bölümünde, Çizelge 3-6'da görülen elemanların hepsi donatı ve tijler için ayrı ayrı modellenmiş, donatı ve tij arasında aderans farkı gözetilmeden modellenmişlerdir. Numune modellerinde bu şartlar altında tek farklılığın dayanım faktörü olması sağlanmıştır.

#### - Sets

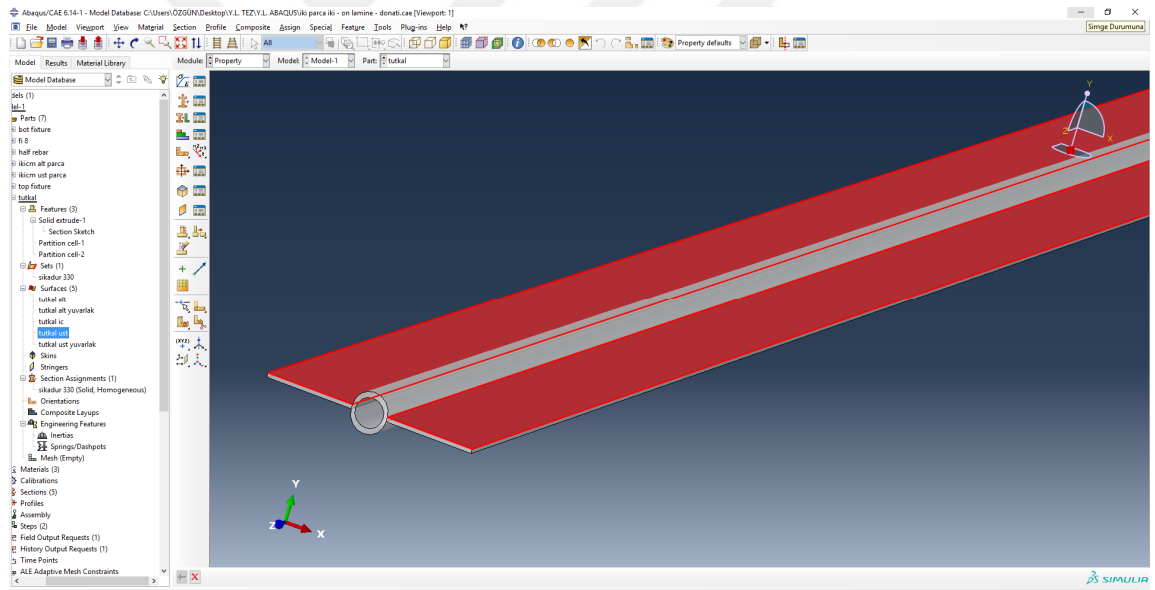
Sets sekmesi kesitin program içerisinde belirli alanlarda tanımlanmasını kolaylaştırmak amacıyla oluşturulmuş bir sekmedir. Bu sekme kesit atan section assignment sekmesinde yardımcı bir unsur olarak karşımıza çıkacaktır.

Genellikle farklı malzemeli aynı şekilli kesitlerin tek bir part modelinde tanımlanabilmesine imkan veren bu sekme bizim durumumuzda kullanışlı olmayacaktır.

### - Surfaces

Bu sekme modellemenin kolaylaşması ve sağlıklı yapılabilmesi için önemli bir etkidir. Partition Cell kısmında ayrılan kısımların aynı çalışma mantığında temas eden bölgeler ile farklı bir malzeme ile temas eden yüzeylerinde, farklı partitionlarda olsa dahi birlikte tanımlama yapılabilmektedir.

Örneğin, üst ahşap kesitin yapıstırıcı ile etkileşime gireceği alt kısmı bir kanal ile ayrılmasına rağmen kanal iki yanındaki yüzeyler tek bir yüzey olarak tanımlanabilir, böylece farklı partiton cell'lerde tanımlanmış olan tutkal kesitinin kanatlarının üst kısımları da tek bir yüzey olarak tanımlanabilir ve böylece iş yükü çok daha azaltılabilir.



Şekil 4.4 Abaqus programı partition cell

### - Section Assignments

Section assignments (kesit ataması) işleminin yapılabilmesi için öncelikle bir section(kesit) oluşturulması gerekmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için öncelikle bir Sets verisinin girilebilmesi gerekmektedir. Sets verisi elde edilip seçildiğinde, kesit seçimi yapılır ve kesit üzerinde çalışılan malzemeye -bu örnekte, tutkala- atanmış olur.

#### **4.1.1.2 Materials**

Abaqus modelinde malzeme verisi oluşturmak için materials bölümü kullanılmaktadır. Bu alan malzemeye geniş müdahale seçenekleri sunmaktadır. Bu bölümde inşaat mühendisliği alanında özellikle girilebilecek veriler: malzeme birim-hacim ağırlığı, elastisite, plastisite, hasar tipler, farklı malzemeler için veriler(elastomerler ve frpler için), gevrek kırılmalar, deformasyon limitleri, viskozite ve pek çok termal veri girişi seçeneği bulunmaktadır.

Ahşap malzemeler bu deneylerde sadece eğilme doğrultusunda incelendikleri için anizotrop olarak değil homojen olarak verileri işlenmektedir. Yapılan deneyler doğrultusunda malzeme değerleri tam olarak belirlenip, Abaqus modeline girişi bu şekilde yapılmıştır.

#### **4.1.1.3 Sections**

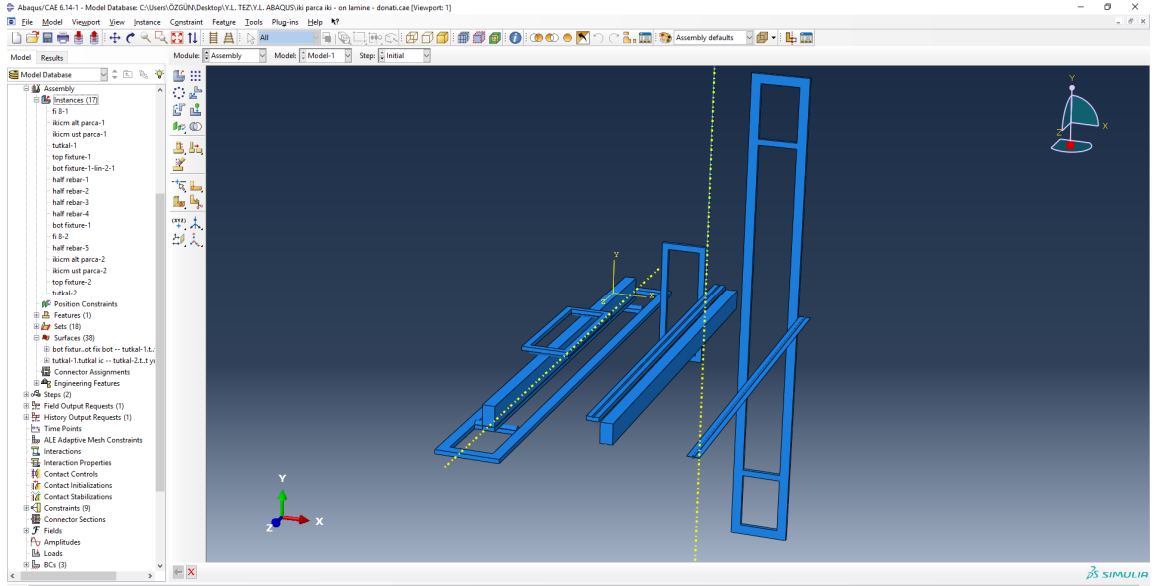
Bu kısımda kesitin malzemesi, section kısımlarına atanır. Sectionlar belirli bir kesit değillerdir. Bu kısımda malzeme geometrisine dair herhangi bir veri girişi yapılmaz. Kesitler, isim isim ayrılır ve malzemeleri tanımlanır. Bu isimlerin verilerine kavuşabilmeleri için parts bölümü içerisindeki section assignments kısmında, açık olan kısma verilerin ataması yapılır.

#### **4.1.1.4 Assembly**

Assembly kısmında adından da anlaşılacağı üzere, birbirinden ayrı üretilen kesitlerin birleştirilip bir numune haline getirildiği kısımdır. Bu malzemeler birbirinden bağımsız olarak çağrılır ve bu alanda birleştirilirler.

#### **- Instances**

Instances kısmı assembly kısmının büyük iş yükünün olduğu kısımdır. Bu kısma malzemeler birbirlerinden ayrı, ardışık olarak çağrılır ve birleştirme işi bu bölgede gerçekleştirilir.



Şekil 4.5 Abaqus programı instance menüsü

Yukarıda malzemelerin birleştirilmiş ve birleştirilmemiş halleri görünmektedir. Sol taraftan itibaren isimleri: bir araya getirilmiş sistem, yükleme fikstürü eşleniği, kesit alt kısmı, kesit üst kısmı, güçlendirme elemanı, mesnet fikstürü eşleniği ve yapıştırıcıdır.

#### - Sets

Bu kısımda, parts kısmındaki tanımlanmış sets verileri bu kısma children olarak gelir. Abaqus programında children verilerinin mantığı, verinin daha önce girildiği bir kısım tekrar kullanılmak üzere başka bir bölüme çağırıldığında veri ile beraber gelmesidir. Bu veriler de parts kısmından kesit verileri ile bütünleşik olarak assembly sekmesinin altına taşınmışlardır.

#### - Surfaces

Bu veriler de sets verileri gibi children verileridir. Surface sekmesinin parts bölümünde girildiği isim bu surface sekmesindeki isminin ikinci kısmını oluşturur. Program karışıklığa mahal vermemek adına, ismin ilk kısmına kesitin adını yerleştirir ve ismin son kısmında da numaralandırma göze çarpar.

#### 4.1.1.5 Steps

Steps sekmesi programın bir kaç adım altında çalışabilmesini sağlamaktadır. Bu bölüm programın başlangıcı ve üretim sürecini ve servis sürecini farklı adımlar olarak

alabilmesini sağlamaktadır. Başlangıç adımı olarak Initial adımı otomatik olarak tanımlanmış olup mesnetlenme koşulları genellikle bu adım içerisinde verilir.

Arzu edildiği takdirde farklı adımlar da eklenebilir. Bu opsiyon, kademeli üretim yapılan alanlarda oldukça sağlıklı analiz adımları sağlamaktadır. Örneğin; kazıklı iksa çalışması halinde başlangıç adımında kazıklar girilip, sonrasında gerek görülürse ilk sıra ankraj uygulaması yapıp, sonrasında farklı bir adımda iksa önünden hafriyatın alındığı verisi girilip, yine başka bir adımda ikinci sıra ankraj verisi girilebilir ve bu da geoteknik çalışmalar için oldukça sağlıklı bir çözüm olanağı sağlar.

Bu çalışma kapsamında ise, initial adımında yukarıda da belirtildiği gibi mesnetlenme koşulları verilmiş, load adımında ise deney esnasında olduğu gibi yük deplasman cinsinden verilmiştir.

#### **4.1.1.6 Constraints**

Constraints sekmesi içerisinde, kesitlerin numuneyi oluşturabileceği doğrultuda birbirleriyle etkileşimlerinin verileri girilmektedir. Bu sekme içerisinde malzemelerin birbirleriyle bağlanma koşullarının verileri girilmektedir. Örneğin: ahşap ile yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile çelik eleman arasındaki aderans faktörü bu sekmede tanımlanmaktadır.

Bu tanımlamanın yanı sıra bu etkileşim atama sekmesinde pek çok seçenek bulunmaktadır. Bu sekmede noktalar, yüzeyler masif elemanlara başka noktalara veya yüzeylere tam rijit veya limitli rijit etkileşimler atanabilir. Ayrıca aktarılabilecek yük bileşenleri seçilebilir, moment aktarılması veya aktarmaması durumu seçilebilir.

Bu çalışma kapsamında yapılan modelleme doğrultusunda, tie (bağ) constraint'i rijit olarak atanmıştır. Bu atamayı yaparken uygulanan adımlar şunlardır. Constraint sekmesine yeni bir constraint atamak için çift tıklanır, tie seçeneği seçilir, bu seçenek işaretlendikten sonra surface seçeneği seçilmiştir. İki yüzey birbirlerine bağlanacağı için ortada bir karışıklık olmaması ve yük aktarma sırasının sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, constraint içeriğinde iki farklı tip yüzey vardır. Bunlardan biri master yüzeydir, bir yüzeyin master olmasının programın çalışma sistemindeki anlamı, bir yüzeye birden fazla alan bağlanabiliyor olmasıdır. Diğer bir yüzey tipi de slave yüzeydir, slave yüzeyler

sadece tek bir yüzeyle etkileşim kurabilmektedir. Modelleme esnasında bir slave yüzey, birden fazla yüzeyle etkileşim kuramamaktadır.

#### **4.1.1.7 Boundary Conditions (BCs)**

Boundary conditions sekmesi, bu çalışma içerisinde numune ve deney düzeneğinin bir eşleniği olarak modellenen sistemde oluşabilecek analiz kusurlarının sınırlandırılması için kullanılmıştır. Esasen mesnetlenme durumunu temsil etmektedir.

Modellenen sistemin ideal ortam koşullarının oluşturulabilmesi ve deney yapılması esnasında uygulanan kuvvetleri veya deplasmanları tam olarak karşılayabilmesi için kullanılmıştır.

Bu modelleme esnasında üç farklı boundary condition kullanılmıştır.

Bunlardan ilki alt mesnet fikstürünün sabitlenmesi için başlangıç adımında tanımlanmış ve kullanılmıştır.

Bunlardan ikincisi ise yükleme fikstürünün eşlenik modelinin, yükleme esnasında dönmesini engellemek üzere yine başlangıç adımında tanımlanmış ve kullanılmıştır.

Üçüncü boundary condition ise, load adımı altında girilmiş ve yüklemenin deplasman olarak girilmiş halidir. Bu adım deneyin analitik ortamda gerçekleştirilebilmesi için gerekmektedir.

### DENEYLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARI

#### 5.1 Deney Öncesi

Deney verilerinin verilmesinin öncesinde, yapılacak deneyler sonucunda olası kırılma şekilleri, sebepleri ve sonuçları hakkında çeşitli araştırmalar yapılmış, deney düzeneği, numunelerin yapısı ve ihtimaller göz önünde bulundurulmuştur.

Numune üretimi esnasında pek çok elverişsizlik ile karşı karşıya gelmek mümkündür. Numuneler bir kaç farklı bileşenden oluşturulduğundan pek çok elemanda kırılma olması ve taşıma gücünün kaybolması ihtimali vardır.

Temel olarak bakıldığında bu elverişsizlikler üç farklı elemanda meydana gelebilirler, bunlar da numune üretiminde kullanılan:

- Ahşap eleman
- Yapıştırıcı malzemesi
- Çelik güçlendirme elemanıdır.

Bu elemanların farklı oranlarda dayanım göstermeleri halinde farklı deformasyonlar doğacaktır.

Bu deformasyon tipleri pull-out numuneleri için şunlardır:

**Çelik elemanın akması ve kopması:** Çelik elemanın, ahşap kesit ve yapıştırıcı ile arasında oluşan aderansın çok yüksek olmasından ötürü akma dayanımına gelmesi kopması ve deneyin sonuç olarak bir çelik çekme deneyine dönüşmesi. Bu kırılma şekli

bu deney bünyesinde karşılaşılmak istenmeyen bir durumdur. Çünkü çeliğin çekme dayanımının bilgisi, çelik için yapılan çekme deneylerinden elde edilmektedir. Bu çalışmada elde edilmek istenen veri ahşap ile yapıştırıcı arasındaki aderansın ölçümüdür.

**Çelik elemanın epoksi reçinesine zarar vermeden çıkması:** Bu kırılma tipi, çelik eleman ve epoksi reçinesi arasında aderansın, ahşap eleman ve yapıştırıcı arasında sağlanan aderansın daha düşük olduğunun bir göstergesidir. Aderans çoğunlukla yüzey pürüzlülüğünün olması halinde sağlanabildiği için, çoğunlukla nervürlerin epoksi reçinesi ile birleştiği alanlarda etkileşimi sağlar. Bu durum da deney, aderans bağının koptuktan sonra devam etmesi durumunda nervürlerin, çelik kesit şeklini almış epoksi katmanına takılarak kademeli taşıma kapasitesi grafiği elde edilmesine yol açar.

**Yapıştırıcının ahşap elemana yapışmadan çıkması:** Hazırlanan numunenin, epoksi reçinesinin dökülmesi esnasında, ahşap yüzeye tam bir tutunma sağlanmaması ve pull-out deneyi esnasında kısmi bir deformasyonla, sadece çelik etrafına sarılı bir şekilde kalıba dökülmüş gibi çıkması ihtimalinde karşılaşılabilecek olan durumdur. Bu tip bir deformasyon bize hazırlanmış pull-out numunesi ile ilgili herhangi bir bilgi vermemektedir. Dolayısıyla bu kırılma tipi, deneyler esnasında hiç bir şekilde istenmemektedir.

Aderansın sağlanamaması sebebiyle meydana gelen deformasyonlar, üretim koşullarının sağlıklı bir şekilde oluşturulamaması ve numunelerin de sağlıklı bir şekilde üretilmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, yapıştırıcı uygulamasında hava kabarcıkları oluşması ve bunların belirli bölgelerde yoğunlaşması aderans yetersizliğinden oluşan deformasyonların önemli bir sebebi olabilmektedir.

**Çelik eleman çevresinde epoksi reçinesi katmanı ve epoksi reçinesi katmanı çevresinde de ahşap bir katmanın çıkması:** Bu kırılma çeşidi, tüm elemanların fonksiyonlarını tam olarak yerine getirdiği ve yapıştırıcının aderansının sağladığı enerji yutma kapasitesinin, ahşap malzemeden daha yüksek olduğunun gözlendiği bir kırılma tipidir. Bu şartlar altında deney amacına ulaşılmış olmakta ve ahşap elemanın kapasitesi tam olarak görülmüş olmaktadır.

Bu kırılma çeşitleri, numune üretiminde bir araya getirilen elemanların farklı koşullarda ve tasarlanandan farklı dayanımlar göstermesi, üretim kusurları olması veya elemanların bir veya birkaçının taşıma kapasitesine ulaşılması halinde gözlemlenen durumlardır.

Benzeri elverişsizlikler, dört noktalı eğilme deneylerinin üzerinde yapıldığı numunelerde de gözlemlenebilir. Fakat bu deney serisi çok daha fazla alanda kontrol sağlayıp, performans artışını gözlemek üzerine yapıldığı için ve numune daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu için meydana gelecek elverişsizliklerin sayısı daha fazladır.

Dört noktalı eğilme deneyinde meydana gelecek elverişsizlikler aşağıdaki gibidir.

**Çelik elemanın akması ve kopması:** Bu kırılma tipiyle, ahşap kesitin yüksek oranda yük aktarımı yapması sonucu karşılaşılır. Bu kırılma tipi betonarme yapı sistemlerinde karşılanması istenen bir durumdur. Bu çalışma esnasında yapılan deneylerde bu kırılma tipi ile karşılanması elemanlara ve performans artışına dair önemli bir veri sunmaktadır. Ayrıca bu kırılma tipi yapıştırıcının, çelik elemanla aderansının gerçekleşmediği durumlarda dahi gözlemlenebilir çünkü yük aktarımı ahşap tarafından sağlanabilmektedir.

**Çelik elemanın yapıştırıcıyı kırması ve yarması:** Çelik elemanın dayanımının çok yüksek olması ve deplasman olarak etkitilen yüke karşın şekil değiştirmemesi doğrultusunda yapıştırıcı elemanı kırması ve deneyin, numunenin çelik elemanı yük aktarmadan sonlanmasına yol açmaktadır. Bu kırılma çeşidinin, Çizelge 3-6'da gösterilen BOT Ø 8 R/T isimli numune kesitlerinde gözlenmesi mümkündür.

**Çelik elemanın yapıştırıcıyı ve ahşap kesiti yarması:** Çelik eleman deney esnasında etkitilen deplasman yükü doğrultusunda şekil değiştirmeyip, tutkal elemanı kırması ve ahşap kesitin altta kalan kısımlarına üzerindeki gerilmeyi etkitmesi sonucu ahşap elemanı yarmasından ötürü oluşabilecek bir kırılma tipidir. Bu kırılma tipinin MID Ø 8 R/T numune tipinden ziyade, LOW Ø 8 R/T numunelerde gerçekleşmesi beklenmektedir. Çünkü MID Ø 8 R/T numunelerinde, tutkal altında kalan ahşap kesit, LOW Ø 8 R/T numunelerinde tutkal altında kalan ahşap kesitten iki kat daha büyüktür.

**Yapıştırıcının, ahşap kesitlerden, yapıştırıcı kesitinden gelen yük doğrultusunda ayrılması:** Bu kırılma tipinin gerçekleşebilmesi, yapıştırıcının ahşap kesitle aderansının verimli olmaması veya yapıştırıcı kesitin kırılması doğrultusunda gerçekleşir. Bu kırılma tipi gerçekleşmesi halinde, ahşap kesitler yapıştırıcı ve çelik elemanlardan ayrılacağından ötürü yük aktarımı sağlıklı olarak gerçekleşemeyecek ve bu şartlar altında deneylerden elde edilen sonuçlar gerçekçi olmayacaktır.

**Ahşap kesitin, numunenin mesnetlendiği ve yüklendiği noktalardan kesme etkisi altında kırılma olması:** Bu kırılma tipinin gerçekleşmesi halinde yerel kırıkların olduğu bölgeler, yüklemeye deplasman cinsinden yapıldığı için, bu deplasmanı absorbe edebilmekte ve yanlış deney sonuçları elde edilmesine yol açabilmektedirler.

**Ahşap elemanın eğilme momenti altında kırılması:** Bu kırılma tipinin gerçekleşmesi deneyin sağlıklı bir şekilde sonuçlandırıldığına göstergesidir. Bu çalışma doğrultusunda istenen kırılma tipi bu kırılma tipidir. Bu kırılmanın gerçekleşebilmesi hazırlanmış numunelerin performanslarının ne kadar artırılabilirdiğinin gözlemlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

**Ahşap kusurlarından ötürü yapılan yüklemeye doğrultusunda kırılması:** Bu kırılma tipi bu çalışma tipi doğrultusunda çok istenmemektedir fakat, ahşap malzemesinin her birinde budak ve benzeri kusurlar bulunmakta ve bunlar da ahşabın dayanımında yüksek rol oynamaktadır. Dolayısıyla genel bir bilgi edinmek amacıyla, bu kırılma tipi tercih edilmese de gerçekleşmesinden kaçınmak olanaksızdır.

## **5.2 Deneylerin Yapılması**

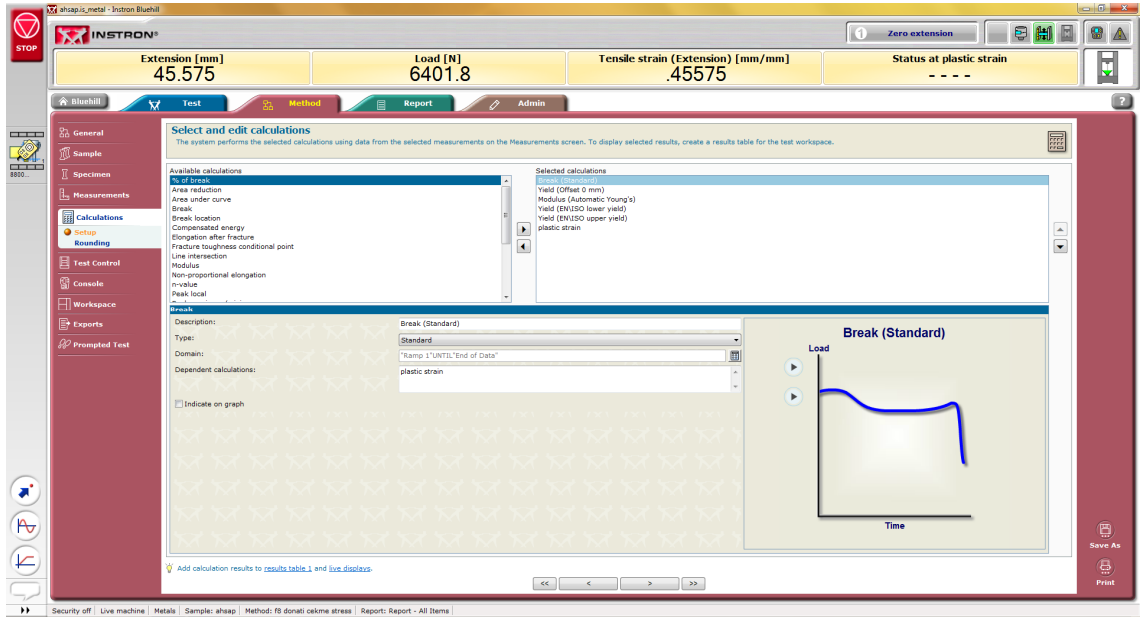
Deneyler yapılırken, oluşabilecek bütün elverişsizlikler göz önünde bulundurulmuş ve deney unsurları kontrol edilmişlerdir. Instron 8803 cihazında deneylere başlamadan önce cihaz sıfırlanmış ve bütün deneylerde ölçüm noktası apsis ve ordinat eksenlerinde orjin noktasına getirilmiştir.

### **5.2.1 Çekme Deneylerinin Yapılması**

Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra, deney mahiyeti verilerinin deney yazılımına girilmesi işlemine geçildi. Bunun için dijital kumpas vasıtasıyla bütün elemanlar ölçülüp,

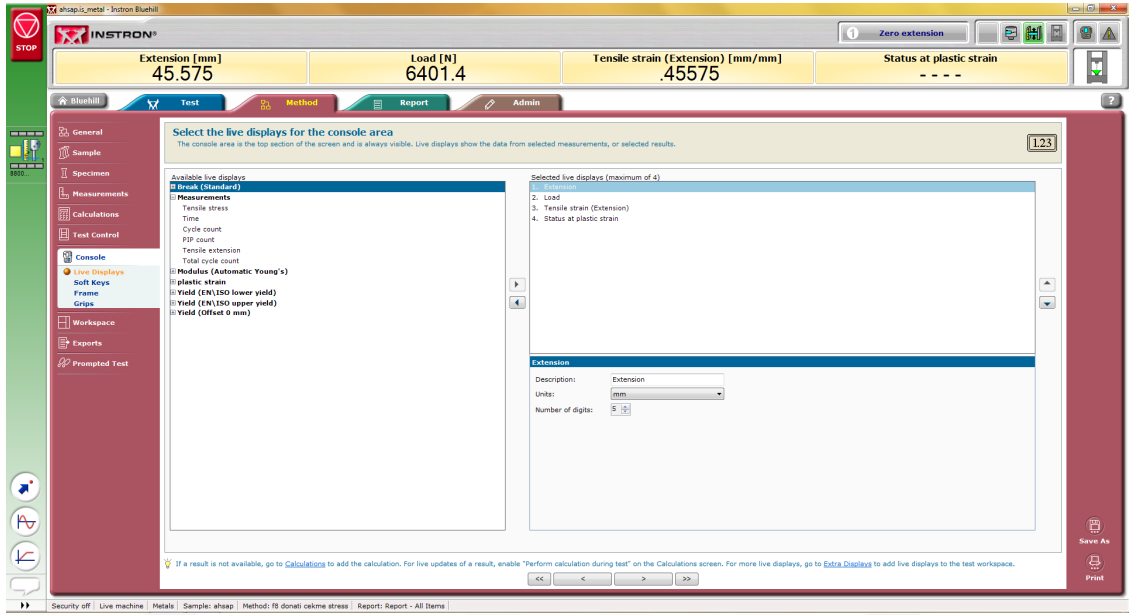
geometrik şekillerine ilişkin notlar alınmıştır. Alınan notlar, deney yazılımında gerekli alanlara veri girişi yapmak üzere kullanılmıştır.

Yazılımın sample kısmında numune geometrisi seçilmiş ve genel bilgileri girilmiştir. Specimen kısmında ise alınan notlar doğrultusunda, yapılan deneylerde deney sırasıyla veri girişi yapılmıştır. Sonrasında calculations sekmesi içerisinde deney yapılırken elde edilmesi gereken veriler, seçim ağacında seçilmiştir.



Şekil 5.1 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 1

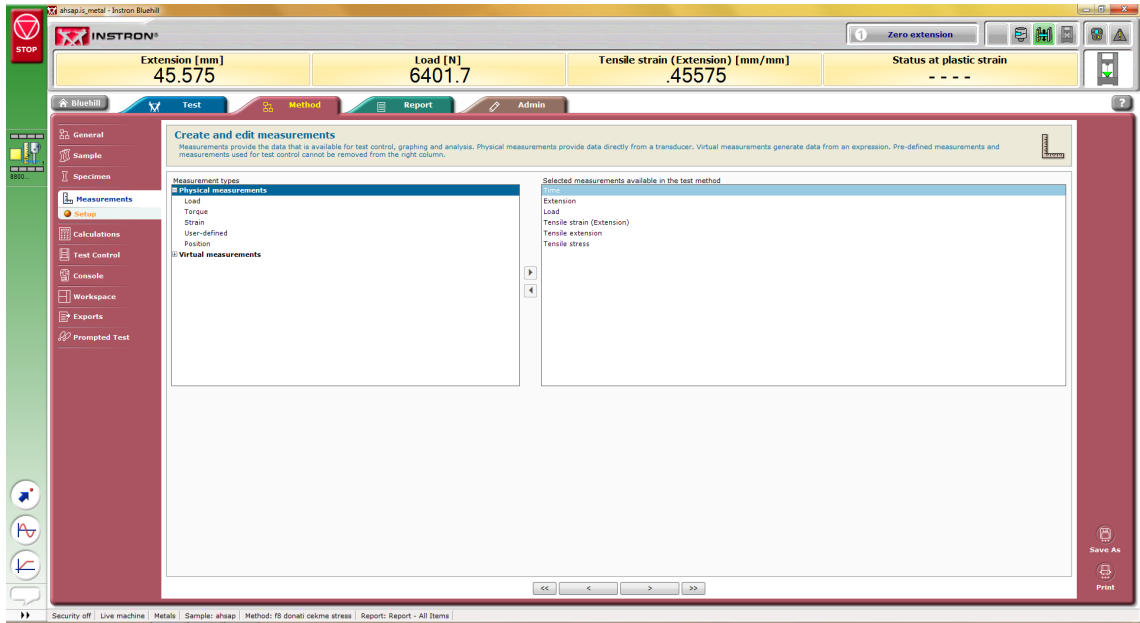
Console kısmında deney yapılması esnasında çıkarılacak Çizelgelerin içerikleri seçilmiştir. Bu içerik deney yapıldıktan sonra alınan verilerin de içeriğini belirlemektedir. Bu kısımda, uzama, yük, gerilme şekil değiştirmesi ve plastik şekil değiştirme gerilmesi hesaplamaları seçilmiştir.



Şekil 5.2 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 2

Yazılımda live displays kısmı deney olduğu esnada, grafik bir yandan çizilirken, diğer yandan da ek bilgi olarak gösterilebilecek sekmeleri ayarlamaktadır. Çekme deneyi yapılırken, numunenin boyut bilgilerinin girilmesi sayesinde bu hesaplamalar deney kontrol istasyonu tarafından işlenip, sunulmaktadır.

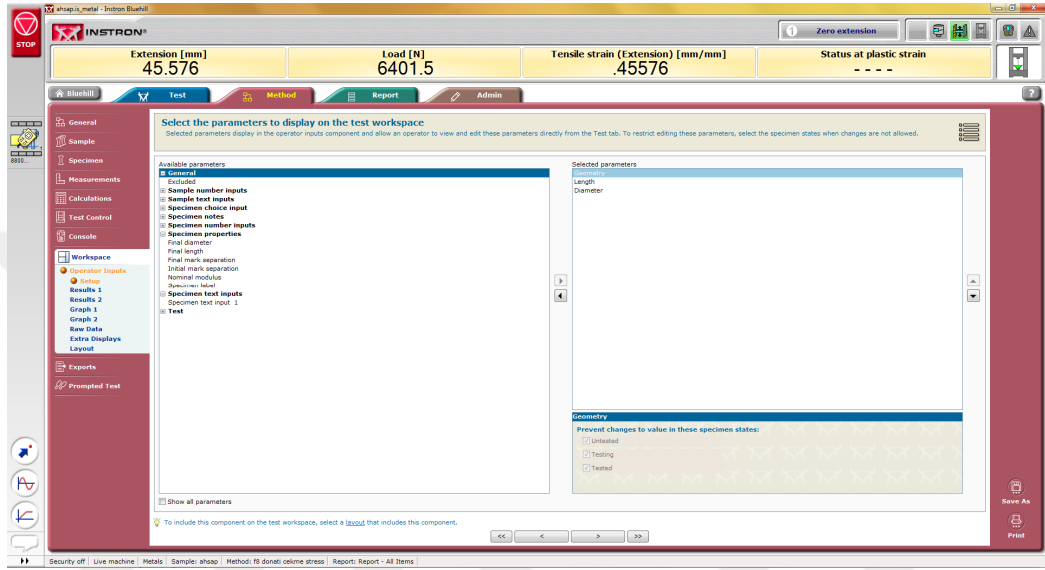
Bizim durumumuzda gerekli olan veiller; uzama, yük, gerilme uzaması ve plastik akmadır.



Şekil 5.3 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 3

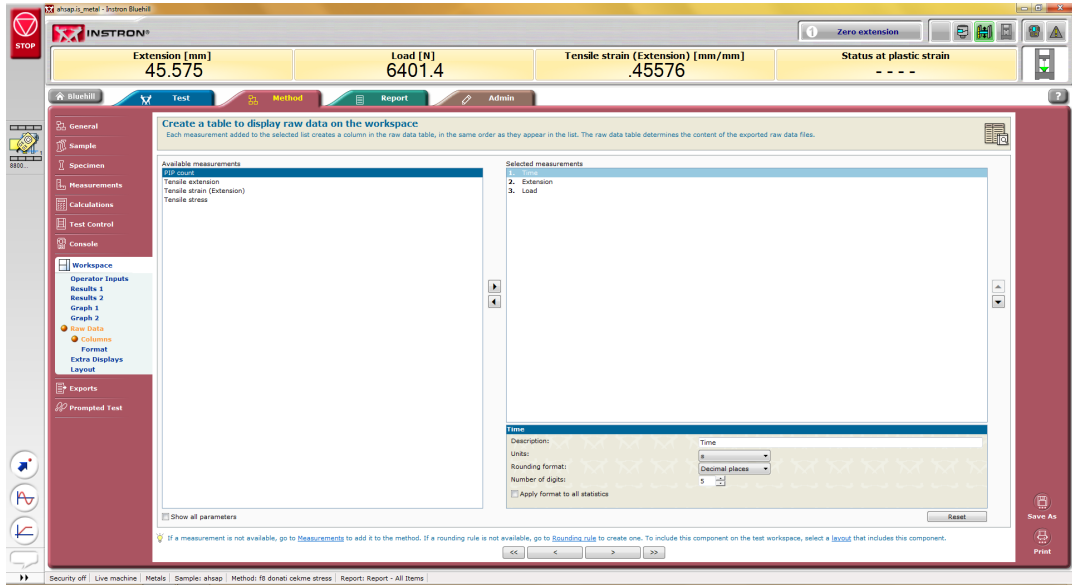
Yapılacak deneyin başlamadan önce measurement kısmında yapılacak olan ayarlamalar, kontrol istasyonunun, deney sonucunda biz kullanıcıya sunacağı verilerin seçilmesi ve tarafımızca işlenmesine uygun bir şekilde sağlayabileceği verileri temsil etmektedir.

Bu çalışmada kullanılacak veriler; zaman, uzama, yük, gerilme uzaması, gerilme akması, çekme gerilmesi değerleridir.



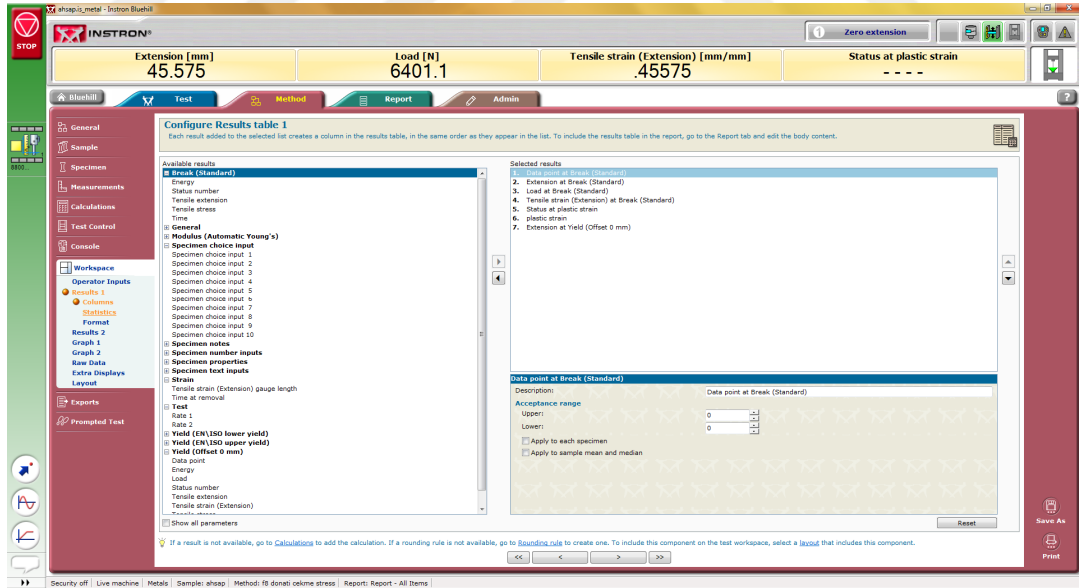
Şekil 5.4 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 4

Bu yazılımda veri olarak girilebilecek değerler, workspace sekmesi altında, setup bölümünden yapılmaktadır. Bu seçimler numune geometrisini (şeklini), uzunluğunu ve çapını kapsamaktadır ( çelik numuneler için), ahşap ve tutkal numuneler için ise genişlik ve derinlik birimleri girilerek alan hesaplamaları yapılabilir.



Şekil 5.5 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 5

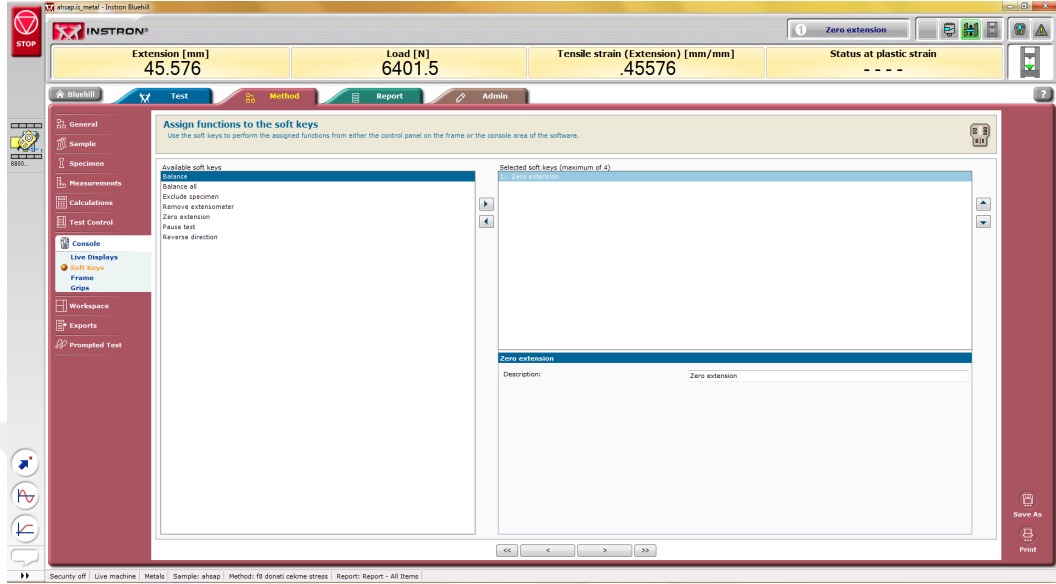
Workspace sekmesinin altındaki Raw data bölümünde ise, deney kontrol istasyonundan deneye dair alınacak verilerin seçimi yapılmaktadır. Bu seçimler bize malzeme davranışının modellenenbilmesi için gerekli verileri (elastisite modülü vs.) sağlayacak olan; zaman, yük ve uzama değerleridir.



Şekil 5.6 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 6

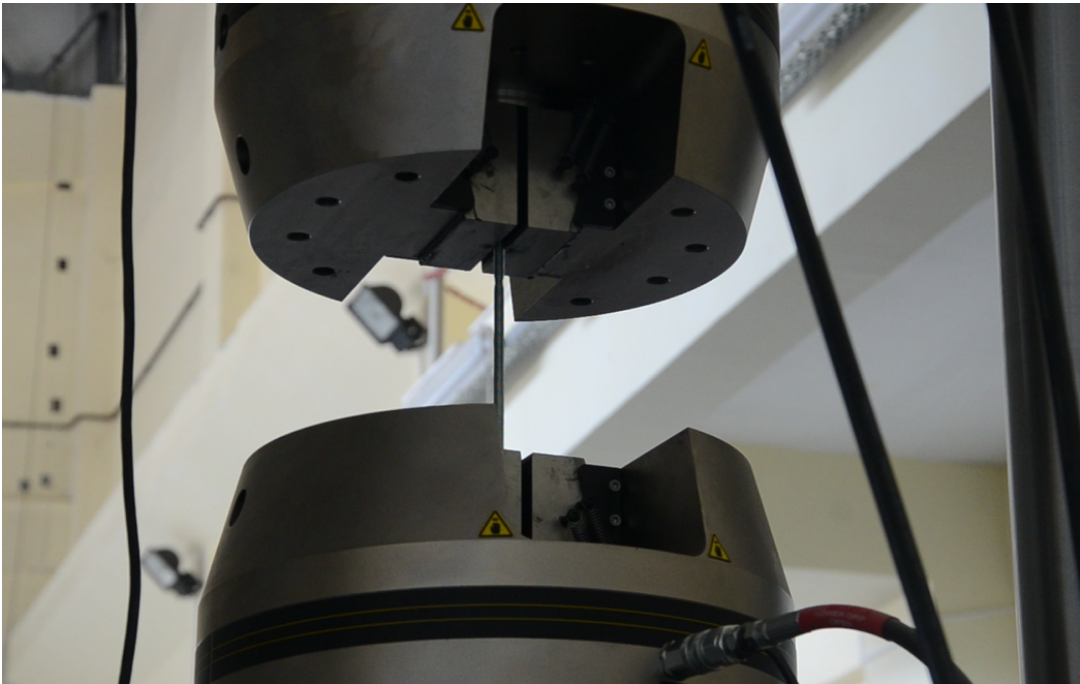
Workspace sekmesinin altındaki, results bölümü altında bulunan, statistics seçenekleri arasında yapılan seçimler deneyin sonuçlarının kontrol istasyonu açık olduğu süreç karşılaştırılabilecek verilerin seçilmesini sağlamaktadır.

Bu karşılaştırılabilecek sonuçlar, kırılma anı cerileri, kırılma anındaki uzama, kırılma anındaki yükleme, kırılma anındaki çekme gerilmesi, plastik uzama durumu, plastik uzama, akma anındaki uzamadır.



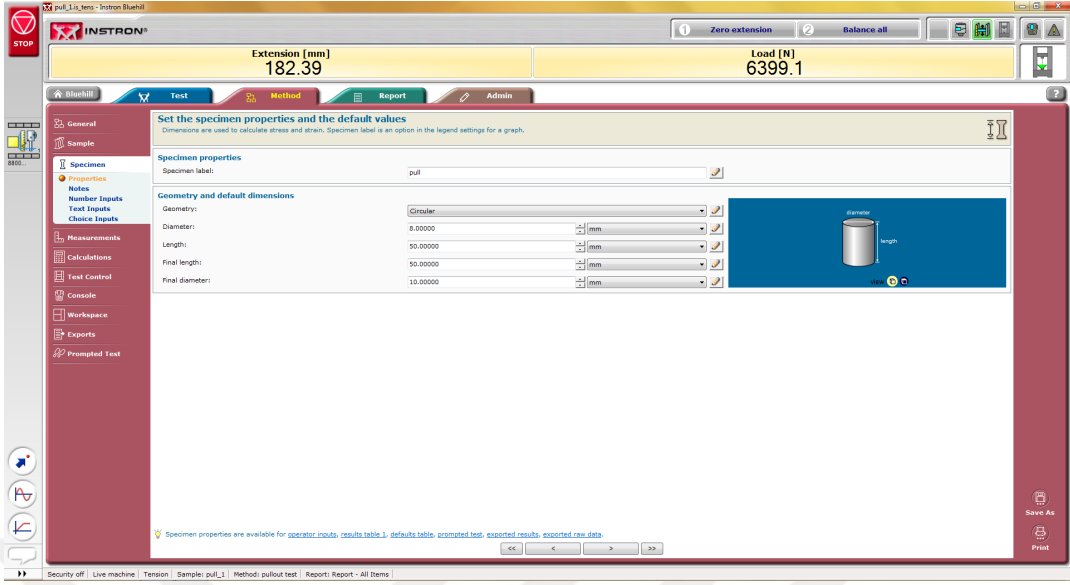
Şekil 5.7 Bluehill yazılımı çekme deneyi ayarları - 7

Soft keys olarak ayarlanan kısım, bize kontrol istasyonunun belirli bir değerden değil sıfırdan başlaması için olanak sağlamaktadır arzu edilirse aksi yapılabileceği gibi deneyler için çeşitli seçenekler ve ortamlar da bu sekme altında oluşturulabilir.



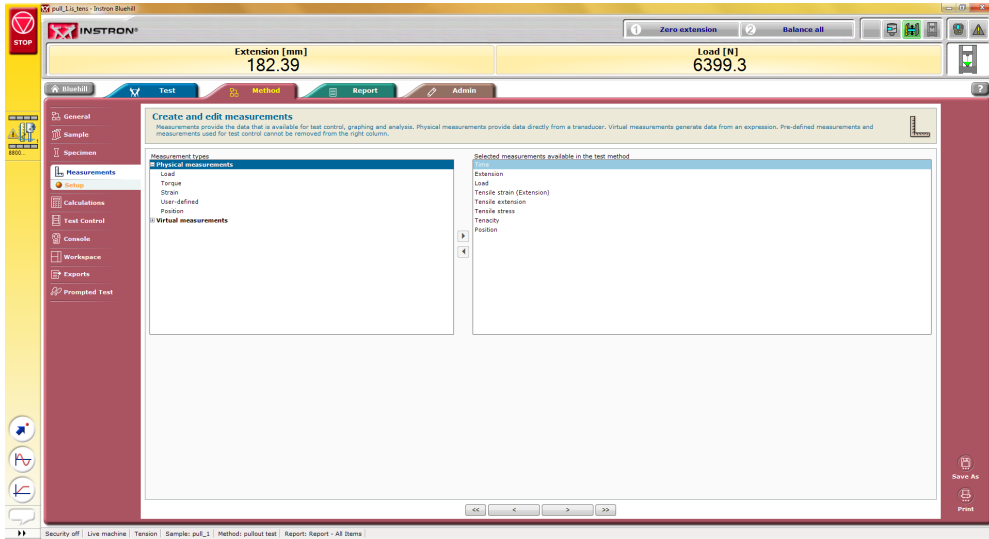
Şekil 5.8 Çelik çekme deneyi

## 5.2.2 Pull - Out Deneylerinin Yapılması



Şekil 5.9 Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 1

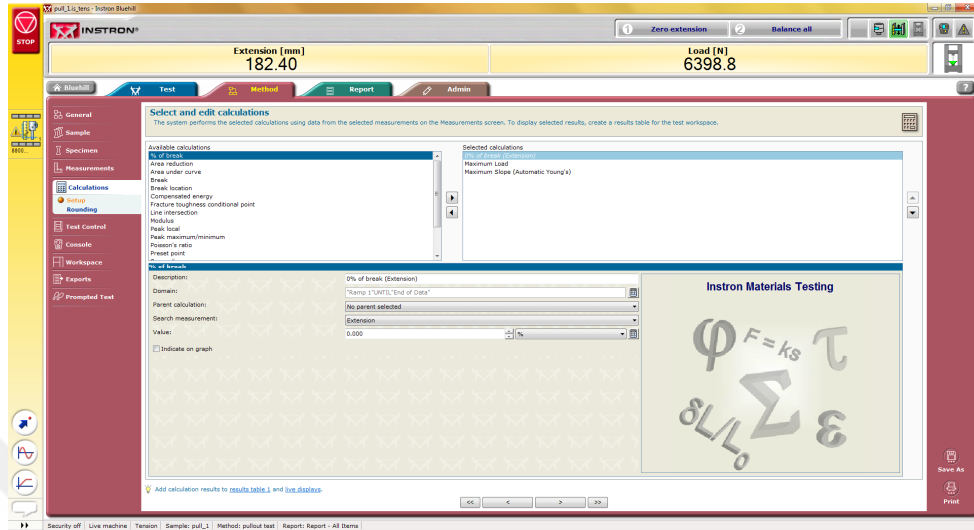
Pull - out deneyleri başlamadan öncesinde yapılan ayarlarda çekilecek olan donatı malzemesinin verileri girilmiş ve alelade bir çekme deneyi gibi işlemlerin devam etmesi sağlanmıştır. Bunun için numune bilgileri girilmesi gerekmektedir bunun için de Specimen sekmesi içindeki, properties ayarlarına donatı verilerinin girilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.10 Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 2

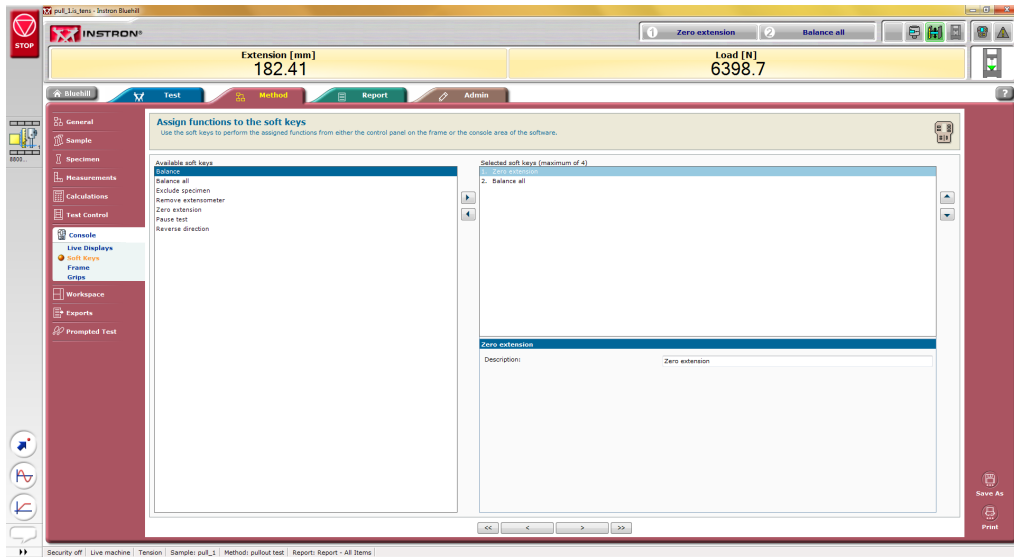
Deney esnasında yapılacak ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için bu işin kontrol istasyonu tarafından yapılması sağlanacaktır. Bu durum için de, zaman, uzama,

yük, çekme gerilmesi, çekme uzaması, akma gerilmesi, adersans ve pozisyon değerlerinin istasyon tarafından kontrol altına alınması ve incelenmesi uygun görülmüş ve bu ayarlar yapılmıştır.



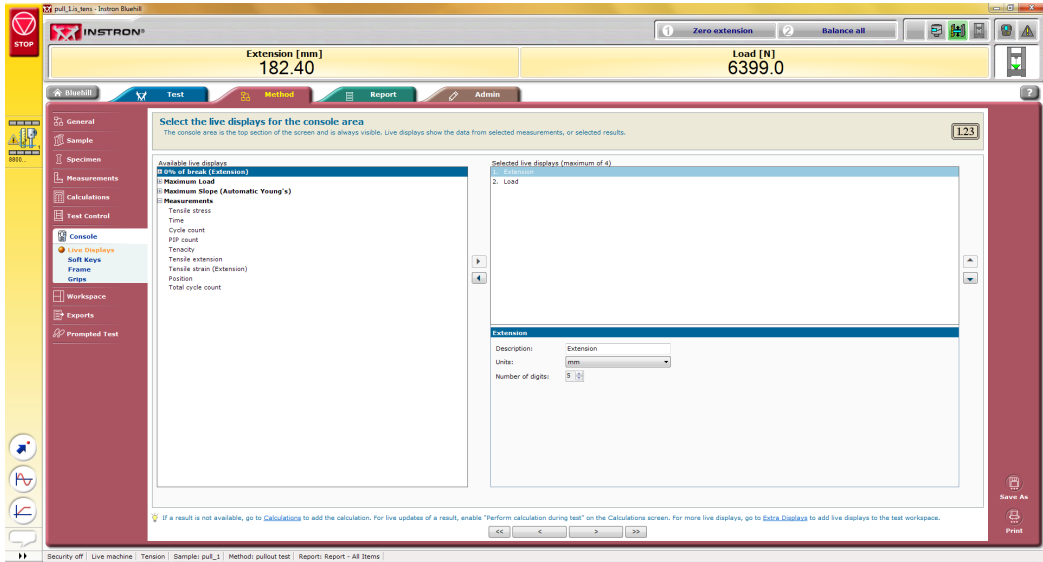
Şekil 5.11 Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 3

Deney kontrol istasyonunun hesaplamaları yapılması istenen durumları; yüzde olarak uzamanın kırılmaya kadar uzaması, azami yüklereme ve azami young modülü olarak seçilmiştir.



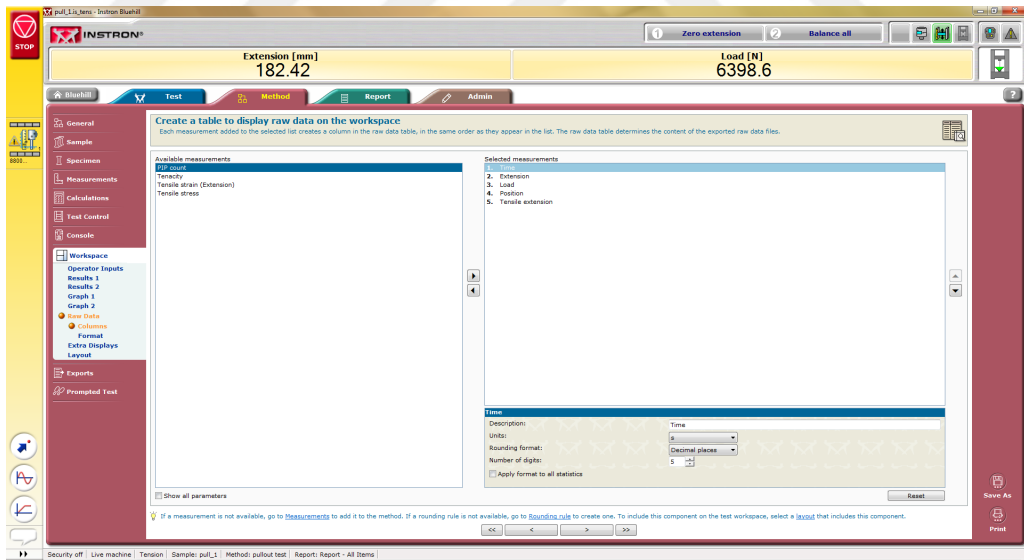
Şekil 5.12 Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 4

Soft keys sekmesinde makine dengesi sağlanması ve makinenin sıfır konumuna getirilmesi seçilmiştir.



Şekil 5.13 Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 5

Live displays sekmesinde ise uzama ve yük bilgilerinin seçilmesi yeterli olmaktadır. Çünkü yapılan deneylerde pull - out numunelerinin deney sonuçları, birbirleriyle karşılaştırılmak üzere yapılmaktadır.

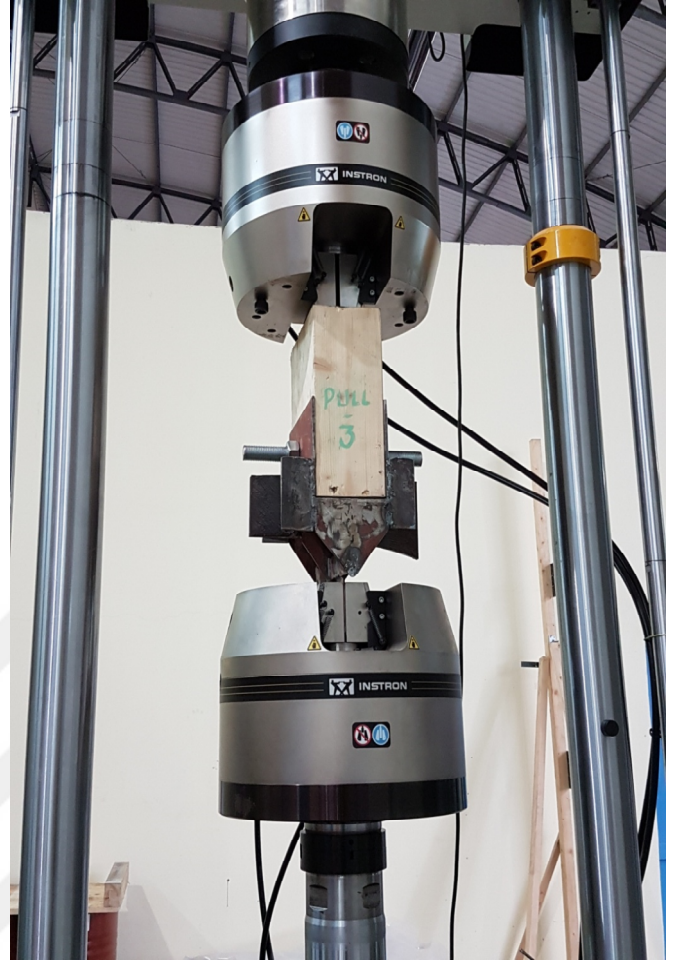


Şekil 5.14 Bluehill yazılımı pull - out deneyi ayarları - 6

Raw data sekmesinde ise bu deneyler esnasında elde edilecek veriler seçilebilmektedir. Bunlar, zaman, yük, uzama, pozisyon ve gerilmzamasıdır.

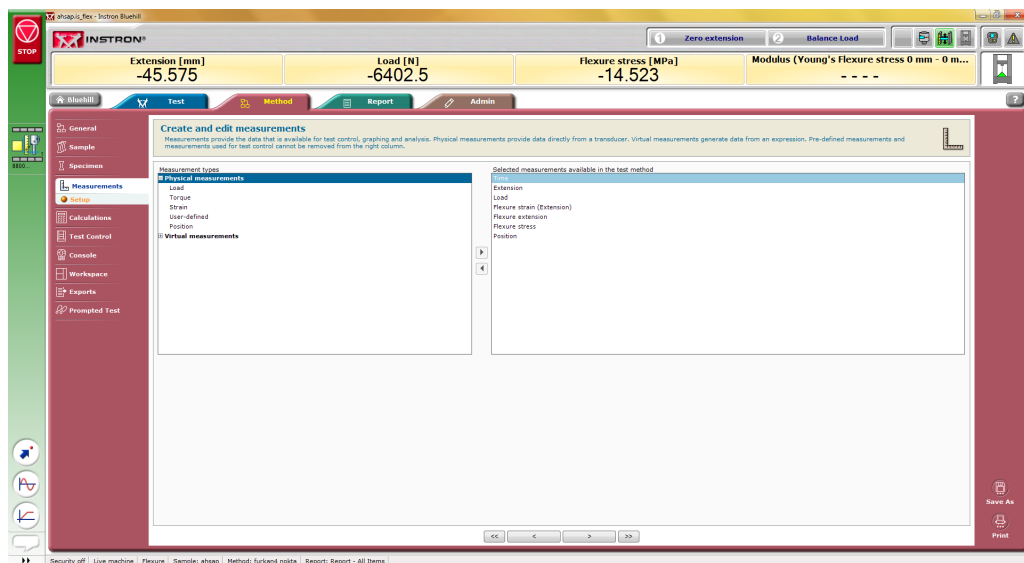


Şekil 5.15 Pull - out numunesi - 1



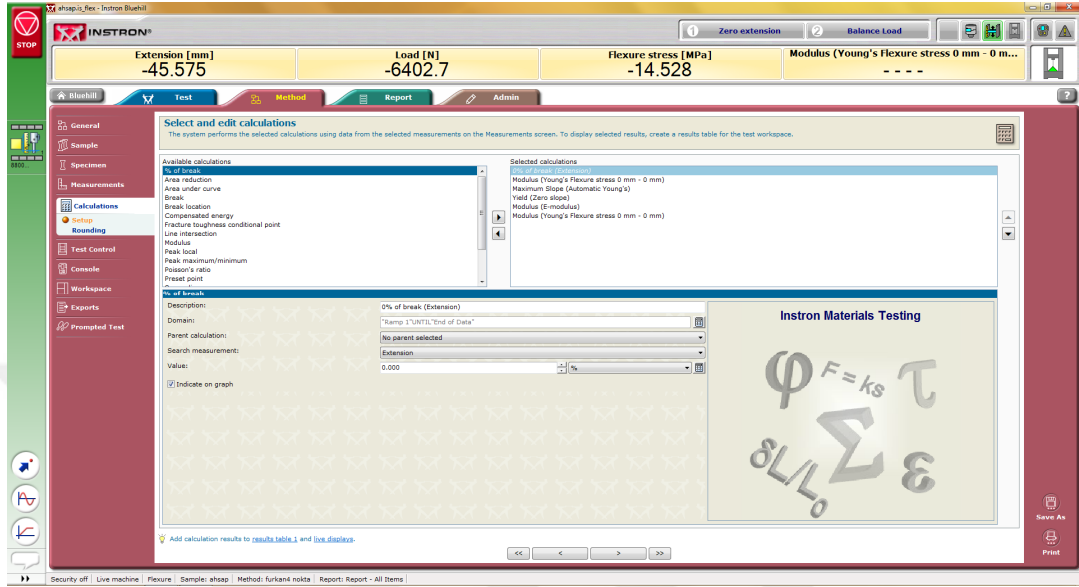
Şekil 5.16 Pull out numunesi – 2

## 5.2.2 Dört Noktalı Eğilme Deneyinin Yapılması



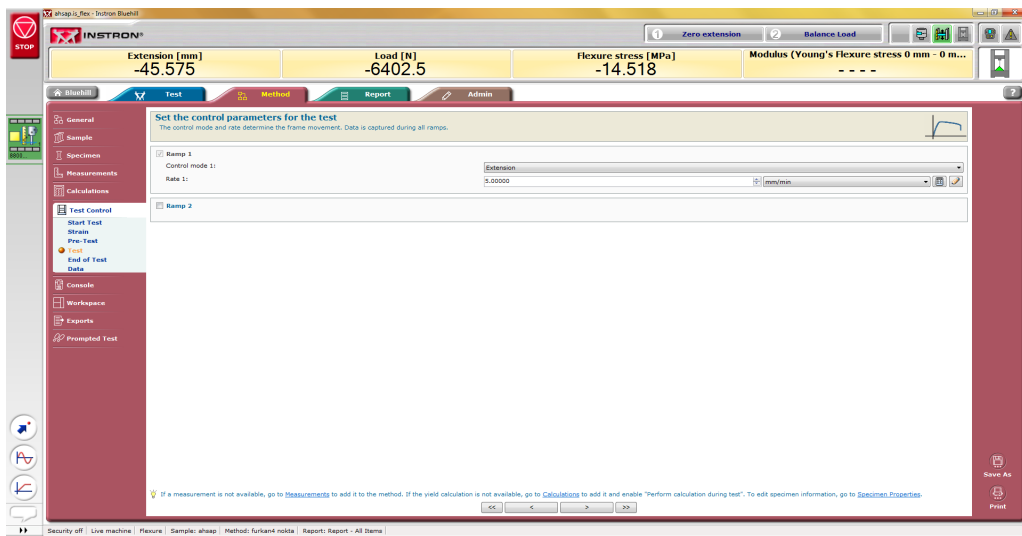
Şekil 5.17 Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 1

Dört noktalı eğilme deneyleri esnasında yapılacak olan ölçümlerin belirlenebilmesi için, deney kontrol yazılımının Measurements sekmesi altında yapılan ayarlamalar yukarıda görüldüğü üzere; zaman, uzama, yük, eğilme akması, eğilme uzaması, eğilme gerilmesi ve pozisyonudur.



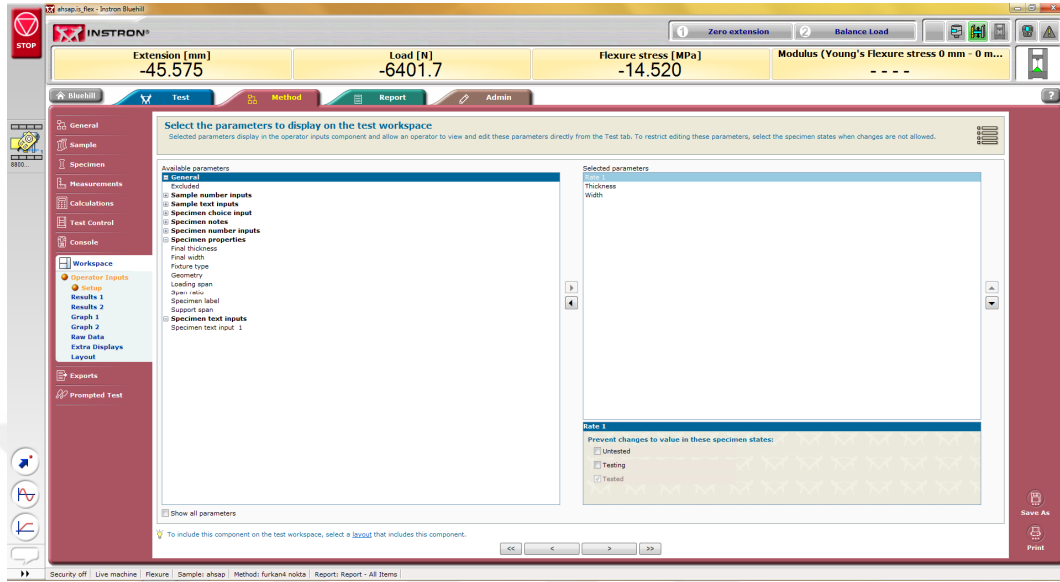
Şekil 5.18 Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 2

Hesaplamalar kısmının ayarlarında ise kopma anında yüzde cinsinden uzama, Young modülü, azami grafik eğimi, akma, elastisite modülü olarak seçilmiştir. Bu hesaplamaların seçilmesi deney kontrol istasyonu8ndan alınan verilerin işlenmesi kolay hale getirmek için seçilmiş olmakla birlikte, işlem yükünü de azaltması öngörülmüştür.



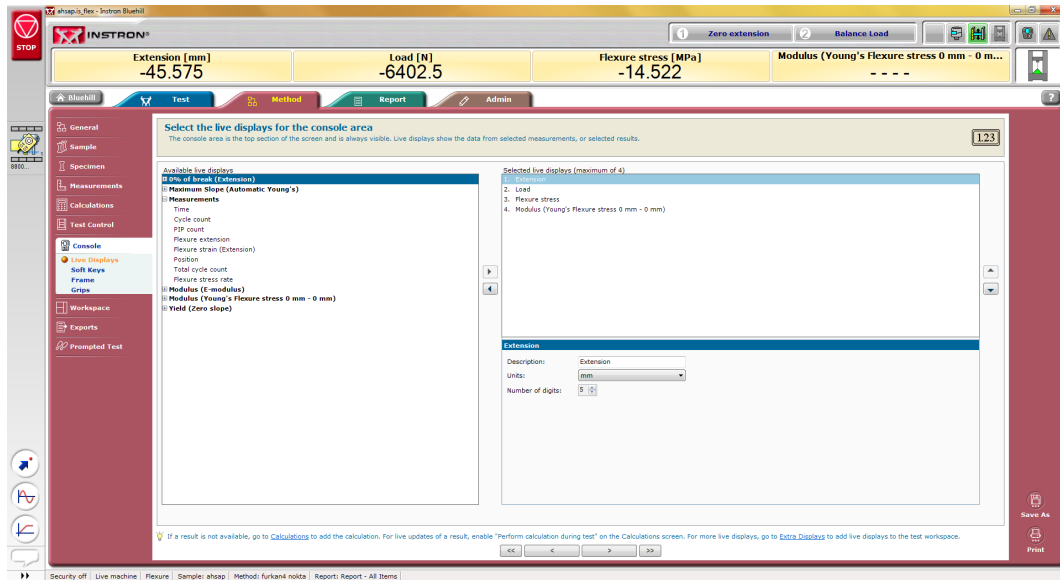
Şekil 5.19 Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 3

Deney kontrolleri istasyon tarafından yapılırken deneyin uygulanma hızı, yani esasında yüklenme deplasman olarak verileceği için, dakikada verilecek deplasman bu sekmeden ayarlanmaktadır.



Şekil 5.20 Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 4

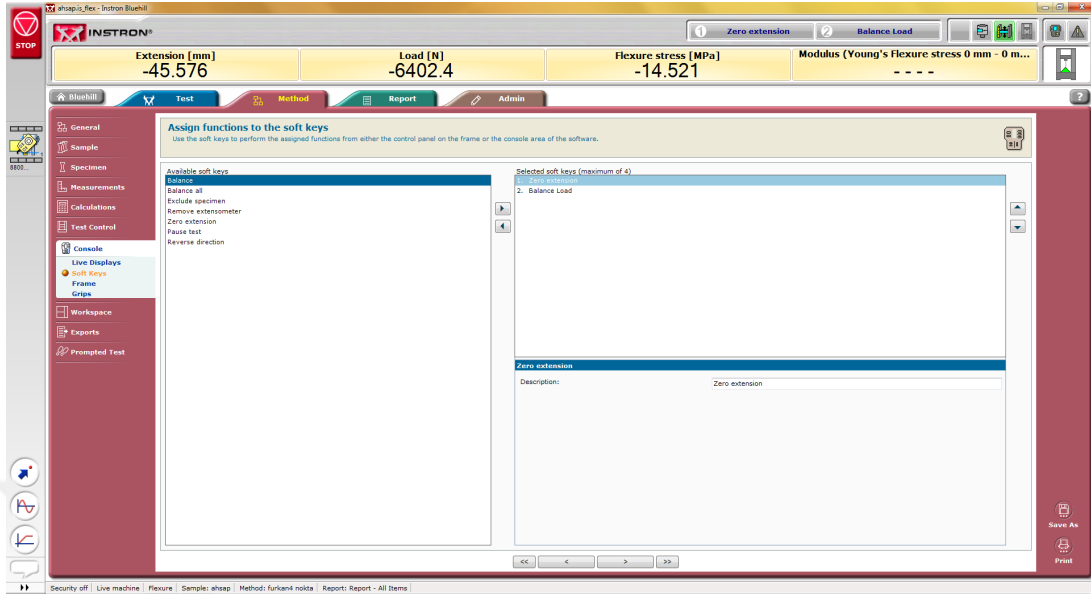
Workspace sekmesi altında, deney numunesi için girilecek veriler seçilmektedir, bunun için kalınlık ve genişlik yeterli olmaktadır.



Şekil 5.21 Dört noktalı eğilme deneyleri yazılım ayarları -5

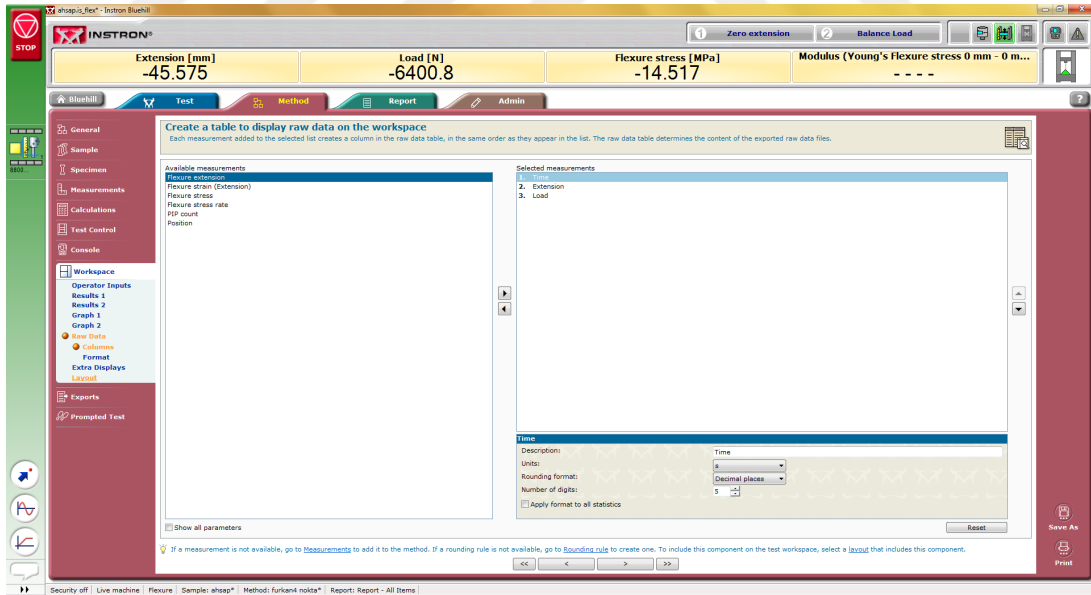
Live displays sekmesinde deneyin yapıldığı esnada verilerin ani değişimlerini gözlemleyebilmek için; uzama, yük, eğilme gerilmesi, ve Young modülü hesaplanmaktadır. Fakat bu hesaplanan Young modülü ISO 8375:2009 Edition 2 de

verilen hesaplama kriterlerine uymadığı için sadece deney tutarlılığı hakkında veri sağlayabilmektedir.



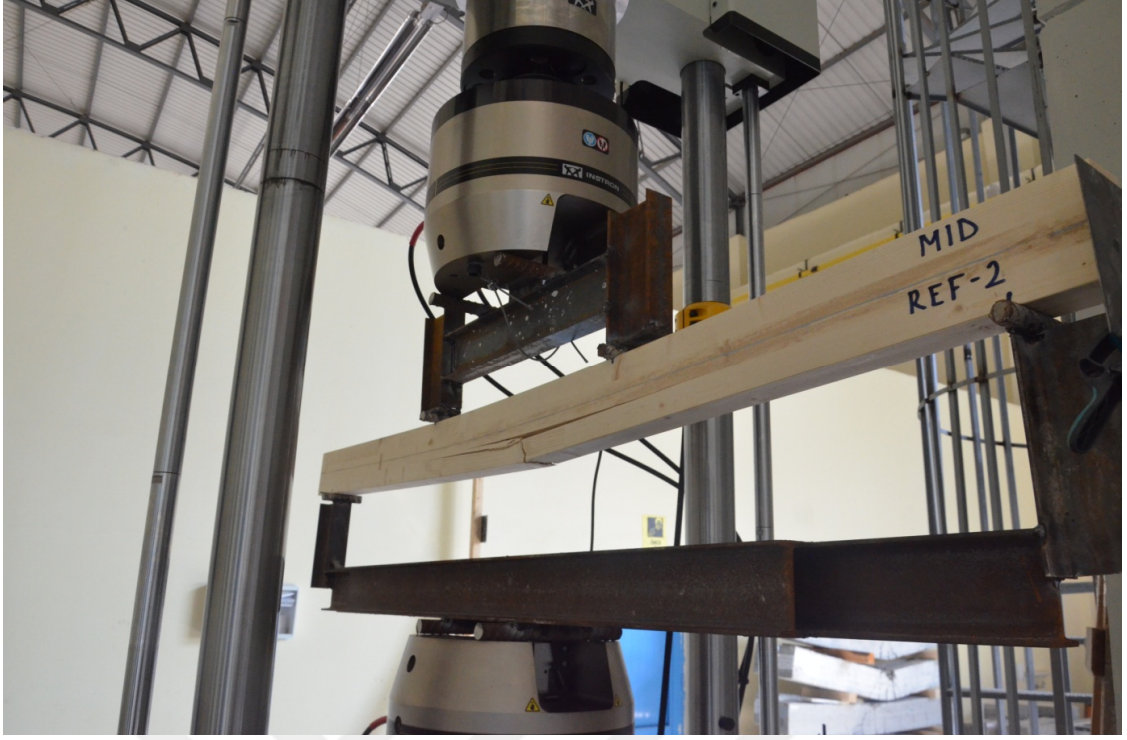
Şekil 5.22 Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 6

Soft keys sekmesinde yine cihazı sıfırlama ve yükün dengeli bir şekilde verilebilmesi için gerekli seçimler yapılmıştır.



Şekil 5.23 Bluehill yazılımı dört noktalı eğilme deneyi ayarları - 7

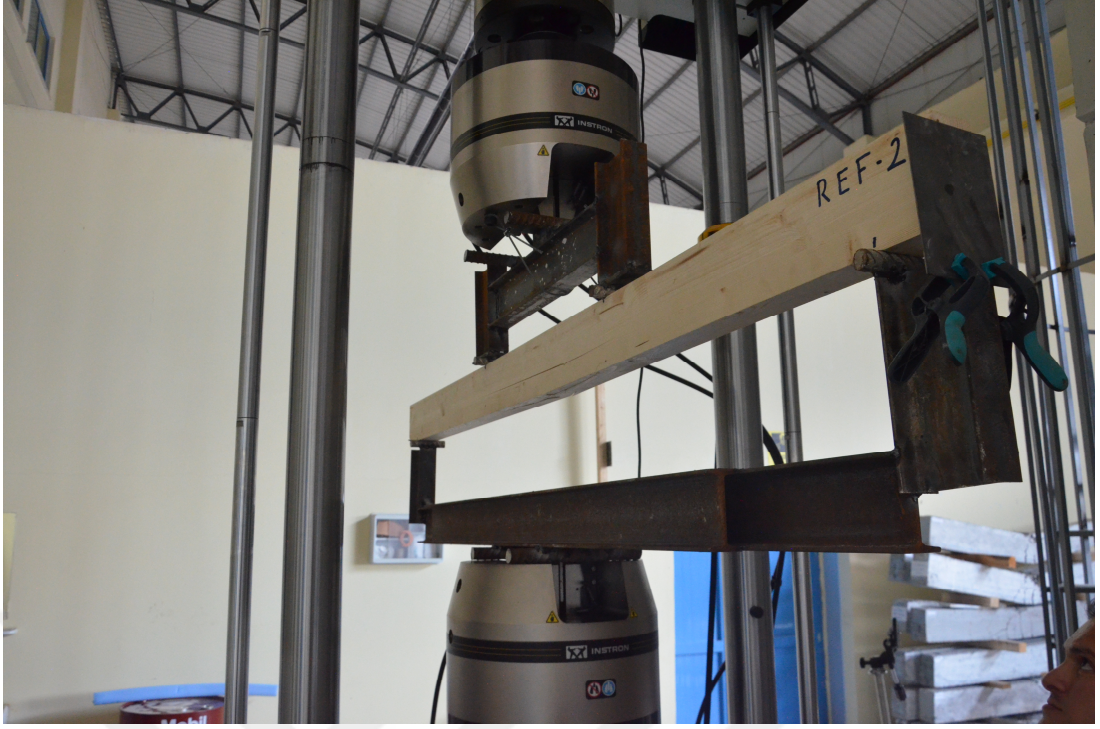
Raw data için ise gerekli hesaplar elle yapılacak olduğundan, zaman, uzama ve yük verilerinin sağlanması yeterli olacaktır.



Şekil 5.24 MID REF - 2 numunesi



Şekil 5.25 LOW REF - 2 numunesi



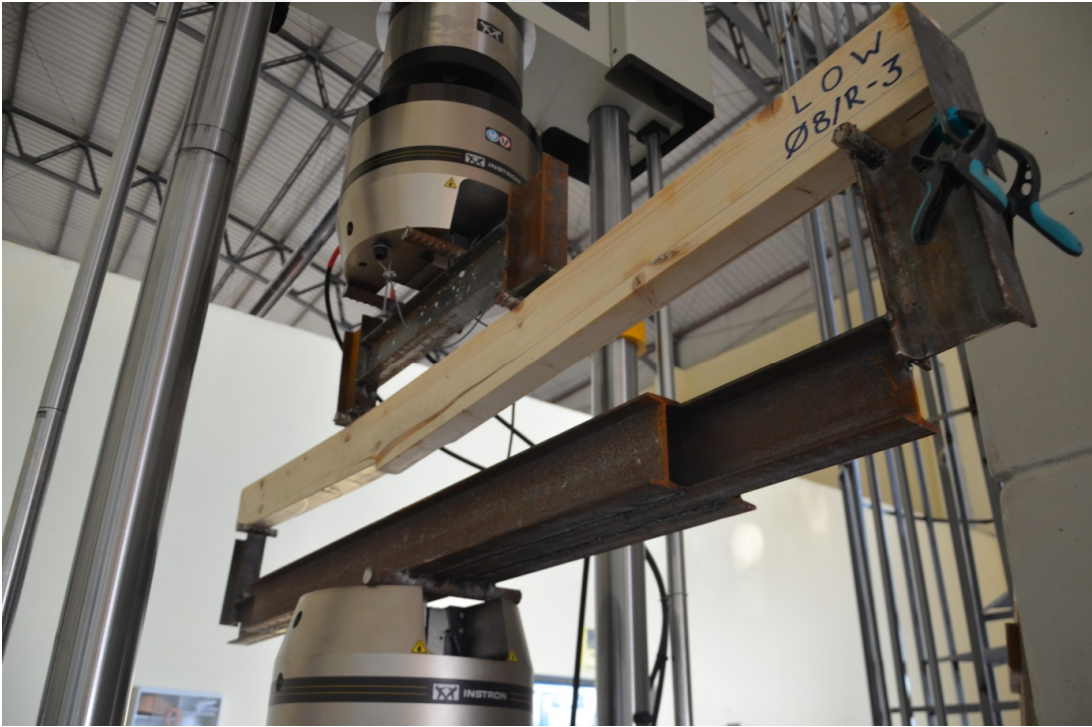
Şekil 5.26 REF 2 numunesi



Şekil 5.27 MID Ø 8 R - 3 numunesi



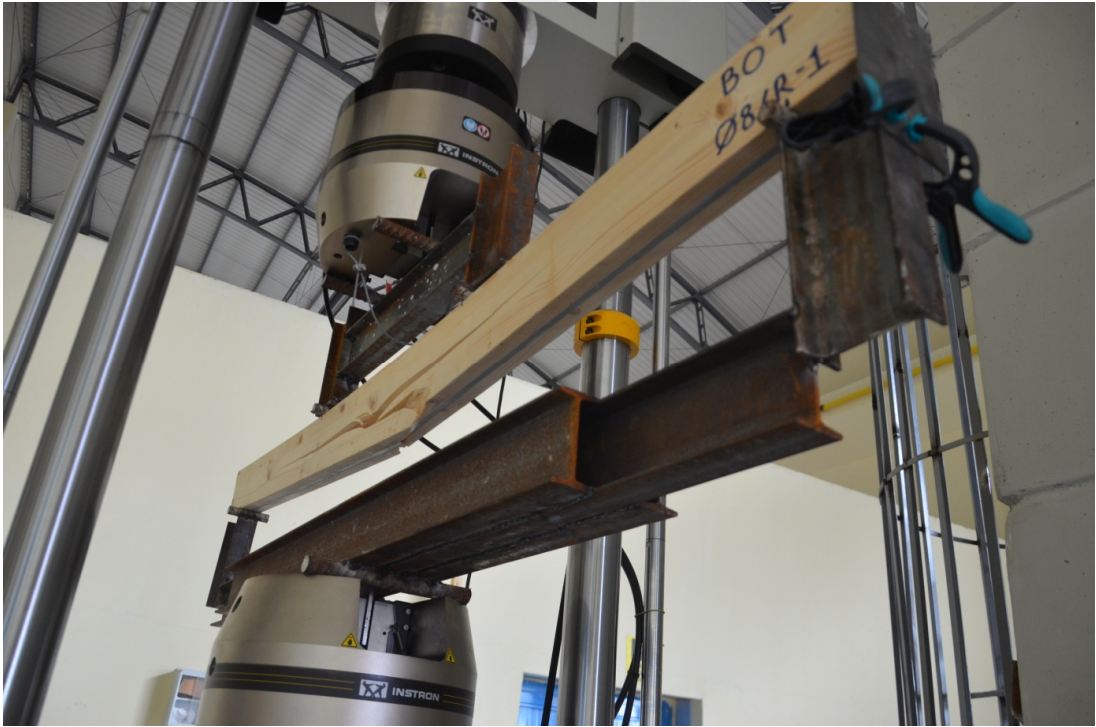
Şekil 5.28 MID Ø 8 T - 2 numunesi



Şekil 5.29 LOW Ø 8 R - 3 numunesi



Şekil 5.30 LOW Ø 8 R - 3 numunesi



Şekil 5.31 BOT Ø 8 R – 1 numunesi



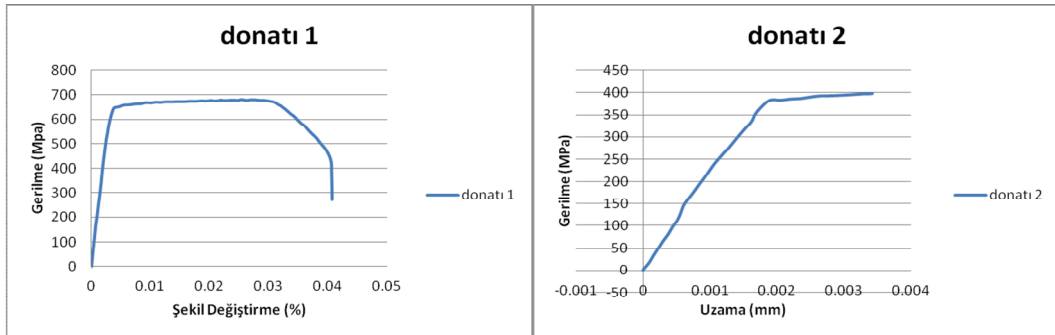
Şekil 5.32 BOT Ø 8 T - 4 numunesi

### 5.3 Deney Sonuçları

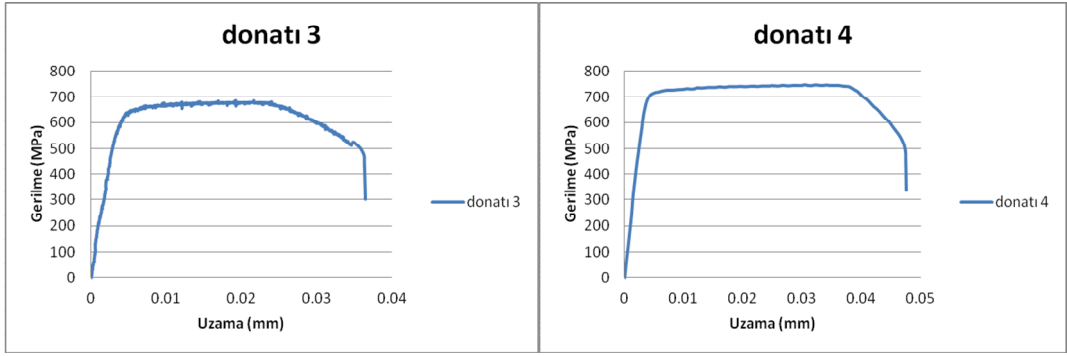
#### 5.3.1 Çekme Deneyi Sonuçları

##### 5.3.1.1 Donatı Çekme Deneyleri

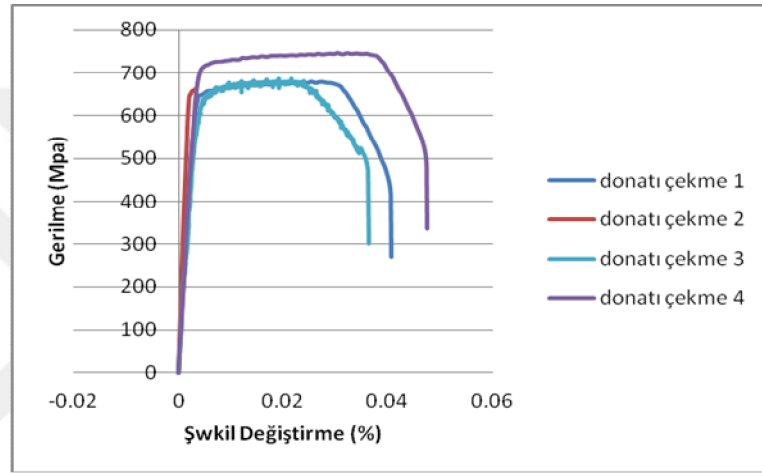
Çizelge 5.1 Donatı 1 ve donatı 2 numuneleri çekme deneyi grafikleri



Çizelge 5.2 Donatı 3 ve donatı 4 numuneleri çekme deneyi grafikleri



Çizelge 5.3 Donatı 1-2-3-4 çekme deneyi grafiği

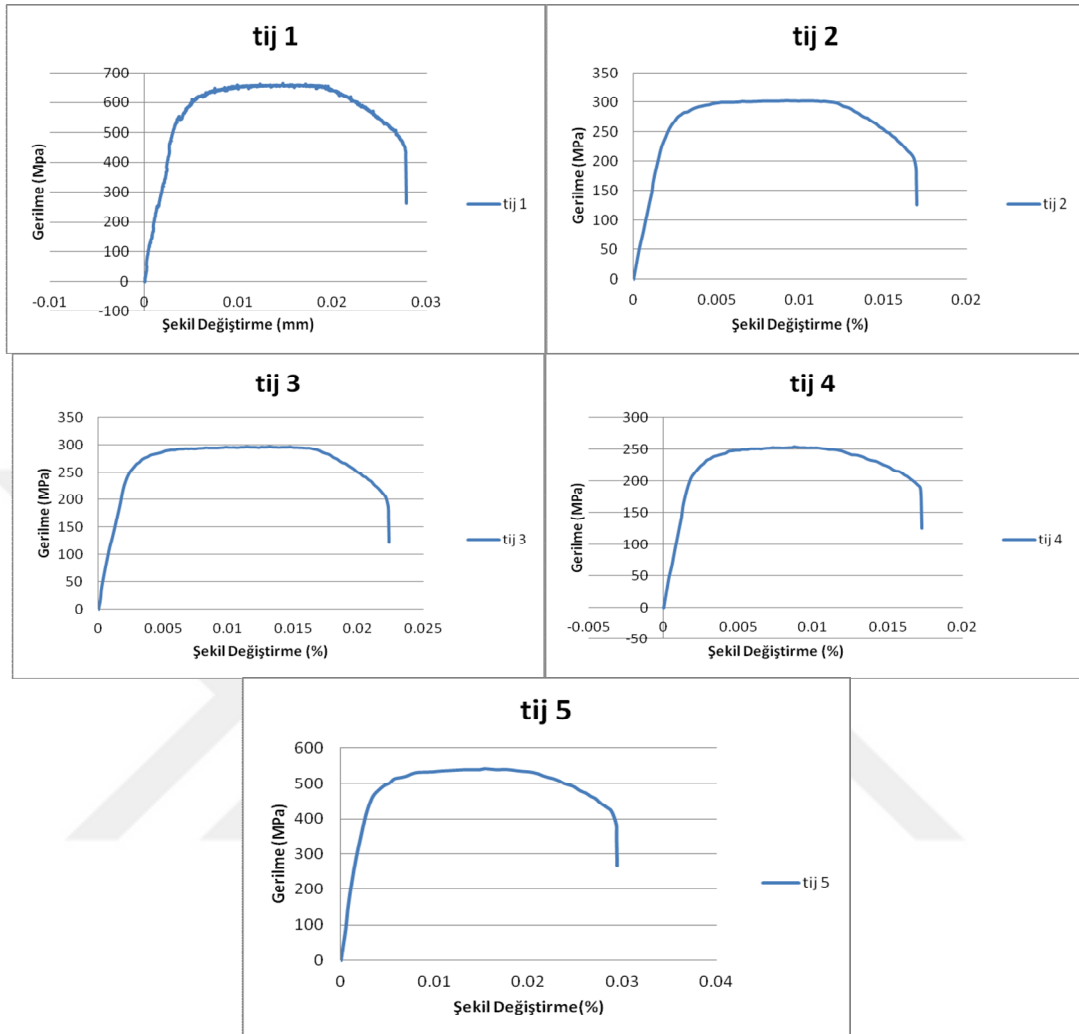


Şekildeki grafikler birbirleriyle oldukça uyumlu görülmektedir. Bilinen donatı eğrisinden farklı bir eğri çizerek davranışının farklı olması, bu tip bir donatı elemanının seçilmesinde önemli bir etkidir. Yaygın olarak kullanılan inşaat çeliklerinin grafiklerinde, plastik zon ve akma zonu çok daha belirgindir. Bu donatının tercih sebebi ise tij malzemesi ile benzer uzama davranışı göstermesi ve hatta malzeme olarak tek farkının, dayanımı daha yüksek olmasıdır.

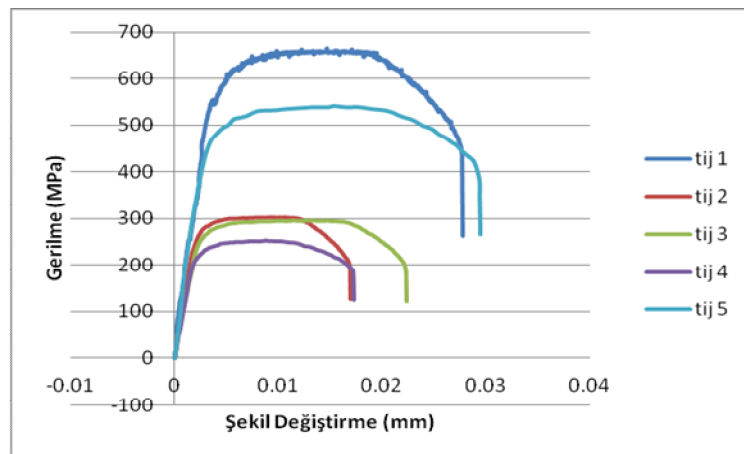
Bu da deneyler esnasında dayanım faktörünün nasıl bir fark yarattığını gözlemleyebilmemize imkan sağlamaktadır.

### 5.3.1.2 Tij Çekme Deneyleri

Çizelge 5.4 Tij numuneleri çekme deneyi grafikleri



Çizelge 5.5 Tij numuneleri çekme deneyi süperpozisyon grafiği

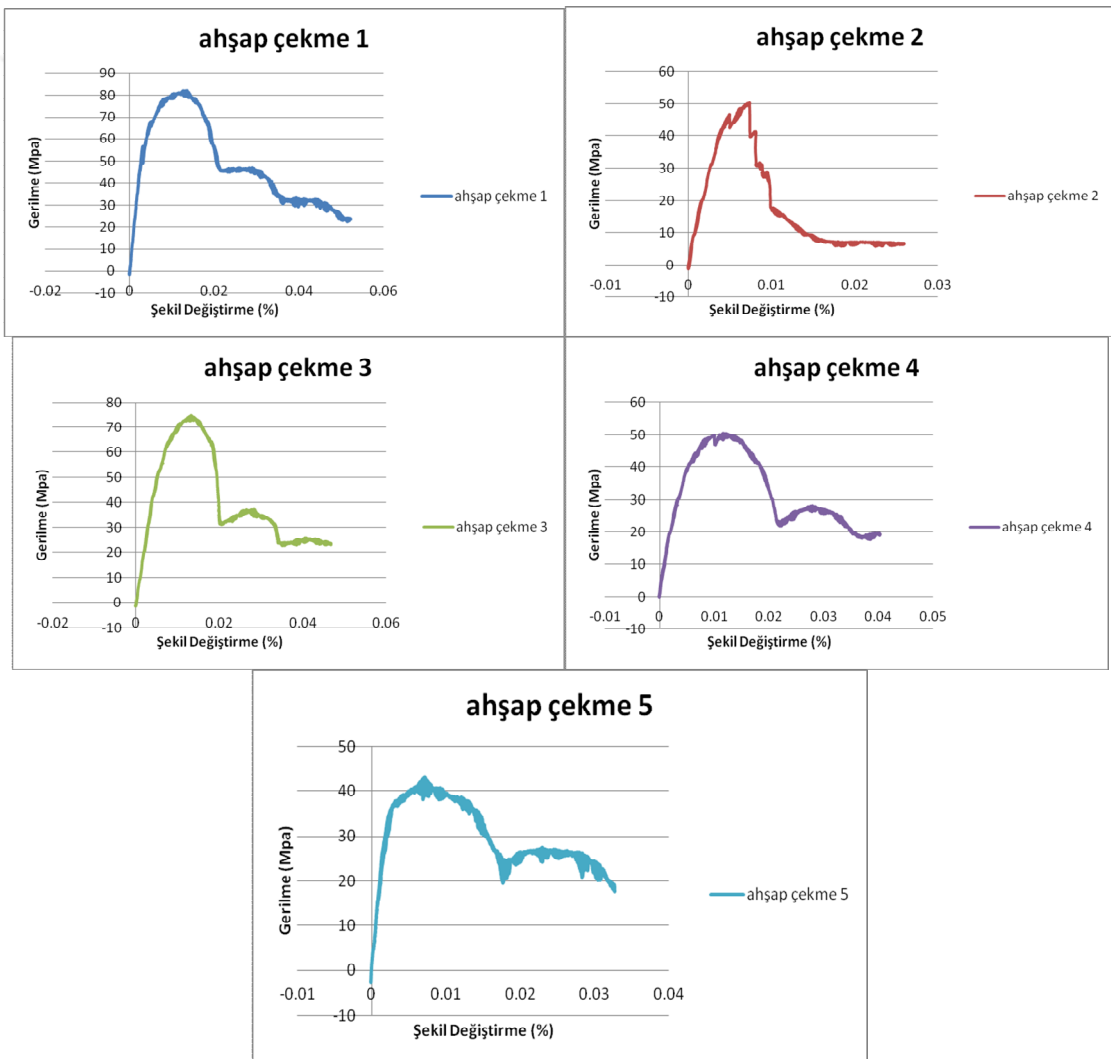


Bu deneyler doğrultusunda elde edilen grafiklere bakarak, donatı deneyleri ile oldukça uyumlu bir davranış içerisinde olduğu görülmektedir. Tij malzemesinin donatıdan, %31 oranda daha düşük çekme kuvveti taşıyabildiği gözlemlenmiştir.

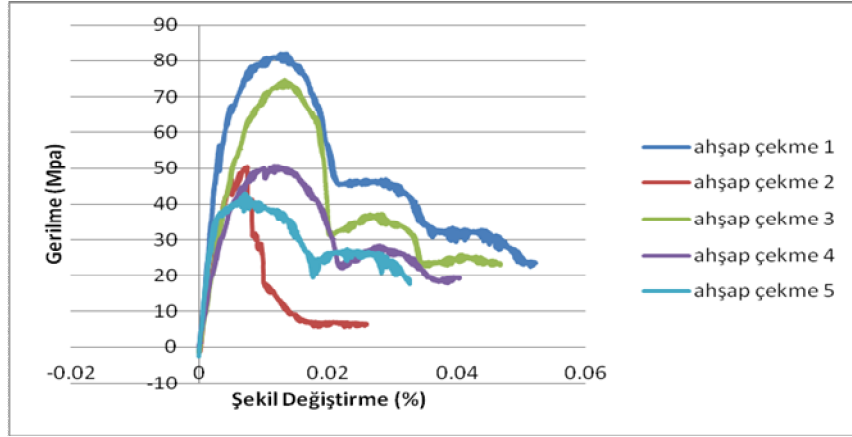
Tij malzemesinin çekme etkisi altında uzama oranı ise donatının uzama oranından %25 daha küçüktür, bu fark diğer donatıların uzama kabiliyetine bakıldığında (%77), % 308 daha küçüktür. Bu seçim de deneyin daha spesifik çalışabilmesine olanak sağlamıştır.

### 5.3.1.3 Ahşap Çekme Deneyleri

Çizelge 5.6 Ahşap numuneleri çekme deneyi grafikleri



Çizelge 5.7 Ahşap 1-2-3-4-5 çekme deneyi grafiği



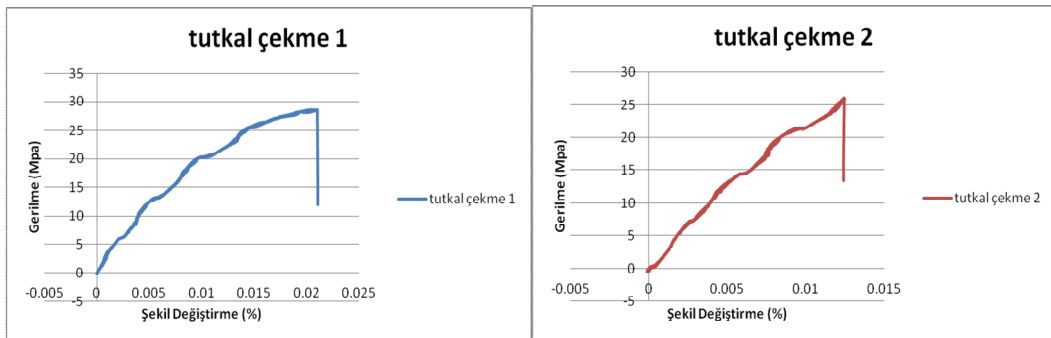
Ahşap çekme deneylerinde, malzemenin anizotropik yapısından ve çeşitli öz kusurlarından ötürü geniş bir aralıkta oldukça farklı değerler gözlenmiştir. Bu durum yine de ortalama bir değer alınabilmesine engel olamamış ve malzemenin tanımlanması (elastik zonda) yapılabilmektedir.

Ahşap çekme deneylerinde elde edilen veriler doğrultusunda hazırlanan grafikler, ahşap malzemesinin farklı yükler altında farklı taşıma davranışları gösterdiğini ve gevrek bir şekilde kırılmadığını göstermektedir.

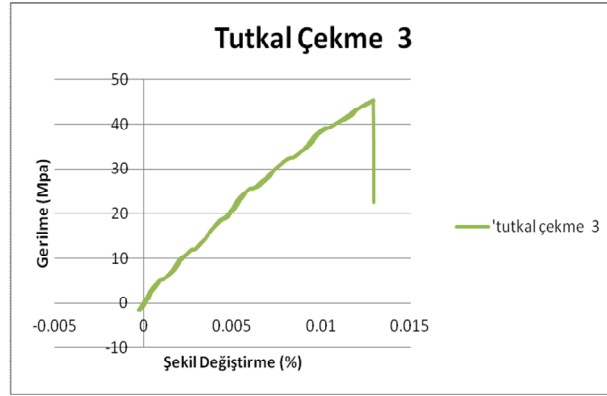
Bu grafikler doğrultusunda söylenebilir ki ahşap elastik bölgeden çıkıp, plastik bölgeye girdiğinde dahi bir taşıma kapasitesine sahiptir.

#### 5.3.1.4 Yapıştırıcı Çekme Deneyleri

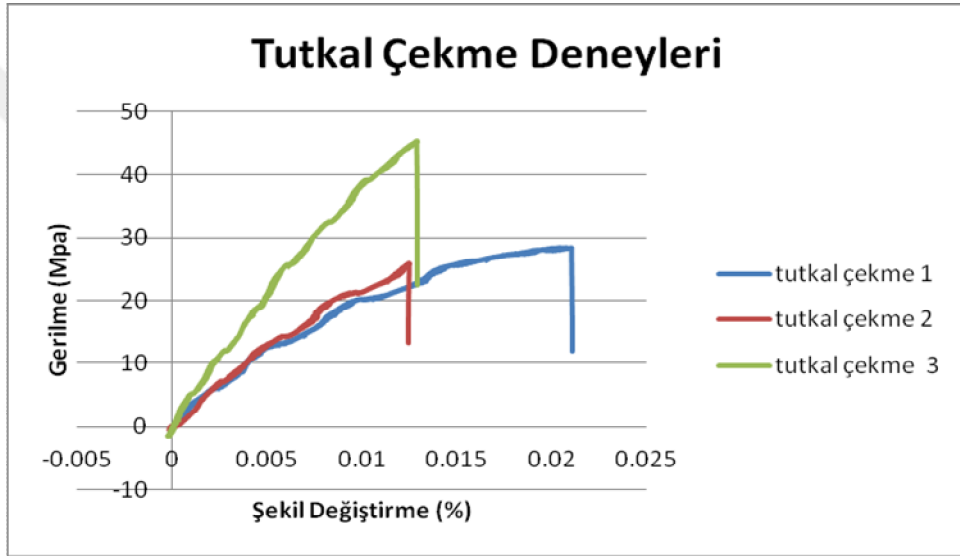
Çizelge 5.8 Tutkal 1, tutkal 2 çekme numuneleri deneyi grafikleri



Çizelge 5.9 Tutkal 3 çekme deneyi grafiği



Çizelge 5.10 Tutkal 1-2-3 çekme deneyi grafiği



Yapıştırıcı çekme deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda söylenebilir ki, sistemin en gevrek malzemesi yapıştırıcıdır. Ani bir kırılma tipi göstermekte ve dayanımı hızlıca düşmektedir.

Yapıştırıcı grafiklerinin bu denli farklı çıkmasının sebebi homojen bir yapıya sahip olmasına rağmen numuneler üretilirken, kopmaların yaşandığı kesitlerde hava kabarcıkları oluşmuştur. Bu hava kabarcıkları da benzer kesitli numunelerin, farklı dayanımlar göstermesi gibi bir davranışa yol açmıştır.

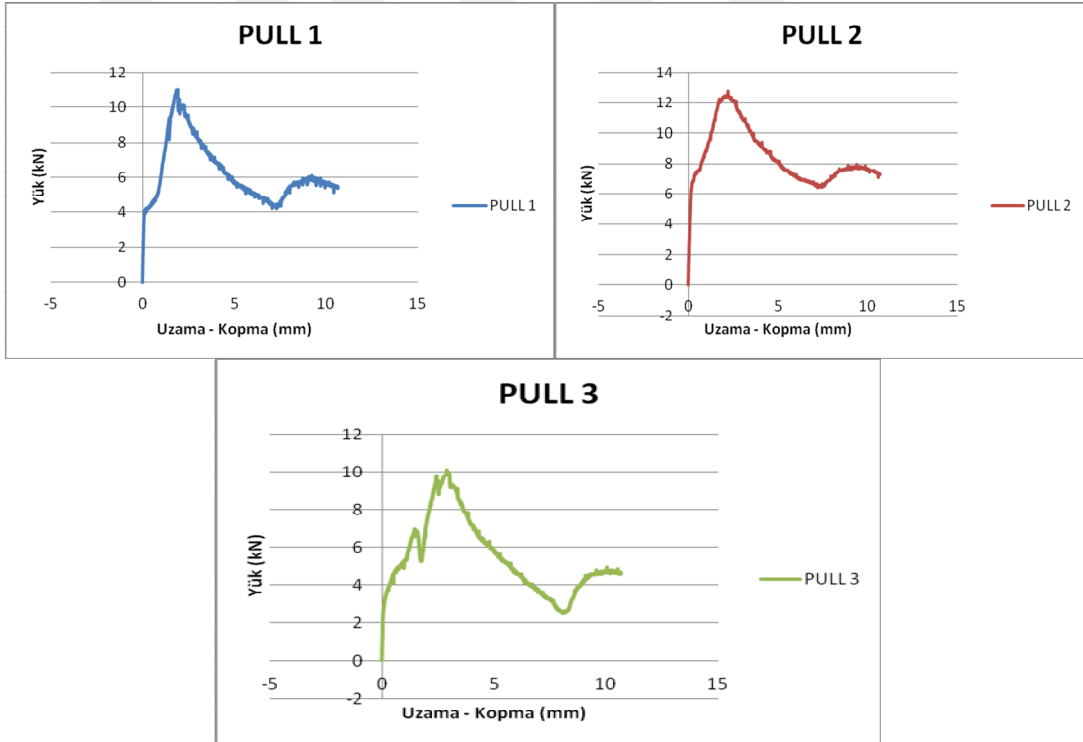
Çekme deneyleri neticesinde elde edilen veriler doğrultusunda malzeme elastisite modülü değerleri, ABAQUS programında kullanılmak üzere hesaplanmış ve aşağıdaki çizelgede bu değerler gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 Malzemelerin elastisite modülleri

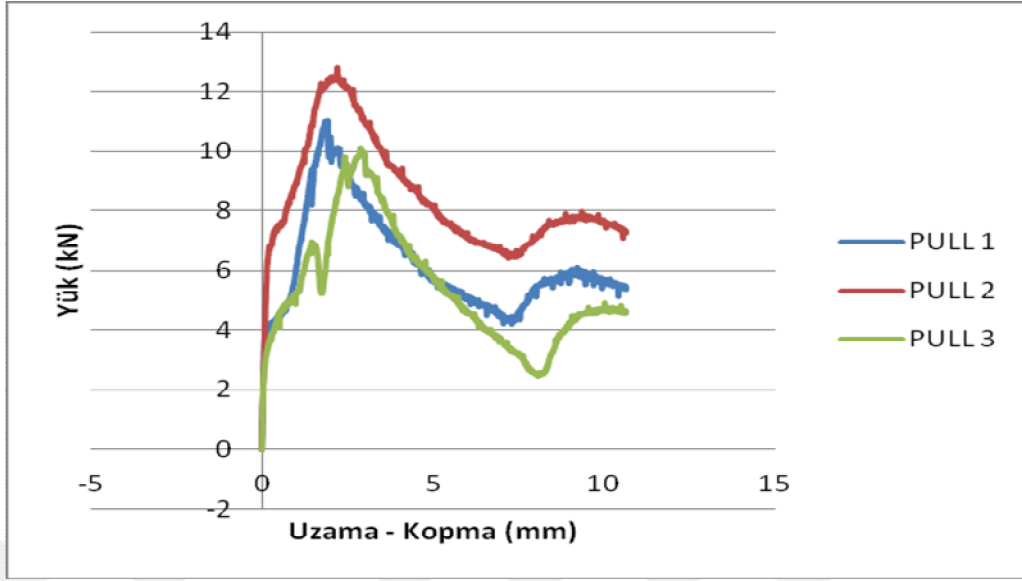
MALZEME	ELASTİSİTE MODÜLÜ (MPa)
AHŞAP (GL24h)	14467
DONATI	200000
TİJ	114099.4
EPOKSİ REÇİNESİ (SİKADUR 330)	3380.4

### 5.3.2 Pull - Out Deneyi Sonuçları

Çizelge 5.12 Pull - out 1, pull - out 2, pull - out 3 deney grafikleri



Çizelge 5.13 Pull - out 1-2-3 deney grafiği



Pull - out deneyleri sonucunda elde edilen verilerde gözlemlenmektedir ki, yapıştırıcı unsuru ile çelik eleman arasındaki bağ, ahşap eleman ile olan bağdan daha zayıftır. Bu durum, pull-out deneylerine maruz kalan numunelerden, çeliğin sıyrılabilmesi ile görülmektedir.

Grafiklerde görülen kademeli yapının sebebi ise, çelik malzemenin yüzeyinden, yapıştırıcı malzemenin ayrılması sonrasında, çelik malzemenin çekilmesi işlemine devam edilmesi ve çekilip çıkarılmaya çalışılan çelik malzemenin nervürlerinin, tutkalın doldurduğu noktalardan mesnet almasıdır.

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen verilerin, ankraj hesabını yaklaşık olarak karşılayabildiği görülmüştür. Ankraj hesapları doğrultusunda aşağıdaki kontroller yapılmıştır:

- Donatı Dayanımı

$$\pi \times \frac{d^2}{4} \times \frac{f_{yk}}{1.15} = 30\,581 \text{ N}$$

-Donatı Epoksi Reçinesi arasındaki aderans

$$25 \times \pi \times l_{ankraj} \times \sqrt{d} \times \frac{1}{y_c \times \alpha_1} = 6\,343.76 \text{ N}$$

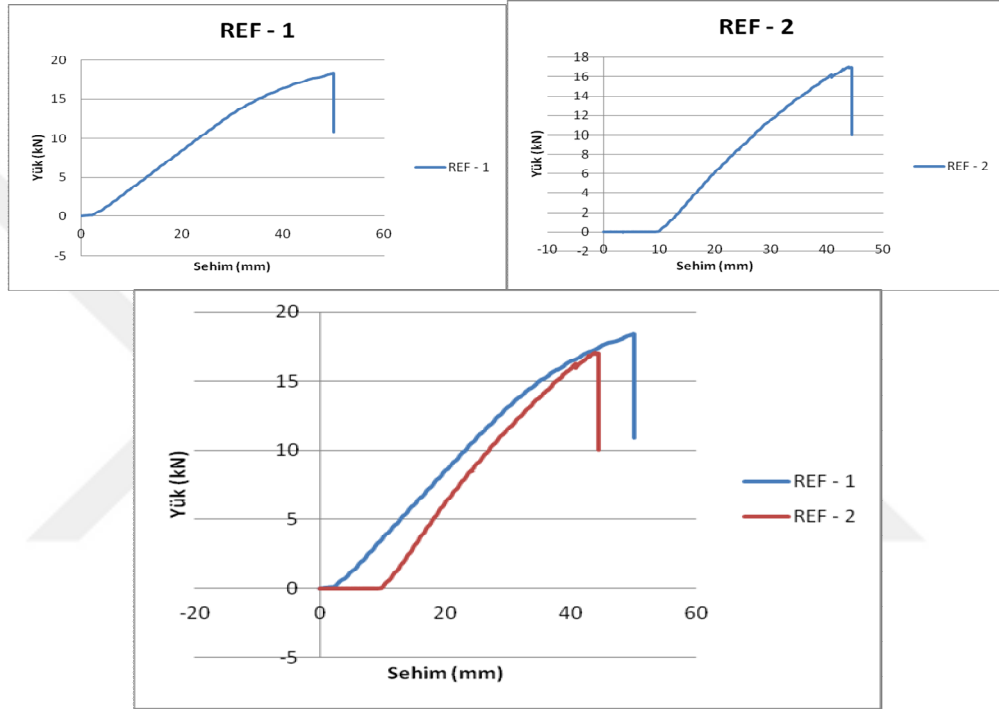
- Epoksi Reçinesi Ahşap arasındaki aderans

$$\frac{4.5 \times \pi \times l_{ankraj} \times \sqrt{f_{ck} \times D}}{y_t} = 6\,122,63 \text{ N}$$

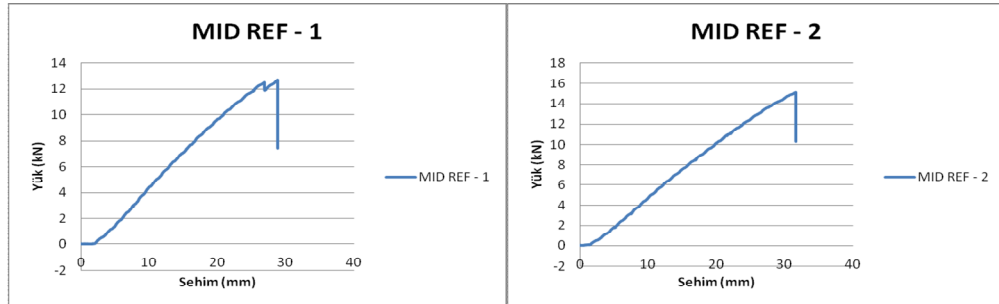
Çizelgelerden da görüldüğü üzere, aderans kuvveti aderans değerlerinin üstünde kalmıştır.

### 5.3.3 Dört Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçları

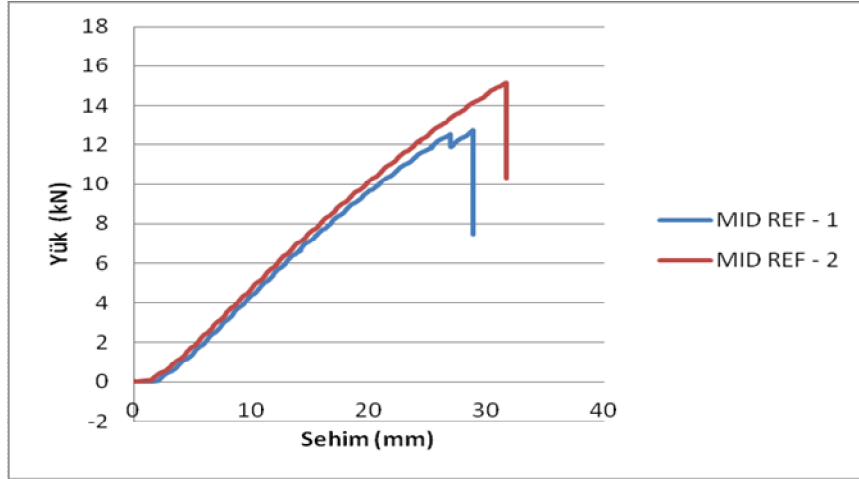
Çizelge 5.14 REF 1 REF 2 deney grafikleri ve süperpozisyonları



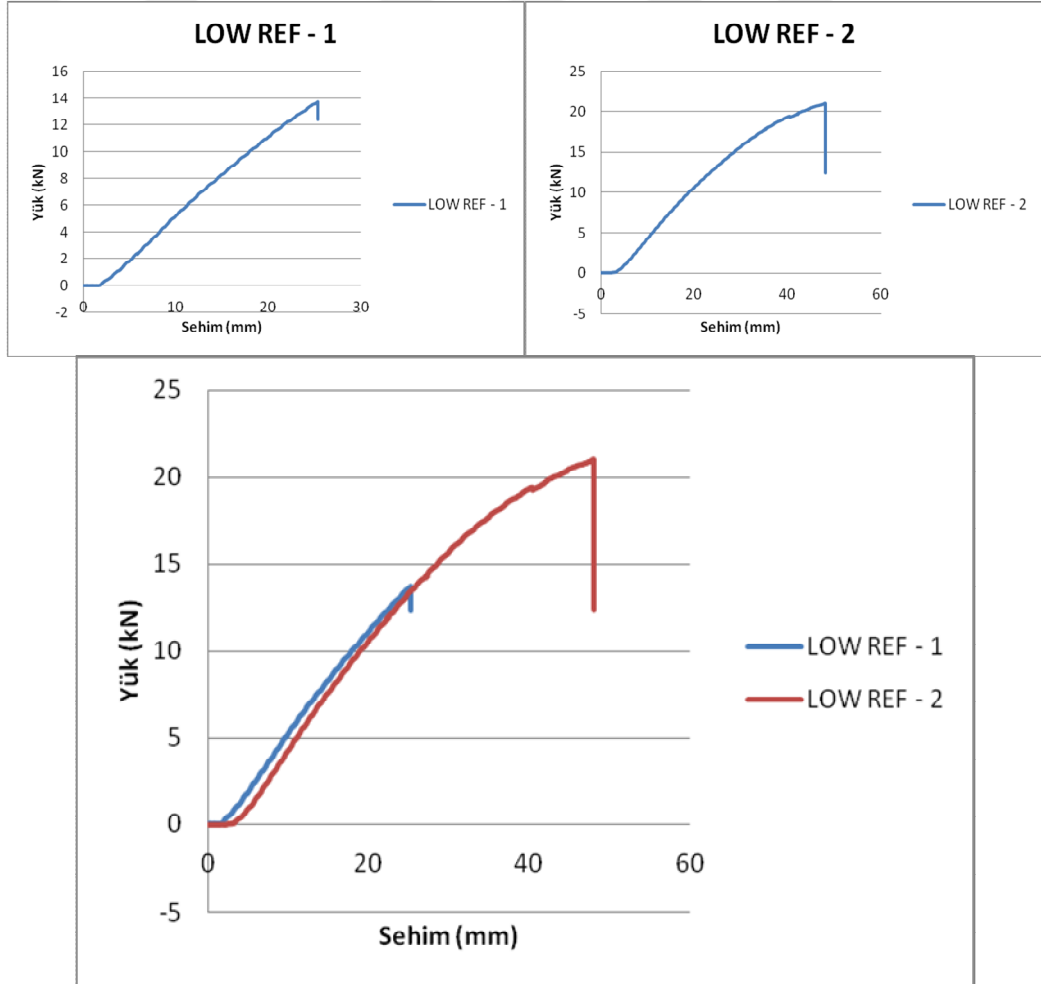
Çizelge 5.15 MID REF - 1 ve MID REF - 2 deney grafikleri



Çizelge 5.16 cMID REF 1 - 2 deney grafiği



Çizelge 5.17 LOW REF 1 ve LOW REF 2 deney grafikleri ve süperpozisyonları

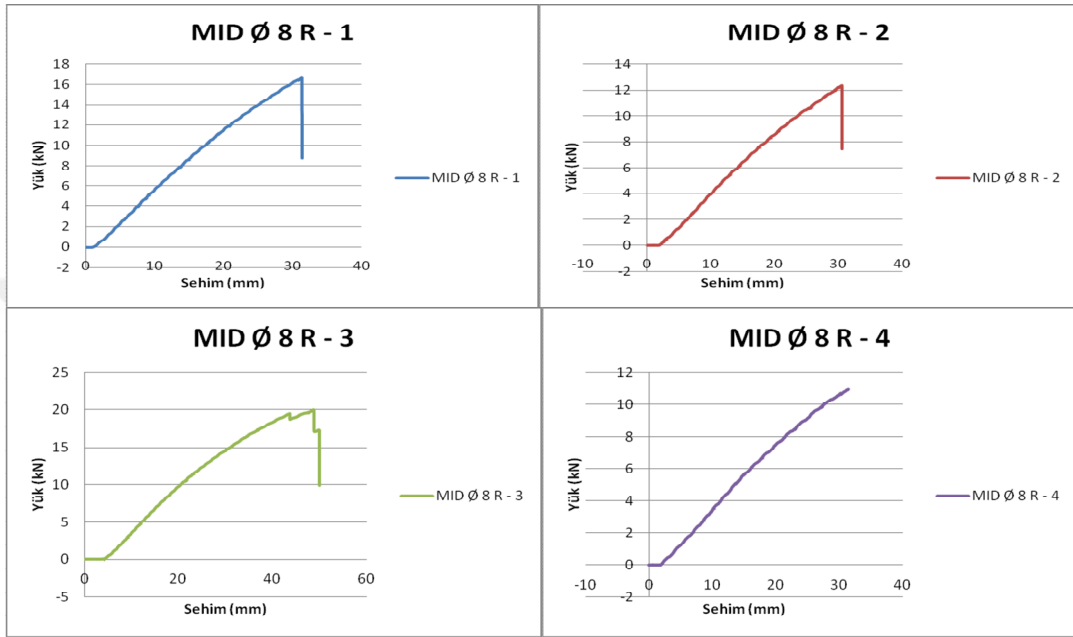


Referans numunelerinin dört noktalı eğilme deneylerinin yapılması sonucunda ahşap referans numunelerinin Kuvvet - Yer Değiştirme grafikleri yukarıdaki Çizelgeler gibidir. Grafiklerde görüldüğü üzere malzemeler ani ve hızlı bir şekilde yük taşıma

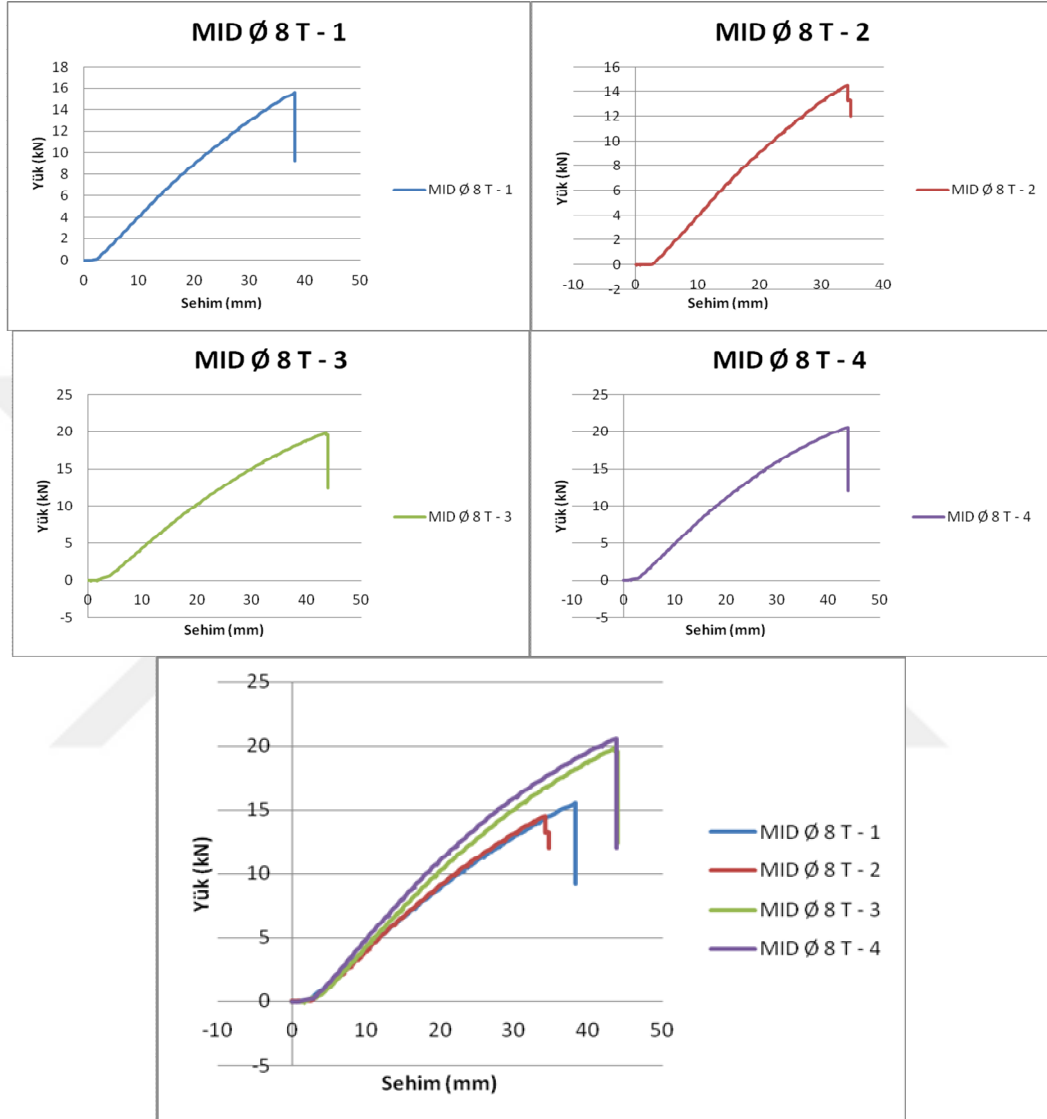
kapasitelerini kaybetmekte ve kırılmaktadırlar. Bu kırılma tipi ise, esasen inşaat mühendisleri öğretileri doğrultusunda bakıldığında en tehlikeli kırılma tipidir.

Çizelgelerden görüldüğü üzere, kesitler taşıma gücünü kaybetmeden önce ortalama 3.5 ile 4 cm arasında sehim yapabilmektedirler.

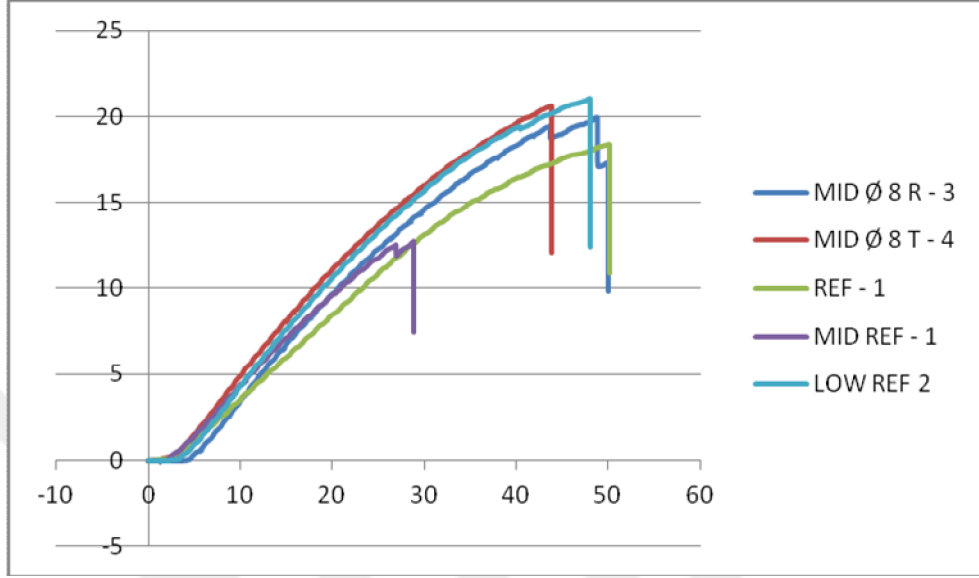
Çizelge 5.18 MID Ø 8 R numuneleri deney grafikleri ve süperpozisyonları



Çizelge 5.19 MID Ø 8 T numuneleri deney grafikleri ve süperpozisyonları



Çizelge 5.20 MID Ø 8 R-3/T-4, REF - 1, MID REF-1, LOW REF-2 deney grafiği

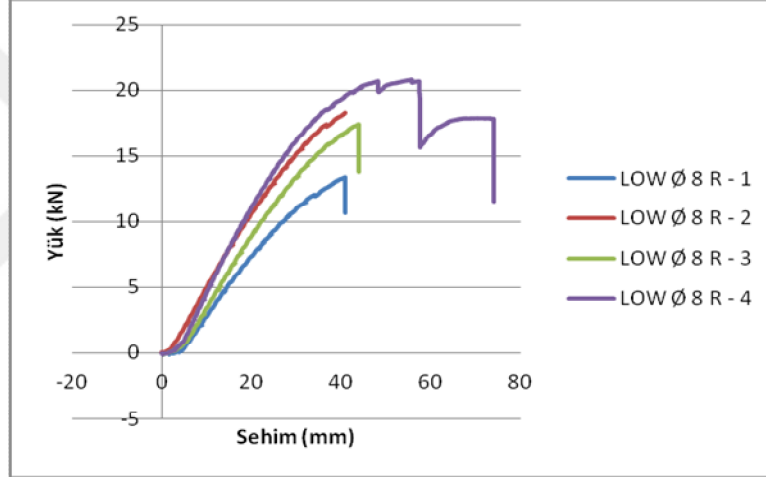
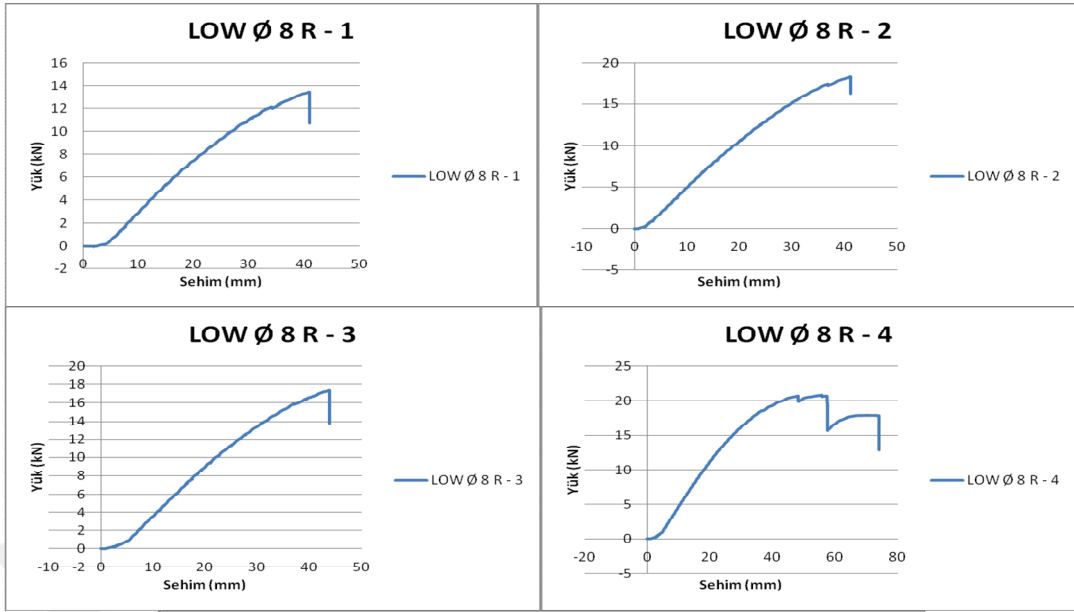


Çizelge 5-45'te de görüldüğü üzere MID Ø 8 R VE MID Ø 8 T kodlu numuneler Referans numunelerinin kısmi olarak altında kalmış, fakat sünek bir kırılma sağlamışlardır.

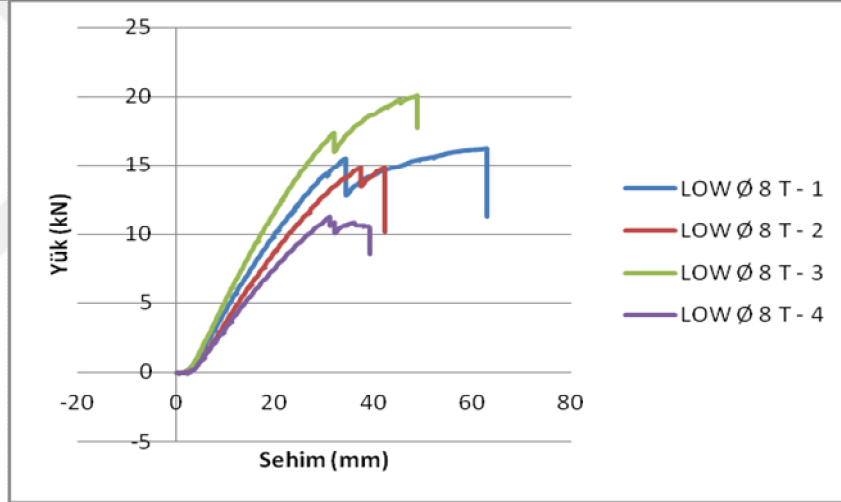
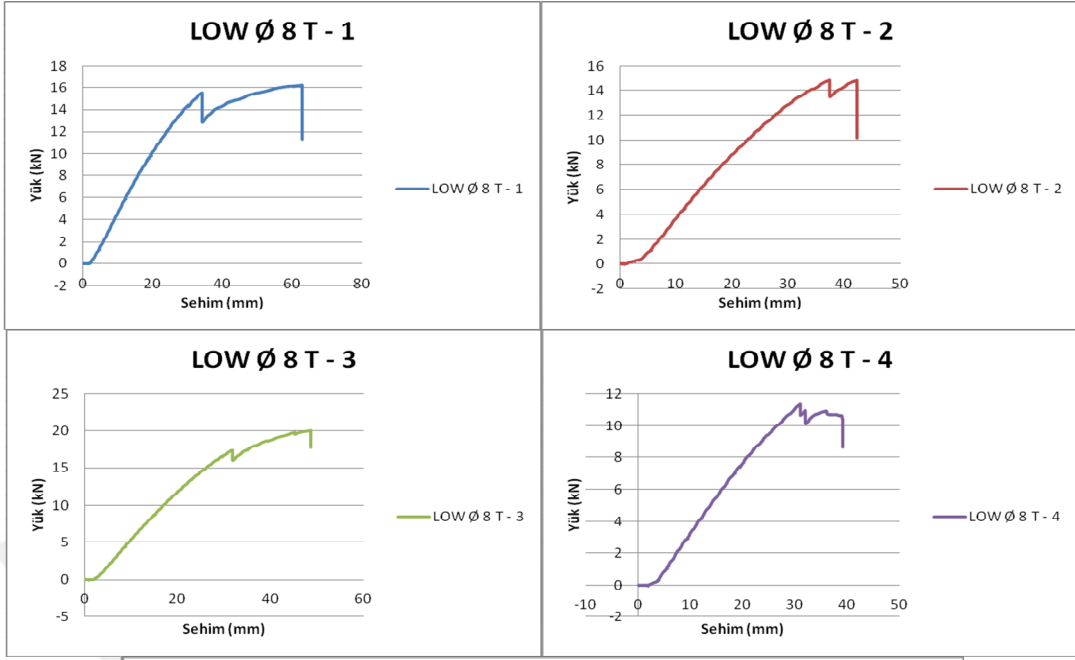
Güçlendirme elemanın taşıma kapasitesinin, MID kodlu numunelerde yarattığı etki fazla olmamıştır. Hatta taşıma gücü daha yüksek olan R kodlu donatı ile güçlendirilmiş numune grubunun en yüksek performans gösteren numunesi olan MID Ø 8 R - 3, kendi numune grubunun en yüksek dayanım ve sehim kapasitesinin gözlemlendiği MID Ø 8 t - 4 numunesi ile neredeyse aynı özellikleri göstermiştir.

Çelik güçlendirme elemanının numunelerin ortasından geçtiği MID kodlu numune grubundan elde edilen sonuçları doğrultusunda söylenebilir ki, çelik güçlendirme elemanı, bu kesit boyutlarında bu yükseklikte entegre edildiğinde sağladığı performans artışı, güçlendirme elemanından beklendiği oranda değildir.

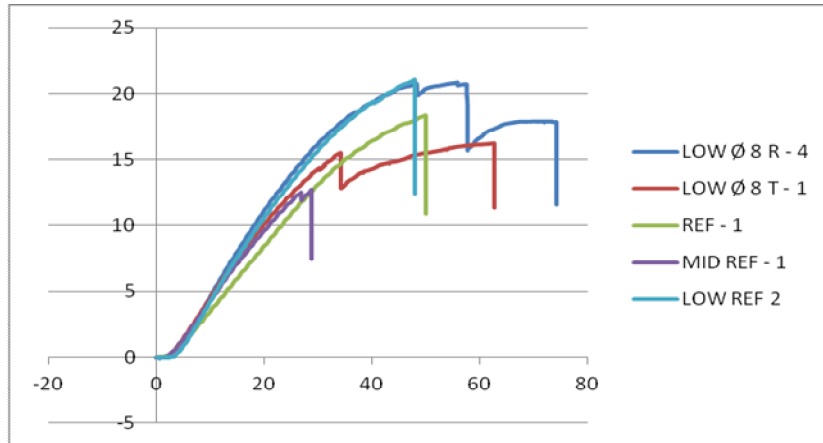
Çizelge 5.21 LOW  $\emptyset$  8 R deney grafikleri ve süperpozisyonları



Çizelge 5.22 LOW  $\emptyset$  8 T deney grafikleri ve süperpozisyonları



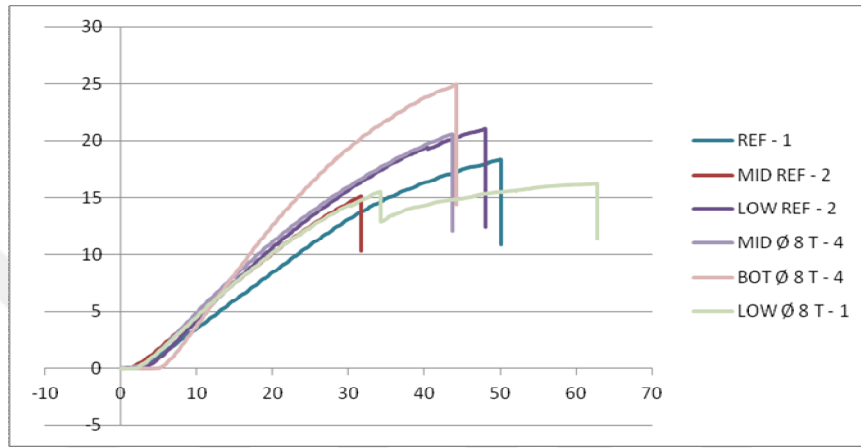
Çizelge 5.23 LOW  $\emptyset$  8 R-4/T-1, REF-1, MID REF-1, LOW REF-2 deney grafiği



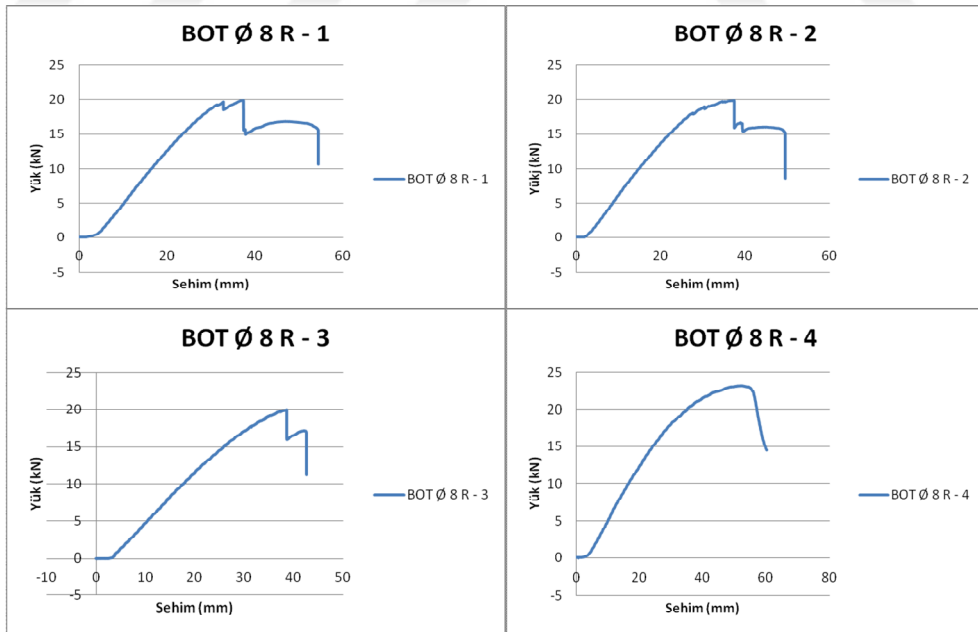
Yukarıdaki Çizelgelerde sonuçları görülebilen deneyler doğrultusunda söylenebilir ki, ahşap numunenin alt kısmına doğru yaklaşıldıkça numune kırılma tipi değişmekte ve numunelerin pratikte uygulandığı takdirde daha güvenli hale geldikleri görülmektedir.

Hem taşıma kapasitesi hem de sehim yapabilme kabiliyeti artan numuneler gelecek vadmeye başlamışlardır.

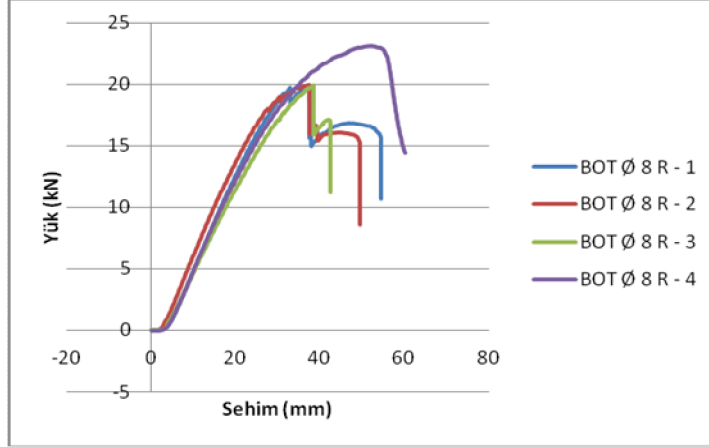
Çizelge 5.24 MID Ø T - 4, LOW Ø 8 T - 1, BOT Ø T - 4, REF-1, MID REF-2, LOW REF-2 deney grafiği



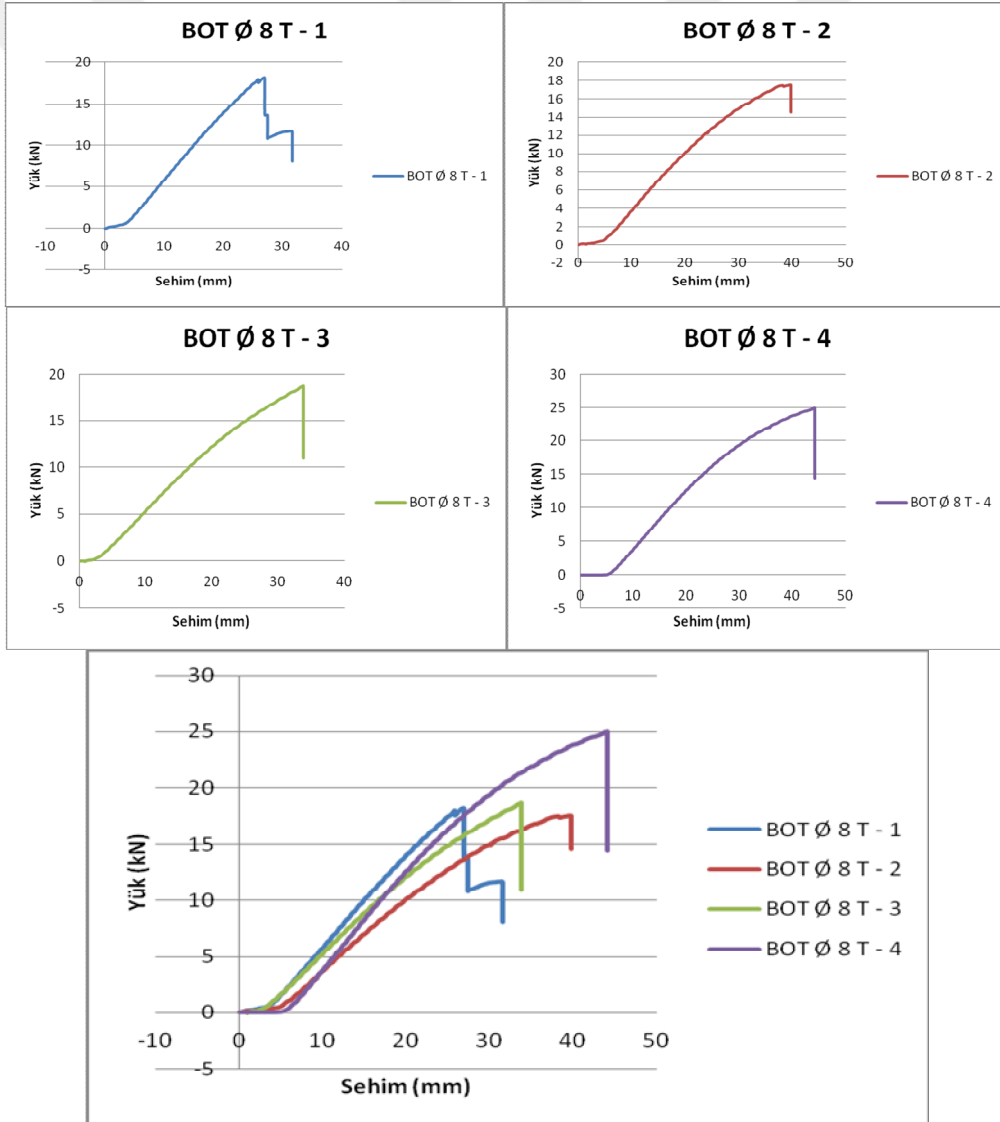
Çizelge 5.25 BOT Ø 8 R deney grafikleri



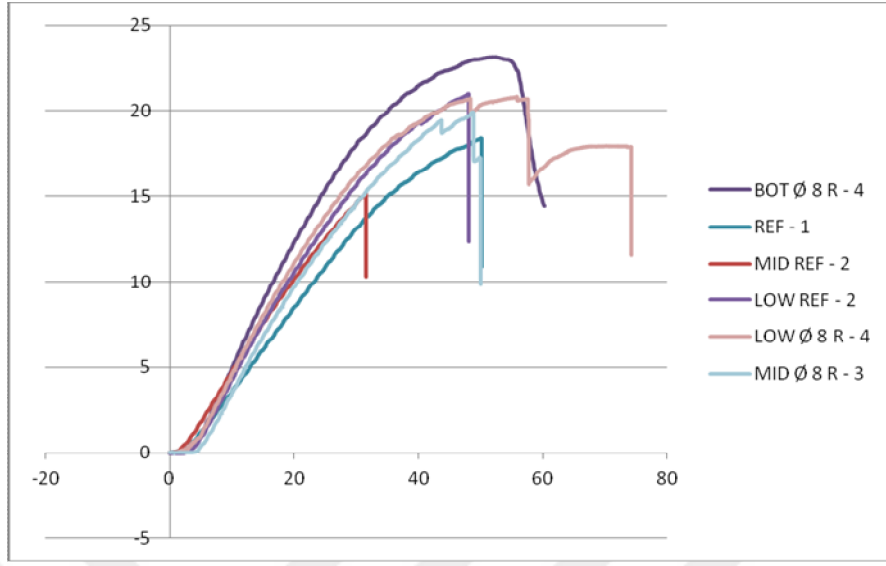
Çizelge 5.26 BOT Ø 8 R 1-2-3-4 süperpozisyon grafiği



Çizelge 5.27 BOT Ø 8 T deney grafikleri ve süperpozisyonları



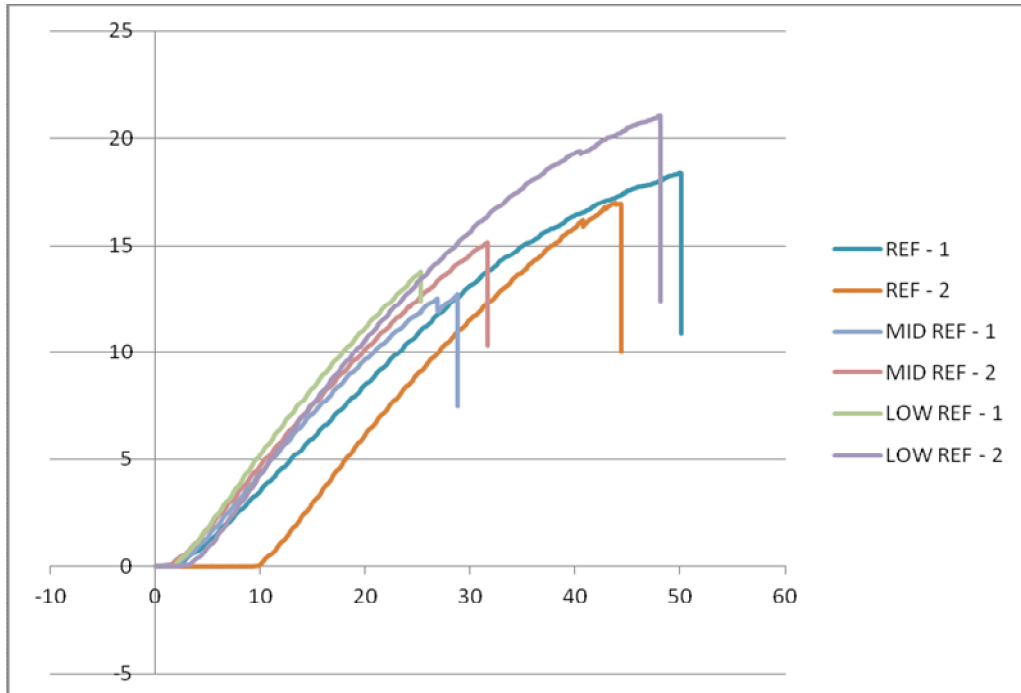
Çizelge 5.28 MID Ø 8 R - 3, LOW Ø 8 R - 4, BOT Ø 8 R - 4, REF-1, LOW REF-2, MID REF-2 deney süperpozisyon grafiği



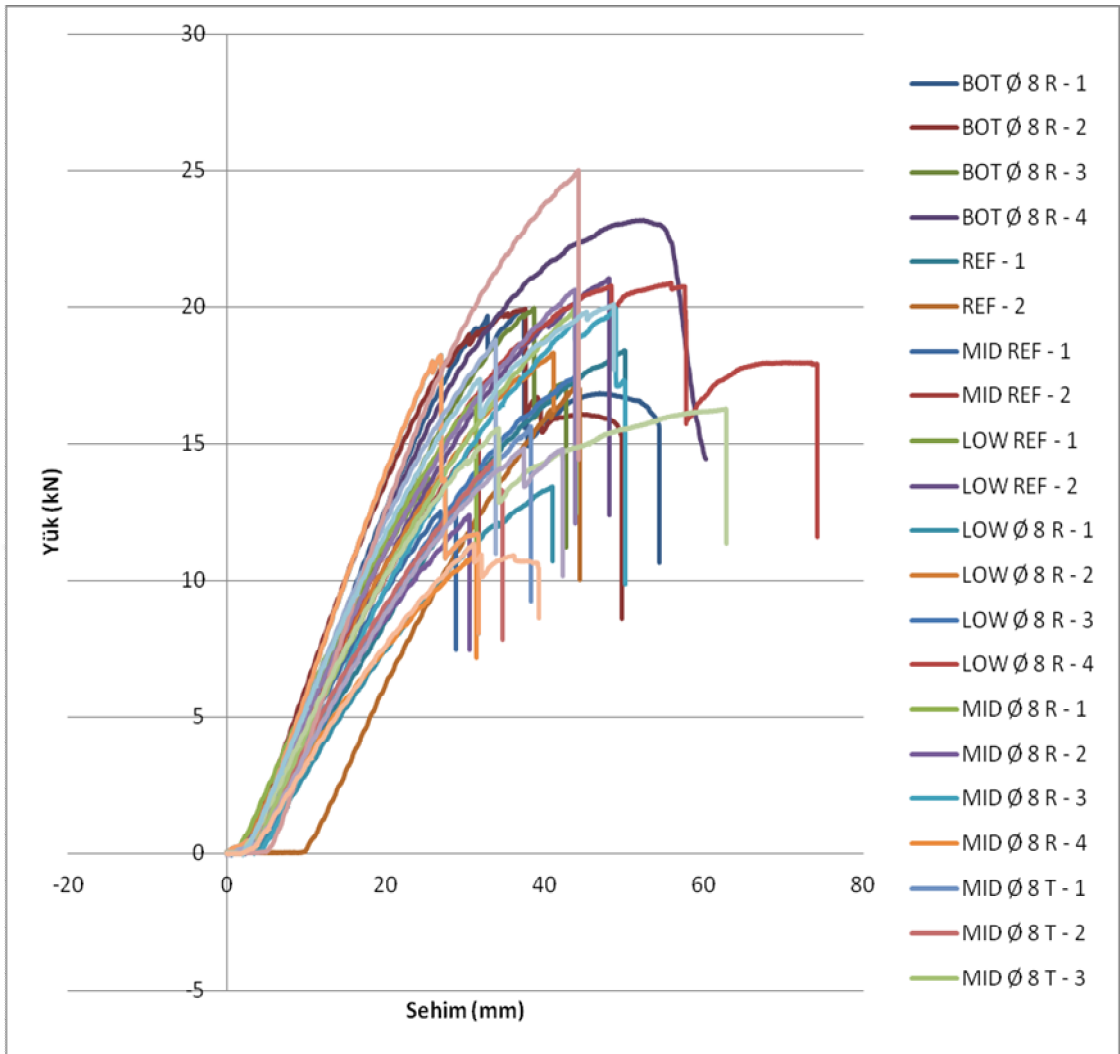
Yukarıda gözlemlenen, BOT deneyi sonuçlarından elde edilen grafiklerde görüldüğü üzere, BOT kodlu numuneler diğer numunelere kıyasla çok daha fazla kapasite artışı sağlamışlardır.

Bunun sebebi açıklık ortasında alt tarafta oluşan çekme gerilmesinin donatı tarafından karşılanıp, ahşap malzeme kesitinin asgari düzeyde bu etkiye maruz kalması ve taşıma gücünü tamamı ile artırmasıdır.

Çizelge 5.29 Referans numuneleri deney grafiği



Çizelge 5.30 Tüm dört noktalı eğilme deneylerinin grafiği



Çizelge 5.31 Tüm numunelerin taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

NUMUNE	ISIMLERI	MID REF 1	MID REF 2	LOW REF 1	LOW REF 2	REF 1	REF 2	MID Ø 8 T 1	MID Ø 8 T 2	MID Ø 8 T 3	MID Ø 8 T 4	MID Ø 8 R 1	MID Ø 8 R 2	MID Ø 8 R 3	MID Ø 8 R 4	LOW Ø 8 T 1	LOW Ø 8 T 2	LOW Ø 8 T 3	LOW Ø 8 T 4	LOW Ø 8 R 1	LOW Ø 8 R 2	LOW Ø 8 R 3	LOW Ø 8 R 4	BOT Ø 8 T 1	BOT Ø 8 T 2	BOT Ø 8 T 3	BOT Ø 8 T 4	BOT Ø 8 R 1	BOT Ø 8 R 2	BOT Ø 8 R 3	BOT Ø 8 R 4		
ISIMLERI	YUK (KN)	28.85161	31.61875	25.31063	48.10345	50.091	44.44467	38.18211	34.70287	43.9198	43.78173	31.39848	30.57477	50.05576	31.45153	62.85366	42.29623	48.69711	39.20838	40.96928	41.11846	43.92235	74.22005	31.65794	39.81695	33.87475	44.20821	54.47067	49.6404	42.63391	60.25632		
BOT Ø 8 R 1		54.47067	<b>1.887959</b>	<b>1.722733</b>	<b>2.1520867</b>	1.1323651	1.08743427	1.225583855	1.42660188	<b>1.56963012</b>	1.24023037	1.24414156	<b>1.73481869</b>	<b>1.78155617</b>	1.08819984	<b>1.7318925</b>	0.86662686	1.28783747	1.11856063	1.38926092	1.3295491	1.32472544	1.24015837	0.73390775	<b>1.720601</b>	1.368027	<b>1.608002</b>	1.232139	1.0973052	1.2776372	0.9039827		
BOT Ø 8 R 2		49.6404	<b>1.720542</b>	<b>1.569967</b>	<b>1.9612471</b>	1.0319509	0.991004372	1.116903332	1.30009578	1.43044077	1.13025105	1.13381541	<b>1.58098099</b>	<b>1.62357395</b>	0.99170205	<b>1.5783143</b>	0.7897774	1.17363652	1.01937055	1.26606608	1.2116493	1.20725338	1.13018543	0.66882736	<b>1.568024</b>	1.246715	1.46541	1.122877	0.9113235	1	1.1643408	0.8238206	
BOT Ø 8 R 3		42.63391	<b>1.477696</b>	<b>1.348374</b>	<b>1.6844271</b>	0.8862963	0.851129145	0.959258107	1.11659387	1.22854133	0.97072186	0.97378313	1.35783356	1.39441474	0.85172835	1.3555433	0.67830433	1.00798369	0.87549158	1.08736729	1.0406312	1.03685571	0.9706655	0.57442578	1.346705	1.070748	1.258575	0.964389	0.8262948	0.8588551	1	0.7075425	
BOT Ø 8 R 4		60.25632	<b>2.088491</b>	<b>1.905715</b>	<b>2.4886725</b>	1.2526403	1.202937055	1.35576032	<b>1.57812965</b>	<b>1.73634976</b>	1.37196253	1.37628915	<b>2.01908392</b>	<b>1.97078572</b>	1.20378394	<b>1.915847</b>	0.95867639	1.42462626	1.23736953	1.53682249	1.4707683	1.46543231	1.37188828	0.81186041	1.903356	<b>1.513333</b>	<b>1.778797</b>	1.363012	1.1062159	1.2138565	1.4133426	1	
BOT Ø 8 T 1		31.65794	<b>1.097268</b>	1.001239	1.2507765	0.658122	0.632008544	0.712300035	0.82913019	0.91225711	0.72081248	0.72308563	1.00826346	1.03542692	0.63245349	1.0065628	0.50367695	0.74848137	0.65009895	0.8074279	0.7727239	0.76992037	0.72077063	0.42654162	1	0.795087	0.934559	0.71611	0.5811924	0.6377455	0.7425531	0.5253879	
BOT Ø 8 T 2		39.81695	1.38006	1.259283	<b>1.5731315</b>	0.8277358	0.794892296	0.895876828	1.04281691	1.14736764	0.90658314	0.90944213	1.26811712	1.30228126	0.79545191	1.2659782	0.63348658	0.94138296	0.81764503	1.01552143	0.9718733	0.96834731	0.9065305	0.53647161	1.257724	1	1.175417	0.900669	0.7309796	0.8021078	0.9339268	0.6607929	
BOT Ø 8 T 3		33.87475	1.174103	1.07135	1.3383606	0.7042062	0.676264199	0.762178007	0.88718905	0.97613684	0.77128653	0.77371885	1.07886592	1.10793147	0.6767403	1.0770462	0.53894634	0.80089928	0.69562136	0.86396209	0.82383314	0.77124175	0.45640969	1.070024	0.850762	1	0.766255	0.6218897	0.6824028	0.7945495	0.5621775	1	
BOT Ø 8 T 4		44.20821	<b>1.532261</b>	1.398164	<b>1.7466262</b>	0.9190237	0.882557945	0.994679677	1.15782522	1.27390645	1.00656674	1.00974105	1.40797293	1.44590491	0.88317928	1.4055981	0.7033514	1.0452045	0.90781999	1.12751942	1.0790575	1.07514265	1.0065083	0.59563703	1.396434	1.110286	1.305049	1	0.8115966	0.8905692	1.036926	0.7336693	
LOW Ø 8 R 1		40.96928	1.42	1.295727	<b>1.618659</b>	0.8516911	0.817897027	0.921804122	1.07296675	1.18057325	0.93282028	0.93576202	1.3048173	1.33997018	0.81847284	1.3026164	0.65182012	0.96862723	0.84130824	1.04491132	1	0.99637195	0.93276612	0.55199747	1.294123	1.028941	1.209434	0.926735	0.7521347	0.8253213	0.9609553	0.6799167	
LOW Ø 8 R 2		41.11846	1.42517	1.300445	<b>1.624553</b>	0.8547923	0.820875207	0.925160655	1.07690382	1.18487703	0.93621692	0.93916937	1.30956849	1.34484936	0.82145312	1.3073596	0.65419357	0.92715426	0.84437167	1.0036413	1	0.93616257	0.55400744	1.298836	1.032687	1.213838	0.930109	0.7584374	0.8283265	0.9644544	0.6823925	1	
LOW Ø 8 R 3		43.92235	<b>1.522354</b>	1.389124	<b>1.7353322</b>	0.9130811	0.876851131	0.98824786	1.15033847	1.26566909	1.00005806	1.00321184	1.39886867	1.43655537	0.87746845	1.3965092	0.69880338	1.03844598	0.90194983	1.12022863	1.0720801	1.06819054	1	0.59178551	1.387404	1.103107	1.29661	0.993534	0.8063486	0.8848106	1.030221	0.7289252	
LOW Ø 8 R 4		74.22005	<b>2.572475</b>	<b>2.347343</b>	<b>2.9323668</b>	<b>1.5429257</b>	1.481704298	<b>1.66994265</b>	<b>1.9438436</b>	2.13872945	1.23872945	<b>1.68989954</b>	<b>1.69522881</b>	<b>2.36381029</b>	<b>2.42749332</b>	1.48274744	<b>2.3598232</b>	<b>1.18083895</b>	<b>1.75476751</b>	<b>1.52411611</b>	<b>1.89296395</b>	<b>1.8116025</b>	<b>1.80502991</b>	<b>1.68980143</b>	1	2.344437	<b>1.864032</b>	<b>2.191014</b>	1.678875	1.3625691	1.4951541	1.7408689	1.2317388
LOW Ø 8 T 1		62.85366	<b>2.178515</b>	1.98786	<b>2.483291</b>	1.3066352	1.254789483	1.414200173	<b>1.6461547</b>	1.81119487	1.43110078	1.4356139	<b>2.00180582</b>	<b>2.05573615</b>	1.25562787	1.9984293	1	1.48603457	1.29070616	<b>1.603067</b>	<b>1.5341656</b>	<b>1.52859956</b>	1.43101769	0.84685553	1.9854	<b>1.578655</b>	<b>1.855472</b>	1.421764	1.1538992	1.2661796	1.4742645	1.0431049	
LOW Ø 8 T 2		42.29623	1.465992	1.337695	<b>1.6710856</b>	0.8792764	0.844387814	0.951660345	1.10774994	1.21881072	0.9630333	0.96607032	1.3470789	1.38337034	0.84498228	1.3448068	0.67293185	1	0.86855729	1.07875485	1.0323889	1.02864334	0.96297739	0.56987606	1.336039	1.062267	1.248606	0.956751	0.7764955	0.8520526	0.9920795	0.7019385	
LOW Ø 8 T 3		48.69711	<b>1.687847</b>	<b>1.540134</b>	<b>1.9239786</b>	1.0123413	0.972172845	1.095679414	1.27539075	1.40325887	1.10877349	1.11227012	<b>1.55093845</b>	<b>1.59272204</b>	0.97285727	1.5483225	0.77476968	1.15133453	1	1.2420077	1.188625	1.18431259	1.10870912	0.65611799	<b>1.538257</b>	1.223025	1.437564	1.10154	0.8940061	0.9099975	1.1422154	0.808166	
LOW Ø 8 T 4		39.20838	1.358967	1.240036	<b>1.5490875</b>	0.8150846	0.872743008	0.882184073	1.02687829	1.12983105	0.89272674	0.89554204	1.24873497	1.28237694	0.78329407	1.2466287	0.62380425	0.92699648	0.80514799	1	0.957019	0.9535469	0.89267491	0.58227208	<b>1.238501</b>	0.984716	1.157451	0.886903	0.7198072	0.7899482	0.9196525	0.6506932	
MID Ø 8 R 1		31.39848	1.088275	0.993034	1.2405254	0.6527282	0.626828772	0.706462215	0.82233486	0.9047805	0.71490489	0.71715942	1	1.02694084	0.62727007	0.9983133	0.49954895	0.74234701	0.64477091	0.80081044	0.7663908	0.76361031	0.71486339	0.42304579	0.991804	0.788571	0.926899	0.710241	0.5764291	0.6325187	0.7364673	0.5210819	
MID Ø 8 R 2		30.57477	1.059725	0.966982	1.2079814	0.6356045	0.6103845	0.687928834	0.80076167	0.88104442	0.69615003	0.69834541	0.97376593	1	0.61081422	0.9721235	0.48644375	0.72287223	0.62785594	0.77980192	0.7462853	0.7435777	0.69610961	0.41194758	0.965785	0.767883	0.902583	0.691608	0.561307	0.6159251	0.7171468	0.5074118	
MID Ø 8 R 3		50.05576	<b>1.734938</b>	<b>1.583104</b>	<b>1.9776576</b>	1.0405857	0.99929648	1.125248884	1.31097417	1.44240981	1.13970829	1.14330247	<b>1.59422066</b>	<b>1.637159</b>	1	<b>1.5915207</b>	0.79638576	1.18345678	1.02790001	1.27665973	1.2217876	1.71354993	1.13964212	0.67442369	<b>1.581144</b>	1.257147	1.477672	1.132273	0.9189489	1.0083674	1.1740833	0.68207139	
MID Ø 8 R 4		31.45153	1.090114	0.994711	1.2426214	0.6538311	0.627887844	0.707655834	0.82372425	0.90630919	0.71611278	0.71837111	1.00168957	1.02867593	0.62832989	1	0.50039298	0.74360126	0.6458603	0.80216347	0.7676857	0.76490049	0.7160712	0.42376056	0.99348	0.789903	0.928465	0.711441	0.577403	0.6335874	0.7377116	0.5219623	
MID Ø 8 T 1		38.18211	1.323396	1.207578	<b>1.5085405</b>	0.7937499	0.762254896	0.859093115	1	1.10025799	0.86935983	0.87210145	1.21604963	1.24881103	0.76279153	1.2139985	0.60747632	0.90273081	0.78407343	0.97382524	0.9319693	0.92858804	0.86930936	0.51444448	1.206083	0.958941	1.127155	0.863688	0.7009664	0.7691741	0.8955808	0.6336315	
MID Ø 8 T 2		34.70287	1.202805	1.097541	1.3710789	0.7214216	0.69279651	0.780810612	0.90887774	1	0.7901418	0.79263359	1.10524044	1.13501655	0.69328425	1.1033762	0.55212171	0.82047194	0.71262689	0.88508209	0.8470461	0.8439973	0.79009593	0.46756732	1.096182	0.87156	1.024447	0.784987	0.6370928	0.6990852	0.8139734	0.5759208	
MID Ø 8 T 3		43.9198	<b>1.522265</b>	1.389043	<b>1.7352314</b>	0.9130281	0.876800224	0.988190485	1.15027168	1.26559561	1	1.0031536	1.39878746	1.43647197	0.8774175	1.3964281	0.69876281	1.03838569	0.90189746	1.1201636	1.0720179	1.0681285											

Çizelge 5.33 Tüm numune gruplarının ortalama taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

	MID REF	LOW REF	REF	MID Ø 8 R	MID Ø 8 T	LOW Ø 8 T	LOW Ø 8 R	BOT Ø 8 T	BOT Ø 8 R	
	30.23518	36.70704	47.267835	40.1466275	35.870135	48.263845	50.057535	37.3894625	51.750325	
BOT Ø 8 R	51.750325	<b>1.711593085</b>	<b>1.40982016</b>	1.09483172	<b>1.28903293</b>	<b>1.44271342</b>	1.07223792	1.03381689	<b>1.3840885</b>	1
BOT Ø 8 T	37.389463	1.236621131	1.018591052	0.7910128	0.93132262	1.04235634	0.77468885	0.74692976		1
LOW Ø 8 R	50.057535	<b>1.655605655</b>	<b>1.363703938</b>	1.05901899	1.24686775	<b>1.39552123</b>	1.03716426	1	<b>1.33881398</b>	0.96728929
LOW Ø 8 T	48.263845	<b>1.596281054</b>	<b>1.314838925</b>	1.02107162	1.20218927	<b>1.34551612</b>	1	0.96416743	<b>1.29084084</b>	0.93262883
MID Ø 8 R	35.870135	1.18637081	0.977200423	0.75886985	0.89347816	1	0.74320923	0.71657813	0.95936482	0.69313835
MID Ø 8 T	40.146628	<b>1.327811758</b>	1.093703755	0.84934348	1	1.11922153	0.83181577	0.80200968	1.07374177	0.77577537
REF	47.267835	<b>1.563338965</b>	<b>1.287704893</b>	1	1.17737997	<b>1.31774901</b>	0.97936323	0.94427013	<b>1.26420205</b>	0.91338238
LOW REF	36.70704	1.214050652	1	0.77657545	0.91432437	1.02333153	0.76054943	0.733297	0.98174827	0.70931033
MID REF	30.23518	1	0.823688862	0.63965654	0.7531188	0.84290678	0.6264561	0.60400857	0.80865511	0.58425102

Çizelge 5.34 Tüm numune gruplarının ortalama sehim kapasitelerinin karşılaştırılması

	MID REF	LOW REF	REF	MID Ø 8 R	MID Ø 8 T	LOW Ø 8 T	LOW Ø 8 R	BOT Ø 8 T	BOT Ø 8 R	
	13.93913603	17.39390491	17.7020887	17.648504	14.984226	15.6316923	17.5078118	19.8871678	20.7270037	
BOT Ø 8 R	20.727004	<b>1.486964731</b>	1.191624524	1.17087899	1.17443403	<b>1.38325488</b>	<b>1.32596032</b>	1.18387174	1.04223004	1
BOT Ø 8 T	19.887168	<b>1.426714519</b>	1.14334118	1.12343623	1.12684722	<b>1.32720687</b>	1.27223383	1.13590253	1	0.95948108
LOW Ø 8 R	17.507812	<b>1.256018435</b>	1.006548669	0.9890252	0.99202809	1.16841616	1.12002025	1	0.88035723	0.8446861
LOW Ø 8 T	15.631692	1.121424759	0.898687922	0.88304225	0.88572336	1.04320986	1	0.892841	0.78601903	0.75417038
MID Ø 8 R	14.984226	1.074975233	0.861464178	0.84646655	0.84903661	1	0.9585799	0.85585944	0.75346204	0.72293257
MID Ø 8 T	17.648504	<b>1.26611176</b>	1.014637262	0.99697298	1	1.17780552	1.12902069	1.00803597	0.88743175	0.85147397
REF	17.702089	<b>1.269955947</b>	1.017717919	1	1.00303621	1.18138159	1.13244864	1.01109658	0.89012618	0.85405923
LOW REF	17.393905	1.247846701	1	0.98259054	0.9855739	1.16081437	1.11273333	0.99349394	0.87462957	0.83919052
MID REF	13.939136	1	0.80138049	0.78742889	0.78981969	0.93025399	0.89172278	0.79616666	0.70091107	0.67251091

### ANALİTİK MODELİN DOĞRULANMASI

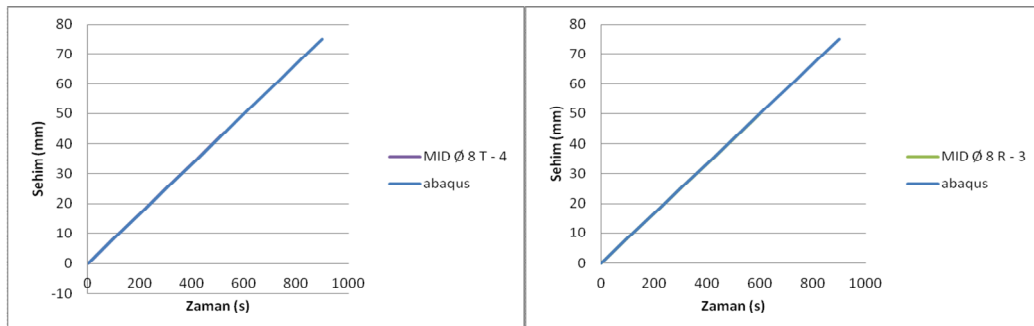
#### 6.1 Analitik Model Sonuçları

Numune boyutları ve yükleme stilleri doğrultusunda hazırlanan analitik modellerde yapılan çözümler doğrultusunda sonuçlar iki kademeli olarak elde edilmişlerdir. Bunlardan ilki, zaman-deplasman eğrisi olup, numuneler üzerinde yapılan deneylerde herhangi bir gecikme, deney cihazından veya numuneden kaynaklı bir sorunun gerçekleşip gerçekleşmediğini ölçmek üzere hazırlanmışlardır.

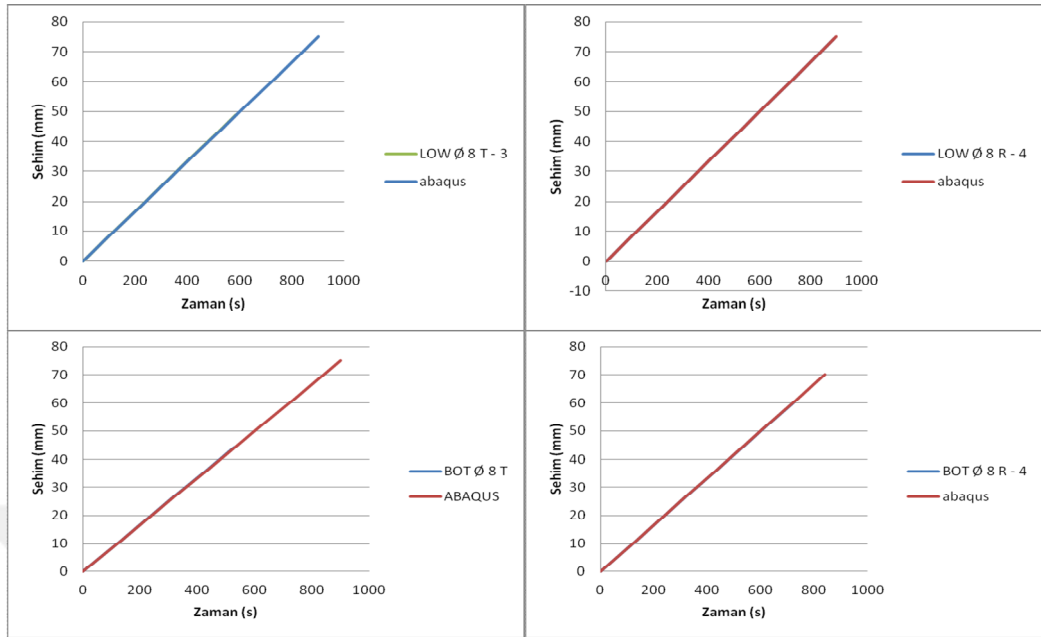
İkinci kademe ise sehim-yük etkisidir. ABAQUS verileri ile deney cihazından elde edilen veriler karşılaştırılmaktadır.

#### 6.2 Zaman - Deplasman İlişkisi

Çizelge 6.1 MID Ø 8 T ve MID Ø 8 R kodlu numune ve model karşılaştırılması



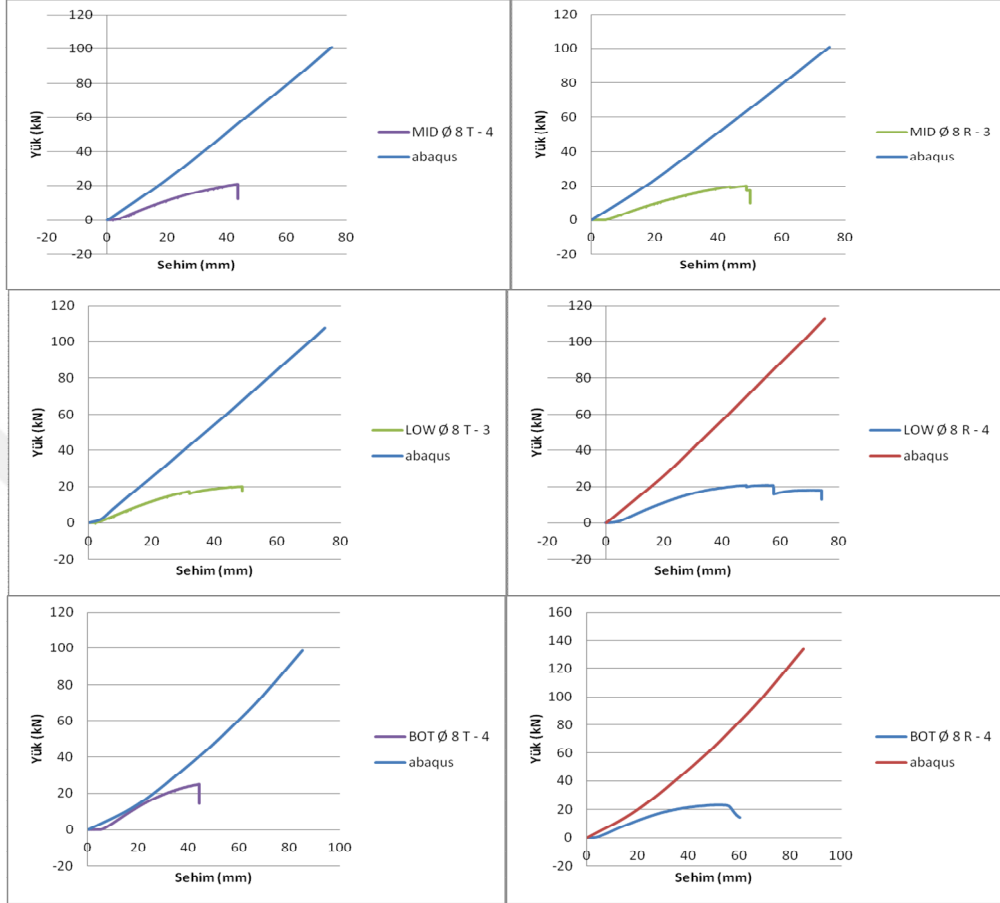
Çizelge 6.2 LOW Ø 8 T , OW Ø 8 T ,BOT Ø 8 T VE BOT Ø 8 R kodlu numune ve model karşılaştırılması



Yukarıdaki yer alan çizelgelerden de görüldüğü üzere, yapılan deneyler esnasında herhangi bir sorun olmadığı gözlemlenmekte ve deneyin sağlıklı bir şekilde tamamlandığı düşünülebilmektedir.

### 6.3 Deplasman - Yük İlişkisi

Çizelge 6.3 MID Ø 8 T, MID Ø 8 R, LOW Ø 8 T, LOW Ø 8 R, BOT Ø 8 T VE BOT Ø 8 R kodlu numune ve model karşılaştırılması



Yukarıdaki Çizelgelerde görüldüğü üzere, çekme deneylerinden elde edilen veriler ışığında hazırlanan abaqus modellerinde, numunelerin elastik bölgelerine kadar, deney cihazından elde edilen verilerle paralellik göstermektedir. Dolayısıyla modelin, deneylerle tutarlılık gösterdiği gözlenmektedir.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 7.1 Sonuç

Yapılan çalışmalar doğrultusunda görülmüştür ki, bilgisayar modelinin gerçeğe yakınsaması için bu model üzerinde çalışılması gereken süre artmakta ve spesifik çalışmalarda üretimi yapılacak sistemin deneyleri yapılmalıdır. Bunun yapılması da ancak ve ancak kullanılacak malzemelerin her bileşeninden bir numune üretilip deneylerinin ayrı ayrı yapılması ile sağlanabilecektir.

Bu çalışma kapsamında yapılan modelin analizinin, deney koşullarını göz önüne alarak yapılması durumunda sonuçlarının, deney esnasında numuneler plastik şekil değiştirme yapmaya başlamadan öncesine kadar -yani elastik bölgede- yüksek veri benzerliği ile çalıştığı gözlemlenmiştir.

Pull - out deneyleri esnasında gözlemlenmiştir ki, donatı nervürleri tutkal ile aderansı sağlamakta yeterli olmamaktadır. Bunun için tij benzeri dişli bir malzeme kullanılması ve deney olarak özel olarak seçilmiş -uzama oranı düşük- çelik malzemeler benzeri değil, daha yüksek şekil değiştirme kapasiteli - akma ve kopma anında daha fazla enerji yutabilen - elemanlar tercih edilmelidir.

Yapıştırıcı malzemenin kullanıldığı dört noktalı eğilme deneylerinde, bu etken yüzünden herhangi bir elverişsizliğe rastlanmamaktadır. Tekrar lamine edilmiş numunelerin taşıma kapasitelerindeki farklılık genellikle ahşap kusurlarından, çoğunlukla da budaklardan kaynaklanmıştır. Budaklar, bu çalışmada ahşap malzemenin taşıma gücüne karşı gelen en büyük antagonist olarak saptanmıştır.

Yapıştırıcı malzemenin dört noktalı eğilme deneyleri esnasında, numunenin şekil değiştirmesi karşısında, ahşap malzemeye göre çok daha gevrek bir malzeme olmasına rağmen, kırılma tipinde etkin bir rol oynamadığı görülmüştür. Bu durum da 1.2 mm uygulama kalınlığının bu şartlar altında herhangi bir elverişsizliğe yol açmadığının saptanmasına ve ayrıca yapıştırıcının ahşap malzeme veya çelik çubuklarla aderansının, bu deney şartlarında yeterli olduğunun görülmesini sağlamıştır.

Ahşap malzemenin üretimi esnasında kullanılan tekniklerden biri olan çapraz kamalı - finger joint - birleşim tipleri, deneyler esnasında herhangi bir elverişsizlik oluşturmamış, kırılma çizgileri bu bölgelerden geçerken herhangi bir farklılığa uğramamış ve numune bütünlüğünü (kusurların çizdiği sınırlar dahilinde) korumuştur.

Referans numuneleri, dört noktalı eğilme deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda, taşıma gücüne dayalı olarak farklılıklar göstermektedir. Yapıştırıcı uygulanmış olan alanı, tarafsız eksene en yakın olan MID REF numunelerinde en düşük taşıma gücü gözlemlenirken, en yüksek taşıma gücünün de REF numunelerinde olduğu gözlemlenmektedir. Sonuçların bu şekilde çıkmasının sebebi öncelikli olarak lif sürekliliğidir. Lif sürekliliği yüksek elemanlarda, örneğin : LOW REF ve REF, daha yüksek taşıma kapasitesi görülmektedir. Bunun sebebi betonarme bilgilerinde geçmekte olan yeniden dağılım kuralıdır.

Çelik bazlı elemanlar ile güçlendirilen numunelerde ise benzer bir durum söz konusudur. Deneylerin tasarlanması genel itibarı ile ahşabın taşıma gücüne ulaşip kırılması ve sonrasında çelik elemanın deformasyona uğrayıp akması üzerine kurulu olduğu için ahşap elemanın, bütünlüğü bozulmadığı kesitlerde daha yüksek taşıma kapasitesine eriştiği gözlemlenir(referans numunelerine göre).

Bu kapasite farklılıklarının oranları şu şekildedir:

- MID Ø 8 T numunelerinin taşıma kapasitesinde, REF numunelerine göre % 15 düşüş, LOW REF numunelerine göre %23 artış, MID REF numunelerine göre ise %33 artış gözlemlenmiştir.
- MID Ø 8 R numunelerinin taşıma kapasitesinde, REF numunelerine göre % 24 düşüş, LOW REF numunelerine göre %18 artış, MID REF numunelerine göre ise %18 artış gözlemlenmiştir.

- LOW Ø 8 T numunelerinin taşıma kapasitesinde, REF numunelerine göre % 2 artış, LOW REF numunelerine göre %48 artış, MID REF numunelerine göre ise %59 artış gözlemlenmiştir.
- LOW Ø 8 R numunelerinin taşıma kapasitesinde, REF numunelerine göre % 6 artış, LOW REF numunelerine göre %54 artış, MID REF numunelerine göre ise %65 artış gözlemlenmiştir.
- BOT Ø 8 T numunelerinin taşıma kapasitesinde, REF numunelerine göre % 21 düşüş, LOW REF numunelerine göre %15 artış, MID REF numunelerine göre ise %23 artış gözlemlenmiştir.
- BOT Ø 8 R numunelerinin taşıma kapasitesinde, REF numunelerine göre % 10 artış, LOW REF numunelerine göre %71 artış, MID REF numunelerine göre ise %60 artış gözlemlenmiştir.

Ayrıca çalışmanın performans artışına ek olarak, kesitlere getirdiği en büyük katkılardan biri kırılma tipidir. Güçlendirilmemiş ahşap kesitlerle, güçlendirilmiş ahşap kesitler arasında taşıma kapasitelerini tamamen kaybetmeleri ve göçme süreleri arasında büyük farklar vardır. Performansı artırılmış numunelerin aynı yükleme altında taşıma kapasitesini korumayı sürdürdüğü süreç esnasında davranış açısından bir fark gözlenmemektedir, fakat performansı artırılmış kesitler, yükleme devam ettiği takdirde ani ve gevrek bir kırılma davranışı sergilerlerken, performansı artırılmış kesitler kademeli olarak kırılmakta ve en son çelik elemanın akması ve kopmasıyla dayanımlarını kaybetmektedirler. Bu bilgi de, yapılan bu çalışma sonrasında elde edilen en önemli verilerden biridir.

## 7.2 Öneriler

Öncelikle, sonuçlardan elde edilen bilgilere dayanarak söylenebilir ki, bu uygulamanın yapılarda kullanılmasına ikna edecek en önemli veri, kesitlerin daha sünek bir kırılma davranışı göstermesidir.

Bu sistem, seri üretime geçildiği takdirde hem performans artışı açısından bir kazanç sağlayabilir hem de üretim sistemi ilerleyebilir. Örneğin; daha büyük kesitler için ve seri üretim için bir delici ile çalışırsa hem ahşap malzemenin liflerinin bütünlüğü korunmuş

olur ve dolayısıyla daha yüksek bir taşıma kapasitesine erişilir, hem de yapıştırıcı sarfiyatı (tekrar lamine edilmiş ahşap kesitlere nazaran) %60 oranında azaltılabilir.

Fakat görülen şudur ki, BOT kodlu kirişler, deney yapılmadan önce de öngörüldüğü üzere, taşıma kapasitesi en çok artırılabilmiş kirişlerdir. Bu şartlar altında tekrar lamine edecek veya delik delectek şekilde bir performans artışı planlaması yapmak, elde edilecek kazanımlar açısından daha makul bir seçenek gibi görünse de, ahşap bütünlüğünün bozulmadığı bir laminasyon işlemi uygulanmadığı için, bu durumun, öneriye karşın geçerliliği de bir tartışma konusu olarak kalacaktır.

Dört noktalı eğilme deneylerinde görüldüğü üzere güçlendirme elemanın taşıma kapasitesi de kırılma tipini ve taşıma gücünü belirleyen baskın bir unsurdur. Bu şartlar altında malzeme davranışı ahşap malzemesine yakın fakat dayanımı daha yüksek olan malzemelerin tercih edilmesi, üretilen sistemin kullanımı açısından son derece önemlidir.

- [1] Davis, G., (1997). "The performance of adhesive systems for structural timbers", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17: 247-255.
- [2] Negrão, J.H. Brito, L.D. Dias, A.G. Júnior, C.C. ve Lahr, F.R., (2016). "Numerical and experimental study of small-scale moment-resistant reinforced concrete joints for timber frames", *Construction and Building Materials*, 118: 89-103.
- [3] Serrano, E., (2001). "Glued-in rods for timber structures—a 3D model and finite element parameter studies", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 21: 115-127.
- [4] 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.
- [5] Borri, A. ve Corradi, M., (2011). "Strengthening of timber beams with high strength steel cords", *Composites Part B: Engineering*, 42: 1480-1491.
- [6] Harvey, K. ve Ansell, M.P., (2003). *Improved timber connections using bonded-in GFRP rods: University of Bath*.
- [7] Tlustochowicz, G. Serrano, E. ve Steiger, R., (2011). "State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods", *Materials and structures*, 44: 997-1020.
- [8] Broughton, J. ve Hutchinson, A., (2001). "Pull-out behaviour of steel rods bonded into timber", *Materials and structures*, 34: 100-109.
- [9] Custódio, J. Broughton, J. ve Cruz, H., (2012). "Rehabilitation of timber structures: novel test method to assess the durability of bonded-in rod connections", *Materials and structures*, 45: 199-221.
- [10] De Lorenzis, L. Scialpi, V. ve La Tegola, A., (2005). "Analytical and experimental study on bonded-in CFRP bars in glulam timber", *Composites Part B: Engineering*, 36: 279-289.
- [11] Steiger, R. Gehri, E. ve Widmann, R., (2007). "Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam parallel to the grain", *Materials and structures*, 40: 69-78.

- [12] Chans, M.O. Cimadevila, J.E. Gutiérrez, E.M. ve Rodríguez, J.V., (2010). "Influence of timber density on the axial strength of joints made with glued-in steel rods: An experimental approach", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30: 380-385.
- [13] Adam, M. Lühring, A. Popp, M. Fecht, S. ve Vallée, T., (2016). "Pre-applicable structural adhesives for timber engineering: Glued-in G-FRP rods", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 67: 121-127.
- [14] Broughton, J. ve Hutchinson, A., (2001). "Effect of timber moisture content on bonded-in rods", *Construction and Building Materials*, 15: 17-25.
- [15] Steiger, R. Serrano, E. Stepinac, M. Rajčić, V. O'Neill, C. McPolin, D. ve Widmann, R., (2015). "Strengthening of timber structures with glued-in rods", *Construction and Building Materials*, 97: 90-105.
- [16] Yeboah, D. Taylor, S. McPolin, D. Gilfillan, R. ve Gilbert, S., (2011). "Behaviour of joints with bonded-in steel bars loaded parallel to the grain of timber elements", *Construction and Building Materials*, 25: 2312-2317.
- [17] De Luca, V. ve Marano, C., (2012). "Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars", *Construction and Building Materials*, 30: 206-217.
- [18] Bainbridge, R. Mettem, C. Harvey, K. ve Ansell, M., (2002). "Bonded-in rod connections for timber structures—development of design methods and test observations", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22: 47-59.
- [19] Ling, Z. Liu, W. Lam, F. Yang, H. ve Lu, W., (2015). "Bond Behavior between Softwood Glulam and Epoxy Bonded-In Threaded Steel Rod", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28: 06015011.
- [21] Duman, N., Öktem, S., (1988). *Ahşap Yapı Dersleri:1, 2. Baskı*, YEM Yayınevi, İstanbul.
- [22] Günay, R., (2002). *Geleneksel ahşap yapılar: sorunları ve çözüm yolları,1*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [23] Duman, N. (1964). *Tutkallı Ahşap Yapılar,1*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- [20] Kocataşkın, P.D.F., (1973). *Yapı Malzemesi Dersleri: İstanbul Teknik Üniversite Matbaası - Gümüşsuyu*, İstanbul.
- [24] Sarıbiyık, M. AKGUL, T. APAY, A. ve Sarıbiyık, A., (2009). "Bending Analysis of Timber Connection Strengthen with Glass Fiber Reinforced Plastic", 2009:43-49.
- [25] Mirov, N.T. ve Hasbrouck, J., (1976). *The story of pines: Indiana University Press*.
- [26] Türkçü, Ç., (2000). *Yapım*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [27] Erkoç, E., (2004). *Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama- Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- [28] TSE, (1979). TS 647 Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı, Ankara.
- [29] Yalınkılıç, B. (1998) Enhancement of the biological resistance of wood by phenylboronic acid treatment." Journal of wood science 44.2,152-157.
- [30] Panshin, A., (1980). Carl. de Zeeuw. Text book of wood technology, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [31] Willeitner, H. ve Liese, W., (1992). "Wood protection in tropical countries", A manual on the know-how. GTZ Schriftenreihe.
- [32] Sheard, L., (1988). "Ahşap Malzemenin Korunmasında Geçerli Uygulama ve Araştırmalar, Ahşap Malzemenin Korunması", MPM Yayınları, 338: 24-33.
- [33] 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.
- [34] Wright, G., ((2000)). " Ancient Building Technology I-II-III.", Leiden, Boston: Köln: Brill.
- [35] 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.
- [36] 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", Earthquake Spectra, 30: 1711-1732.
- [37] Akgül, T., (2013). CCB Nano Partiküllerle Güçlendirilmiş Ahşap Yapı Elemanlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi: T.C. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [38] Chapelot, J., (2007). "Le donjon de Vincennes livre son histoire", Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- [39] Berktaş, İ., (1995). Betonarme I: Yapım Matbaası, İstanbul.
- [40] Morena, J.J., (1988). Advanced composite mold making: Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- [41] May, C., (1987). Epoxy resins: chemistry and technology: CRC press, Florida.
- [42] Association(GLTA), G.L.T., . "Introducing Glulam", [http://www.glulam.co.uk/introducingGlulam\\_specificationhints.htm#top](http://www.glulam.co.uk/introducingGlulam_specificationhints.htm#top). 5 Ağustos 2016.
- [43] Odabaşı, Y., (1992). Ahşap ve çelik yapı elemanları, 2. Baskı, Beta Basım, İstanbul.
- [44] Avlar, E., (2004). Ahşap Malzeme Notları , Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [45] BSEN:14080, (2013). BS EN 14080:2013 Timber structures — Glued laminated timber and glued solid timber — Requirements.European Committee for Standardization, Brussels.

- [46] SİKA "Sikadur 330 Product Data Sheet", [http://tur.sika.com/dms/getdocument.get/07abc4e7-1f75-30c9-9d03-ce50aa044a81/dur\\_330\\_TR\\_23082006.pdf](http://tur.sika.com/dms/getdocument.get/07abc4e7-1f75-30c9-9d03-ce50aa044a81/dur_330_TR_23082006.pdf) , 23 Ağustos 2008.
- [47] Instron, "Dinamik ve Yorulma Testleri için 8800 Kontrol Üniteleri", <http://www.instron.com.tr/tr-tr/products/testing-systems/dynamic-and-fatigue-systems/8800-upgrade> 10 Eylül 2016.
- [48] ISO, (2009). ISO 8375:2009 Edition 2 Timber structures. Glued laminated timber. Test methods for determination of physical and mechanical properties, Geneva.
- [48] BSEN:14358, (2016). BS EN 14358 : 2016 Timber structures — Calculation and verification of characteristic values, BSI Standards Publication, London.
- [50] Ünal, Ö., (2000). Yapı Malzemesi Ders Notları, Kocatepe Üniversitesi: Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [51] Simulia, (2009). "ABAQUS 6.9 User Documentation, Internet Manual", <http://abaqusdoc.ucalgary.ca/v6.9/books/usb/default.htm>, 13 Eylül 2016.

# AHŞAP SERTİFİKALARI



**EC-CERTIFICATE OF CONFORMITY**

**1359 - CPD - 0006**

In compliance with the Directive 89/106/EEC of the Council of European Communities of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to the construction products (Construction Products Directive - CPD), amended by the Directive 93/68/EEC of the Council of European Communities of 22 July 1993, it has been stated that the construction product

**Glued laminated timber**  
corresponding to the product specification listed on the back slide  
placed on the market by

**Mosser Leimholz GmbH**  
Fohlenhof 2  
A-3263 Randegg  
and produced in the factory

**Fohlenhof 2 und Perwarth 88, A-3263 Randegg**

is submitted by the manufacturer to a factory production control and to the further testing of samples taken at the factory in accordance with a prescribed test plan and that the notified body - HOLZFORSCHUNG AUSTRIA - has performed the initial type-testing for the relevant characteristics of the product, the initial inspection of the factory and of the factory production control and performs the continuous surveillance, assessment and approval of the factory production control.

This certificate attests that all provisions concerning the attestation of conformity and the performances described in the Annex ZA of the standard

**EN 14080:2005**

were applied and that the product fulfils all the prescribed requirements.

This certificate was first issued on 12.12.2006 and remains valid as long as the conditions laid down in the harmonised technical specification in reference or the manufacturing conditions in the factory or the FPC itself are not modified significantly.

Vienna, 07.09.2009



DI M. Spatt  
Authorised Signatory



DI S. Czernitzian  
Head of Certification Body

Akkreditierte Zertifizierungsstelle der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung  
 HOLZCERT AUSTRIA, A-1030 Wien, Franz Grill-Straße 7  
 ZVR: 45039322  
 Tel: +43-1-796 65 45-0, Fax: +43-1-796 26 23-55, E-Mail: hca@holzcerters.at, Homepage: www.holzcert.at



## Declaration of performance

No.: DOP-MO-BSH-001

- Unique identification code of the product type: **Glulam in acc. with EN 14080:2005**
- Type, batch or serial number or another mark for identification of the construction product in accordance with Article 11 Para. 4 BauPV:  
The production date and batch number can be found in the component identification.
- Envisaged purpose of use of the construction product in accordance with the harmonised technical specification:  
**Buildings and bridges**
- Name, registered trade name or mark and address of the manufacturer in accordance with Article 11 Para. 5 BauPV:  
**Mosser Leimholz Gesellschaft mbH**  
Fohlenhof 2  
3263 Randegg  
Austria
- System for the evaluation and verification of the constancy of performance in accordance with Appendix V of the BauPV:  
**System 1**
- If the construction project is regulated via a harmonised standard:  
The notified body Holzcert Austria No.: 1359 proceeded with the ascertainment of the product type on the basis of a preliminary examination, the first inspection of the plant and in-house production control and ongoing surveillance, assessment and evaluation of in-house production control with regard to bonding strength and combustion behaviour and has issued a certificate of conformity with EU certificate of conformity no. 1359-CPD-0006.

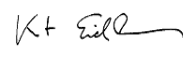
7. Declared performance:

Essential features	Performance	Harmonized technical specification
Elasticity module	GL 24h, GL 24c, GL 28h, GL 28c,	EN 14080:2005
Bending strength	GL 32h, GL 32c in accordance with EN 1194	
Compressive strength	Assignment of the wood supplied to strength classes can be found in the accompanying documentation.	
Tensile strength	The respective product dimensions can be found in the accompanying documentation.	
Shearing strength		
Bonding strength	Glue type I in acc. with EN 301 Glulam joints in acc. with EN 1194 Glued joints in acc. with EN 385	
Durability	Natural durability to fungus infestation: Spruce: durability class 4 in acc. with EN 350-2	
Combustion behaviour	D=2, d0 in acc. with EN 14080 Appendix E	
Emission of hazardous substances	Formaldehyde emission class E 1 in acc. with EN 14080	

8. The product performance in accordance with numbers 1 and 2 conforms to the declared performances in accordance with number 7. The manufacturer is solely responsible for the drafting of this declaration of performance in accordance with number 4.

Signed on behalf of the manufacturer:

Dipl. Ing Kurt Eichhorn, Quality Assurance



Randegg, 1. 7. 2013

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** :Özgün Furkan SARAL  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :14/11/1991 , Bakırköy/İstanbul  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : ozgunfsaral@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Pertevniyal Anadolu Lisesi	2009

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010 - Hala	2A Mühendislik	Proje ve Saha Mühendisi

## **YAYINLARI**

### **Bildiri**

Saral, Ö., (2016), Yatay ahşap elemanların çelik bazlı çubuk elemanlar ile güçlendirilmesi , 1. Ahşap Endüstrisi Sempozyumu, 24 Ekim 2016, İstanbul

