



**YAPIŞMA YÜZEYİ ANKRAJLI AHŞAP-AHŞAP BAĞLANTILARIN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Ayşegül ÖZDEN ACEHAN

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

Ayşegül ÖZDEN ACEHAN tarafından hazırlanan “YAPIŞMA YÜZEYİ ANKRAJLI AHŞAP-AHŞAP BAĞLANTILARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

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

Başkan: Prof. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Akdeniz Üniversitesi

.....

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

Üye: Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

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

Tez Savunma Tarihi: 12/01/2021

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

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ayşegül ÖZDEN ACEHAN

12/01/2021

YAPIŞMA YÜZEYİ ANKRAJLI AHŞAP-AHŞAP BAĞLANTILARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşegül ÖZDEN ACEHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan elde edilen 20 mm kalınlığındaki ve 100 mm genişliğindeki ahşap lameller kullanılarak birbirlerine yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile bağlanmış olan, kenetlenme uzunlukları 180, 250 ve 350 mm olarak değişim gösteren ahşap bağlantı bölgelerinin, eksenel çekme yükü etkisi altındaki genel yük deplasman davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Ahşap yapılar ve yapı elemanlarında yapıştırıcı ve mekanik bağlantı elemanları ile bir araya getirilmiş birleşim bölgelerinin genel yük-deplasman davranışı, kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları yapısal sistemin kapasitesi ve göçme mekanizmaları üzerinde son derece etkilidir. Ahşap-ahşap bağlantı bölgelerinin davranışları malzemenin mekanik özelliklerine, yapısına ve türüne göre çok büyük oranda değişim gösteren farklı kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışları sergileyen, incelenmesi gerekli olan önemli bir konudur. Ahşap yapı elemanlarının yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile birleştirilmesi durumunda genel yük-deplasman davranışlarının, bağlantı bölgesindeki gerilme dağılımları ile kayma gerilmesi - kayma deplasmanı davranışlarının incelendiği kapsamlı bir deneysel çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma planlanmıştır. Bu çalışma kapsamında birbirlerine yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile bağlanmış olan, kenetlenme uzunlukları 180, 250 ve 350 mm olarak değişim gösteren ahşap bağlantı bölgelerinin, eksenel çekme yükü etkisi altındaki genel yük deplasman davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında birleşim bölgesinde kullanılan mekanik ankraj sayısı ve yerleşiminin değişim göstermesinin, genel yük-deplasman davranışı ve kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışları üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Bilim Kodu : 91109

Anahtar Kelimeler : Ahşap bağlantı, ankraj, gerilme dağılımı, gerilme-kayma deplasmanı

Sayfa Adedi : 65

Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADHESIVE SURFACE ANCHORED WOODEN-WOODEN CONNECTIONS

(M. Sc. Thesis)

Ayşegül ÖZDEN ACEHAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2021

ABSTRACT

In this study, using 20 mm thick and 100 mm wide wooden coverslips obtained from *Pinus sylvestris* L. bonded to each other with glue and glue together with mechanical anchors, wooden connection areas, whose clamping lengths vary between 180, 250 and 350 mm, general load displacement behaviors under the influence of tensile load were investigated experimentally. The general load-displacement behavior, shear stress-shear displacement behavior of the junction areas combined with glue and mechanical fasteners in wooden structures and building elements are highly effective on the capacity of the structural system and the collapsing mechanisms. Behavior of timber to timber connection areas is an important subject that needs to be examined, exhibiting different shear stress-shear displacement behaviors, which vary greatly depending on the mechanical properties, structure and type of the material. In the case of combining wooden building elements with mechanical anchors with glue and glue, a comprehensive experimental study examining the general load-displacement behaviors, stress distributions in the bond region and shear stress-slip displacement behaviors has not been found in the literature. Therefore, an experimental study is planned. Within the scope of this study, general load displacement behaviors of under the influence of axial tensile loads are investigated experimentally, which are connected to each other with glue and glue together with mechanical anchors and whose clamping lengths vary between 180, 250 and 350 mm. In addition, the effects of changing the number and location of the mechanical anchors used in the junction area on the general load-displacement behavior and shear stress-slip displacement behaviors were also investigated.

Science Code : 91109

Key Words : Wooden connection, anchor, stress distribution, stress-shear displacement

Page Number : 65

Supervisor : Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde, planlanmasında ve çalışmanın yürütülmesinde her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Özgür ANIL'a çalışma süresince göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bütün öğrenim hayatım boyunca aynı heyecanı yaşayan maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım annem ve babama, çalışmam boyunca bana göstermiş olduğu sabır, anlayış ve destek için sevgili eşim Dr. Muhammed Safa ACEHAN'a ve gelişiyile hayatımızı anlamlandıran canım oğlum Arif Musa'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	19
3.1. Deney Elemanları.....	19
3.2. Deneyde Kullanılan Yapıştırıcı Özellikleri	24
3.3. Deney Elemanlarının Hazırlanışı.....	26
3.4. Deney Düzeneği.....	29
4. DENEYLER	31
4.1. Ankraj Kullanılmadan L=180, 250 ve 350 mm	31
4.2. Tek Sıra Tek Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm.....	34
4.3. Tek Sıra İki Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm.....	36
4.4. İki Sıra Tek Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm.....	39
4.5. Tek Sıra Üç Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm	41
4.6. İki Sıra İkişer Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm.....	44
4.7. İki Sıra Üçer Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm	46
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	49
6. SONUÇLAR.....	61

Sayfa

KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sarı çam malzemesinin mekanik özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Deney elemanlarının özellikleri.....	22
Çizelge 3.3. Poliüretan yapıştırıcının teknik özellikleri.....	25
Çizelge 5.1. Deney elemanları test sonuçları.....	50
Çizelge 5.2. 180,250 ve 350 mm de maksimum taşıma gücü karşılaştırmaları.....	51
Çizelge 5.3. 180.250 ve 350 mm de maksimum kesme gerilmesi karşılaştırmaları....	52
Çizelge 5.4. 180,250 ve 350 mm de max. yük düzeyindeki kayma deplasmanı karşılaştırmaları.....	53
Çizelge 5.5. 180,250 ve 350 mm de max. kayma deplasmanı karşılaştırmaları.....	54
Çizelge 5.6. 180,250 ve 350 mm de max. birim şekil değiştirme karşılaştırmaları.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Lu ve arkadaşları tarafından 2005 yılında geliştirilen kayma gerilmesi- kayma deplasmanı modeli.....	15
Şekil 2.2. Mertoğlu ve arkadaşları tarafından 2016 yılında geliştirilen kayma gerilmesi- kayma deplasmanı modeli	16
Şekil 2.3. Tez çalışmasında önerilen kesme gerilmesi-kayma deplasmanı malzeme modeli	17
Şekil 3.1. Deney elemanlarının geometrik boyutları (mm)	20
Şekil 4.1. Numune 1 deney elemanının geometrik boyutları.....	31
Şekil 4.2. Numune 2 ve 3 deney elemanlarının geometrik boyutları.....	32
Şekil 4.3. Numune 1,2 ve 3 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	33
Şekil 4.4. Numune 1,2 ve 3 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi.....	33
Şekil 4.5. Numune 4,5,6 deney elemanlarının geometrik boyutları	34
Şekil 4.6. Numune 4,5 ve 6 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	35
Şekil 4.7. Numune 4,5 ve 6 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi.....	36
Şekil 4.8. Numune 7 deney elemanının geometrik boyutları.....	36
Şekil 4.9. Numune 8 ve 9 deney elemanlarının geometrik boyutları.....	37
Şekil 4.10. Numune 7,8 ve 9 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	38
Şekil 4.11. Numune 7,8 ve 9 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi...	38
Şekil 4.12. Numune 10,11 ve 12 deney elemanlarının geometrik boyutları.....	39
Şekil 4.13. Numune 10,11 ve 12 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	40
Şekil 4.14. Numune 10,11 ve 12 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi	41
Şekil 4.15. Numune 13 deney elemanının geometrik boyutları.....	41
Şekil 4.16. Numune 14 ve 15 deney elemanlarının geometrik boyutları.....	42
Şekil 4.17. Numune 13,14 ve 15 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	43

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Numune 13,14 ve 15 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi.....	43
Şekil 4.19. Numune 16,17 ve 18 deney elemanlarının geometrik boyutları.....	44
Şekil 4.20. Numune 16,17 ve 18 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	45
Şekil 4.21. Numune 16,17 ve 18 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi.....	46
Şekil 4.22. Numune 19 deney elemanının geometrik boyutları.....	46
Şekil 4.23. Numune 20 ve 21 deney elemanlarının geometrik boyutları.....	47
Şekil 4.24. Numune 19,20 ve 21 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri	48
Şekil 4.25. Numune 19,20 ve 21 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi.....	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Fuar alanı inşaatı.....	8
Resim 2.2. Laminasyonlu ahşap kirişlerle yapılmış fuar alanı	8
Resim 2.3. Eagle River Köprüsü, Michigan (24m x 11m)	9
Resim 2.4. Michigan’da bulunan 163m çapında, 44m yüksekliğindeki Superior Dome’ın dışı.....	10
Resim 2.5. Michigan’da bulunan 163m çapında, 44m yüksekliğindeki Superior Dome’ın içi.....	10
Resim 3.1. Birleştirme yapılan lameller	26
Resim 3.2. Lamellerin düz en birleştirme yapılan bölgelerine U çivi çakılması	27
Resim 3.3. Lamine ahşap yapı elemanlarının preslenmesi	27
Resim 3.4. Eğilme mukavemeti tayini için kullanılacak numunelerin daire testerede en ölçülendirilmesi.....	28
Resim 3.5. Liflere paralel basınç mukavemeti tayini için kullanılacak numunelerin daire testerede en ölçülendirilmesi.....	28
Resim 3.6. Eğilme mukavemeti ve liflere paralel basınç mukavemeti tayini için kullanılacak numunelerin daire testerede boy ölçülendirilmesi.....	28
Resim 4.1. Numune 1,2 ve 3’ün göçme mekanizmaları	32
Resim 4.2. Numune 4,5 ve 6’nın göçme mekanizmaları	35
Resim 4.3. Numune 7,8 ve 9’un göçme mekanizmaları	37
Resim 4.4. Numune 10,11 ve 12’nin göçme mekanizmaları	40
Resim 4.5. Numune 13,14 ve 15’in göçme mekanizmaları	42
Resim 4.6. Numune 16,17 ve 18’in göçme mekanizmaları	45
Resim 4.7. Numune 19,20 ve 21’in göçme mekanizmaları	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
F_t	Feet
İn	İnch
P_k	Yoğunluk
ρ₁₂	Yoğunluk
β_r	Radyal yönde daralma yüzdesi
β_t	Teğet yönde daralma yüzdesi
β_v	Hacimsel Daralma yüzdesi
E_{0,mean}	Elastisite Modülü
G_{mean}	Kayma Modülü
f_{m,k}	Eğilme Direnci
f_{t,0,k}	Gerilme Direnci
f_{c,0,k}	Basınç Dayanımı

Kısaltmalar	Açıklamalar
LAK	Lamine Ahşap Kiriş
LVDT	Elektronik Deplasman Ölçer
M10	10 mm Çapındaki Bulon
Mpa	Megapaskal
Pa	Paskal

1. GİRİŞ

En eski yapı malzemelerinden birisi olan ahşap, canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli, heterojen ve anizotrop bir yapıya sahip organik esaslı bir yapı malzemesidir. Ahşap, doğayla tamamen uyumlu olan ve geri dönüşümü kolay olan, diğer yapı elemanlarına nazaran yoğunluğuna oranla mukavemeti oldukça iyi olan, diğer yapı malzemeleriyle uyumlu ve doğru kullanıldığında çok uzun ömürlü olabilen sürdürülebilir bir malzemedir (Çalışkan, Meriç ve Yüncüler, 2019).

Ahşap; çatı elemanları, doğrama ve kaplama malzemesi, kalıp ve iskelelerde taşıyıcı ve dekoratif malzeme olarak kullanılmaktadır. Ahşap malzemesi depreme dayanımı yüksek bir yapı elemanıdır. Olumsuz hava koşulları ile kimyasal faktörlere kadar birçok etkilere maruz kaldığında bile mukavemetinde azalmanın yavaş olması ahşabı yapı elemanı olarak kullanımında önemli hale getirebilmektedir (Çalışkan, Meriç ve Yüncüler, 2019). Ancak, ahşabın zayıf yangın dayanımı, su etkisinde şişme ve büzülme özellikleri ve her türün farklı yoğunlukta olmasından dolayı fiziksel, mekanik, kimyasal ve diğer teknolojik özelliklerinin farklılık göstermesi ve çürümeye karşı çok dayanıklı olmaması gibi istenmeyen özellikleri bulunmaktadır. Yapısı homojen değildir, anizotrop bir malzemedir. Her nokta ve doğrultudaki statik özellikleri eşit değildir. Lifli yapısı nedeniyle lif doğrultusunda basınç ve çekme dayanımı yüksek, diğer doğrultularda daha düşüktür. Hesaplamalarda buna dikkat edilmelidir (Çalışkan, Meriç ve Yüncüler, 2019).

Ahşap-ahşap bağlantı noktalarında aderansı arttırmak ve bağlantı noktasının taşıma gücü ile genel yük-deplasman davranışlarını iyileştirmek amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemlerinin kullanılması haricinde, uygulanan tekniklerden biri de bağlantı bölgesinde birleşimi sağlamak için sadece yapıştırıcı kullanmanın yanında ek olarak bu bölgede ankraj gibi ek bağlantı elemanlarının kullanılmasıdır. Bu bağlantı bölgesinde çivi, vida veya mekanik ankraj benzeri bağlantı elemanlarının kullanılmasının bağlantının taşıma gücü, genel yük-deplasman davranışı, bağlantı bölgesi boyunca meydana gelen gerilme dağılımı ve kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları üzerinde ne ölçüde etkili olduğu incelenmesi gerekli olan, bu konudaki literatüre katkı sağlayacağı düşünülen önemli bir konudur.

Ahşap yapılar ve yapı elemanlarında yapıştırıcı ve mekanik bağlantı elemanları ile bir araya getirilmiş birleşim bölgelerinin genel yük-deplasman davranışı, kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları yapısal sistemin kapasitesi ve göçme mekanizmaları üzerinde son derece etkilidir. Ahşap ahşap bağlantı bölgelerinin davranışları malzemenin mekanik özelliklerine, yapısına ve türüne göre çok büyük oranda değişim gösteren farklı kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışları sergileyen, incelenmesi gerekli olan önemli bir konudur. Ahşap yapı elemanlarının yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile birleştirilmesi durumunda genel yük-deplasman davranışlarının, bağlantı bölgesindeki gerilme dağılımları ile kayma gerilmesi - kayma deplasmanı davranışlarının incelendiği kapsamlı bir deneysel çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma planlanmıştır. Bu çalışma kapsamında birbirlerine yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile bağlanmış olan, kenetlenme uzunlukları 180, 250 ve 350 mm olarak değişim gösteren ahşap bağlantı bölgelerinin, eksenel çekme yükü etkisi altındaki genel yük deplasman davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında birleşim bölgesinde kullanılan mekanik ankraj sayısı ve yerleşiminin değişim göstermesinin, genel yük-deplasman davranışı ve kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışları üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Deneysel çalışmada incelenen değişkenler ahşap-ahşap bağlantı noktasında sadece yapıştırıcı ile bağlantı yapılması ve bağlantı bölgesinde yapıştırıcıya ek olarak mekanik çelik dubeller ile bağlantının gerçekleştirilmesi, bağlantı bölgesi uzunluğu, bağlantıda kullanılan ankraj sayısı ve yerleşim düzenidir. Çalışma kapsamında toplam 21 adet ahşap-ahşap bağlantı noktası geliştirilen özel bir eksenel çekme test düzeneği kullanılarak test edilmiştir (Mertoğlu, Anıl, ve Durucan, 2016). Deneysel çalışma sonucunda ahşap-ahşap bağlantı noktalarının genel yük-deplasman davranışı, bağlantı bölgesi boyunca gerilme dağılımları, kayma gerilmesi-kayma deplasmanı modelleri elde edilmiş ve incelenen değişkenlerin bu sonuçlar üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Yapılan literatür taramasında ahşap-ahşap yapışma yüzeylerinde ve özellikle mekanik dubeller ile birlikte yapıştırılmış yüzeylerde sonlu elemanlar bilgisayar modellerinde kullanılabilecek, genelleştirilmiş bir yapışma yüzeyi kayma gerilmesi-kayma deplasmanı modeline rastlanmamıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen ankrajsız ve ankrajlı kayma gerilmesi- kayma deplasman (bond-slip) modellerinin araştırmanın bu konudaki literatüre önemli katkı sağlayabilecek yenilikçi bir yönü olduğu düşünülmektedir. Tez kapsamında yürütülen çalışma daha kapsamlı bir projenin bir bölümünü olup, projenin tamamlanması sonrasında

sadece yapıştırıcı ile birleştirilen ve yapıştırıcı haricinde değişik sayıda ve düzende mekanik ankrajlar ile bağlanan ahşap-ahşap bağlantı bölgelerinin kayma gerilmesi-kayma deplasmanı malzeme modelinin oluşturulması ve geliştirilmiş bir ara yüzey bağlantı malzeme modelinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece sonlu eleman analizlerinde bu türdeki ahşap ahşap bağlantı bölgelerinin modellenmesi için kullanılabilecek geliştirilmiş bir malzeme modelinin elde edilmesinin bu konudaki literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ahşap, her zaman mevcut, bol ve doğal kaynaklardan biri olmuştur ve kullanılan en eski yapı malzemelerinden biridir. Bu materyal kiriş, kolon, kafes kirişler ve kazık gibi yapı sistemlerinde kullanılır (Kermani, 1999).

Ahşap yapılar, son yıllarda canlanmış ve popüleritesi artmıştır, bu pozitif trend birkaç faktörün kombinasyonu ile ilişkilidir. İlk olarak ahşap esaslı yapısal ürünler sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynaklar oldukları için mineral bazlı (örn: çelik ve beton) yapı malzemelerine kıyasla daha az kirlilik üretir. İkincisi, ahşap yapı elemanları yapı dışında hazırlanır binanın bulunduğu yere nakledilir ve orada hızla birleştirilir. Son olarak ahşabın yüksek mukavemet/ağırlık oranı binaların toplam kütlelerini sınırladığı için sismik eğilimli bölgelerde yapı yapılmasında harika bir avantajdır (Izzi ve diğerleri, 2018).

Ahşap, kolay işlenebilmesi, ağaç türüne bağlı olarak değişiklik gösteren odun rengi ve lif yapısı sayesinde oluşan estetik özellikleri, mükemmel termal ve ses yalıtımı sağlaması ve diğer malzemelere kıyasla bazı uygulamalar için daha iyi dayanım özelliklerine sahip olması yanında, yüksek dayanım/ağırlık oranının olması nedenleriyle yüzyıllardır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kermani, 1999).

Bilindiği gibi ağaç malzeme, ilk çağlardan beri kullanım sayısı gitgide artarak insanların hizmetine sunulmaktadır. Odun hammaddesinin insan yaşamı alanında binlerce kullanım yeri olduğu bilinmektedir. Günümüzde, artan nüfusa paralel olarak ağaç malzemeden elde edilen ürünlerin tüketimi de artmıştır. Bu sonuç beraberinde odun hammaddesine duyulan gereksinimi artırmış ve sektörde bu soruna ilişkin birçok arayışlar ortaya çıkmıştır. Bunlardan biride masif ağaç malzeme yerine kullanılabilecek lamine ağaç malzemelerin üretimidir (Karayılmazlar ve diğerleri, 2008).

Masif ağaç malzemeden üretilen yapı elemanlarının boyutları sınırlıdır. Fakat, laminasyon yöntemi ile istenilen boyutlarda üretim yapılabilir. Çok değişik stillerde ve sınırsız formda çalışma olanağı verir. Laminasyonda kullanılan ağaç malzemeler ince ve küçük boyutlu olduğundan, doğal yöntemle ekonomik olarak kurutulabilmektedir. Büyük boyutlu ağaç malzemelerin doğal olarak kurutulması kısa sürede yapılamadığından ek bir

kurutma maliyeti gerektirir. Özellikle kavisli elemanlarda, kritik yükün meydana geldiği kesitlerde boyutlar diğer taraflara göre daha büyük yapılabilmektedir. Daha az direnç gerektiren yapısal elemanların iç katlarında teknolojik değeri düşük ağaç malzeme kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. Uygulanan en boy birleştirme yöntemleri ile çok kısa boylarda ki ağaç malzemenin değerlendirilmesine olanak sağlandığından fire oranı azalmaktadır. Ayrıca, ağaç malzemenin bünyesinde bulunan kusurlarından temizlenerek kullanılmasını sağlar. Yapıştırıcı olarak kullanılan tutkalın su itici özelliği ve katların düzenlenmesinde ağaç malzemedeki yıllık halka konumlarının iç gerilmeleri dengeleyecek şekilde tasnif edilmesi, lamine ağaç malzemenin aynı cins mono blok ağaç malzemedenden daha az çalışmasına neden olmaktadır (Şenay, 1996).

Düz kirişler genellikle kendisini oluşturan tabakanın yatık yada dikine olarak yerleştirilmesi ile imal edilmektedir. Özellikle kullanım yerinde yapılması zor ve ekonomik olmayan makas, kolon gibi birden çok elemandan oluşan birleşik yapı elemanları, üretim yerinde monte edilebilir (Snogren, 1974). Güzel biçim verilebilmesi, estetik olması, bakımının kolaylığı, montaj süresinin kısalığı nedeni ile laminasyonlu ahşap kirişler birçok yerde kullanılmakta olup, en yaygın kullanım alanları aşağıda sıralanmış bulunmaktadır (Karayılmazlar ve diğerleri, 2008).

- a. Köprü inşası, hipodrom, gemi kısımları,
- b. Ahşap evlerin iç taşıyıcı elemanlarında,
- c. Ahşap evlerin merdiven, tavan, duvar ve yer döşemelerinde,
- ç. Okul, cami, alışveriş merkezi gibi yapılar,
- d. Spor salonları, kapalı yüzme havuzu, kapalı tribün yapıları,
- e. Büyük depo ve hangar yapımı, fabrika binaları,
- f. Sinema, tiyatro, konser, teşhir ve gösteri salonlarının iç mekanlarında,
- g. Konut, otel, bahçe mobilyası, pergola yapımı,
- ğ. Kapı, pencere, pervaz ve lambri üretiminde,
- h. Vagon ve karavanların duvar, tavan ve yer döşemelerinde,
- ı. Hava ve deniz ulaşım araçlarının iç mekanlarında,
- i. Doğrama profili olarak, k. Çatı malzemesi,
- l. Özellikle kullanım yerinde yapılması zor ve ekonomik olmayan makas, kolon gibi yerlerde laminasyonlu ahşap kirişler ideal kullanım yeri olarak değerlendirilmektedir (Karayılmazlar ve diğerleri, 2008).

Ahşap lamine elemanlar iki ya da daha fazla katın tutkallanarak ve katların lif yönleri birbirine paralel yada dik gelecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir. Lif yönlerinin paralel gelecek şekilde düzenlenmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer, üretilen ahşap lamine eleman kavisli ise katların lif yönlerinin paralel olarak uygulanması zorunluluğu vardır. Laminasyon da farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir (Kurtoğlu, Zorlu, ve Chugg, 1979). Diğer bir tanımlamada, Glulam olarak bilinen tutkallanmış lamine kereste, lif yönleri paralel olacak şekilde genelde 19-50 mm kalınlığında en az dört kerestenin birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapısal bir malzeme olarak ifade edilmektedir (Kermani, 1999).

Ahşap lamine elemanlar kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı şekilde adlandırılmaktadırlar. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lamine ahşabın (kiriş, kolon, kemer vb.) üretiminde 25,4 mm ile 50,8 mm arasındaki kalınlıklarda masif ağaç malzeme kullanılmakta ve bu özelliklerdeki lamine ağaç malzeme “GLULAM (Glued Laminated Timber) yada MİCROLAM” olarak adlandırılmaktadır (Hoyle & Woste, 1989).

Hafif olmasına karşılık yeterli dirence sahip olması ve temele az yük vermesi nedeniyle ağaç malzeme büyük oranda kullanılmaktadır. Çatıda LAK’ ların şu gibi kullanım yerleri bulunmaktadır. Mertek, Aşık (Mahya,Damlalık), Gergi, Baba, Bırakma Kirişi, Göğüsleme, Kuşak, Yastık, Dikme gibi çeşitli isimlerle değerlendirilmektedir. Uygulaması için; çivi, vida, bulon ve tutkal gibi birleştirme elemanları yada geçmeler kullanılır. Bu amaçla masif ahşap (yapıştırılmış) da değerlendirilebilir. Gerek asma ve gerekse oturtma çatılarda ahşap güvenle kullanılmaktadır. Ayrıca kafes sistemlerde de ahşabın değerlendirilmesi söz konusudur. Çoğunlukla kullanılan ağaç türü göknar, kayın, meşe, dişbudak, gürgen, ceviz ve sedirdir (Snogren, 1974).



Resim 2.1. Fuar alanı inşaatı (Karayılmazlar ve diğerleri, 2008)

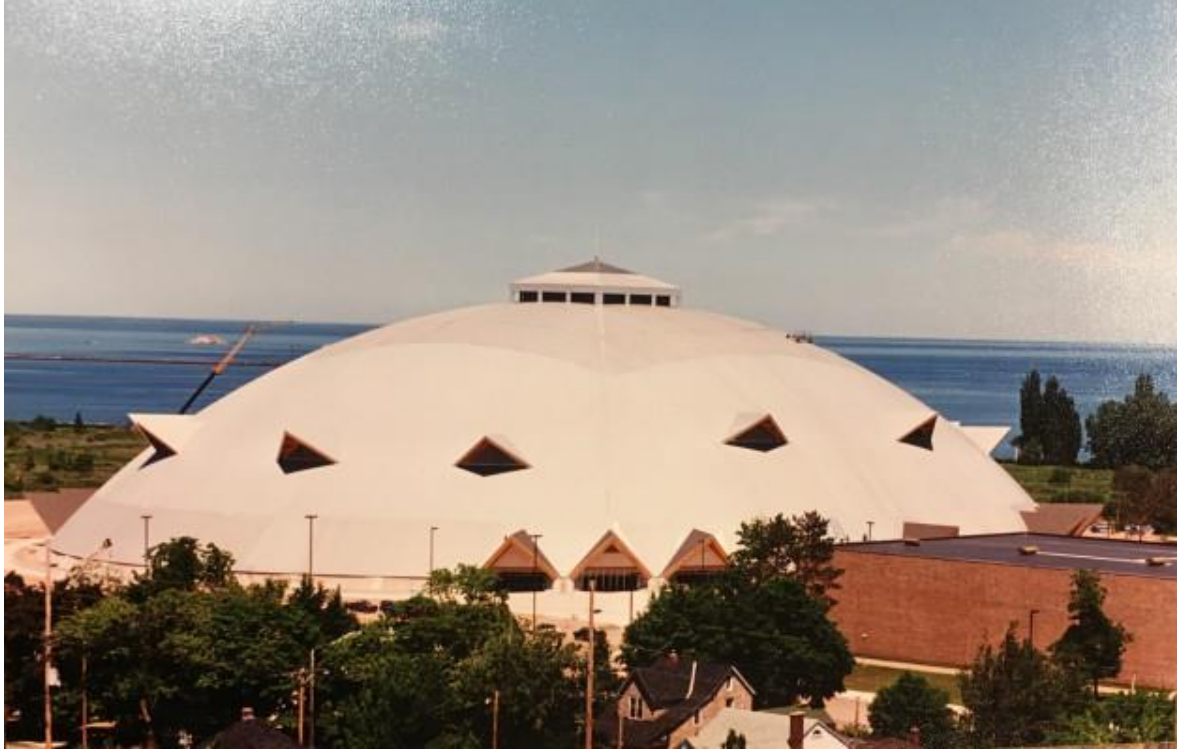


Resim 2.2. Laminasyonlu ahşap kirişlerle yapılmış fuar alanı (Karayılmazlar ve diğerleri, 2008).

Tutkallanmış lamine keresteler çok çeşitli şekil, boyut ve düzenlerde imal edilebilir. Düz prizmatik kesitlere ek olarak, kirişler tek konik, çift konik ve kaçık merkezli mahyalar gibi çeşitli düzenlerde üretilebilir. Kavisli şekiller, basit eğri bir kirişten, eğimli ve konik kavisli kirişe, karmaşık bir kemer yapısı aralığında değişmektedir (APA, 2008). Resim 2.3'te eğimli bir şekilde imal edilen tutkallanmış lamine kereste köprü uygulaması görülmektedir. Resim 2.4 ve 2.5'te Amerika Birleşik Devletleri'nin Michigan kentinde bulunan 163m çapında 44m yüksekliğindeki dünyanın en büyük ahşap kubbesi olan "Superior Dome", görülmektedir.



Resim 2.3. Eagle River Köprüsü, Michigan (24m x 11m) (Wikipedia, 2020)



Resim 2.4. Michigan’da bulunan 163m çapında, 44m yüksekliğindeki Superior Dome’ın dışı (Compton)



Resim 2.5. Michigan’da bulunan 163m çapında, 44m yüksekliğindeki Superior Dome’ın içi (Compton)

Tutkallanmış lamine kerestelerin, biçilmiş kerestelere göre üstünlükleri aşağıdaki gibidir:

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

2) Büyük kesitler: Tutkallanmış lamine keresteler, biçilmiş kerestelerle yapılabileceklerden büyük kesit katsayısı ve atalet momenti ile monte edilebilir. Bakir ormanların yok olmasıyla, büyük biçilmiş kereste bulmak gittikçe zorlaşmaktadır (Stalnaker ve Harris, 1999).

3) Daha uzun açıklıklar: Yukarıdaki iki faktör sayesinde daha uzun açıklıkların geçilmesi mümkündür. Örneğin, tutkallanmış lamine keresteler kullanılarak 500 ft uzunlukta 1818 açıklığa sahip kemerli çatı konstrüksiyonları inşa edilmektedir (Stalnaker ve Harris, 1999).

4) Şekil değişikliğinin engellenmesi ve kontrolü: Büyük biçilmiş kerestelerde hemen hemen her zaman ciddi çatlaklar oluşur. Bunlar büyük ölçüde düzensiz kurutmanın sonucu olarak iç gerilimlerden meydana gelir. Büyük biçilmiş keresteler, özellikle burulma şeklinde eğilme eğilimindedir. Tutkallanmış lamine kerestenin, katmanları genel olarak 2 in nominal kalınlıktadır, böylece oldukça homojen kurutulabilir. Düz kalma ve küçük çatlaklara sahip olma eğilimindedirler. Montajlanan ahşap yapı elemanında, tek bir laminasyon tek başına şekil değiştiremez, böylece her bir laminasyonun yüzeyi yapıştırılmış olduğu şekliyle kalır (Stalnaker ve Harris, 1999).

5) Şekil çeşitliliği: Tutkallanmış lamine keresteler, mimari olarak çekici yapılar yapılmasını mümkün kılan birçok şekilde üretilebilir. Konik kirişler, eğri kirişler, kemerler ve rijit kafeslerin tamamını yapmak mümkündür. Tutkallanmış lamine keresteler geliştirilinceye kadar, bu şekiller sadece yapısal çelikler veya güçlendirilmiş betonlar ile mümkündür (Stalnaker ve Harris, 1999).

6) Farklılaşan kesit özellikleri: Derinliği konikleşmesiyle veya laminasyonda kullanılan malzemenin sınıfının değişmesiyle nihai eleman dayanım gereksinimlerine göre uzunluk boyunca değişim gösteren dayanım kapasitesi verebilir (Stalnaker ve Harris, 1999).

7) Sehim: Yalnız ölü yük altında, kiriş sakıncalı olarak eğilebilir. Biçilmiş kerestede bunu düzeltebilecek bir şey yapılamaz. Ancak tutkallanmış lamine kerestelerde, yapıştırma öncesi laminasyonları bükme montaj sırasında basit bir konudur, böylece sonuçta oluşan kiriş tam ölü yük uygulandığında beklenen aşağı doğru eğilmeyi dengelemek için hafif yukarı doğru büküme sahiptir (Stalnaker ve Harris, 1999).

8) Yanma dayanımı: Büyük tutkallanmış lamine kereste elemanların yanma derecesi, ağır biçilmiş keresteninkine eşittir, diğer malzemelerine de eşit veya genellikle daha üstündür. Çoğu elemanlarının nominal kalınlığı 2 inç olan tutkallanmış lamine kereste elemanların yangına dayanıklılığı, geleneksel çerçeve konstrüksiyondan çok daha fazladır (Stalnaker ve Harris, 1999).

9) Ekonomi: Yapısal çelik veya betonarme benzer elemanlardan, tutkallanmış lamine kereste elemanlar genellikle daha ekonomiktir. Tutkallanmış lamine keresteler, biçilmiş kerestelerden (gerekli ölçülerde kereste mevcutsa) daha pahalı olabilir, ancak tutkallanmış lamine kerestelerin diğer avantajları genellikle ilk maliyetinden daha önemli olmaktadır. Belirli bir yapı için, tabi ki, taşıma maliyeti, montaj maliyeti ve yangına dayanıklı malzeme ihtiyacı gibi faktörlerden etkilenen cevap karşılaştırmalı tasarımlar ile elde edilmelidir (Stalnaker ve Harris, 1999).

10) Montaj esnasında bu şekilde eğik veya eğrisel düzlemlerin daha kolay bir şekilde inşa edilmesi mümkün olmaktadır (Stalnaker ve Harris, 1999).

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

biri, gerilme dağılımının, ağırlığı azaltmayı mümkün kılan diğer geleneksel birleştirme yöntemlerinden daha homojen olmasıdır (Silva, Öchsner, ve Adams, 2011). Bununla birlikte, yapışkan bağlantılarda bile gerilme dağılımı mükemmel bir şekilde homojen değildir ve bu, iyileştirmeler için yer bırakır. Yapışkan bağlantıların en büyük düşmanı soyulma veya yarıma gerilmeleridir. Güçlü bağlantılar tasarlanacaksa, bunlar azaltılmalıdır (Silva, Öchsner, ve Adams, 2011). Hibrit yapıştırma-tutturma, eş zamanlı yapıştırma ve yapıştırıcıların mekanik olarak sabitlenmesinden oluşan alternatif bir birleştirme tekniğidir. (Kobyé Bodjona, 2016) Hibrit birleştirme aynı zamanda yapışkan bağlantıların mukavemetini geliştirme imkanıdır ve yapıştırıcılar örneğin perçin veya cıvatalarla birlikte kullanılabilir (Silva, Öchsner, ve Adams, 2011).

Cıvatalı veya bağlı bir bağlantı analizi durumunda kapsamlı hesaplamaları hafifletmek için, hem cıvatalı hem de bağlanmış bindirmeli bağlantılarda gerilim alanını tahmin etmek için yarı analitik yöntemler mevcuttur. Cıvatalı bağlantı analizleri için geliştirilen araçlar laminatlarda iki boyutlu gerilim alanı ile sınırlıyken, bağlanmış bağlantı analizi için yarı analitik çözüm araçları üç boyutlu deformasyonları içerir ancak ince plaka teorisi ile sınırlıdır (Barut ve Madenci, 2009).

Literatürde yapılan incelemelerde ahşap yapışma yüzeylerinde aderansı artırarak, yapı elemanlarının dayanım ve davranışlarını iyileştirmek için farklı güçlendirme tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara rastlanmıştır. Bu tür yapısal elemanların başında Glulam kirişler gelmektedir (Sena-Cruz et al., 2013; Tran et al., 2015; Dietsch and Tannert, 2015, Weidong et al., 2015; Fosetti et al., 2015; Raftery and Rodd, 2015; Raftery and Harte, 2013, Yang et al., 2016a, Haiman et al., 2010; Ansari et al., 2017; Ansari et al., 2012; Yang et al., 2016b). Ahşap-ahşap bağlantı noktalarında aderansı artırmak ve bağlantı noktasının taşıma gücü ile genel yük-deplasman davranışlarını iyileştirmek amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemlerinin kullanılması haricinde, uygulanan tekniklerden biri de bağlantı bölgesinde birleşimi sağlamak için sadece yapıştırıcı kullanmak yerine ek olarak bu bölgede ankraj gibi ek bağlantı elemanlarının kullanılmasıdır. Bu bağlantı bölgesinde çivi, vida veya mekanik ankraj benzeri bağlantı elemanlarının kullanılmasının bağlantının taşıma gücü, genel yük-deplasman davranışı, bağlantı bölgesi boyunca meydana gelen gerilme dağılımı ve kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları üzerinde ne ölçüde etkili olduğu incelenmesi gerekli olan, bu konudaki literatüre katkı sağlayacağı düşünülen önemli bir konudur.

Lu ve arkadaşları, 2005 yılında yürüttükleri çalışmalarında beton yüzey ile ankrajsız CFRP şeritler arasındaki kayma gerilmesi-kayma deplasmanı ara yüzey malzeme modeli hakkında bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen ankrajsız CFRP şeritler ile beton yüzey arasında kullanılabilecek malzeme modeli daha sonra yaygın bir şekilde kabul görmüş ve 2014 yılından sonra ANSYS ve ABAQUS sonlu elemanlar yazılımlarının içeriğine dahil edilerek kullanılmaya devam etmiştir. Ankrajsız CFRP şeritler için Lu ve arkadaşları tarafından geliştirilen ara yüzey malzeme modeli Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu model bi-lineer (çift doğrulu) bir malzeme modeli olup, CFRP şerite etki eden eksenel kuvvet etkisiyle CFRP şerit belirli bir düzeye kadar kayma gerilmesi taşımaya devam etmekte ve CFRP şerit ile beton yüzey arasındaki kayma gerilmesi değeri belirli bir değere ulaştıktan sonra CFRP şerit yüzeyden soyularak (debonding) aniden bir kapasite düşmesi meydana gelerek kayma gerilmesi değeri sıfıra kadar düşmektedir. Lu ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışma sonucunda elde ettikleri kayma gerilmesi-kayma deplasmanı malzeme modeli için geliştirdikleri eşitlikler, denklem 1 ile denklem 6 arasında verilmiştir.

$$\tau_{max} = 1.5\beta_w f_t \quad (2.1)$$

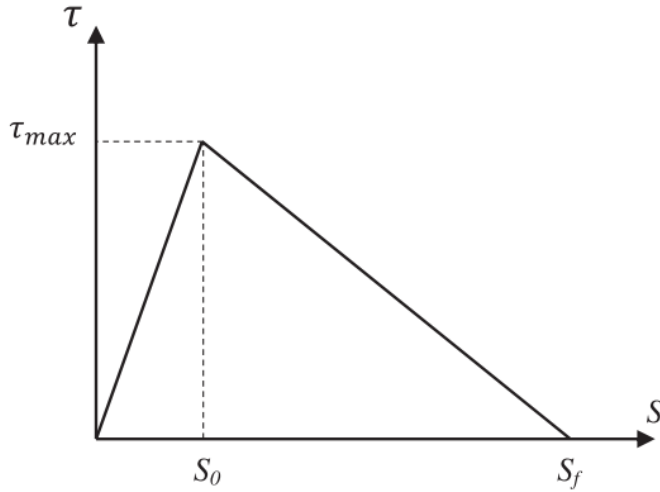
$$G_f = 0.308\beta_w^2 \sqrt{f_t} \quad (2.2)$$

$$s_0 = 0.0195\beta_w f_t \quad (2.3)$$

$$s_f = 2 G_f / \tau_{max} \quad (2.4)$$

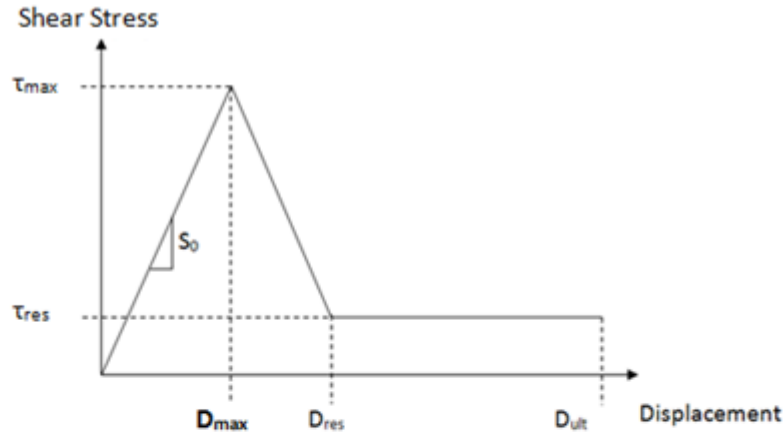
$$\beta_w = \sqrt{\frac{(2.25 - b_f/b_c)}{(1.25 + b_f/b_c)}} \quad (2.5)$$

$$f_t = 0.33\sqrt{f_c} \quad (2.6)$$



Şekil 2.1. Lu ve arkadaşları tarafından 2005 yılında geliştirilen kayma gerilmesi- kayma deplasmanı modeli

Mertoğlu ve arkadaşları 2016 yılında yürüttükleri çalışma kapsamında ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzey arasındaki kayma gerilmesi - kayma deplasmanı ara yüzey malzeme modeli hakkında bir öneri geliştirmiştir. Bu çalışmada kullanılan ankrajlar CFRP şeritler üzerine yükleme doğrultusuna göre 90° açı ile yerleştirilmiştir. Söz konusu çalışma ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzeyler arasındaki malzeme modelleri hakkında öncü niteliğindeki ilk çalışmalardan biridir. Gerçekleştirilen çalışmada toplamda 14 adet deney gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçlar kullanılarak ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzey arasındaki kayma gerilmesi – kayma deplasmanı malzeme modeli ile ilgili bir model oluşturulmuştur. Bu model elde edilirken temel olarak Lu ve ark., 2005 tarafından geliştirilen malzeme modeli temel alınarak ankrajsız şeritler için kullanılan model üzerinde şeritlerde ankraj yer alması durumunda yapılması gerekli modifikasyonlar ile ilgili katsayılar elde edilmiştir. Ancak bu model kapsamında CFRP şeritler üzerinde yer alan ankrajların şeritlere etki eden çekme kuvvetine göre 90° açı ile dik yerleştirilen ankrajlar için geliştirilmiş olduğu unutulmamalıdır. Mertoğlu ve ark., 2016 tarafından yükleme yönüne göre dik olarak yerleştirilen ankrajlı CFRP şeritler için geliştirilen kayma gerilmesi-kayma deplasmanı malzeme modeli Şekil 2.2’de verilmiştir. Oluşturulan model Lu ve arkadaşlarının ankrajsız CFRP şeritler için önerilen modeli temel alınarak oluşturulmuş ve maksimum kayma gerilemsi değeri ile maksimum kayma deplasmanı değerleri için sırasıyla eşitlik 7 ve eşitlik 8’de geliştirilen denklemler önerilmiştir. Eşitlik 7 ve 8’de yer alan “N” değişkeni CFRP şerit üzerinde yer alan ankraj sayısını ifade etmektedir.



$\tau_{\max_anchor} \rightarrow$ Calculated using Eq. 1 ($\tau_{\max_anchor} = \tau_{\max} e^{0.17N}$)

($\tau_{\max}$ is calculated from any model proposed for elements without anchorages)

$S_0 \rightarrow$ (Calculated from any model proposed for elements without anchorages)

$\tau_{res} \rightarrow$ obtained by scaling $\tau_{\max_anchor}$ by 0.2.

$D_{res} \rightarrow$ obtained by scaling $D_{\max}$ by 1.2.

$D_{\max} \rightarrow$ Calculated by $\tau_{\max_anchor}/S_0$

$D_{ult} \rightarrow$ Calculated using Eq. 2 ($D_{\max}(0.51N + 1.68)$)

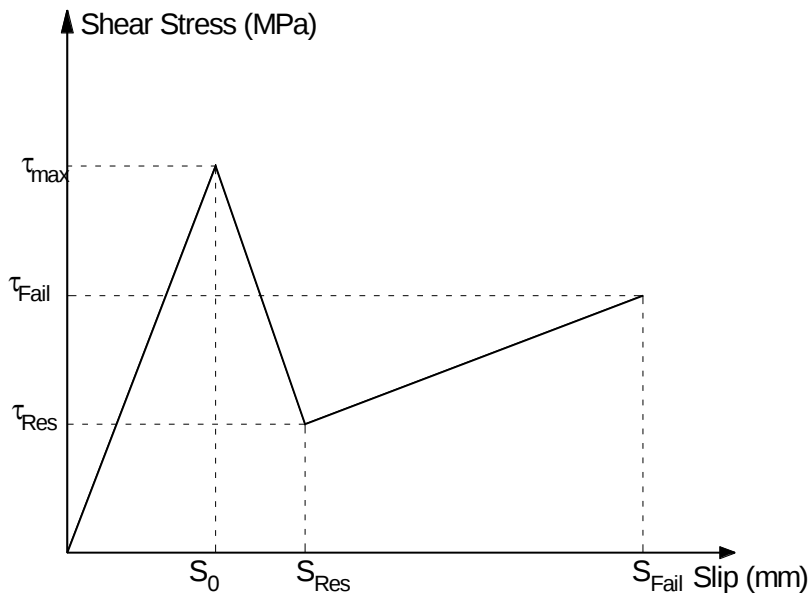
Şekil 2.2. Mertoğlu ve arkadaşları tarafından 2016 yılında geliştirilen kayma gerilmesi-kayma deplasmanı modeli

$$\tau_{\max_anchor} = \tau_{\max} e^{0.17N} \quad (2.7)$$

$$D_{ult} = D_{\max}(0.51N + 1.68) \quad (2.8)$$

Bu çalışma kapsamında geliştirilen ve önerilen açılı ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzeyler arasındaki yeni bir kayma gerilmesi-kayma deplasmanı matematiksel malzeme modelinin oluşturulması için de ankrajsız CFRP şeritler ile ilgili olarak en fazla tercih edilen modellerden biri olan ve ANSYS sonlu elemanlar yazılımına eklenmiş koheziv ara yüzey malzeme modeli olarak da kullanılan Lu v.d., 2005'in modeli üzerinden bir başlangıç yapılmıştır. Bu modelin açılı ankrajlı CFRP şeritler için kullanılabilmesi için nasıl modifikasyonların yapılması gerektiği üzerinde yoğunlaşmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen eksenel çekme kuvveti-kayma deplasmanı grafikleri incelendiğinde açılı ankrajlı CFRP şeritlerin genel yük-deplasman davranışının ankrajsız olan şeritlerden özellikle maksimum taşıma gücüne ulaşıldıktan sonra önemli farklılıklar gösterdiği

görülmüştür. Açılı ankrajlı CFRP şeritlerin genel yük-deplasman davranışlarında maksimum taşıma gücüne ulaşıp bağlantı göçmeye ulaştığında ankrajsız şeritlerden farklı olarak kalıcı bir taşıma gücü değeri kalmakta ve kalıcı kapasite belirli bir deplasman değerine kadar korunmaktadır. Ek olarak kalıcı kapasite değerinin maksimum taşıma gücüne ulaşıldıktan sonra kalmasının yanı sıra ankraj açısına ve sayısına bağlı olarak, artan kayma deplasmanı değeri ile kalıcı dayanım değerinde artış trendi görülmekte ve maksimum taşıma gücünden sonraki grafiğin kuyruk bölümünde açılı bir kapasite artışı meydana gelmektedir. Ankrajsız CFRP şeritlerin yük-deplasman davranışlarında ise maksimum taşıma gücü değerine ulaşıp bağlantı göçtükten sonra kapasite sıfıra inerek herhangi bir kalıcı dayanım değeri oluşmamakta, yük-deplasman grafiğinin çift doğrudan oluşacak şekilde modellenmesi mümkün olmaktadır. Buna karşılık açılı ankrajlı CFRP şeritlerin kayma gerilmesi-kayma deplasmanı grafiklerinin genel davranışı kalıcı dayanım bölümünü de modelleyecek şekilde 3 doğrudan oluşacak şekilde modellenmesinin gerektiği görülmüştür. Bu genel davranış farklılığına ek olarak açılı ankrajlı CFRP şeritlerin maksimum gerilme taşıma gücü değerleri ve tüketilen kırılma enerjisi değerleri de ankrajsız CFRP şeritlere göre çok daha büyüktür. Deneysel veriler kullanılarak açılı ankrajlı CFRP şeritler için oluşturulan kesme gerilmesi-kayma deplasmanı matematiksel malzeme modeli önerisi Şekil 2.3'te sunulmuştur.



Şekil 2.3. Tez çalışmasında önerilen kesme gerilmesi-kayma deplasmanı malzeme modeli

Açılı ankrajlı CFRP şeritler için önerilen kayma gerilmesi-kayma deplasmanı ara yüzey malzeme modelinin tanımlanması için gerekli değerler eşitlik 9-14'te verilmiş olup, bu değerler şekilde sunulan genel kantitatif model iskelet grafiği üzerinde gösterilmiştir. Sadece maksimum kesme gerilmesine ulaşıldığında ölçülen S_0 kayma deplasmanı değeri için bir eşitlik önerilmemiş olup, bu değer hesaplanması için ankrajsız CFRP şeritler için geliştirilen Lu v.d., 2005 tarafından önerilen eşitliğin kullanılabileceği görülmüştür.

$$\tau_{max} = f_1 \tau_{max,0} \quad (2.9)$$

$$f_1 = \left[\sum_{\Phi=0}^{90} (0.0024\Phi + 4.564) \right] (f'_c)^{-0.32} (b_f)^{-0.095} \quad (2.10)$$

$$\tau_{Res} = \frac{1}{n} \left[\sum_{\Phi=0}^{90} (0.375 - 0.00068\Phi) \right] \tau_{max} \quad (2.11)$$

$$\tau_{Fail} = \frac{1}{n} \left[\sum_{\Phi=0}^{90} (0.6087 - 0.00084\Phi) \right] \tau_{max} \quad (2.12)$$

$$S_{res} = 1.31 \times S_0 \quad (2.13)$$

$$S_{Fail} = (-0.00018\Phi^2 + 0.009\Phi + 4.87) * n^{0.08} S_0 \quad (2.14)$$

Eşitlik 9'da verilen $\tau_{max,0}$ değeri Lu v.d., 2005 tarafından önerilen ankrajsız CFRP şeritler için önerilen eşitlik ile hesaplanabilen ankrajsız CFRP şerit kesme gerilmesi kapasitesidir. Bu değer f_1 katsayısı ile çarpılarak açılı ankrajlı CFRP şeritlerin kesme gerilmesi değeri hesaplanmaktadır. f_1 çarpanının hesaplanması için geliştirilen eşitlik 10'da beton basınç dayanımı, CFRP şerit genişliği ve CFRP şerit açısına bağlı olarak verilmiştir. Eşitlik 11'de verilen kalıcı kesme gerilmesi ve eşitlik 12'de gösterilen göçme kesme gerilmesi değerleri ise eşitlik 9'da verilen açılı ankrajlı CFRP şerit maksimum kesme gerilmesi τ_{max} değerine bağlı olarak verilmiştir. Kalıcı kayma deplasmanı S_{res} ve göçme kayma deplasmanı S_{Fail} değerleri ise maksimum kesme kapasitesinde ulaşılan deplasman değeri S_0 'a bağlı olarak eşitlik 13 ve eşitlik 14'de verilmiştir. Eşitlikde n ankraj sayısını, Φ ise ankraj açısını ifade etmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

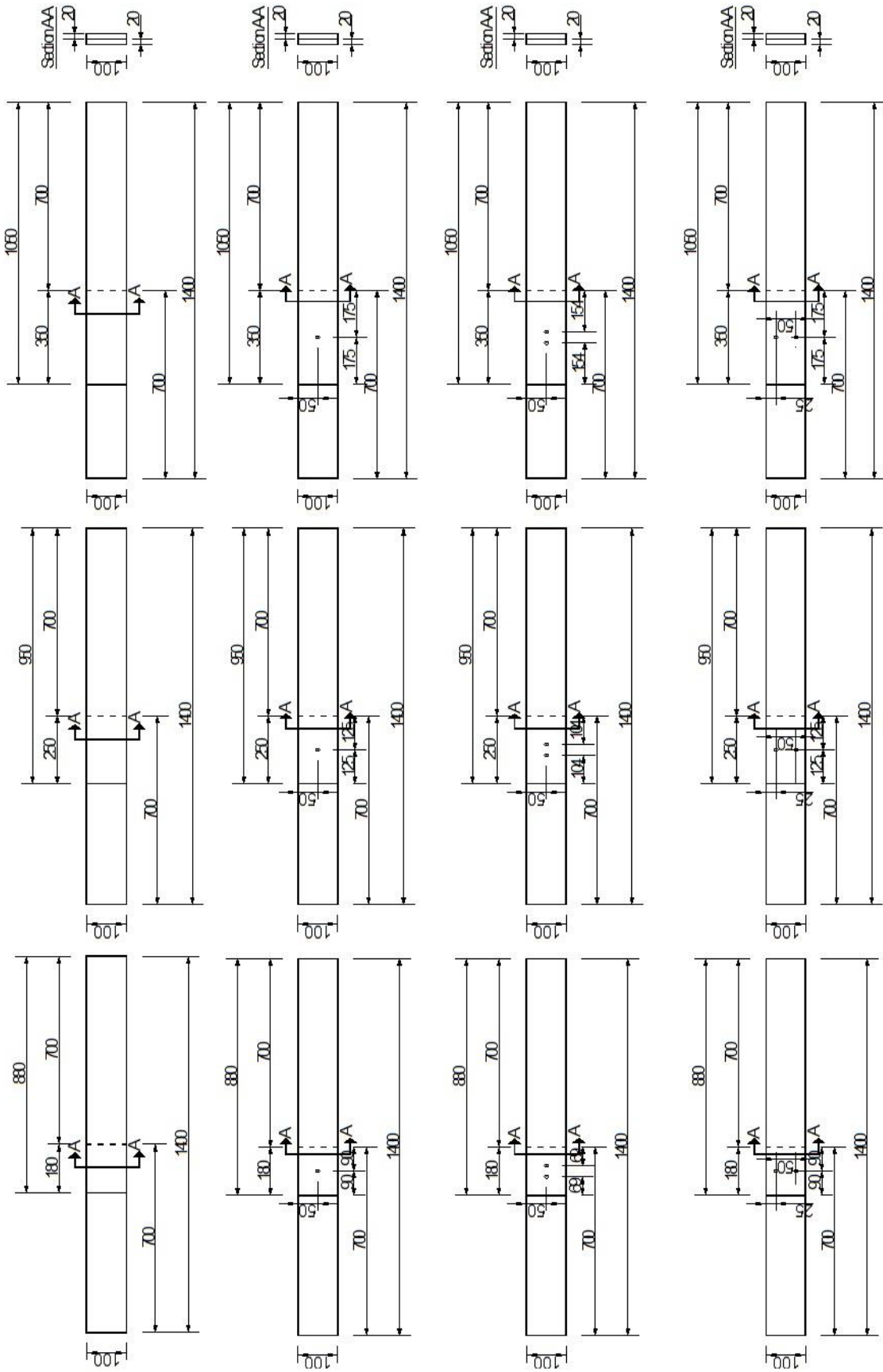
3.1. Deney Elemanları

Deney elemanları *Pinus Sylvestris* sarı çam ahşap malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Deney elemanlarının üretimi için seçilen sarı çam ahşap malzemesinde çatlak, budak ve lif kusurlarının bulunmaması için özen gösterilmiş ve kusurlu ahşap malzemeleri kullanılmamıştır. Çalışmada kullanılan sarı çam malzemesinin mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

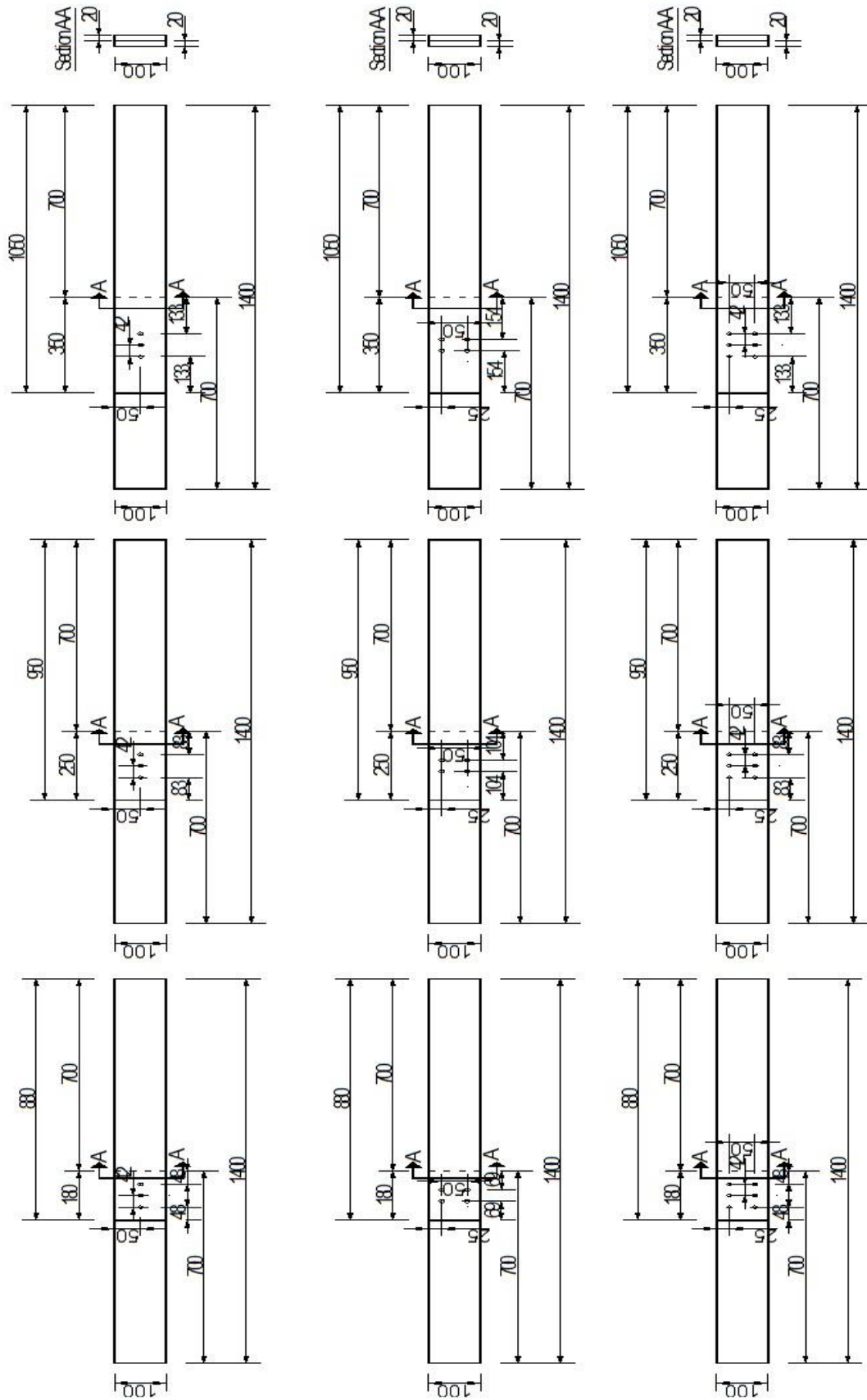
Çizelge 3.1. Sarı çam malzemesinin mekanik özellikleri (Uzel ve diğerleri, 2018)

Tanımlama	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	ρ_k	490	kg/m ³
	ρ_{12}	520	kg/m ³
Sünme Katsayıları	β_r	4.0	%
	β_t	7.7	%
	β_v	12.1	%
Elastik Modül	$E_{0,mean}$	11700	MPa
Kayma Modülü	G_{mean}	731.25	MPa
Eğilme Dayanımı	$f_{m,k}$	98	MPa
Eksenel Çekme Dayanımı	$f_{t,0,k}$	102	MPa
Basınç Dayanımı	$f_{c,0,k}$	54	MPa

Üretilen deney elemanlarının geometrik boyutları ise Şekil 3.1’de sunulmuştur. Deney elemanları 100 mm genişliğinde ve 20 mm kalınlığında ahşap parçaların 180, 250 ve 350 mm uzunluğunda üst üste bindirilmesi ve yapıştırılması ile üretilmiştir. Ahşap-ahşap bağlantı bölgesi deney elemanları toplam 1400 mm uzunlukta olacak şekilde üretilmiştir.



Şekil 3.1. Deney elemanlarının geometrik boyutları (mm)



Şekil 3.1. Deney elemanlarının geometrik boyutları devamı (mm)

Çalışma kapsamında ahşap-ahşap yapışma bağlantı noktalarına uygulanan eksenel çekme kuvveti etkisi altında bağlantı bölgesinin genel yük-deplasman davranışı, kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışı ve kayma birim şekil değiştirmesinin yapışma bölgesi boyunca dağılımının incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel programda incelenen değişkenler ahşap bağlantı noktasının uzunluğu, ahşap bağlantı noktasında mekanik ankraj uygulanmış olması veya olmaması, bağlantı bölgesinde kullanılan mekanik ankraj sayısı ve ankrajların yerleşim şeklidir. Deney elemanlarının özellikleri çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Deney elemanlarının özellikleri

Num. No	Tanımlama	Yapışma Uzunluğu (mm)	Ankraj Sayısı	Ankraj Sıra Numarası
1	180-0-0	180	0	0
2	250-0-0	250	0	0
3	350-0-0	350	0	0
4	180-1-1	180	1	1
5	250-1-1	250	1	1
6	350-1-1	350	1	1
7	180-2-1	180	2	1
8	250-2-1	250	2	1
9	350-2-1	350	2	1
10	180-1-2	180	2	2
11	250-1-2	250	2	2
12	350-1-2	350	2	2
13	180-3-1	180	3	1
14	250-3-1	250	3	1
15	350-3-1	350	3	1
16	180-2-2	180	4	2
17	250-2-2	250	4	2
18	350-2-2	350	4	2
19	180-3-2	180	6	2
20	250-3-2	250	6	2
21	350-3-2	350	6	2

Deneyisel çalışmada toplam 21 adet deney elemanı üretilmiş ve monotonik olarak artırılan eksenel çekme yüklemesi etkisinde test edilmiştir. Deney elemanlarının tanımlanmasında kullanılan simgede yer alan ilk üç rakam ahşap-ahşap bağlantı bölgesinin yapışma uzunluğu olan 180, 250 veya 350 mm değerlerini göstermektedir. İsimlendirmede kullanılan tanımlama ifadesinde tire sembolünden sonra yer alan 0, 1, 2 veya 3 rakamları ankraj sayısını, tanımlamada yer alan son rakam olan 0, 1, veya 2 ise bağlantı bölgesine yerleştirilen ankrajların kaç sıra yerleştirildiğini ifade etmektedir. Örneğin Numune 12 deney elemanının tanımlanması 350-1-2 olup, bu elemanda bağlantı bölgesinin uzunluğu 350 mm, her sırada 1 ankraj olmak üzere 2 sıra ankraj bağlantıda yer almaktadır.

Deney elemanlarının üretilmesinde ilk olarak bağlantıyı oluşturacak olan 20 mm kalınlığındaki ve 100 mm genişliğindeki ahşap lameller gerekli boylarda hassas bir şekilde boyutlarına göre üretilmiştir. Daha sonra tüm deney elemanları bağlantı bölgeleri özdeş bir prosedür uygulanarak aynı presleme süresi ve basıncı altında yapıştırılmıştır. Yapıştırılma işlemi tamamlanan mekanik bağlantı ankrajları kullanılacak olan deney elemanlarında ankrajların yer alacağı noktalara delikleri yerleşim detayı Çizelge 3.2’de verildiği şekilde açılmıştır. Deney elemanlarında standart M10 mekanik ankraj kullanılmış olup, deney elemanlarında ankrajların yerleşimi için 10 mm çapında delikler açılarak mekanik ankrajlar bu deliklere yerleştirilmiştir. Deney elemanlarına yerleştirilen mekanik ankrajların ahşap bağlantı elemanlarına hasar vermemesi için yüksek bir tork ile sıkıştırma işlemi yapılmamış, sadece ankrajlar birbirleri ile özdeş sıkılıkta yerleştirilmelerinin sağlanması amacıyla çok düşük bir tork düzeyinde hepsi ayarlı bir tork anahtarı kullanılarak yerlerine yerleştirilmiştir.

3.2. Deneyde Kullanılan Yapıştırıcı Özellikleri

Çalışmada ahşap yapışma bölgesinde yapıştırıcı olarak poliüretan türü bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Poliüretan tutkalı ile yapıştırılacak malzemenin kuru, toz ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Malzeme nem oranı %8-12 olmalıdır (Hadim Boya). Destek katmanlı lamine ahşap yapı elemanlarının üretilmesinde kullanılan poliüretan tutkalı, havadaki nemle kürleşen tek-kompenantlı D4 tipi reaktif yapıştırıcıdır. Çok yüksek sıcaklık ve su direncine sahiptir (Hadim Boya). Poliüretan tutkalının uygulama alanları; kapı ve pencere yapıştırması, ağaç laminat ve ağaç esaslı malzeme yapıştırılması, dış cephe bağlantı yapıştırılması, MDF bağlantı noktalarının yapıştırılması, mineral esaslı levhaların yapıştırılması, seramik malzeme, beton ve sert köpük malzemelerin yapıştırılmasıdır (Hadim Boya). Poliüretan tutkalı, uygun izosiyanat ve çift bağlı alkolden elde edilir. Oldukça elastik olup, kaynar suya, kimyasal maddelere, yağlara ve mikroorganizmalara dayanımı mükemmeldir. Katmanda çekme olmaz. Bu yüzden, kalın katman verir (Burdurlu, 1994).

Çalışma kapsamında kullanılan poliüretan yapıştırıcının özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Poliüretan yapıştırıcının teknik özellikleri

Baz	Poliüretan
Renk	Kahverengi
Özgül ağırlık	1.1+ 0,02g/m ³
Brookfieldsp 3/20 rpm	1600+ 0,02 m Pa's
Yoğunluk	Akıcı
Uygulama koşulları	Önerilen çalışma ortam sıcaklığı 20 °C'dir. Sıcaklığın 5°C'nin altına düşmemesi gerekir.
Uygulama Metodları	Ispatula ve el merdanesi
Uygulama miktarı	Malzemeye bağlı olarak 100-200 g/m ²
Açık zaman	Yaklaşık 20°C'de 20 ila 30 dk. Bu periyot havadaki yüksek nem ve sıcaklık oranına göre azalabilir.
Presleme uygulaması	Parçalar optimal kürleşme ve yeterli teması oluşturmayı kesinleştirmek için preslenmelidir. Gerekli pres malzeme cinsi ve boyutuna bağlıdır. İyi bir birleşmeye ulaşmak için minimum pres ağaç laminatlara: 0,6 N/mm ² 'dir. Birleşen parçaların sabit baskı altında kalması kürleşmenin maksimum seviyeye ulaşmasını sağlayarak kullanımda yük taşıma kapasitesini arttırır.
Presleme zamanı	Presleme zamanı havadaki nem ve sıcaklık yeterliliğine bağlıdır. 20°C de yaklaşık 90 dk. 40°C de yaklaşık 40 dk. 60°C de yaklaşık 20 dk.
Son ayarlama zamanı	Yapışmış parçalara bir sonraki uygulama 2-3 saat sonra yapılabilir. Yaklaşık 24 saat sonra ise son dayanma gücüne ulaşılır.

3.3. Deney Elemanlarının Hazırlanışı

Çatlak, budak ve reçine kesesi gibi kusurlarından arındırılan sarıçam kerestelerden elde edilen çeşitli boy ve en ölçülerine sahip 25 mm ve 35 mm kalınlıklardaki lameller, direkt güneş ışığına maruz kalmayacak şekilde istiflenerek 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 5 bağıl nem şartlarında %12 rutubete ulaşınca kadar bekletilmişlerdir. Denge rutubetine ulaşan lamellere, öncelikle planyada bir yüz ve cumbaları açılmış, daha sonra kalınlık makinesinde 18 mm ve 30 mm net kalınlık ölçüsüne getirilmiştir. Malzeme fire miktarını azaltmak için gerçek uygulamalardaki gibi laminasyonda kullanılacak tutkal çeşidi yardımıyla düz en birleştirme yapılmış ve birleştirmenin mukavim olabilmesi için ek yerleri U çivi ile stabil hale getirilmiştir.



Resim 3.1. Birleştirme yapılan lameller

Deney numunesi elde edilecek şekilde muhtelif genişliklerde 18 mm kalınlıkta 5 adet ve 30 mm kalınlıkta 3 adet lamelin lif yönleri birbirine paralel olarak epoksi ve poliüretan tutkal ile yapıştırılmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.2. Lamellerin düz en birleştirme yapılan bölgelerine U çivi çakılması

Elde edilen muhtelif genişliklerde 90 mm kalınlığında ve 1800 mm uzunluğundaki tutkallanmış lamine ahşap yapı elemanları, basınç altında 24 saat süre boyunca preslenmiştir (Resim 3.3). Yapıştırma uygulanan pres basıncı miktarının belirlenmesinde, tutkal firmalarının belirttiği değerler esas alınmıştır.



Resim 3.3. Lamine ahşap yapı elemanlarının preslenmesi

Daire testerede net ölçülendirilmesi yapılan tutkallanmış lamine ahşap yapı elemanları tutkal hattına dik ve tutkal hattına paralel eğilme mukavemeti tayini için 90x90x1710 mm, liflere paralel basınç mukavemeti tayini için 90x90x540 mm ebadında hazırlanmıştır. Kullanılan tutkal çeşidine göre her test için bir adet numune hazırlanmıştır.



Resim 3.4. Eğilme mukavemeti tayini için kullanılacak numunelerin daire testerede en ölçülendirilmesi



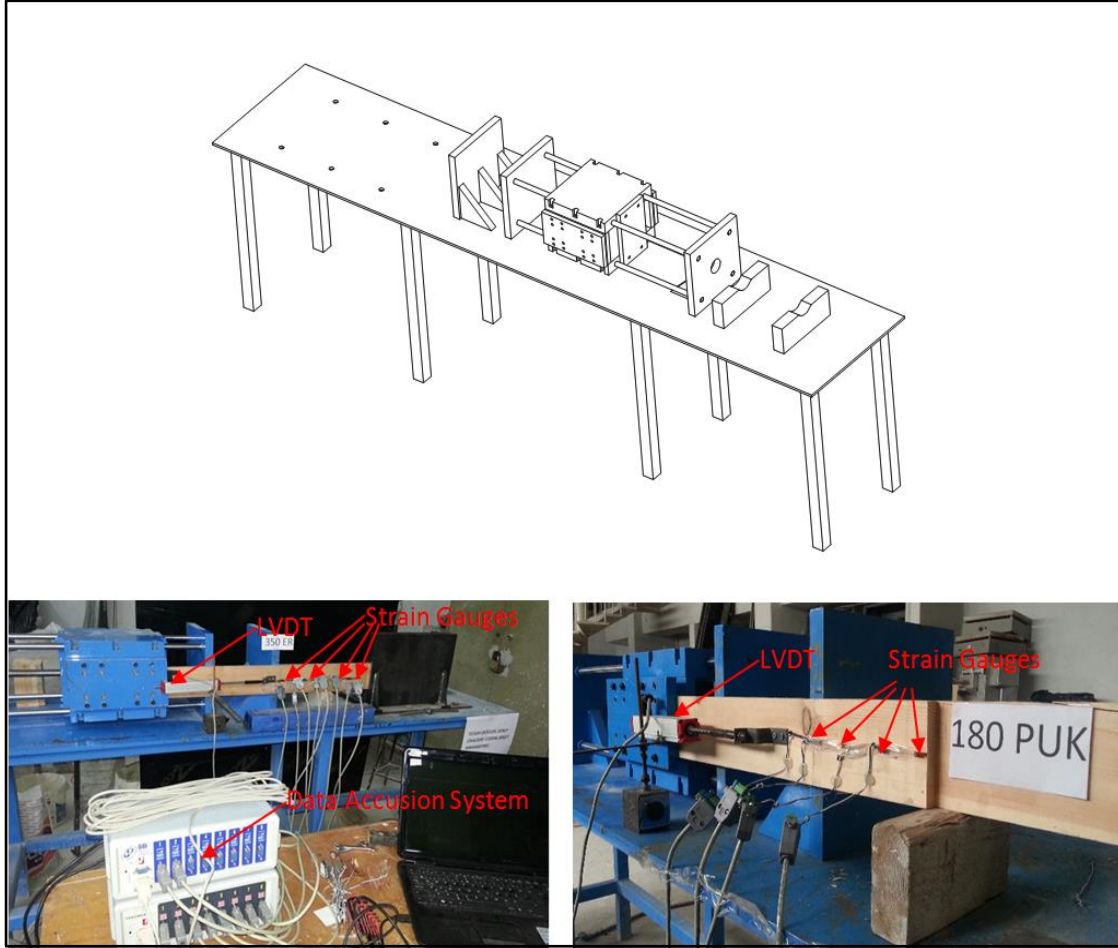
Resim 3.5. Liflere paralel basınç mukavemeti tayini için kullanılacak numunelerin daire testerede en ölçülendirilmesi



Resim 3.6. Eğilme mukavemeti ve liflere paralel basınç mukavemeti tayini için kullanılacak numunelerin daire testerede boy ölçülendirilmesi

3.4. Deney Düzenegi

Deneyisel çalışma kapsamında ahşap-ahşap bağlantı noktalarına aksel çekme kuvveti uygulayarak yapışma bölgesinde meydana gelen kayma birim şekil değıştirmesi dağılımı ve bağlantının kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışının elde edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş özel bir deney düzenegi kullanılmıştır. Bu deney düzenegi daha önce başka çalışmalarda kullanılmış ve literatürde yer alan benzer deney düzenekleri incelenerek tasarlanmıştır (Mertoğlu ve diğçerleri, 2016). Deney düzeneginin 3 boyutlu görüşünü ve test esnasında alınan fotoğraflar resim 3.7.'de verilmiştir.



Resim 3.7. Deney düzeneginin 3 boyutlu görüşü

Deneylerde ahşap bağlantı noktasını oluşturan, iki parçanın yapıştırılması ile meydana getirilen test elemanı, deney düzenegi üzerindeki sabit bir levhaya dayanarak mesnetlenmiş ve diğçer ucu ise hidrolik yükleme sistemi aracılığı ile hareket ettirilen hareketli çelik bir kafanın üzerine bağlanarak ahşap bağlantıya aksel çekme kuvveti uygulanmıştır. Deney

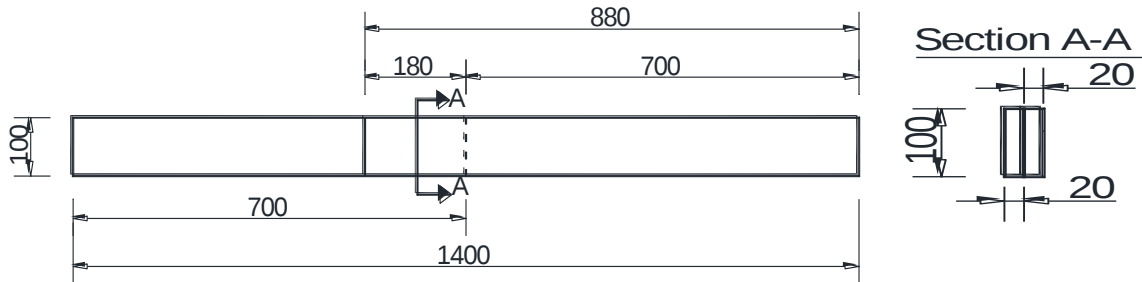
elemanlarına yükleme 600 kN çekme kapasiteli bir hidrolik sistem ile uygulanmış ve 400 kN kapasiteli bir yük hücresi ile uygulanan yükleme ölçülmüştür. Deney elemanlarına yükleme, motorlu ve yükleme hızı sabit olarak ayarlanabilen bir hidrolik sistem ile uygulanmış ve tüm testlerde yükleme hızı sabit tutulmuştur. Ahşap bağlantı elemanlarının eksenel kayma deplasmanı elektronik deplasman ölçer (LVDT), bağlantı noktasındaki kayma birim şekil değiştirmesi dağılımı ise birim deformasyon ölçerler ile ölçülmüştür. 180, 250 ve 350 mm yapışma boyuna sahip deney elemanlarından sırasıyla 4, 6, ve 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılarak ölçüm alınmıştır. Deneyler esnasında bütün ölçümler bir veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmış ve testler esnasında kayma gerilmesi-kayma deplasmanı grafikleri çizilerek deneyler izlenmiştir.

4. DENEYLER

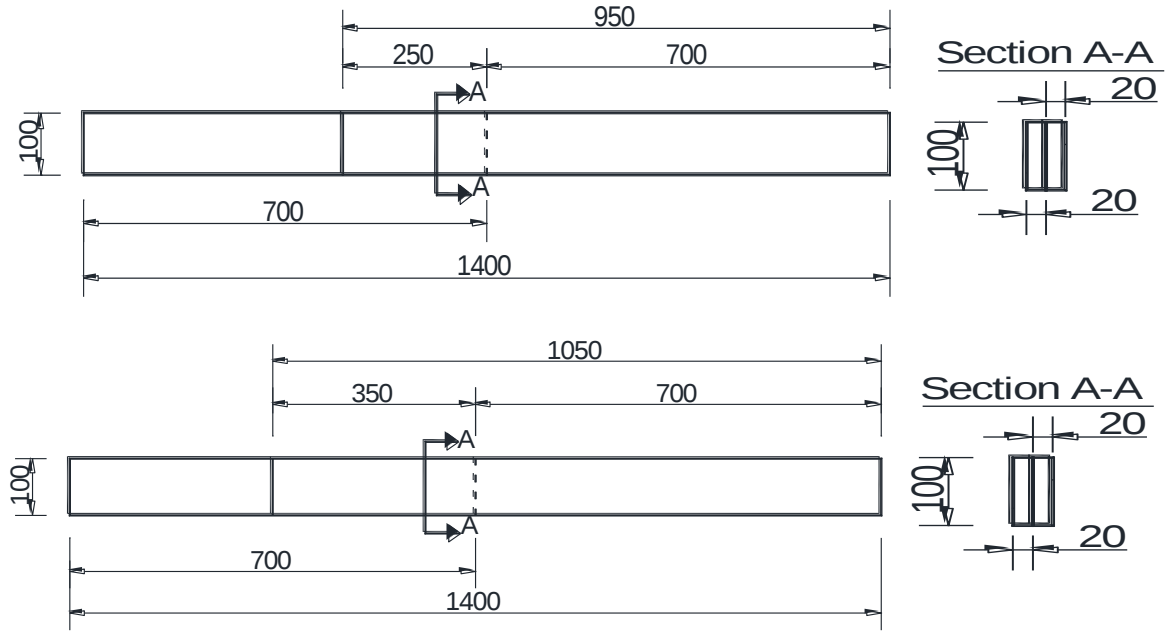
Bu bölümde tez kapsamında yapılan deneyler ile ilgili bilgiler, fotoğraflar ve sonuçlar verilecektir. Çalışma kapsamında toplam 21 adet ahşap-ahşap bağlantı noktası geliştirilen özel bir deney düzeneği ile eksenel çekme kuvveti etkisinde göçme meydana gelene kadar monotonik olarak arttırılan yükleme ile test edilmiştir (Mertoğlu ve diğerleri, 2016). Deneysel çalışmada incelenen değişkenler ahşap birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcı kullanılması ve yapıştırıcıya ek olarak mekanik ankraj kullanılması, bağlantı bölgesinde kullanılan mekanik ankrajların sayısı ve yerleşim şeklidir. Deneysel çalışma sonucunda deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri ve yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi elde edilmiştir.

4.1. Ankraj Kullanılmadan L=180, 250 ve 350 mm

180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan ankrajsız sadece yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.1’de, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.1’de deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.3’te, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.4’te verilmiştir.



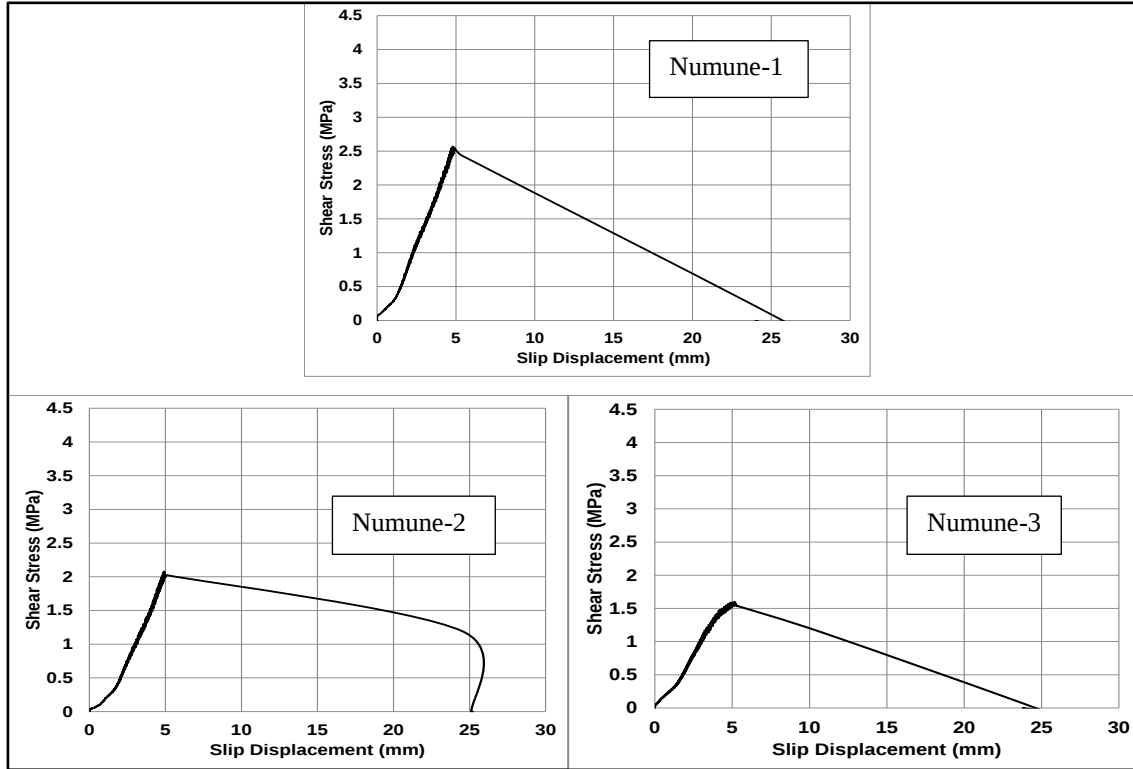
Şekil 4.1. Numune 1 deney elemanının geometrik boyutları



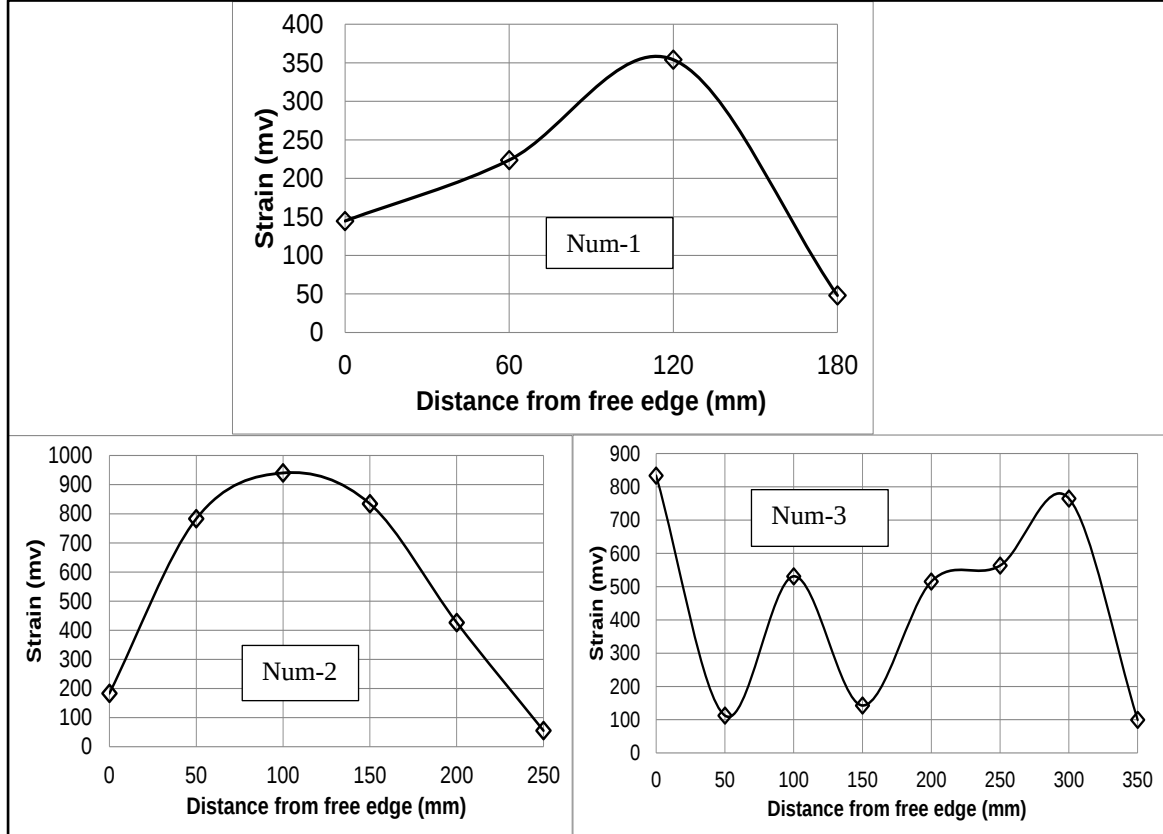
Şekil 4.2. Numune 2 ve 3 deney elemanlarının geometrik boyutları



Resim 4.1. Numune 1,2 ve 3'ün göçme mekanizmaları



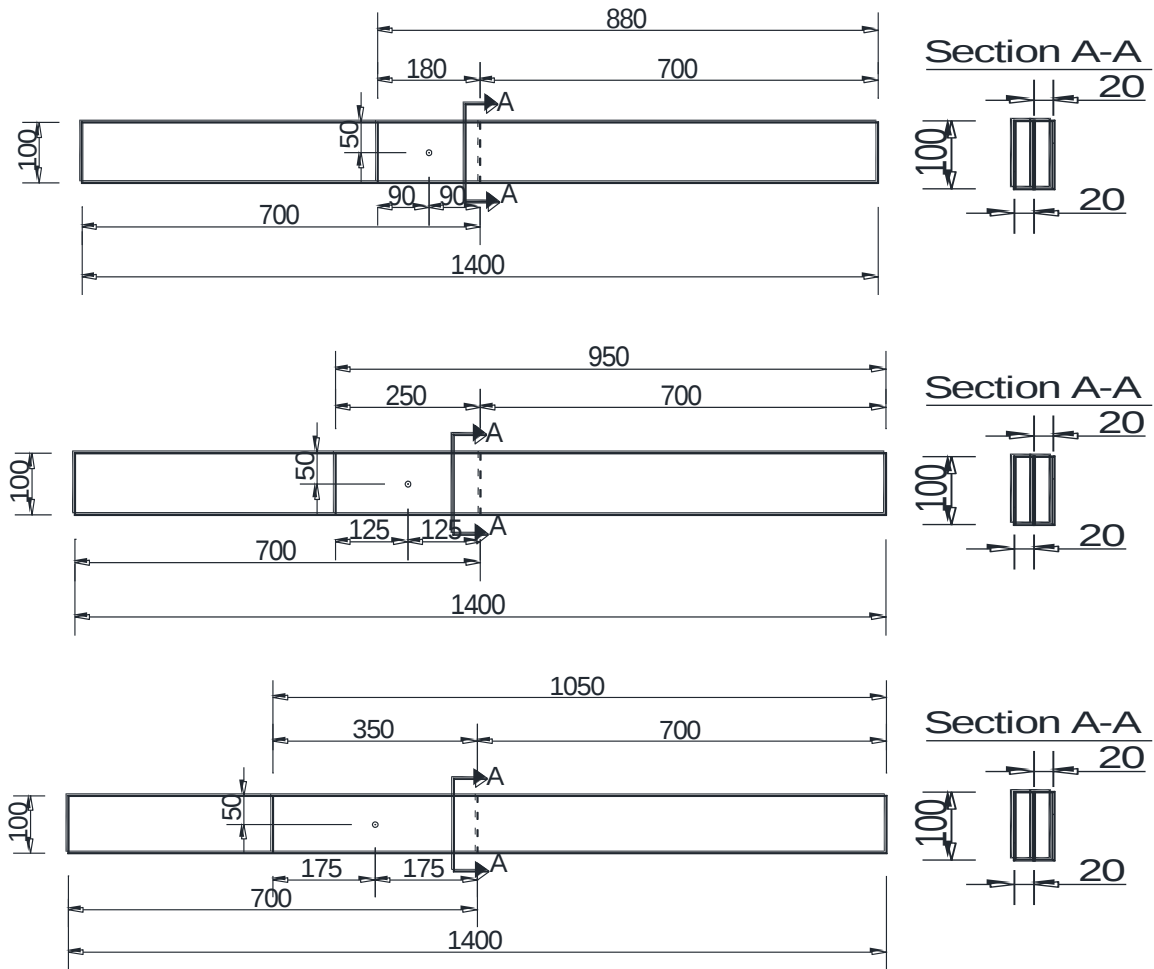
Şekil 4.3. Numune 1,2 ve 3 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



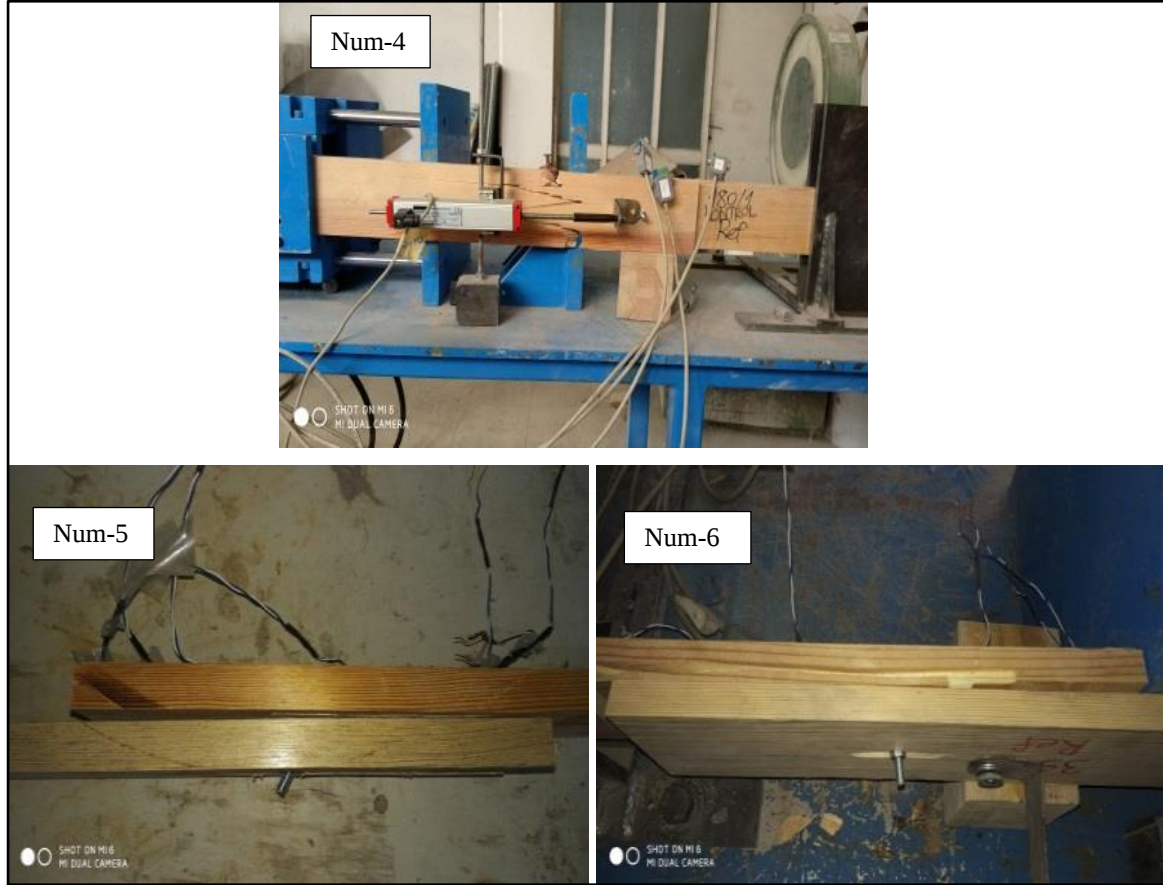
Şekil 4.4. Numune 1,2 ve 3 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

4.2. Tek Sıra Tek Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm

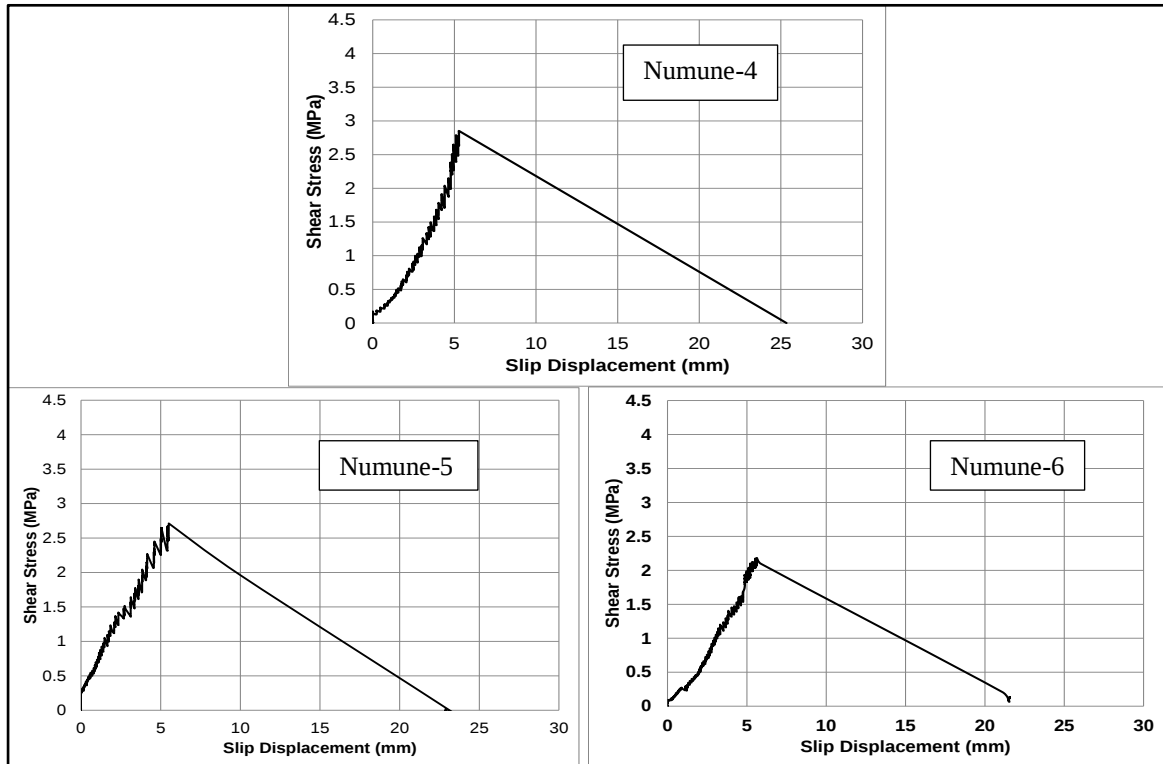
180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan tek sıra bir ankraj ve yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.2’de, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.5’te, deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.6’da, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir.



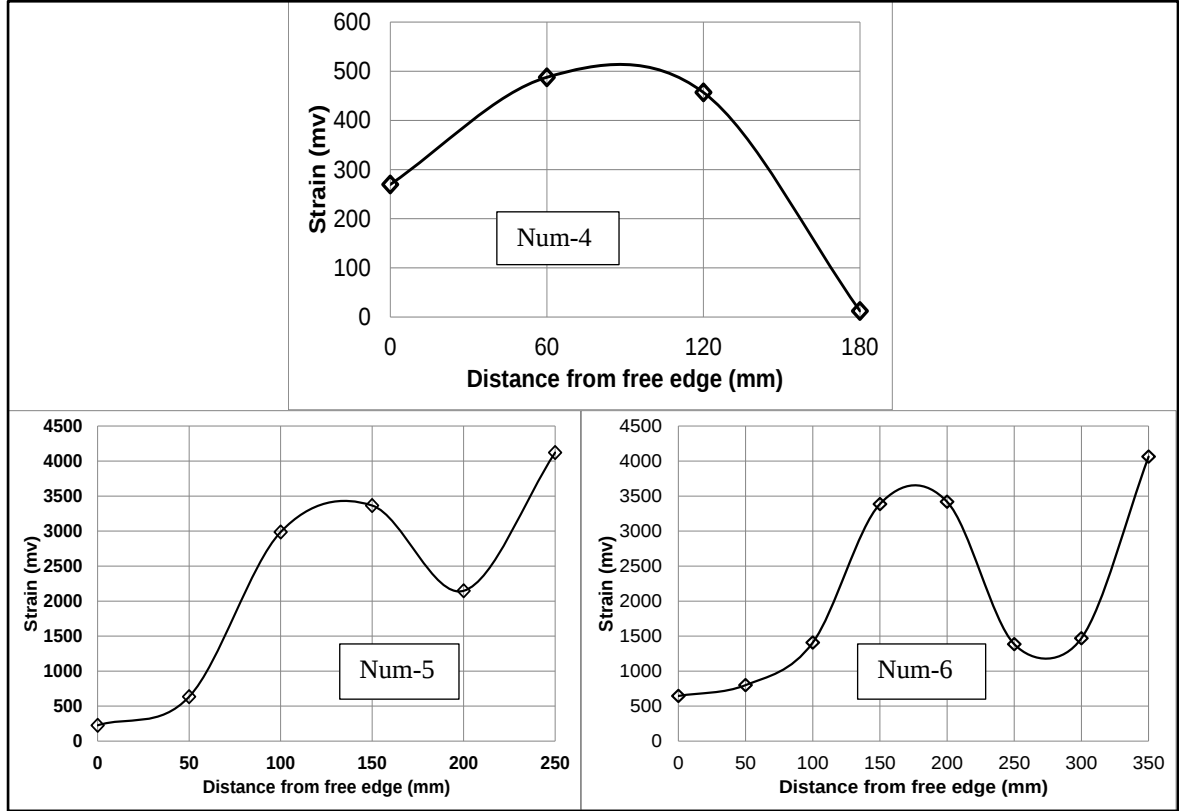
Şekil 4.5. Numune 4,5,6 deney elemanlarının geometrik boyutları



Resim 4.2. Numune 4,5 ve 6'nın göçme mekanizmaları



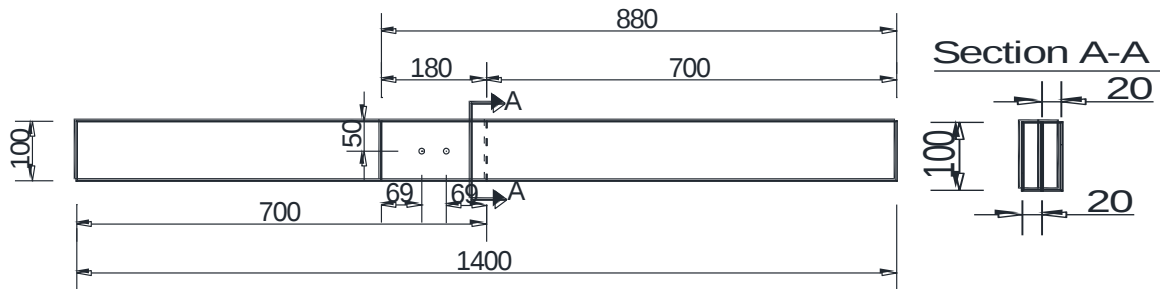
Şekil 4.6. Numune 4,5 ve 6 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



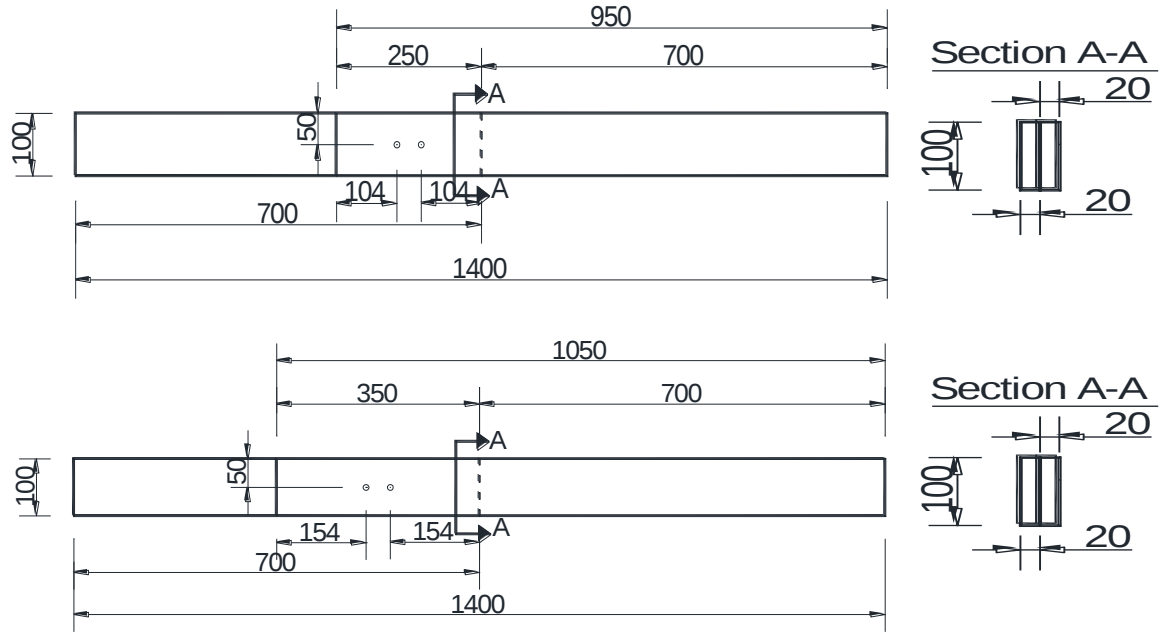
Şekil 4.7. Numune 4,5 ve 6 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

4.3. Tek Sıra İki Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm

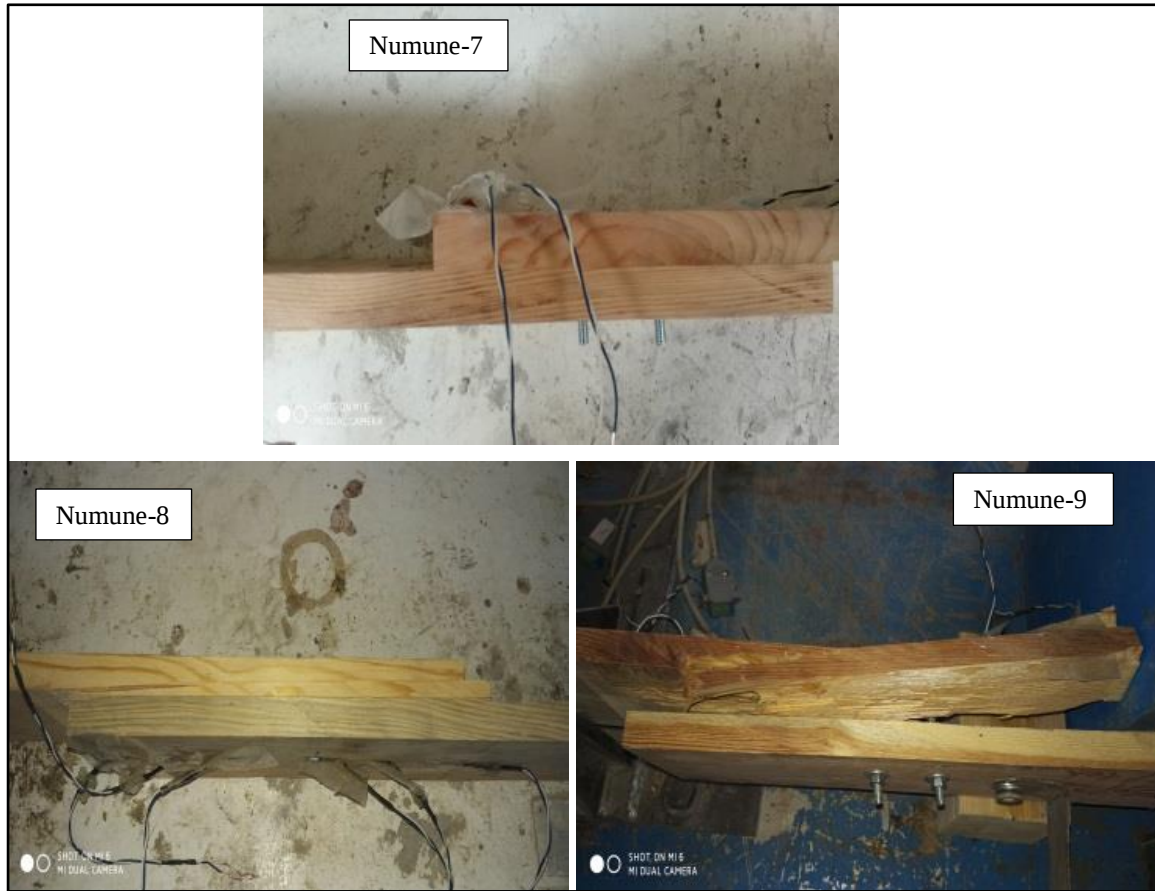
180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan tek sıra iki ankraj ve yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.3'te, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.8 ve 4.9'da, deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.10'da, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir.



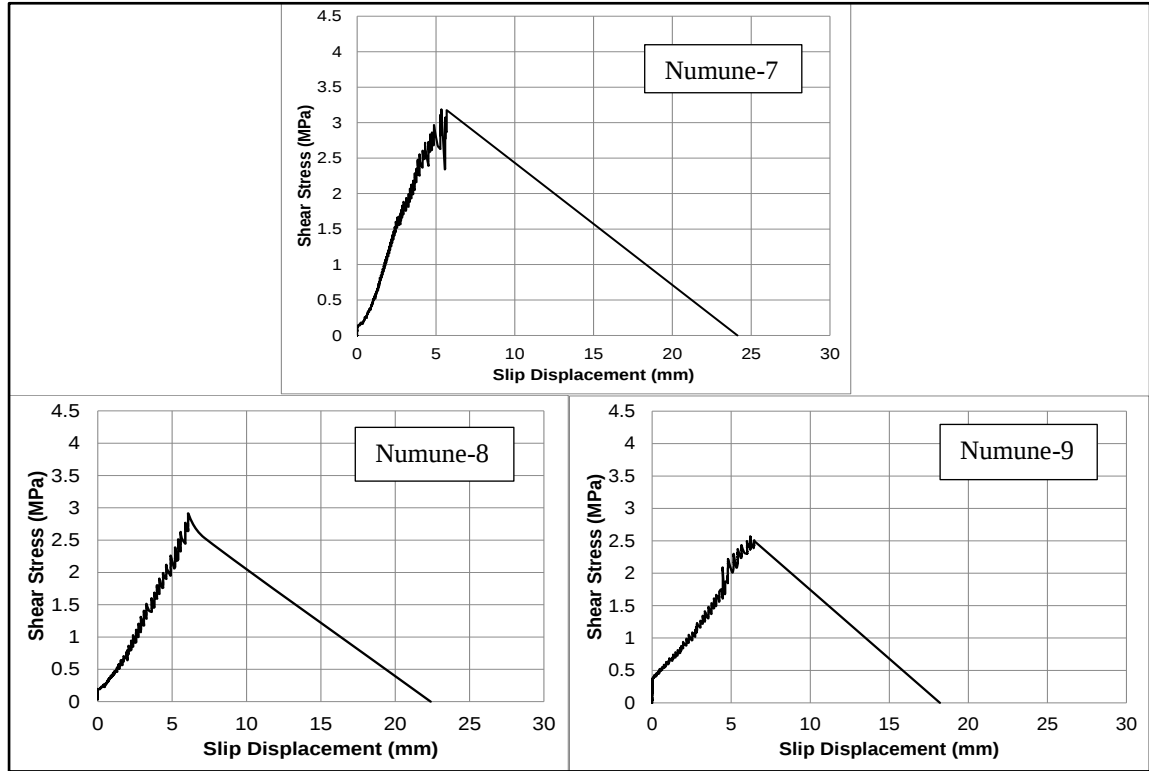
Şekil 4.8. Numune 7 deney elemanının geometrik boyutları



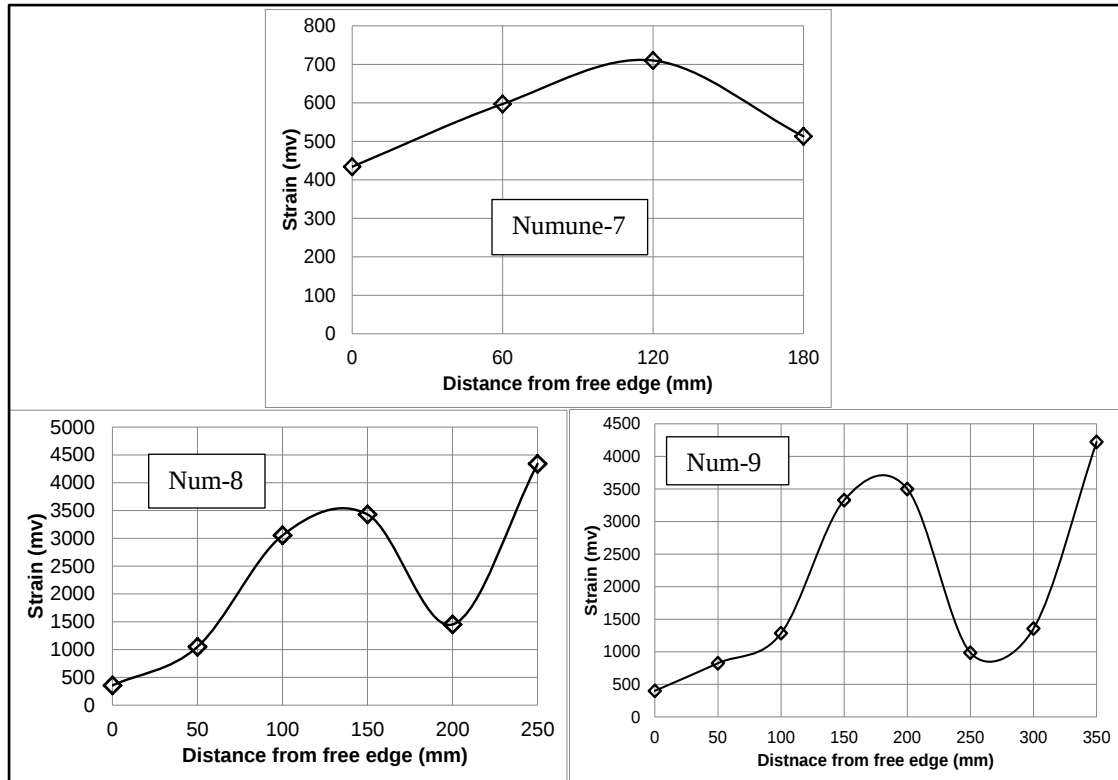
Şekil 4.9. Numune 8 ve 9 deney elemanlarının geometrik boyutları



Resim 4.3. Numune 7,8 ve 9'un göçme mekanizmaları



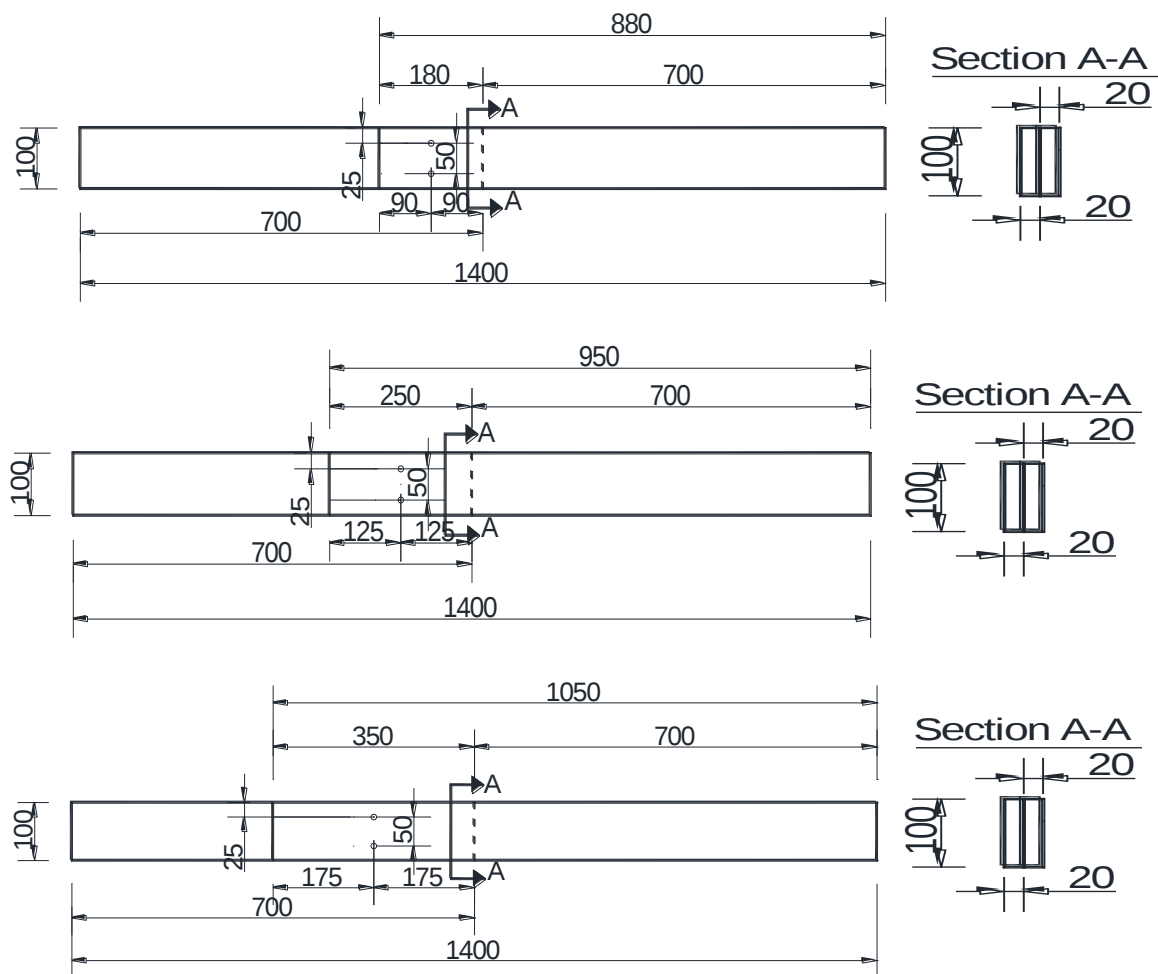
Şekil 4.10. Numune 7,8 ve 9 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



Şekil 4.11. Numune 7,8 ve 9 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

4.4. İki Sıra Tek Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm

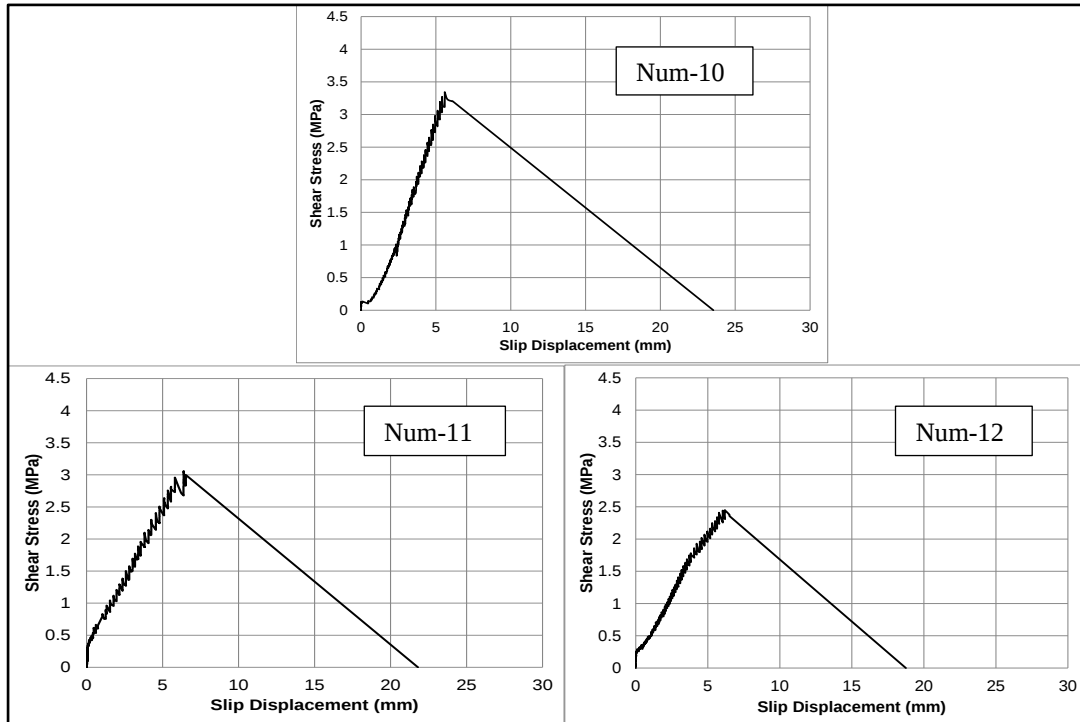
180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan iki sıra tek ankraj ve yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.4'te, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.12'de, deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.13'te, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir.



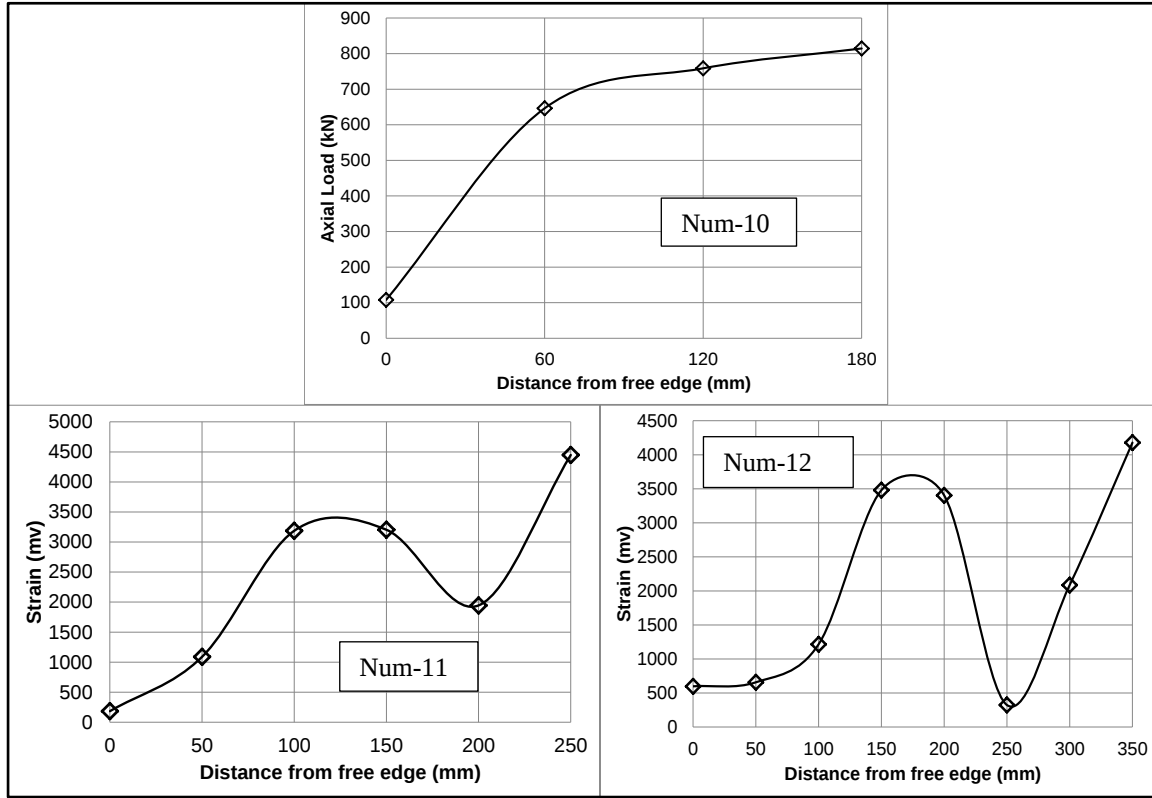
Şekil 4.12. Numune 10,11 ve 12 deney elemanlarının geometrik boyutları



Resim 4.4. Numune 10,11 ve 12'nin göçme mekanizmaları



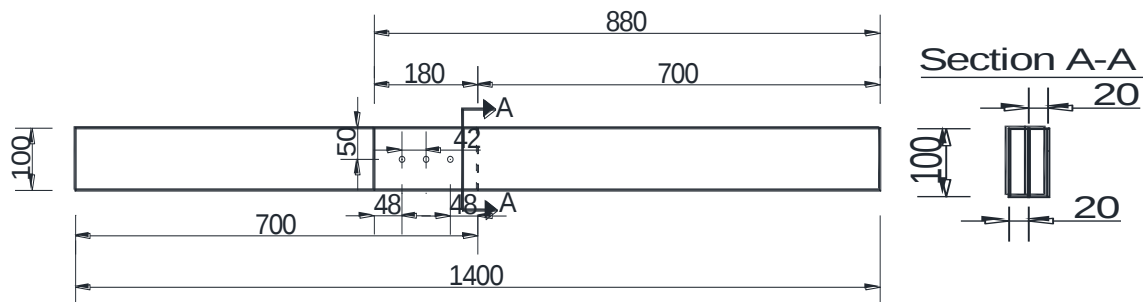
Şekil 4.13. Numune 10,11 ve 12 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



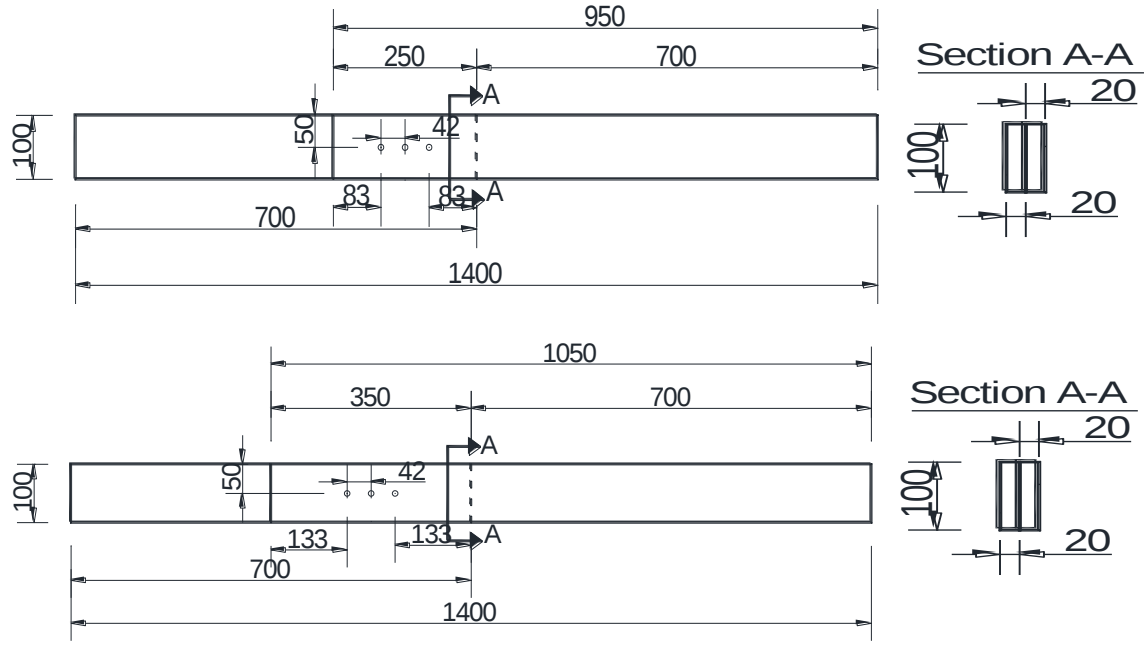
Şekil 4.14. Numune 10,11 ve 12 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

4.5. Tek Sıra Üç Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm

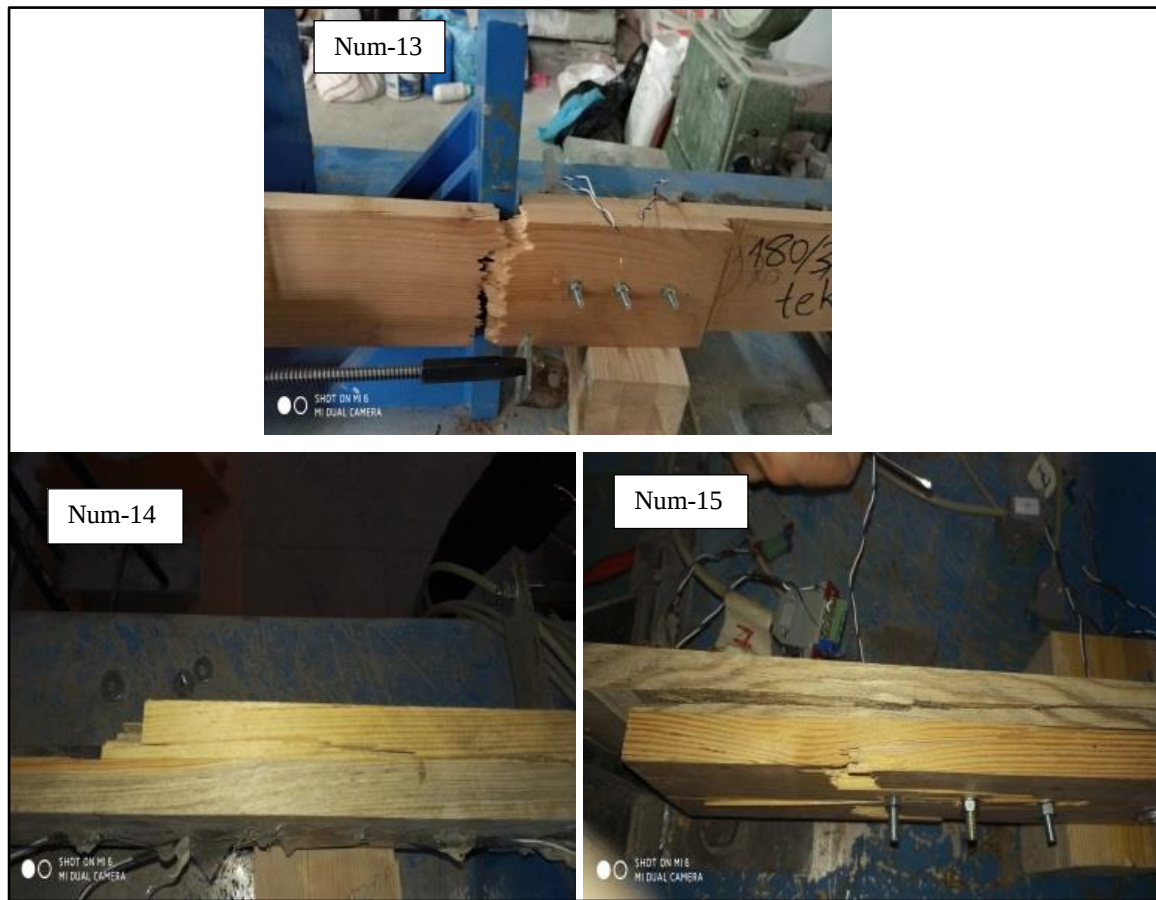
180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan tek sıra üç ankraj ve yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.5'te, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.15 ve 4.16'da, deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.17'de, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir.



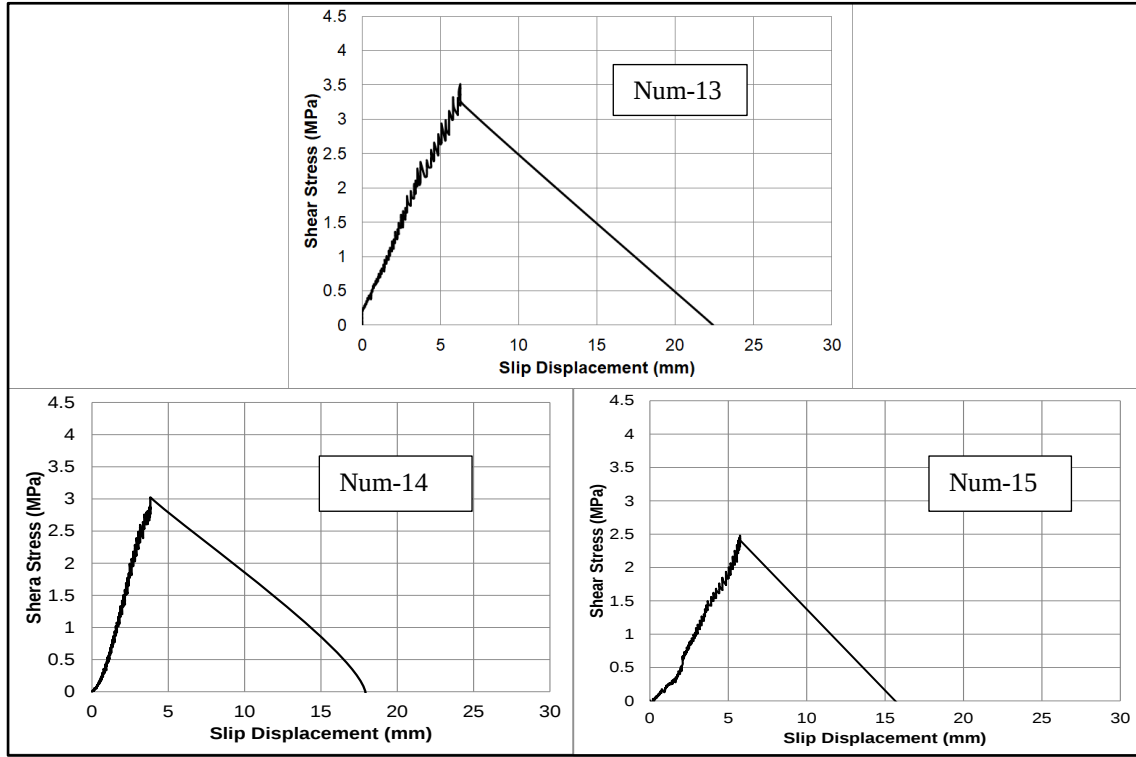
Şekil 4.15. Numune 13 deney elemanının geometrik boyutları



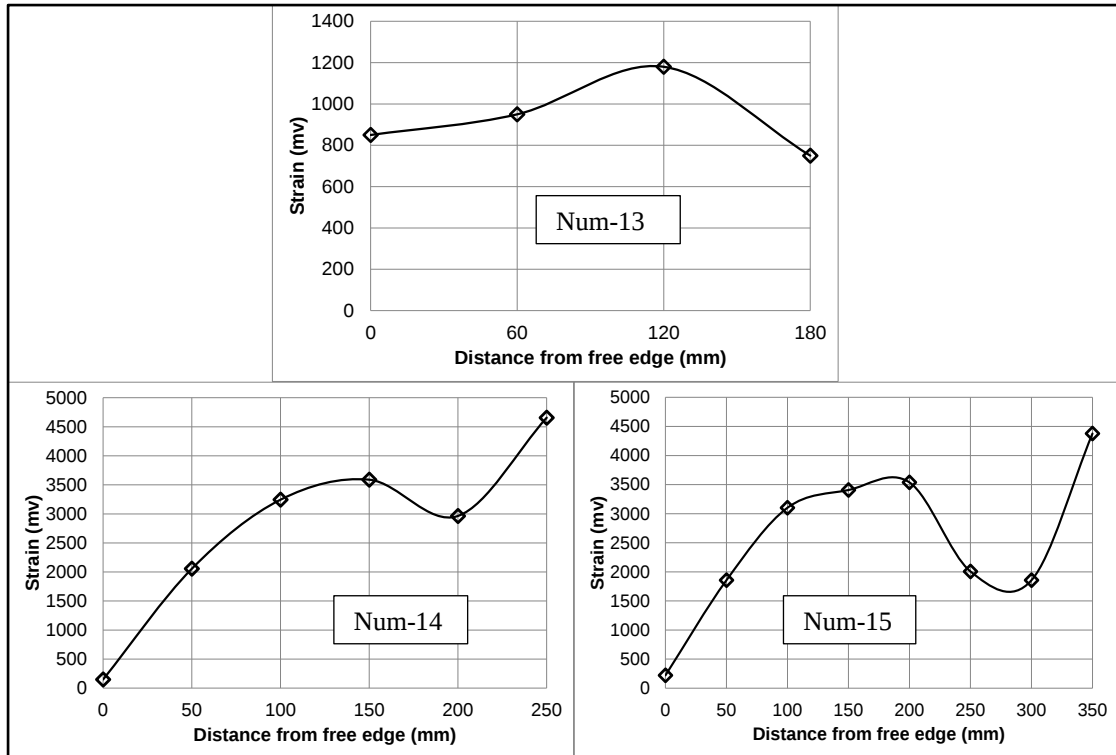
Şekil 4.16. Numune 14 ve 15 deney elemanlarının geometrik boyutları



Resim 4.5. Numune 13,14 ve 15'in göçme mekanizmaları



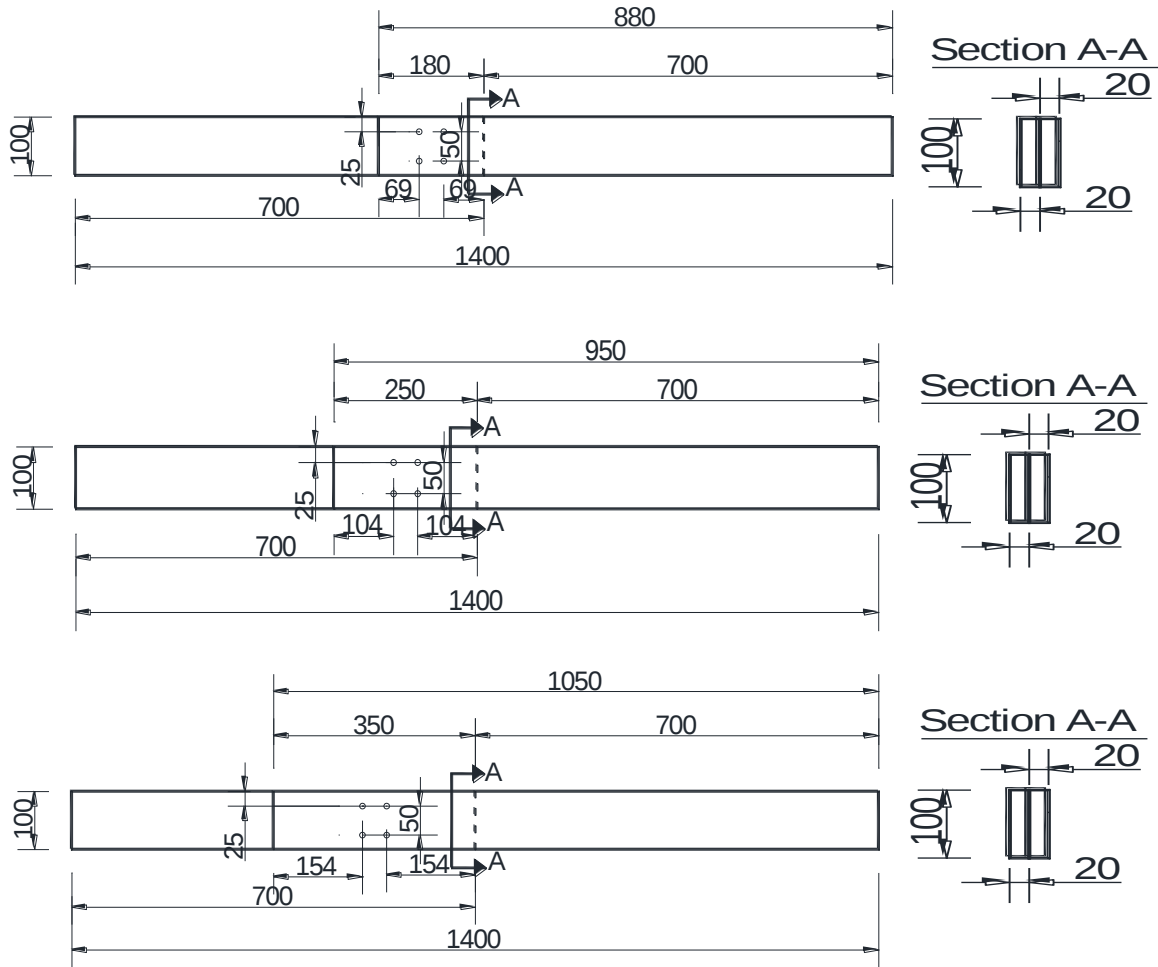
Şekil 4.17. Numune 13,14 ve 15 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



Şekil 4.18. Numune 13,14 ve 15 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

4.6. İki Sıra İkişer Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm

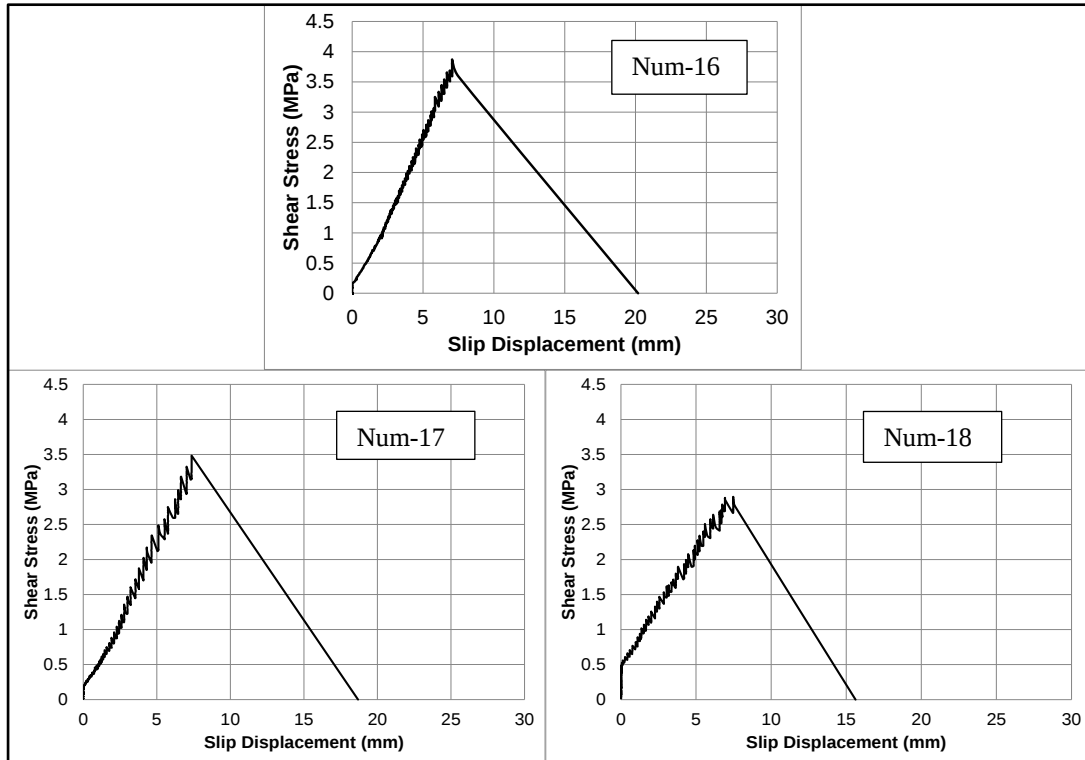
180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan iki sıra ikişer ankraj ve yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.6'da, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.19'da, deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.20'de, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir.



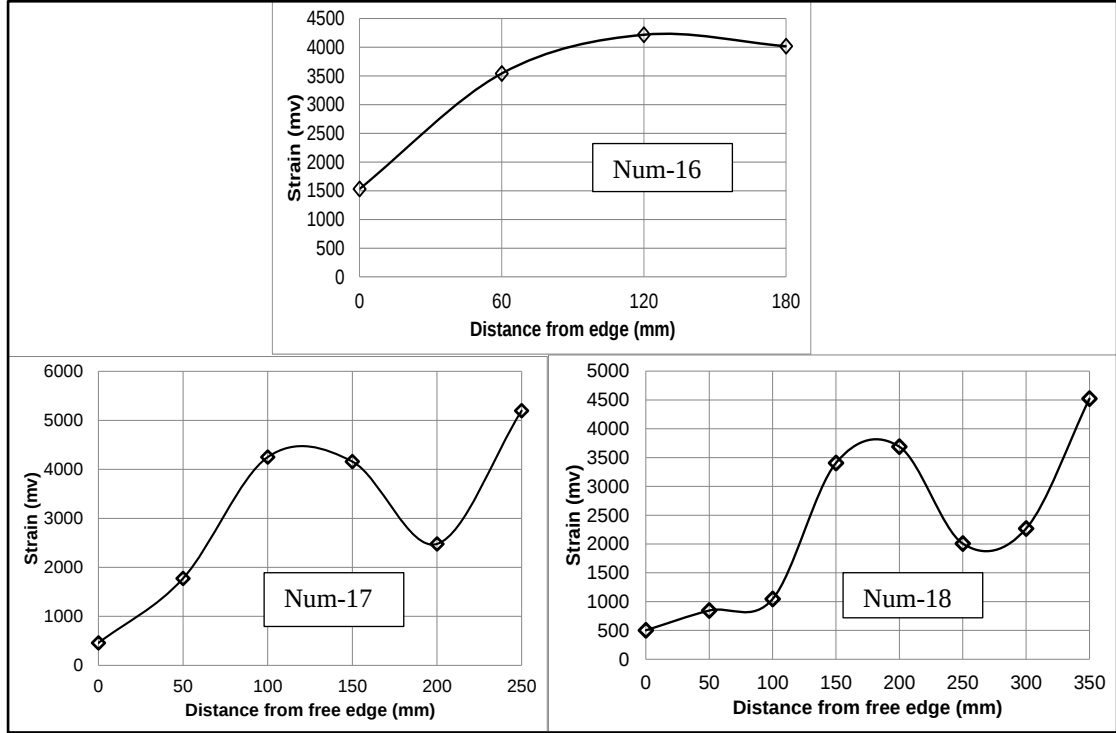
Şekil 4.19. Numune 16,17 ve 18 deney elemanlarının geometrik boyutları



Resim 4.6. Numune 16,17 ve 18'in göçme mekanizmaları



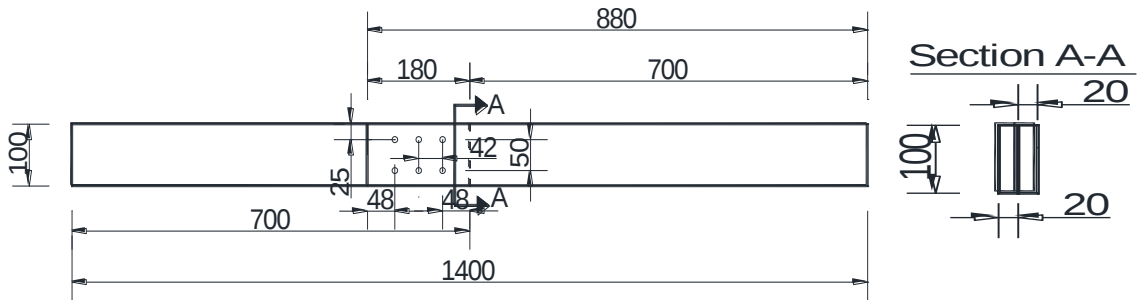
Şekil 4.20. Numune 16,17 ve 18 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



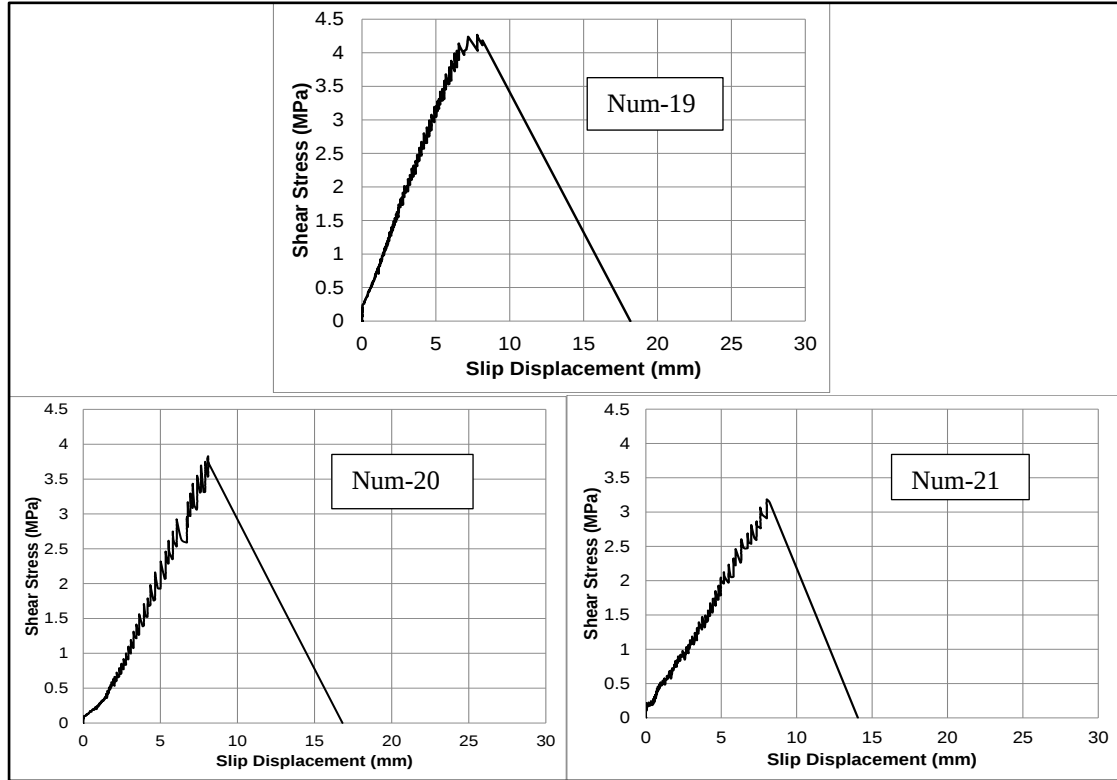
Şekil 4.21. Numune 16,17 ve 18 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

4.7. İki Sıra Üçer Ankraj Kullanılarak L=180, 250 ve 350 mm

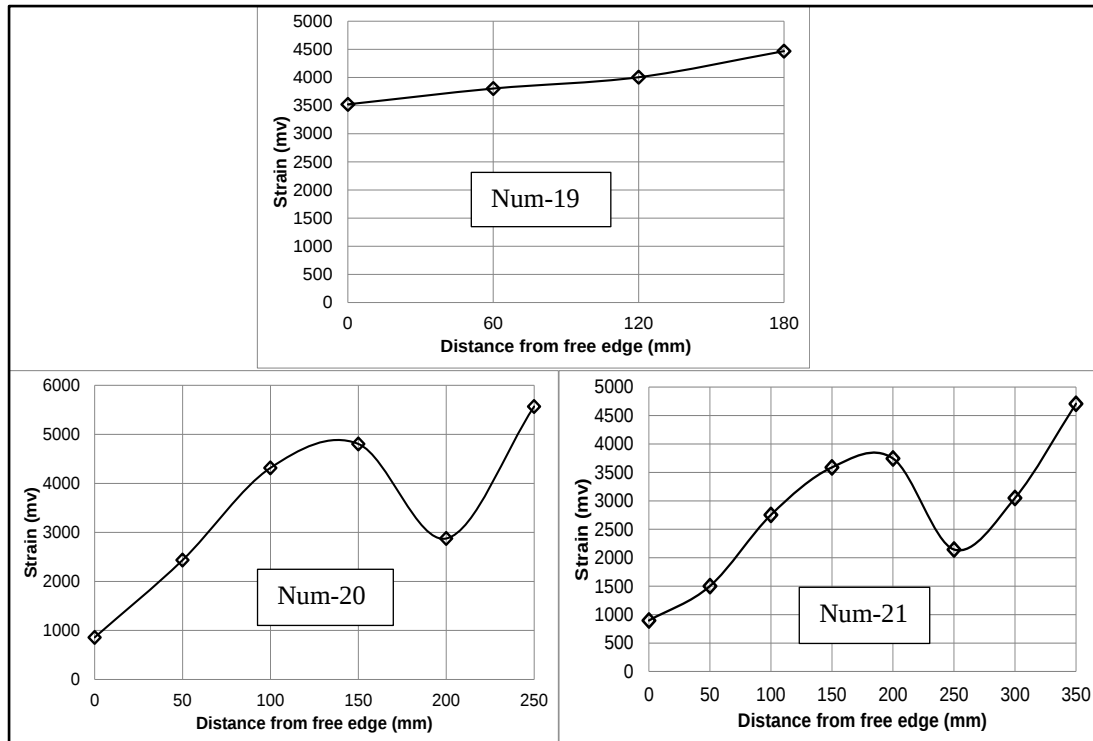
180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu olan iki sıra üçer ankraj ve yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ile ilgili fotoğraflar Resim 4.7’de, deney elemanlarının geometrik boyutları Şekil 4.22 ve 4.23’te, deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.24’te, yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi Şekil 4.25’te verilmiştir.



Şekil 4.22. Numune 19 deney elemanının geometrik boyutları



Şekil 4.24. Numune 19,20 ve 21 kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri



Şekil 4.25. Numune 19,20 ve 21 yapışma bölgesi boyunca birim deformasyon değişimi

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

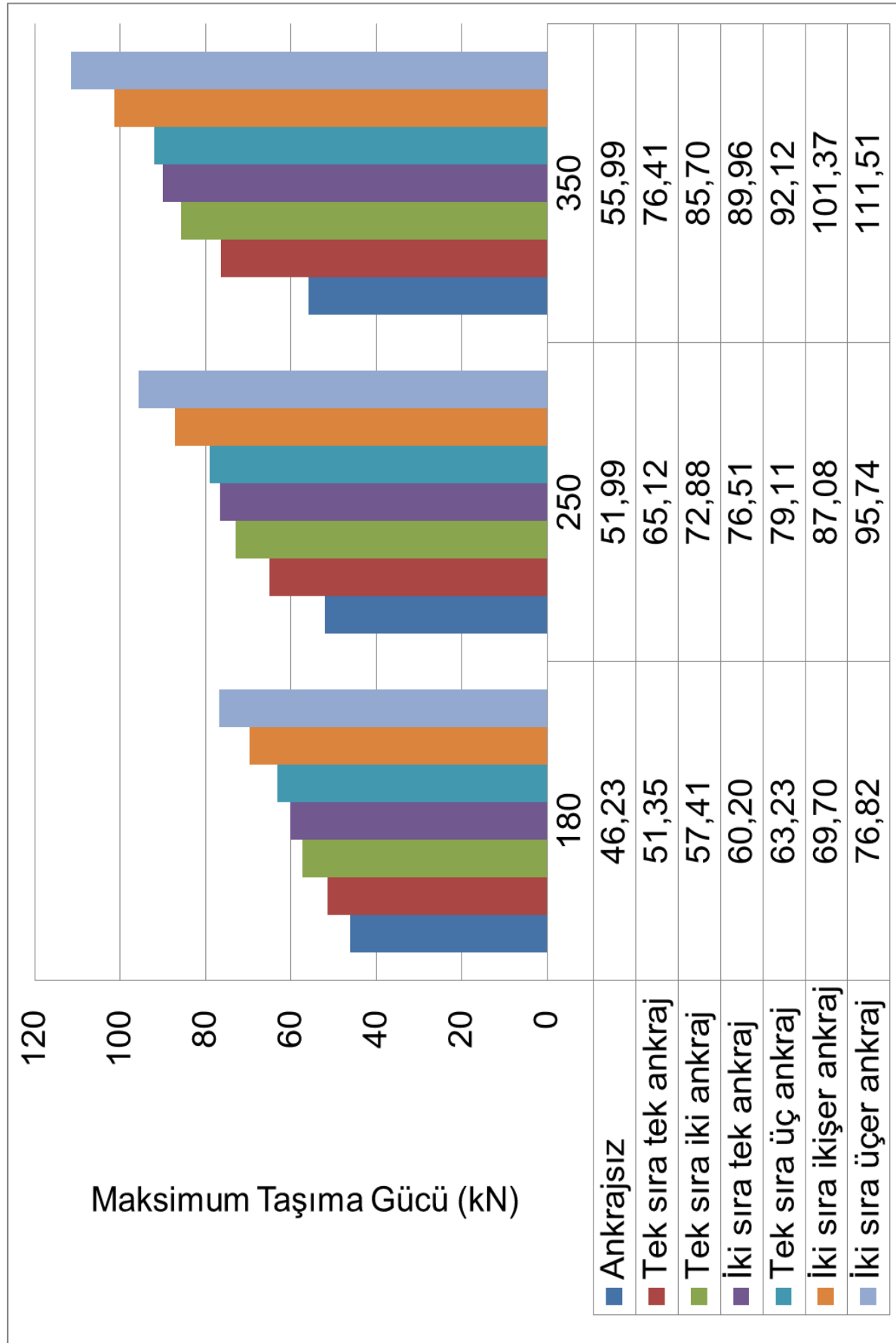
Bu bölümde yapılan deneylerin sonuçları elde edilen veriler neticesinde karşılaştırılacak ve deneyler değerlendirilecektir. Deneysel çalışma sonucunda deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri ve yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi elde edilmiş olup, toplam 21 adet deney elemanı üretilmiş ve monotonik olarak artırılan eksenel çekme yüklemesi etkisinde test edilmiştir.

Deneyler sonucunda deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri ve yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi elde edilmiş olup 4. bölümde detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ise Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

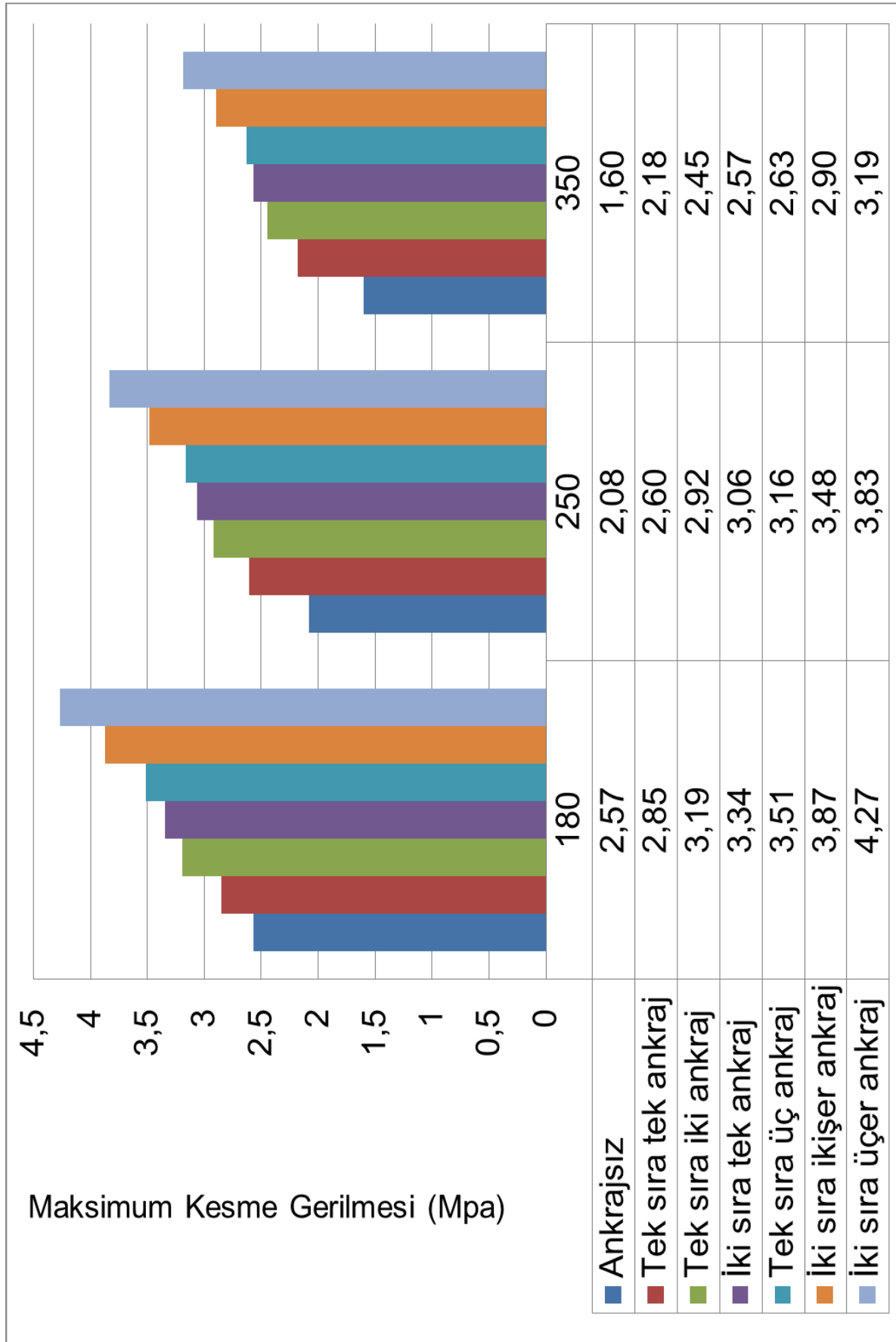
Çizelge 5.1. Deney elemanları test sonuçları

Tanımlama	Maksimum Taşıma Gücü (kN)	Maksimum Kesme Gerilmesi (Mpa)	Maksimum Yük Düzeyindeki Kayma Deplasmanı (mm)	Maksimum Kayma Deplasmanı (mm)	Maksimum Birim Şekil Değiştirme (mv)
180-0-0	46,23	2,57	4,79	26,72	354
250-0-0	51,99	2,08	5,00	25,18	940
350-0-0	55,99	1,60	5,15	24,82	834
180-1-1	51,35	2,85	5,28	25,34	488
250-1-1	65,12	2,60	5,51	23,50	4122
350-1-1	76,41	2,18	5,63	21,57	4064
180-2-1	57,41	3,19	5,82	24,13	710
250-2-1	72,88	2,92	6,08	22,38	4340
350-2-1	85,70	2,45	6,18	18,75	4179
180-1-2	60,20	3,34	6,12	23,54	814
250-1-2	76,51	3,06	6,39	21,80	4449
350-1-2	89,96	2,57	6,47	18,20	4223
180-3-1	63,23	3,51	6,42	22,42	1180
250-3-1	79,11	3,16	6,71	20,76	4657
350-3-1	92,12	2,63	6,79	17,35	4378
180-2-2	69,70	3,87	7,06	20,18	4218
250-2-2	87,08	3,48	7,37	18,68	5198
350-2-2	101,37	2,90	7,48	15,62	4524
180-3-2	76,82	4,27	7,80	18,16	4469
250-3-2	95,74	3,83	8,11	16,81	5569
350-3-2	111,51	3,19	8,22	14,06	4708

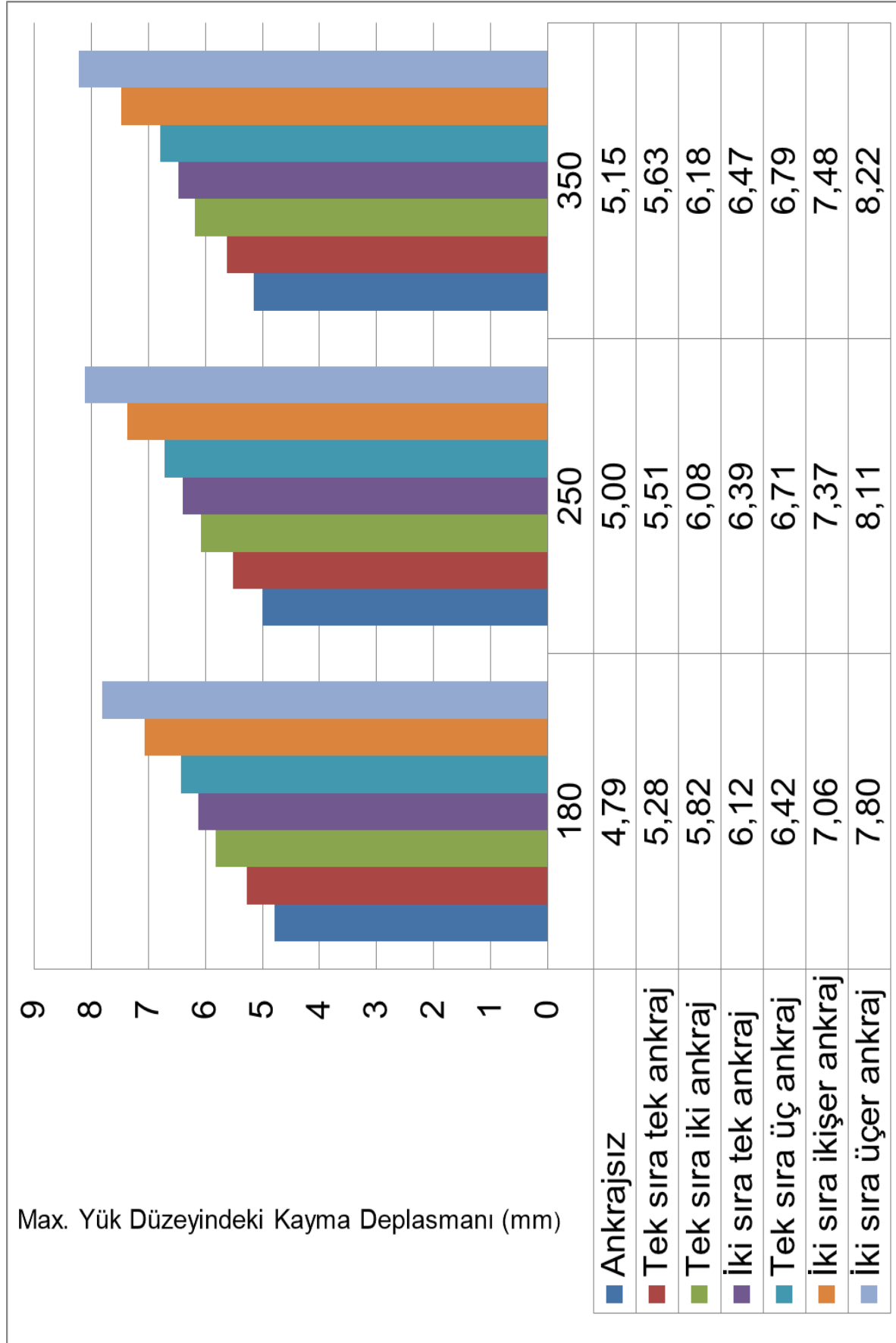
Çizelge 5.2. 180,250 ve 350mm de maksimum taşıma gücü karşılaştırmaları



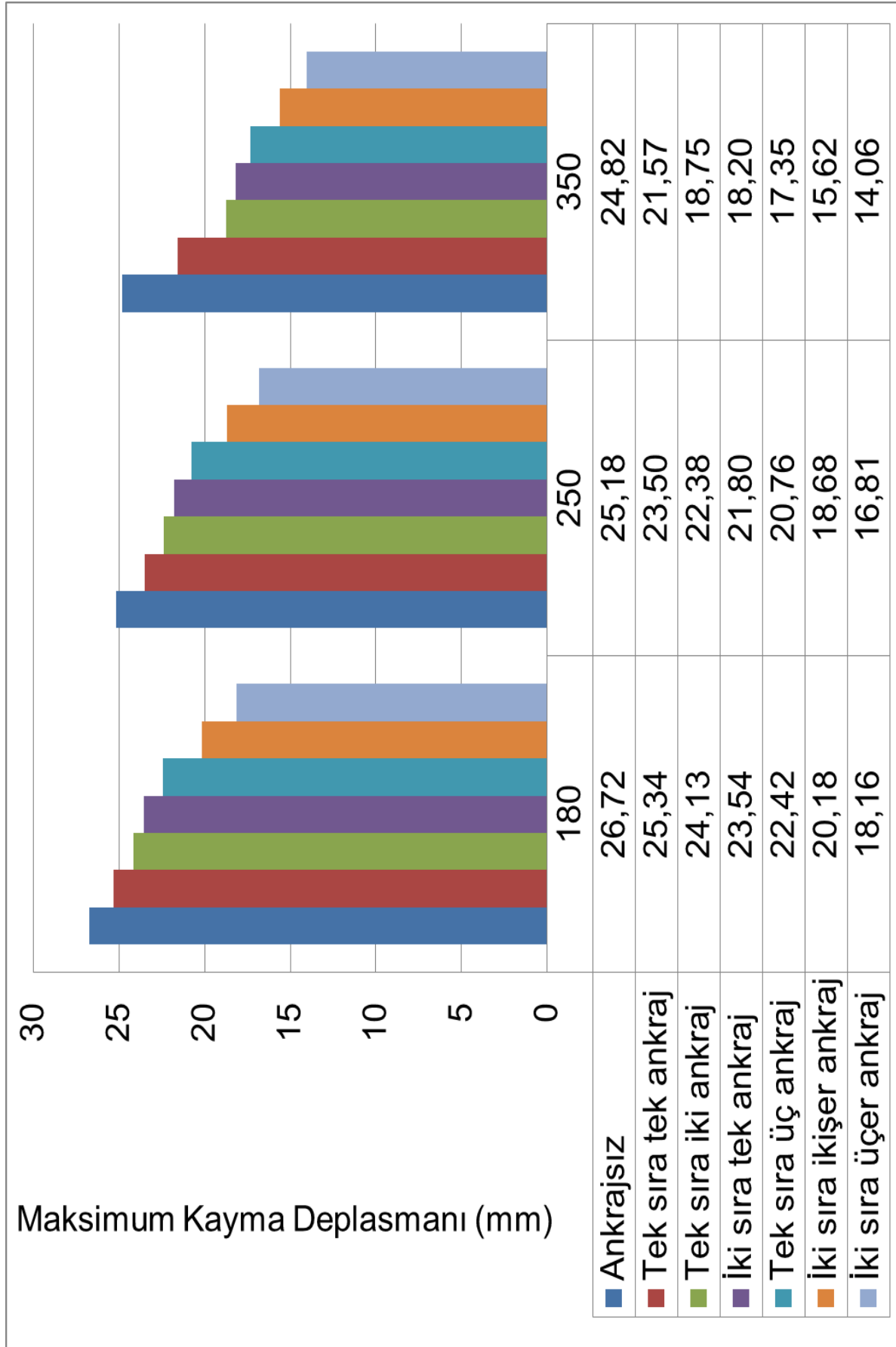
Çizelge 5.3. 180.250 ve 350 mm de maksimum kesme gerilmesi karşılaştırmaları



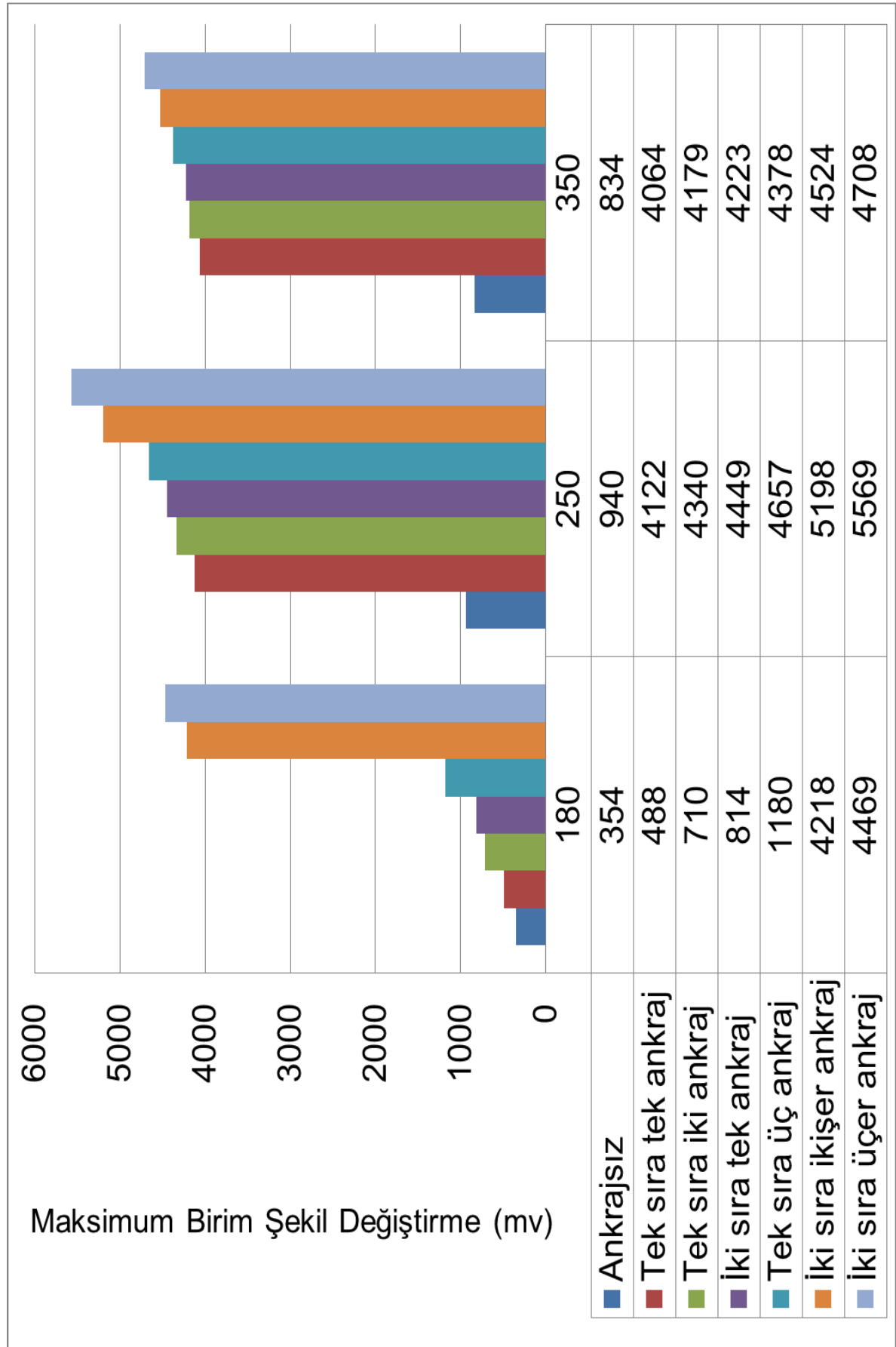
Çizelge 5.4. 180,250 ve 350mm de max yük düzeyindeki kayma dep. karşılaştırmaları



Çizelge 5.5. 180,250 ve 350mm de maksimum kayma deplasmanı karşılaştırmaları



Çizelge 5.6. 180,250 ve 350mm de maksimum birim şekil değıştirme karşılaştırmaları



Deneyisel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden biri ahşap-ahşap birleşim bölgesinin uzunluğudur. Çalışma kapsamında 180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu incelenmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde bağlantı uzunluğu arttıkça ahşap-ahşap birleşim bölümlerinin maksimum taşıma gücü değerlerinde de artış meydana geldiği belirlenmiştir. Deney elemanlarında birleşim bölgesi uzunluğu 180 mm'den 250 mm'ye çıktığında maksimum taşıma gücü değerleri ortalama 24%, 250 mm'den 350 mm'ye artış gösterdiğinde ise maksimum taşıma gücü değerlerinde ortalama 16% oranında artış meydana geldiği görülmüştür.

Mekanik ankraj kullanılmayan sadece yapıştırıcı ile oluşturulan ahşap-ahşap bağlantılarında birleşim bölgesi uzunluğu arttıkça maksimum taşıma gücü değerlerinde meydana gelen artış daha düşük oranda meydana gelirken, bağlantı bölgelerinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılması maksimum taşıma gücü değerleri üzerinde daha büyük oranda etkili olmuş ve daha fazla oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur. Sadece yapıştırıcı kullanılan deney elemanlarında birleşim uzunluğu 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm'ye artış gösterdiğinde maksimum taşıma gücü değerlerinden sırasıyla ortalama 12% ve 8% oranlarında artış meydana gelirken, yapıştırıcının yanı sıra mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında maksimum taşıma gücü değerlerindeki artış oranları sırasıyla 26% ve 17% olarak hesaplanmıştır.

Birleşim bölgesinin uzunluğunun artması ise deney elemanlarından ölçülen maksimum kayma gerilmesi değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Deney elemanları için kayma gerilmesi değerleri uygulanan kesme kuvvetlerinin kesilmeye çalışılan alana oranlanması ile hesaplanmıştır. Birleşim bölgesi uzunluğunun artması deney elemanlarının taşıma gücü değerlerini artırmasının yanı sıra birleşim bölgesi alanının da artmasına neden olduğu ve alandaki artış oranı daha fazla meydana geldiği için birleşim bölümü uzunluğunun artması ile maksimum kayma gerilmesi değerleri azalmıştır. Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm değerine uzaması sonucunda genel olarak maksimum kesme gerilmesi değerleri sırasıyla ortalama 12% ve 21% oranlarında azalmıştır. Birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcının kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı uzunluğunun artması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerlerinde meydana gelen azalış daha büyük oranda meydana gelirken, birleşim bölgesinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajların kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı bölümünün uzaması kesme gerilmesi değerlerinin daha düşük oranda azalmasına

neden olmuştur. Sadece yapıştırıcının kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı bölümü uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm değerine uzaması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerlerinde sırasıyla ortalama 24% ve 30% oranlarında azalım meydana gelmiştir. Birleşim bölgesinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında ise bağlantı uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm değerine uzaması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerleri sırasıyla ortalama 10% ve 20% oranlarında azalmıştır.

Deney elemanlarında bağlantı bölgesi uzunluğunun değişim göstermesi testlerde meydana gelen kayma deplasmanı değerleri üzerinde de etkili olmuş ve değişime neden olmuştur. Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun artması deney elemanlarında maksimum kesme gerilmesi değerinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerinin artmasına ve maksimum kayma deplasmanı değerlerinin ise azalmasına neden olmuştur. Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm değerine artış göstermesi durumunda maksimum kesme gerilmesi düzeyinde ölçülen kayma deplasmanı değerleri sırasıyla ortalama 4% ve 2% oranlarında artış göstermiştir.

Deney elemanlarından ölçülen maksimum kayma deplasmanı değerleri ise birleşim bölgesinin uzaması ile azalım göstermiş, ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm değerine artış göstermesi durumunda maksimum kayma deplasmanı değerleri sırasıyla ortalama 8% ve 15% oranlarında azalmıştır.

Deneyisel çalışma kapsamında ahşap-ahşap birleşim bölgesi boyunca birim deformasyon dağılımı değerleri ölçülmüştür. 180, 250 ve 350 mm birleşim bölgesi boyunca sırasıyla 4, 6 ve 8 noktadan birim deformasyon değerleri ölçülerek birleşim bölgesi boyunca gerilme dağılımının nasıl değişim gösterdiği ve maksimum değerleri incelenerek yorumlanmıştır. Deneyisel çalışma kapsamında alınan birim deformasyon ölçümleri incelendiğinde en büyük birim deformasyon değerlerinin 250 mm uzunluğundaki birleşimde meydana geldiği görülmüştür. Maksimum birim deformasyon değerleri 350 mm ve 180 mm uzunluğundaki birleşim bölgelerinde azalım göstermiştir. 250 mm uzunluğundaki birleşim bölgesine sahip deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri, 350 mm uzunluğa sahip deney elemanlarından ortalama 9% daha büyük ölçülmüştür. 350 mm uzunluğa sahip birleşim bölgesi deney elemanları ise 180 mm birleşim bölgesi uzunluğu olan deney

elemanlarından ortalama 316% daha büyük maksimum birim deformasyon değerlerine sahiptir. Elde edilen bu sonuç ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun çok fazla uzatılmasının etkili bir şekilde kesme gerilmesi aktarımı üzerinde faydalı bir etkisi olmadığını göstermiştir. Bağlantı bölgesi uzunluğu artırılmasına rağmen ölçülen maksimum birim deformasyon değeri 250 mm'den sonra azalım göstermiştir. Bu bulgu 350 mm uzunluğundaki birleşim bölgelerinde maksimum taşıma gücünde daha düşük oranda bir artış olması ve maksimum kesme gerilmesi değerlerinde ise daha yüksek bir oranda azalım olması bulguları ile örtüşmektedir.

Deneysel çalışma kapsamında diğer incelenen bir değişken ise ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde yapıştırıcıya ek olan kullanılan mekanik ankraj sayısıdır. Çalışma kapsamında mekanik ankraj kullanılmayan ankrajsız deney elemanları haricinde 1, 2, 3, 4 ve 6 adet mekanik ankraj kullanılan deney elemanları üretilmiş ve test edilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde yapıştırıcı haricinde mekanik ankraj kullanılması durumunda birleşim bölgelerinin maksimum taşıma gücü değerleri, maksimum kesme gerilmesi değerleri, maksimum kesme gerilmesi düzeyindeki kayma deplasmanı değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri önemli oranlarda artış göstermiş, maksimum kayma deplasmanı değerleri ise azalım göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar birleşim bölgesinde yapıştırıcı haricinde mekanik ankraj kullanılmasının bağlantı bölgesinin performansını olumlu yönde etkilediğini ve iyileştirdiğini göstermektedir. Ahşap ahşap birleşim bölgesinde mekanik ankraj kullanılması bağlantıların maksimum taşıma gücü değerlerini sadece yapıştırıcı ile birleşim sağlanan deney elemanlarına göre ortalama 52% oranında önemli miktarda artırmıştır. Maksimum taşıma gücü değerlerindeki artış oranları incelendiğinde birleşim bölgesindeki mekanik ankraj sayısındaki artış ile maksimum taşıma gücü değerlerinin çok daha fazla miktarda artış gösterdiği görülmektedir. Birleşim bölgesinde 1, 2, 3, 4 ve 6 adet mekanik ankraj kullanılan deney elemanları, birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcı ile bağlantı sağlanan deney elemanlarından sırasıyla ortalama 24%, 43%, 51%, 66% ve 83% oranlarında daha fazla maksimum taşıma gücü değerleri sergilemişlerdir.

Ayrıca birleşim bölgesinde ankraj kullanılması ile birlikte bağlantı uzunluğunun da artış göstermesi deney elemanlarının maksimum taşıma güçlerinin daha fazla oranda artmasına neden olmuştur. 180 mm, 250 mm ve 350 mm uzunluğunda birleşim bölgesi olan bağlantıda yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarının maksimum

taşıma gücü değerleri, bağlantıda sadece yapıştırıcı kullanılan deney elemanlarından sırasıyla ortalama 37%, 53% ve 66% oranlarında daha büyük elde edilmiştir. Bağlantı bölgesinde mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında hesaplanan maksimum kesme gerilmesi değerlerinin davranış trendi tamamen maksimum taşıma gücü değerleri ile örtüşmektedir. Mekanik ankrajlı deney elemanlarının maksimum kesme gerilmesi değerleri ankraj kullanılmayan deney elemanlarından ortalama 52% oranında büyük hesaplanmıştır.

Elde edilen bu sonuç mekanik ankraj kullanılmasının ahşap-ahşap bağlantı bölgelerinin performansını iyileştirerek taşıma gücünü olumlu etkilediğini göstermiştir. Mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında maksimum kesme gerilmesi kapasitesine ulaşılan kadar meydana gelen kayma deplasmanı değerleri, sadece yapıştırıcının kullanıldığı ankrajsız deney elemanlarından ortalama 33% oranında daha fazla ölçülmüştür. Ankrajlı deney elemanlarının taşıma gücü ve kesme gerilmesi değerleri önemli oranda artış gösterdiği için daha fazla kapasite değerlerine, ankrajsız deney elemanlarına göre bir miktar daha fazla kayma deplasmanı yaparak ulaşmışlardır. Ancak bağlantı bölgesinde ankraj kullanılması deney elemanlarından ölçülen maksimum göçme anındaki kayma deplasmanı değerlerini, ankrajsız deney elemanlarına göre ortalama 30% oranında azalmasına neden olmuştur.

Deney elemanlarında birleşim bölgesinde ankraj kullanılması birleşim bölgesinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerini sınırlandırarak, taşıma gücünde önemli bir miktarda artış sağlamasına rağmen, birleşimlerde göçme meydana gelene kadar çok daha az deplasman oluşmasına neden olmuştur. Elde edilen bu sonuç birleşim bölgelerinde ankraj kullanılmasının taşıma gücünü arttırmanın yanı sıra, hasar meydana gelme potansiyelini de sınırlandırdığını göstermiştir. Ahşap ahşap birleşim bölgelerinde ankraj kullanılması deney elemanlarında birleşim bölgesinde ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinde çok büyük oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur. Ankrajlı deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri ankrajsız sadece yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarına göre ortalama 428% oranında daha büyük ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuç birleşim bölgesinde kullanılan ankrajların bağlantı bölgesinde daha verimli bir şekilde kesme gerilmesi aktarılmasına sağladığını göstermiş olup, maksimum taşıma gücü ve kesme gerilmesi değerlerindeki artışın daha verimli bir şekilde gerilme aktarılmasının sağlanması ile başarıldığını göstermiştir.

Deneyisel çalışma kapsamında incelenen bir diğer değişken ise birleşim bölgesinde kullanılan mekanik ankrajların yerleşim şeklidir. Çalışma kapsamında birleşim bölgesinde ankrajlar tek sıra şeklinde deney elemanına uygulanan aksenal çekme yüklemesi ile konsantrik olarak yükleme ekseninde ve iki sıra şeklinde yükleme eksenini dışında eksantrisite ile bağlantı bölgesine yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bu değişken deney elemanı 7, 8, 9 ile deney elemanı 10, 11, 12 arasında bir karşılaştırma yapılarak incelenmiştir. 7, 8 ve 9 nolu deney elemanlarında 2 adet mekanik ankraj tek sıra şeklinde yükleme ekseninde ve 10, 11, 12 nolu deney elemanlarında ise 2 sıra şeklinde yükleme ekseninin üst ve altında yerleştirilmiştir. Deneyisel çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde birleşim bölgesindeki ankrajların 2 sıra şeklinde yerleştirilmesinin, tek sıra şeklinde yerleştirildiği duruma göre daha iyi performans sergilediği, maksimum taşıma gücü, maksimum kesme gerilmesi ve maksimum birim deformasyon değerlerini artırdığı, maksimum kayma deplasmanı değerlerini ise azalttığı görülmüştür.

Ahşap ahşap birleşim bölgesinde 2 sıra şeklinde mekanik ankraj yerleştirilen deney elemanlarında bir sıra şeklinde yerleştirilen deney elemanlarına göre maksimum taşıma gücü, maksimum kesme gerilmesi ve maksimum birim deformasyon değerleri sırasıyla ortalama 5%, 5% ve 9% oranlarında artmış, maksimum kayma deplasmanı değerleri ise ortalama 3% oranında azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar 2 sıra şeklinde ankraj yerleşim şeklinin tek sıra ankraj yerleşimine göre ahşap ahşap birleşim bölgesi performansına daha fazla olumlu etki yaptığını göstermiştir.

6. SONUÇLAR

Yürütülen çalışma kapsamında sadece yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj yerleştirilen ahşap ahşap birleşim bölgelerinin eksenel çekme kuvveti etkisi altında kayma gerilmesi – kayma deplasmanı davranışı ve birleşim bölgesi boyunca birim deformasyon dağılımlarının incelenmesi için kapsamlı bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler ahşap birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcı kullanılması ve yapıştırıcıya ek olarak mekanik ankraj kullanılması, bağlantı bölgesinde kullanılan mekanik ankrajların sayısı ve yerleşim şeklidir. Çalışmada toplam 21 adet ahşap ahşap birleşim bölgesi deney elemanı tasarımı gerçekleştirilen özel bir deney düzeneği ile eksenel çekme kuvveti etkisinde göçme meydana gelene kadar monotonik olarak arttırılan yükleme ile test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Ahşap ahşap birleşim bölgesi uzunluğu arttıkça maksimum taşıma gücü değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Mekanik ankraj kullanılmayan sadece yapıştırıcı ile oluşturulan ahşap-ahşap bağlantılarında birleşim bölgesi uzunluğu arttıkça maksimum taşıma gücü değerlerinde meydana gelen artış daha düşük oranda meydana gelirken, bağlantı bölgelerinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılması maksimum taşıma gücü değerleri üzerinde daha büyük oranda etkili olmuş ve daha fazla oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur.
- Ahşap ahşap birleşim bölgesinin uzunluğunun artması deney elemanlarından ölçülen maksimum kayma gerilmesi değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcının kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı uzunluğunun artması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerlerinde meydana gelen azalış daha büyük oranda meydana gelirken, birleşim bölgesinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajların kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı bölümünün uzaması kesme gerilmesi değerlerinin daha düşük oranda azalmasına neden olmuştur.
- Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun artması deney elemanlarında maksimum kesme gerilmesi değerinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerinin artmasına ve maksimum kayma deplasmanı değerlerinin ise azalmasına neden olmuştur.
- Deneysel çalışma kapsamında alınan birim deformasyon ölçümleri incelendiğinde en büyük birim deformasyon değerlerinin 250 mm uzunluğundaki birleşimde meydana

geldiği görülmüştür. Maksimum birim deformasyon değerleri 350 mm ve 180 mm uzunluğundaki birleşim bölgelerinde azalım göstermiştir.

- Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun çok fazla uzatılmasının etkili bir şekilde kesme gerilmesi aktarımı üzerinde faydalı bir etkisi olmadığı görülmüştür.
- Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde yapıştırıcı haricinde mekanik ankraj kullanılması durumunda birleşim bölgelerinin maksimum taşıma gücü değerleri, maksimum kesme gerilmesi değerleri, maksimum kesme gerilmesi düzeyindeki kayma deplasmanı değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri önemli oranlarda artış göstermiş, maksimum kayma deplasmanı değerleri ise azalım göstermiştir.
- Maksimum taşıma gücü değerlerindeki artış oranları incelendiğinde birleşim bölgesindeki mekanik ankraj sayısındaki artış ile maksimum taşıma gücü değerlerinin çok daha fazla miktarda artış gösterdiği görülmektedir. birleşim bölgesinde ankraj kullanılması ile birlikte bağlantı uzunluğunun da artış göstermesi deney elemanlarının maksimum taşıma güçlerinin daha fazla oranda artmasına neden olmuştur.
- Deney elemanlarında birleşim bölgesinde ankraj kullanılması birleşim bölgesinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerini sınırlandırarak, taşıma gücünde önemli bir miktarda artış sağlamasına rağmen, birleşimlerde göçme meydana gelene kadar çok daha az deplasman oluşmasına neden olmuştur. Elde edilen bu sonuç birleşim bölgelerinde ankraj kullanılmasının taşıma gücünü arttırmanın yanı sıra, hasar meydana gelme potansiyelini de sınırlandırdığını göstermiştir.
- Ahşap ahşap birleşim bölgelerinde ankraj kullanılması deney elemanlarında birleşim bölgesinde ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinde çok büyük oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde birleşim bölgesindeki ankrajların 2 sıra şeklinde yerleştirilmesinin, tek sıra şeklinde yerleştirildiği duruma göre daha iyi performans sergilediği, maksimum taşıma gücü, maksimum kesme gerilmesi ve maksimum birim deformasyon değerlerini arttırdığı, maksimum kayma deplasmanı değerlerini ise azalttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- APA. (2008). Glulam Product Guide (No.X440D). Washington, ABD, 2-31.
- Barut, A., ve Madenci, E. (2009). Analysis of bolted–bonded composite single-lap joints under combined in-plane and transverse loading. *Composite Structures*, 88(4), 579-594.
- Burdurlu, E. (1994). *Ahşap kökenli kaplama ve levha üretim kullanım teknolojisi*. Ankara:Bizim Büro Basımevi, 156-157.
- Çalışkan, Ö., Meriç, E. ve Yüncüler, M. (2019). Ahşap ve ahşap yapıların dünü, bugünü ve yarını. *DergiPark Akademik*, 6(1), 109-118.
- Hoyle, A. and Woste, B. (1989). *Handbook Of Wood And Wood Based Materials*. USA.
- İnternet:Compton, E. (Haziran 2018). The Northern Tradition. URL: <https://northerntradition.wordpress.com/2018/06/11/the-largest-wooden-dome-in-the-world/> , Son Erişim Tarihi:19.01.2021.
- İnternet:Hadim Boya (Haziran 2015). URL: <http://hadimboya.com/urunler/datasheets/506-0.pdf> , Son Erişim Tarihi:19.01.2021.
- İnternet:(2020).Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Eagle_River_Timber_Bridge#/media/File:Eagle_River_Timber_Bridge.JPG, Son Erişim Tarihi:10.10.2020.
- Izzi, M., Casagrande, D., Bezzi, S., Pasca, D., Follesa, M. and Tomasi, R. (2018). Seismic behaviour of cross-laminated timber structures: A state-of-the-art. *Engineering Structures*, 170, 42-52.
- Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Tümen, İ. ve Atmaca, A. (2008). Laminasyonlu ahşap kirişlerin çeşitli yapılarda kullanımı. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10(14), 20.
- Kermani, A. (1999). *Structural Timber Design* (Birinci Baskı). Edinburgh: Blackwell Publishing 82-87.
- Kobyé Bodjona, L. L. (2016). Hybrid bonded-fastened joints and their application in composite structures: A general review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(9), 764-781.

- Kurtoğlu, A., Zorlu, A. ve Chugg, D. (1979). Yapıştırılmış tabakalı ağaç malzemeler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 5(4), 65-69.
- Mertoğlu, C., Anıl, Ö. ve Durucan, C. (2016). Bond slip behavior of anchored CFRP strips on concrete surfaces. *Construction and Building Materials*, 123, 553-567.
- Silva, L. F., Öchsner, A. and Adams, R. D. (2011). Design rules and methods to improve joint strength. *Handbook of Adhesion Technology* (Second Edition). Berlin: Springer International Publishing 773-810.
- Snogren, R. C. (1974). *Handbook Of Surface Preparation* (First Edition). New York: Palmerton Publishing, 85-90.
- Stalnaker, J. J. and Harris, E. C. (1999). *Structural Design in Wood* (Second Edition). Denver: University of Colorado, 76-85.
- Şenay, A. (1996). *Lamine Edilmiş Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 30-33.
- Uzel, M., Togay, A., Anıl, Ö. ve Söğütü, C. (2018). Experimental investigation of flexural behavior of glulam beams reinforced with different bonding surface materials. *Construction and Building Materials*, 158, 149-163.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZDEN ACEHAN, Ayşegül
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.02.1992, Van
 Medeni hali : Evli
 Telefon :
 e-mail : aysegulozdenacehan@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2015
Lise	Milli Piyango Anadolu Lisesi	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-2017	Home Office	Projeci

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Özden Acehan, A., Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Anıl, Ö. (2020). Ahşap bağlantı noktalarında mekanik ankraj sayısı ve yerleşim şeklinin kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*,13(1), 1-12.

Hobiler

Kitap okuma, piyano çalma, doğa yürüyüşü

DİZİN

A

ahşap · iv, 1, 2, 5, 6, 7, 11, 13, 19,
22, 23, 24, 29, 31, 34, 37, 40,
43, 46, 49, 53, 60, 61, 62, 63,
64, 65, 66
ankraj · iv, 13, 22, 23, 31, 34, 37,
40, 43, 46, 49, 60, 61, 62, 63,
64, 65, 66
Ankraj · 22, 31, 34, 37, 40, 43, 46,
49

B

birim deformasyon · 30, 31, 34,
37, 40, 43, 46, 49, 53, 61, 62,
63, 64, 65, 66

Ç

çekme · iv, 1, 2, 11, 22, 23, 29,
31, 53, 64, 65

D

deney elemanları · 19, 23, 61, 62
Deney Elemanları · 19

deplasman · iv, 13, 22, 30, 63, 66

G

göçme mekanizmaları · iv, 2, 31,
34, 37, 40, 43, 46, 49

K

kayma deplasmanı · iv, 13, 22,
29, 30, 31, 34, 37, 40, 43, 46,
49, 53, 61, 62, 63, 64, 65, 66
kesme gerilmesi · 60, 61, 62, 63,
64, 65, 66
kolon · 5, 6, 7

L

Laminasyon · 7, 11
lamine kereste · 7, 9, 12

M

Maksimum Kayma Deplasmanı ·
54
Maksimum Taşıma Gücü · 54, 55
monotonik · 23, 31, 53, 65

P

Poliüretan · 25

S

sarı çam · 19

Y

yapışma · 2, 13, 22, 23, 24, 29,
30, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49,
53
yapışma bölgesi · 22, 31, 34, 37,
40, 43, 46, 49, 53
yapıştırıcı · iv, 13, 24, 31, 34, 37,
40, 43, 46, 49, 60, 62, 63, 65,
66
yükleme hızı · 30



GAZİ GELECEKTİR..