

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI AHŞAP
KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
EMİN ERSOY**

**Danışman
Prof. Dr. M. Baki Karamış**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI AHŞAP
KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Emin ERSOY**

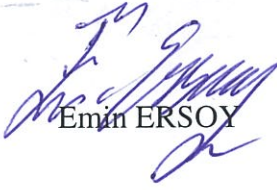
**Danışman
Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından FYL-2018-8038 kodlu proje ile desteklenmiştir.**


**Haziran 2019
KAYSERİ**


BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.


Emin ERSOY

“Cam Elyaf Takviyeli Tabakalı Ahşap Kompozit Malzeme Geliştirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.


Hazırlayan
Emin ERSOY


Danışman
Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ


Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet Altuntop

Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ danışmanlığında **Emin ERSOY** tarafından hazırlanan “**Cam Elyaf Takviyeli Tabakalı Ahşap Kompozit Malzeme Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

28.06. / 2019

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ

Üye : Prof. Dr. Turhan KURŞUN

Üye : Doç. Dr. A. Alper CERİT



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 02/07/2019 tarih ve 2019/07-23 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



02 / 07 / 2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Cam elyaf takviyeli tabakalı ahşap kompozit malzeme geliştirilmesi” başlıklı tezimin seçilmesi, yürütülmesi, sonuçlandırılması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşamasında; maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, akademik hayatıma gerek ahlaki gerekse bilimsel yönden kattığı değerlerle tecrübelerini benimle paylaşan çok değerli danışmanım Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince maddi manevi yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan Doç. Dr. Fehmi Nair ve Arş. Gör. Abdullah Göçer’e çok teşekkür ederim. Çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen bilgisini paylaşan değerli arkadaşım Tusamble Valery WADİ’ye teşekkür ederim. Tez çalışmam esnasında maddi manevi destek sağlayan Özreels firması sahibi Kenan Özdemir’e çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana sağladıkları her türlü maddi ve manevi destekleri ile yanımda olup bugünlere gelmem de en büyük katkıları olan aileme, annem, Asiye ERSOY’a, babam, Bekir ERSOY’a, kardeşim, Yunus Emre ERSOY’a ve beni bu çalışmam da yalnız bırakmayıp, göstermiş olduğu sabır ve özveri ile desteğini her zaman yanımda hissettiğim arkadaşım, Aysel BATTAL’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Emin ERSOY

Haziran 2019, KAYSERİ

CAM ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI AHŞAP KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ

Emin ERSOY

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019
Danışman: Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ**

ÖZET

Sertliği, hafifliği, ekonomisi ve bulunabilirliği ile alternatif malzemelerle karşılaştırıldığında birçok avantaja sahip olan kereste, yüzyıllardır insanoğlu tarafından yapısal, alet, araç malzemesi olarak tercih edilmiştir. Ahşap alternatif malzemelerle kıyaslandığında birçok avantajı olmasına rağmen, mekanik özelliklerini etkileyen bazı kusurları içerir. Kompozit kereste, ahşap sahip olduğu kusurların etkililerini iyileştirmek için geliştirilmiştir. Kompozit ahşap, genellikle endüstriyel ahşap malzemeler veya yüksek mukavemet gerektiren ahşap parçalar olarak kullanılmaktadır. Çünkü yalnız ahşap ürünler darbe yükleri altında çalışan parçalara gerekli mukavemeti sağlamayabilir. Bu çalışmada, kablo makarasının üretiminde tercih edilen tabakalı ahşap kompozitin mukavemetini ve ömrünü artırmak için cam elyaf takviyeler kullanılmıştır. Cam elyafları, PPPPEPPPP, PPPEPPPEPPP ve PPEPPEPPEPP (P: Plak, E: Cam Elyaf) formlarına yerleştirilerek tabakalı ahşap kompozit elde edildi. Daha sonra 75 KW gücünde mikrodalga ısıtma prensibiyle çalışan pres makinesi ile yapıştırılmıştır. Farklı malzemelerin üretiminde kullanılan mikrodalga kürelemeyle üretim alternatif üretim yöntemlerle kıyaslandığında homojen-hızlı ısıtma ve nihai üründe gelişmiş mekanik özellikler sağlar. GFR'nin ahşap kompozitin eğilme, darbe, basma ve çekme dayanımlarına katkısını gözlemlemek için, güçlendirilmiş ve takviyeli olmayan numuneler üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları cam elyaf ile takviyelendirilmiş tabakalı ahşap kompozit numunelerin eğilme mukavemetinde %25'lik bir artış ve kırılma tokluğunda %65 artış olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Kompozit, Mekanik Özellikler, Mikrodalga Isıtma, Tabakalı Ahşap Kompozit, Cam Elyaf

DEVELOPMENT OF GLASS FIBER REINFORCED LAMINATED WOOD COMPOSITE MATERIAL

Emin ERSOY

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, July 2019
Supervisor: Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ**

ABSTRACT

Lumber, that has many advantages when it compared to alternative materials with its stiffness, lightness, economy and availability, has been preferred as materials of structural, tool, vehicles by mankind for centuries. Although timber has such advantages when it is compared with other alternative materials, it contains some defects affecting the mechanical properties. Composite timber has been developed to improve failure effects on woods. Composite timber is often used as industrial woodware or wooden parts requiring high strength. Because, products made of only wood may not supply required strength to parts working under impact loads such as reels carrying cables. In this study, glass fiber reinforcements (GFR) were used in order to increase the work life and strength of laminated wood composite preferred in production of cable reel. Laminated wood composite was obtained by placing the glass fibers in forms of PPPPEPPPP, PPPEPPPEPPP and PPEPPEPPEPP (P:Plate, E:Glass Fiber). After that, they were bonded by press machine working the principles of microwave heating with the power of 75 KW. Production with microwave curing used products of different materials provides uniform-fast heating and enhanced mechanical properties of end product as well as alternative production methods. So as to observe the contribution of glass fiber to the bending, impact, compression and tension strengths of laminated wood composite tests were carried out on reinforced and unreinforced samples. The results of the tests show that there are a 25% increase in bending strength and 65% increase in fracture toughness in the laminated wood composite samples reinforced by GFR.

Keywords: Composites Wood, Mechanical Properties, Microwave Heating, Laminated Wood Composite, Glass Fiber

İÇİNDEKİLER

CAM ELYAF TAKVİYELİ TABAKALI AHŞAP KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ

YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
Ekler Listesi	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tabakalı Ahşap Malzeme Teknolojisi.....	3
1.1.1. Ahşapların Sınıflandırılması.....	4
1.1.1.1. Levha Ürünler	4
1.1.1.2. Yapısal Ürünler	4
1.1.2. Ahşap Laminasyon Avantajları ve Dezavantajları.....	5
1.2. Kaplama Tanımı	6
1.3. Kontrplak.....	6
1.3.1. Kontrplak Üretiminde Kullanılan Ağaç Türleri.....	8
1.3.1.1. Huş Ağacı	8
1.3.2. Kontrplağın Kullanım Alanları ve Avantajları	8

1.3.3. Kontrplağın Üretim Safhaları	9
1.3.3.1. Tomruk Hammadde	9
1.3.3.2. Kabuk Soyma	9
1.3.3.3. Suda Pişirme Kaplama Soyma.....	9
1.3.3.4. Kaplama Kurutma	10
1.3.3.5. Tutkallama.....	10
1.3.3.5.1. Üre formaldehit (ÜF) reçine.....	12
1.3.3.6. Dolgu ve Katkı Malzemesi.....	12
1.3.3.7. Presleme	13
1.4. Ahşap Kompozit Malzeme	14
1.4.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler	15
1.4.1.1. Cam Elyaf	16
1.5. Literatür Taraması	17
1.6. Ambalaj Malzemesi Olarak Tabakalı Ahşap Malzeme.....	21

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem	23
2.1.1. Eğme Testi	23
2.1.2. Darbe Tokluğunun Belirlenmesi	24
2.1.3. Çekme Testi	26
2.1.4. Basma Testi	26
2.2. Materyal.....	27
2.2.1. Ahşap Kaplama Malzeme	27
2.2.2. Reçine.....	28
2.2.3. Cam Elyaf	29
2.2.4. Laminasyon ve Presleme İşlemi.....	31
2.3. Kontrol Grubu.....	32
2.4. Numunelerin Boyutlandırılması	32

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Eğme Test Sonuçları	34
3.2. Darbe Testi Sonuçları	39
3.3. Çekme Testi Sonuçları	42
3.4. Basma Testi Sonuçları	45

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA	51
ÖZGEÇMİŞ.....	62

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Deneme levhalarının üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkal reçetesi..	13
Tablo 2.1. Cam elyaf özellikleri.....	30
Tablo 2.2. Deney metodunda kullanılan tasarımlar ve numune kodlar	31
Tablo 3.1. Numunelerin eğme elastikiyet modülü değerleri.....	39



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Laminated Strand Lumber(LSL) örnek	4
Şekil 1.2. a) Laminated Veneer Lumber (LVL) yatay görünümü b) Laminated Veneer Lumber (LVL) dikey görünümü	5
Şekil 1.3. Kontrplaklarda tabakaların yerleşimi; a) 3 tabakalı kontrplak, b) Orta tabakaları paralel yapıştırılmış 4 tabakalı kontrplak, c) 5 tabakalı kontrplak [13]	7
Şekil 1.4. Kontrplak çeşitleri (a: Kompozit (karma) kontrplak, b: Kaplamalı kontrplaklar) [11]	7
Şekil 1.5. Temel adımlarıyla kontrplak üretim teknolojisi [10, 17, 20].....	9
Şekil 1.6. Kompozit malzeme türlerinin sınıflandırılması.....	15
Şekil 1.7. Cam elyaf formları (a: Keçe, b: +45°, -45° dokunmuş) [32]	17
Şekil 1.8. Ahşap kiriş üzerine fiber takviye uygulanması [47].....	20
Şekil 1.9. a) Masif ahşap kablo makarası, b) Kontrplak kablo makarası.....	22
Şekil 2.1. Eğme deneyinin şematik yapısı [52].....	24
Şekil 2.2. Darbe deneyi uygulama prensibi	25
Şekil 2.3. ASTM D-1037 standardına göre çekme numunesinin boyutları [15].....	26
Şekil 2.4. Basma deney numunesi örneği [54].....	27
Şekil 2.5. Uygun boyutlarda kesilmiş huş kaplamalar.....	28
Şekil 2.6. Dört silindirik tutkal sürme makinesi	29
Şekil 2.7. El yatırması yöntemiyle cam elyafların tabakalar arasına yerleştirilmesi	30
Şekil 2.8. Prese hazırlanmış cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit taslak	32
Şekil 2.9. Dik işleme tezgahında deney numunelerinin standartlara uygun olarak kesilmesi.....	33
Şekil 3.1. Eğme deneyi sonucunda elde edilen her grup için ortalama eğme dayanımı-sehim eğrileri.....	34
Şekil 3.2 Malzemelerin eğme deneyi sonucunda elde edilen eğme dayanımı değerleri.	35
Şekil 3.3. Üç nokta eğme testi kuvvet-sehim eğrileri a) 1A, 1B, 1C ve K8; b) 2A, 2B, 2C ve K8; c) 3A, 3B, 3C ve K8	36
Şekil 3.4. 1B numunenin eğme deneyi esnasında deformasyon davranışı	37
Şekil 3.5. Cam elyaf takviyeli numunenin eğme deneyi esnasında deformasyon davranışı.....	37

Şekil 3.6. Kontrol grubunun (K8) eğme deneyi sonrasında deformasyon davranışları ..	38
Şekil 3.7. Malzemelerin darbe deneyi sonucunda elde edilen kırılma enerjisi değerleri	40
Şekil 3.8. Malzemelerin darbe deneyi sonucunda elde edilen kırılma tokluğu değerleri	40
Şekil 3.9. Numunelerin darbe testi sonucu deformasyon görüntüleri a) 2A kodlu numune, b) 1C kodlu numune.....	41
Şekil 3.10. Çekme deneyi sonrası tüm grupların ortalama $\sigma - \varepsilon$ eğrileri.....	42
Şekil 3.11 Malzemelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri	43
Şekil 3.12. Çekme testi gerilme-yüzde uzama eğrileri a) 1A, 1B, 1C ve K8; b) 2A, 2B, 2C ve K8; c) 3A, 3B ve 3C ve K8.....	44
Şekil 3.13. Basma deneyi sonrası tüm grupların ortalama basma gerilmesi-yüzde kopma uzaması eğrileri	45
Şekil 3.14 Malzemelerin basma deneyi sonucunda elde edilen basma dayanımları.....	46
Şekil 3.15. Basma testi gerilme-yüzde uzama eğrileri a) 1A, 1B, 1C ve K8; b) 2A, 2B, 2C ve K8; c) 3A, 3B, 3C ve K8	47
Şekil 3.16. Basma deneyi sonucunda elde edilen deformasyon örnekleri	48

EKLER LİSTESİ

Ek 1. Üç nokta eğme numune kalınlıkları ve deney uygulama parametreleri	56
Ek 2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları	57
Ek 3. Çekme deney numuneleri ve deney uygulama parametreleri.....	58
Ek 4. Çekme testi sonuçları.....	59
Ek 5. Basma testi numune boyutları	60
Ek 6. Basma deneyi sonuçları	61



GİRİŞ

Ahşap, canlı bir yapıya sahip olan ağaçtan elde edilen, doku özelliği olarak heterojen, lifli bir yapıya sahip organik bazlı bir yapı malzemesidir. Aynı zaman da kolay işlenmesi, onun çok çeşitli amaçlar için kullanılabilmesini sağlayan moleküler ve kimyasal yapısı ile de insanoğlunun yüz yıllardır teknik malzeme olarak en çok tercih ettiği malzemedir. Ayrıca lifli bir yapıya sahip oluşu mühendislik uygulamaların da yüksek mukavemet göstermesine ve esnek oluşuna neden olmuştur [1].

Bazı kullanım yerlerinde masif ahşaba ikame olarak çelik ve plastik gibi alternatif malzemeler olmasına rağmen, hem doğal bir mühendislik malzemesi olarak hem de sürdürülebilir ve yenilenebilir bir ürün olması bakımından ahşabın bu malzemelere karşı üstünlüğü günümüzde de geçerliliğini korumaktadır [2].

Mekanik ve fiziksel özelliklerini tamamlayan sürdürülebilir ve teminin kolay olması gibi avantajları da ahşaba olan talebi artırmaktadır. Bu özellikleri sayesinde geçmişte olduğu gibi yapı ve mobilya malzemesi olarak tercih edilen ahşap, günümüzde gelişen endüstri ile birlikte ambalaj malzemesi olarak da birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle keresteden imal edilen ambalaj ve palet sanayinin talebi, kereste üretimi düşünüldüğünde türev talep özelliği göstermektedir. Yani ülke sanayisinin büyümesi, ihracatın artması palet ve ambalaj talebini de artırmaktadır [3].

Mevcut kereste hammaddesi endüstrinin talebini karşılayamamaktadır. Dünyada hızla gelişen teknolojiye bağlı olarak artan ağaç malzeme kullanımı ahşap hammaddesi temininde zorluklar oluşturmaktadır. Bu sebeple ahşabı en ekonomik ve verimli şekilde değerlendirip kullanımını sağlamak gerekmektedir [4].

Büyük boyutlu ve kavisli elemanların imalatında tek parça olarak masif ahşap malzeme kullanımı hem ekonomik hem de teknik açıdan güçlükler yaratmaktadır. Çünkü ağaç malzemenin doğal yapısında bulunan budak, çatlak, çürük, lif kıvraklığı (spiral liflilik)

gibi mekanik özelliklerini etkileyen kusurlarının tamamen giderilmesi mümkün değildir. Tek parça masif ağaç malzemenin kavisli elemanlarının üretiminde kullanılması; fire oranını ve maliyeti artırmakta, dolayısıyla ekonomik bir yöntem olmaktan çıkmaktadır [5].

Masif ağaç malzemeyi bu gibi dezavantajlarından dolayı daha verimli değerlendirmek adına laminasyon tekniği kullanılmaktadır. Laminasyon tekniği ile üretilen malzemenin masif ağaç malzemeye kıyasla fire oranı, maliyeti ve en önemlisi kusurlarının etkisini azami ölçüde azaltılmıştır [6].

Laminasyon tekniği bu avantajları sunmasına rağmen geçmişten gelen verimsiz orman yönetimleri ve günümüzde aşırı tüketim gibi sebeplerle kereste malzemenin hammadde kaynağı olan dünya orman varlığı, 1990-2000 dönemine kıyasla 2000-2010 yılları arasında daha hızlı azalmaya devam etmektedir.[3] Bu da ahşap işleyen endüstriler için yeterli miktarda ve uygun özelliklerde hammadde temininde problemler ortaya çıkarmaktadır [7]. Bu nedenle daha az ahşap hammadde ile çeşitli takviye malzemeler kullanılan ahşap kompozitler geliştirilmektedir.

Tabakalı ağaç malzemelerin üretiminde kullanılan ahşap materyallerin yapısı, yüzey pürüzlülüğü, pres basıncı, presleme süresi ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri malzemelerin yapışma direnci ve diğer mekanik özellikleri üzerinde etkilidir [8].

Bu çalışmayla; ambalaj (kablo tekeri, sandık vb.) sanayinde tercih edilen ahşap elemanların, takviye malzemesi kullanılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ahşap kompozit malzemenin üretimine etki eden; kullanılan ağacın yapısı, presin türü, takviye malzemesinin formu gibi birçok değişken dikkate alınarak (cam elyaf takviye malzemesinin huş ağacından elde edilen ahşaplar ile farklı kombinasyonlar da mikrodalga ısıtmalı preslerde birleştirilmesiyle) elde edilen tabakalı ahşap kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tabakalı Ahşap Malzeme Teknolojisi

Tüketimin hızla arttığı günümüzde sanayileşmenin getirdiği kirlilik ve küresel ısınma elimizde var olan sürdürülebilir ürünleri daha etkili ve verimli kullanmayı gerektirmektedir. Metaller ve petrol mamulü ürünlerin aksine, orman kaynakları yenilenebilir olduğundan ahşap temelli ürünler sürdürülebilir karakterdedir. Ahşabın mekanik özelliklerini etkileyen kusurlarının (budak vb. gibi) ve anizotropikliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir [9]. Masif ahşabı var olan kusurlarından arındırmanın ve daha iyi kalitede ürün elde etmenin en etkili yöntemlerinden bir tanesi laminasyon tekniği kullanarak üretim yapmaktır [1]. Bu sayede ahşap malzemedен elde edilecek fire oranı azaltılır ve kullanılması güçleşen küçük boyutlardaki ahşap parçaları değerlendirilmiş olur. Endüstride ve yapılarda masif veya yapıştırılmış mühendislik ürünü ahşabın kullanımı giderek artmaktadır.

Sağlam parçalardan elde edilen lamine ağaç malzeme, kusursuz olması yanında lamine katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzemelerden oluşturulduğu için estetik değeri de yüksektir [1]. Yapıştırılmış ahşap malzemeler bir başka adıyla mühendislik ürünü ahşaplarla ilgili birçok sınıflandırma yapılmıştır.

- Levha ürünler
- Yapısal ürünler

1.1.1. Ahşapların Sınıflandırılması

Ahşap ürünler kendi aralarında özellik ve yapılarına göre sınıflandırılırlar.

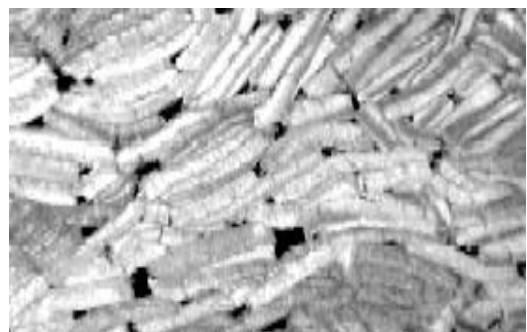
1.1.1.1. Levha Ürünler

Kontrplak, kontrtabla, yonga levha [yonga levha (particle board), etiket yonga levha (wafer board), şerit yongalı yevha (flake board), OSB (oriented strand board)], lif levha (MDF, HDF, izolasyon levhası) gibi ürünlerdir.

1.1.1.2. Yapısal ürünler

Yapısal kompozit keresteler[PSL (Parallel Strand Lumber),LSL (Laminated Strand Lumber), OSL (Oriented Strand Lumber), LVL (Laminated Veneer Lumber), GLULAM (Glued Laminated Timber)], yapısal levha ürünleri [yapısal kontrplaklar, yapısal flakeboardlar (waferboard,OSB)], ahşap I kirişler, COM-PLY kerestelerdir.[10]

Ürün elde edilirken kullanılan ahşabın formuna bakacak olursak; kaplama haline getirilmiş ahşaptan kontrplak, kontrtabla ve LVL üretilir. Yapısal ürünlere taşıyıcı veya konstrüksiyon malzemeleri de diyebiliriz [11].



Şekil 1.1. Laminated Strand Lumber(LSL) örnek



a)



b)

Şekil 1.2. a) Laminated Veneer Lumber (LVL) yatay görünümü b) Laminated Veneer Lumber (LVL) dikey görünümü

1.1.2. Ahşap Laminasyon Avantajları ve Dezavantajları

Tabakalı sistemde ahşap üretiminin sağlamış olduğu avantajlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Masif ahşaplar kusurları itibariyle homojen değildir ve yıllık halka yönüne, budak gibi kusurların boyutuna ve nerede olduğuna göre farklılıklar gösterirler. Lamine edilmiş ahşap üründe kusur ve budak ya levha içine dağıtılmıştır ya da üretimden önce temizlenmiştir. Dolayısıyla lamine edilmiş ahşaplar, masif ahşaplara göre daha homojendirler [12].
2. Yapısal elemanların tasarımında, yüke bağlı olarak kesit alanında farklılık yapmak mümkündür. [13].
3. Masif ahşap gibi tek parçadan oluşmadıkları ve küçük kaplamaların birleştirilmesiyle elde edildikleri için lif kaynaklarının verimli şekilde kullanılmasını sağlarlar [10].
4. Küçük ahşap parçalarının (minimum 20 cm) kullanılmasına olanak sağladığından fire ve zayıf oranı azalmaktadır [13].

5. Lamine ahşap malzeme aynı cins masif ahşap malzemeye göre daha az çalışmaktadır (şişme-daralma). Buna neden olarak laminasyonda ağaç malzemenin katları arasında kullanılan tutkallı su itici özelliği gösterilebilir. Bunun sonucunda; tabakalı ağaç malzeme, aynı cins masif ağaç malzemeye nazaran boyutsal bakımdan daha stabildir.

Dezavantajları ise:

1. Tabakalı üretilecek ahşap malzeme; kaplama, soyma vs. gibi ön hazırlık süreci ile elde edilip tutkalla kaliteli bir birleşme sağlaması için belirli bir nem oranına kadar kurutulması gerektirmektedir. Bu durumlar da ek bir işçilik maliyetine neden olur [14].
2. Kerestenin tutkallanması, nihai ürün üzerinde ek bir maliyet getirmektedir. Ancak aynı boyutta tek parça ağaç malzemeye kıyasla kabul edilebilir bir durumdur.
3. Kurutma, tutkallama, birleştirme, depolama için özel fabrika organizasyonu ve tezgahlar gerekmektedir [14].

1.2. Kaplama Tanımı

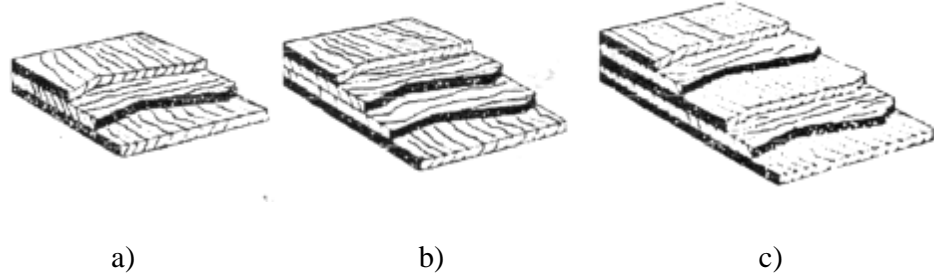
TS 2128'de kaplama için yapılan tanıma göre; odundan soyularak, kesilerek veya biçilerek elde edilen en çok 7 mm kalınlığındaki ince levhalardır [15].

Buna göre kaplamalar üretilme yöntemlerine göre; soyma, kesme ve biçme kaplama olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar [2].

1.3. Kontrplak

ASTM D-907'ye göre kontrplak üretilecek odun kaplama genellikle 0.254–6.35 mm arasında kalınlıklara sahiptir. Kontrplak; ince levhaların lif yönleri birbiriyle 90° açı yapacak şekilde üst üste yapıştırılmış odun levhaları olarak belirtilmektedir [16].

TS 2128'e göre kontrplak; ardışık gelen tabakaların lif doğrultuları birbirine dik olacak şekilde yapıştırılmış, göbeğin her iki tarafında yer alan iç ve dış tabakalar genellikle birbirine simetrik olan bir levha olarak tanımlanmaktadır [15].



Şekil 1.3. Kontrplaklarda tabakaların yerleşimi; a) 3 tabakalı kontrplak, b) Orta tabakaları paralel yapıştırılmış 4 tabakalı kontrplak, c) 5 tabakalı kontrplak [13]

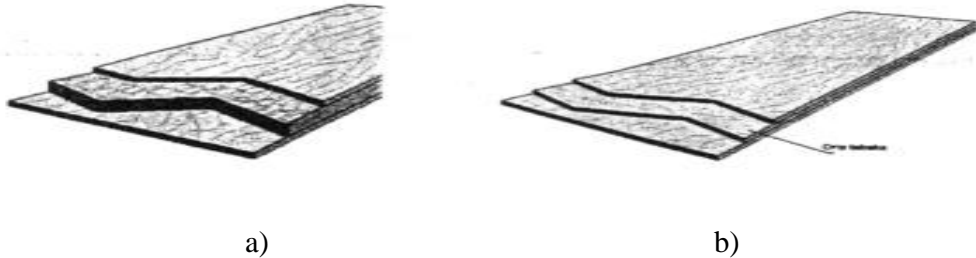
Belirli özelliklerdeki tomrukların özel makinelerde soyulması ile elde edilen ince soyma plaka (papel) lifleri birbirine dik gelecek şekilde tutkalanıp üst üste konularak preslenmesiyle elde edilen büyük boyutlu levha şeklinde bir malzemedir. Plaka sayısı en az üç olmalı ve daha çok plaka kullanılacaksa tek sayıda olmalıdır. Kalınlıkları 3-70 mm arasında olup, genellikle 130 x 220 cm ya da 170 x 220 cm boyutlarında üretilmektedir. En çok üretilen kalınlıklar 3-30 mm arasında değişmektedir [17-18].

Kabul edilmiş standartları kapsayacak şekilde kontrplakları temelde iki sınıfa ayırabiliriz:

a) İnşaat ve endüstriyel kontrplak,

b) Parke ve dekoratif kontrplak.

Literatürde; yapılarına göre, tutkal tipine göre, levha yüzeyine yapılan işleme göre çeşitli sınıflandırılmalar yapılmıştır.[17]



Şekil 1.4. Kontrplak çeşitleri (a: Kompozit (karma) kontrplak, b: Kaplamalı kontrplaklar)

1.3.1. Kontrplak Üretiminde Kullanılan Ağaç Türleri

Kontrplak teknolojisinde kaplamanın elde edildiği ana hammadde olan ağaç türü, kontrplağın mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkili olan en önemli faktördür. Birçok ağaç türü maliyeti, yerel olarak yetişmesi ve büyüme hızı dikkate alınarak kontrplak üretiminde değerlendirilebilmektedir. TS'ye göre kaplama üretimi için kullanılacak ağaç cinsleri; kiraz, dişbudak, karaağaç, kestane, ceviz, meşe, çam, köknar, armut, ıhlamur, kavak, kayın, ladin, kızılğaç olarak belirtilmektedir. Ancak genel dekoratif ya da yapı maksatlı kullanılacak kontrplak üretiminde ağaç türünün seçimi önemlidir. Ülkemizde genel amaçlı kontrplakların üretiminde okume, kayın ve melez kavak türleri daha çok kullanılmaktadır [18].

Kontrplak üretiminde tercih edilecek ağaç türü, kaplama üretiminin kolay ve verimli bir şekilde işlenebilmesi için dikkat edilmesi gereken bir unsurdur.

1.3.1.1. Huş Ağacı

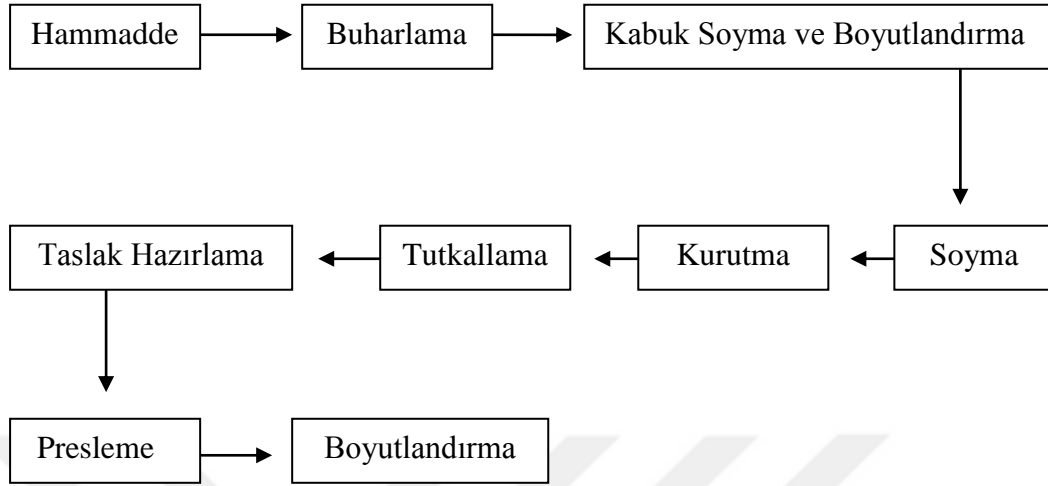
Kayın ağacı, ülkemizde yetişen bir ağaç türü oluşu ve kontrplak üretimine uygun olan bir ağaç olması nedeni ile endüstride tercih edilen ağaç türlerindedir. Ancak kayın ağacının ülkemizde istenilen kalite, miktar ve randımanda bulunamaması nedeniyle yurt dışından ithalatına ağırlık verilmiştir. Bu da daha düşük maliyeti olan ve daha kolay elde edilen yeni ağaç cinslerini üretime almaya ve araştırmaya yönlendirmiştir. Huş kerestesinden kontrplak üretimi, hammadde olarak ülkemiz ormanlarından ve yurt dışından karşılanabilir [4].

Huş ağacı kullanılarak üretilen kontrplakların mekanik ve fiziksel özelliklerinin, kayın kontrplaklara yakın sonuçlar verdiği ve kullanım amacına göre istenilen standartları karşıladığı tespit edilmiştir. Ayrıca huş tomruğundan üretilen kaplamalar, kayın ağacından üretilen kaplamalar ile görünüm ve renk açısından karşılaştırıldığında benzerlikleri dikkat çekici bir diğer noktadır [4].

1.3.2. Kontrplağın Kullanım Alanları ve Avantajları

Kontrplak endüstride yalıtım, ambalaj, palet, yer döşemesi, kablo makarası olarak kullanılmaktadır. Kontrplak kullanmak ara katmanlarda yekpare kaplama yerine küçük parçalarında kullanılmasını sağladığından ahşap kullanımı açısından verimlidir.

1.3.3. Kontrplağın Üretim Safhaları



Şekil 1.5. Temel adımlarıyla kontrplak üretim teknolojisi [10, 17, 20].

1.3.3.1. Tomruk Hammadde

Tomruk hammadde, tomruk ağaçlarının kesildikten sonra nakliyesini, depolanmasını ve işlenmesini kolaylaştırmak için silindir şekline getirilmiş gövdesidir. Tomrukların işlenmesiyle kaplamalar üretilir. Tomrukların üretime dahil oluncaya kadar çürüme, çatlama ve böcek zararlılarına karşı korunması gerekir [19].

1.3.3.2. Kabuk Soyma

Tomruklar kaplama, soyma işlemine tabii tutulmadan önce kabuklarının uzaklaştırılması gerekir. Bu sayede; çürük ve çürüme nedeni ile direncini kaybetmiş kısımlar ile ağacın kesilme, nakliye ve depolama sırasında yüzeyine yapışan yabancı sert cisimler uzaklaştırılır. Böylece kaplama elde ederken bıçakların önce kabukla değil ham keresteyle karşılaşması sağlanır.

1.3.3.3. Suda Pişirme Kaplama Soyma

Kaplama soyma işleminden önce kabuğu soyulmuş tomruğun yumuşatılması gerekmektedir. Kaplamalık tomruklar, sıcak su içerisinde ısıtılarak ya da su buharıyla yumuşatılır. Bu işlemle odunun hem soyucu ve kesici takımına daha az zarar vermesi hem de tomruk yüzeyindeki yabancı maddelerin uzaklaştırılması sağlanmış olur. Bu sayede ahşap hammadde; kaplama, soyma ve kesme işlemleri için daha uygun duruma gelir ve üretilen levhaların yüzeyleri düzgün olur [2].

Soyma makineleri; temel levhası, ayak, kızak, kavrama kolları ve başlığı ile tahrik mekanizmasından oluşur. Kavrama kolları kavrama başlığıyla birlikte tomruğu her iki ucundaki merkezden kavrar ve ekseni etrafında döndürür. Bıçak ve basınç levhası veya makine silindirlerinden oluşan makine kızıağı sürekli olarak tomruğa doğru ilerler. Ayna mesafesine kadar işlem devam eder ve ardından merkezde kalan küçük çaplı tomruk artık olarak atılır [20].

Kaplamanın özellikleri; ağacın cinsine, soyma makinesinin ayarlarına bağlıdır. Dolaylı olarak üretilen kontrplağın kalitesini etkilemektedir.

Kaplama soyma tezgahından çıkan kaplamaların kusurlu kısımları (budak, çürük vb. gibi) kesilir. Böylece daha düzgün ve kusursuz kaplamalar, tabakalı ahşapta kullanılmak üzere gönderilmiş olur [19].

1.3.3.4. Kaplama Kurutma

Ahşabın sahip olduğu rutubet oranı birçok mekanik ve fiziksel özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Kaplamaların rutubet oranı; üretilen lamine levhaların yapışma kalitesini, mukavemetini, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkiler. Bu sebeple kullanılan ağacın türüne, üretilen lamine ahşabın kullanılacağı ortama göre kaplamaların nem miktarı kontrol altında tutulmalıdır [17].

Kurutma işlemi ise, kaplamaların nem oranını istenilen düzeye getirildiği ısı işlemidir. Fazla rutubet miktarı yapışma kalitesini etkilediğinden, kaliteli yapışma bağı sağlamak amacıyla kaplama kurutma işlemi yapılır [21]. Ayrıca çok düşük rutubet miktarlarına kadar kurutma kaplamaların ıslanabilme yeteneklerini azaltmaktadır. Böylesi bir durum yapışma kalitesinin azalmasına neden olabilmektedir [9]. Yüksek sıcaklıkta kurutma da üretilen tabakalı ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir [22].

1.3.3.5. Tutkallama

Mühendislik ürünü ahşaplarda, ahşap hammaddenin verimli kullanılabilmesi için kilit rolü üstlenen yapıştırma işlemi için kullanılan tutkallar giderek artan bir öneme sahiptir [23]. Tabakalı ahşap imalatında kullanılan yapıştırıcıları doğal kökenli (hayvan, bitki ve

kazein tutkalları gibi) ve sentetik (petrol, kömür gibi petrokimya ürünlerinden elde edilen) tutkallar olmak üzere temelde iki gruba ayırabiliriz [24].

Yapay polimerler olan sentetik reçineleri; temelde termosetting (sıcakta sertleşen), termoplastik (sıcakta yumuşayan) reçineler diye iki gruba ayrılmaktadır. Termosetting reçinelerin, ısı veya kimyasal madde veya her ikisi ile başlayan, çapraz bağlanma reaksiyonu ile tutkal, geri döndürülmez fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğrayarak çözünmez hale gelir. Tabakalı ahşap üretmede en çok tercih edilen üre formaldehit, fenol formaldehit ve melamin formaldehit reçineleri termosetting reçineler grubundandır. Termosetting reçineler yüksek mukavemet gösterebilen, neme ve diğer kimyasallara karşı dayanıklı deforme olmadan yüksek statik yükler taşıyabilen bağlantılar oluştururlar [23].

Termoplastik tutkallarda ise kimyasal bir çapraz bağlanma reaksiyonu meydana gelmez. Bu sebeple reaksiyon geri döndürülebilir ve ısıtma ile tutkal kolayca yumuşayabilmektedir [24].

Günümüzde, dünya genelinde üretilen odun esaslı kompozit levha malzemelerin yaklaşık %90'ı üre formaldehit tutkalı ile üretilmektedir [25].

Tabakaları birleştirmede kullanılan reçineler belirli özelliklere sahip olması gerekir. Bunlar;

- Hazırlanması basit ve hızlı olmalıdır.
- Kullanılan reçinenin mukavemeti, birleştirilen ahşap malzemenin mukavemetinden daha yüksek olmalıdır.
- Reçinenin ahşap malzeme üzerine kolay sürülmesi için sıvı haldeyken viskozitesinin düşük, katılırken de yüksek olması beklenir. Katılırken yüksek viskozite istenmesinin sebebi yapışma yüzeyindeki reçinenin iç kısımlara geçmesini azaltılarak ara katmanda yeterli miktarda reçine olmalıdır.
- Nihai ürünün maliyetini artırmayacak şekilde ekonomik olmalıdır.

1.3.3.5.1. Üre formaldehit (ÜF) Reçine

ÜF reçineleri normalde sıvı halde satılırlar, toz haldeki sertleştiricinin ilave edilmesiyle sıvı tutkalın sertleşmesi sağlanır. Tutkalın sertleşmesi reçine ve sertleştirici karıştırıldığında başlar. Sertleşme reaksiyonunun hızı ısı ile artar. Normal oda sıcaklığında tutkalın sertleşmesi için birkaç saat gerekirken, 80 °C’de birkaç dakika ve 125 °C’de 1 dakikadan daha az bir zaman gerekmektedir.

Güçlü yapıştırma özelliğine sahip olan üre formaldehit tutkalının; suda çözülebilme, düşük sıcaklıklarda hızlı bir şekilde sertleşebilme, tutuşmaması, iyi termal özelliklere sahip olması, kokusuz olması ve fiyatının ucuz olması gibi avantajlara sahipken formaldehit emisyonunun yüksek olması gibi dezavantajları da vardır [28-29].

1.3.3.6. Dolgu ve Katkı Malzemesi

Endüstride tabakalı ahşap üretiminde kullanılan tutkal içine dolu ve katkı maddesi katılarak özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. ASTM-D-1907-77’de katkı maddeleri, görece az miktarda yapıştırma özelliğine sahip, birim alana sürülen esas yapıştırıcının miktarını azaltmaya yönelik tutkala ilave edilen maddelerdir [16]. Dolgu maddeleri ise genellikle yapıştırma özelliği olmayan ve tutkala, onun çalışma özelliklerini, direncini veya diğer özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen maddeler olarak tanımlanmaktadır [16-30]. Katkı maddesi olarak proteinli ve nişastalı buğday, çavdar, patates, soya, mısır tahıl ve baklagil unları tutkala eklenir; böylece tutkal karışımının viskozitesi ayarlanarak makine ile sürülmesi kolaylaştırılmaktadır. Ayrıca reçinenin kaplama yüzeyini ıslatma yeteneği arttırılmakta ve tutkalın kaplama içine nüfuz etmesini (penetrasyonunu) engellenmekte, sertleşmiş üre reçinesinin gevrekliğini ve tutkal hattında gerilimleri önemli oranda azaltmakta ve sıcak preste tutkalın viskozitesinin azalmasını engellemektedir [25].

Yapıştırılmış yüzeyler arasında bağ direncinin kalitesi ve ömrünü etkileyen en önemli faktör reçinedir. Bu sebeple reçinenin odunun cinsine, kaplamaların preslenme koşullarına, elde edilen levha ürünlerin kullanma ortamları göz önünde bulundurularak seçilmesi gerekir [26].

Endüstride kontrplak üretiminde kullanılan tutkal karışım oranları Tablo1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Levhalarının üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkal reçetesi

Tutkal Karışımını Oluşturan Maddeler	Oran	Birim Ağırlık
ÜF reçinesi	%55	100
Buğday Unu	%30	30
NH ₄ Cl	%15	10

Kaplamalara tutkal sürme merdaneli ya da perdeleme yöntemleriyle yapılmaktadır. İki silindiri ya da dört silindiri sistemlerde kaplama merdaneler arasından geçirilerek her iki yüzeyine de eşit ve uniform şekilde tutkal sürülmesi sağlanır.

1.3.3.7. Presleme

Reçinesi sürülmüş kaplamalar üst üste taslak oluşturulduktan sonra yüzeylerinin tam temas edip kaliteli yapışmayı sağlamak amacıyla presleme işlemi yapılır. Uygulamada istenirse ön presleme ardından sıcak presleme yapılabilir. Sıcak preslemede aşağıda ki üç temel unsur göz önünde bulundurulmalıdır;

- Isın uygulanma süresi en az olmalıdır.
- Preslerde uzun yapışma zamanı gerekiyorsa daha fazla dikkat edilmelidir.
- Üretimi hızlandırmak adına aşırı basınç ve ısı uygulanması tabakalı ahşap malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyeceğinden kaçınılmalıdır [27].

Mikrodalga ile ısıtarak birleştirme ya da mikrodalga kütleme, literatürde ve uygulamada özellikle sinterleme alanında ki çalışmalarda araştırılmıştır. Mikrodalga ışınlarına maruz kalmış maddenin molekülleri saniyede yaklaşık 3 milyar defa titreşir bu titreşimle birlikte moleküller ısınır dolayısıyla madde de ısınmış olur. Mikrodalgalı preslerde

ısıtma malzemenin her yerinde aynı etkide olduğundan homojen ısıtma sağlanmış olur. Mikrodalga pres çalışma mantığı endüstriyel mikrodalga fırınla aynı esastadır. Malzemenin içine nüfuz eden mikrodalgalar tüm molekülleri aynı zamanda ısıtır ve enerjilerini yükseltir. Buna rağmen malzeme dışında ki hava moleküllerini ısıtmaz. Böylece enerji verimliliği gereksiz ısı israfını önlemiş olurlar. Mikrodalga ile ısıtmanın dezavantajı, aşırı kalın malzemelerde iç kısımlarda ki mikrodalga etkisinin azalmasıdır [28].

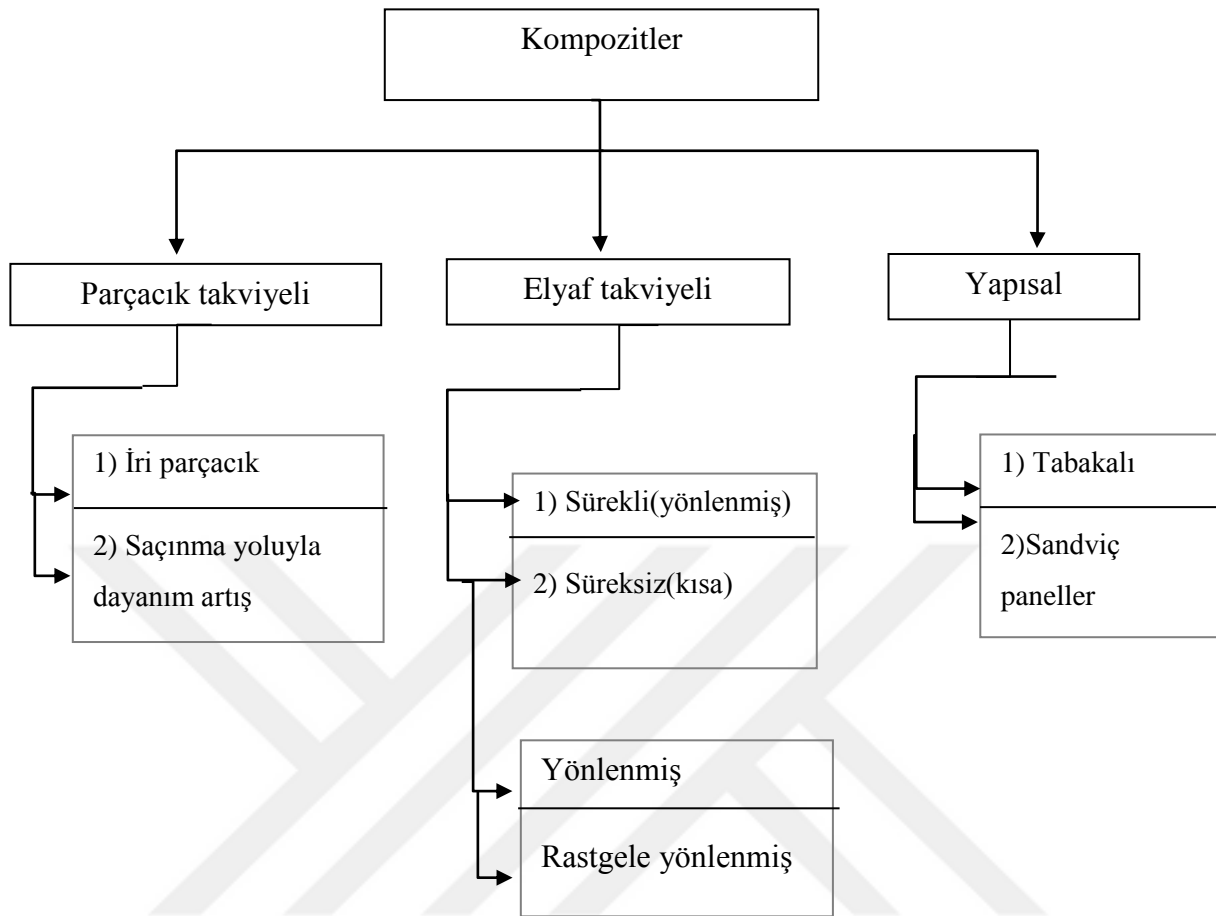
Mikrodalga ve klasik ısıtma yöntemlerini kıyaslayacak olursak; mikrodalga ile ısıtma daha hızlı ve verimlidir. Kaplamaların yüksek ısıya ve yüksek basınca uzun süre maruz kalması üretilen son mamul tabakalı ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyeceğinden alternatif çalışma prensibi olan presler kullanılmaktadır.

Kontrplak üretmek ideal pres sıcaklığı 125-150°C'dir. Çok sayıda kaplamadan elde edilecek tabakalı ahşabın mekanik özelliklerinde etkilememesi için preslenme süresini kısaltmak gerekir. Uygulamada bunun için yüksek frekans ile ısıtma ya da mikrodalga ile ön ısıtma işlemi yapılabilir [29].

1.4. Ahşap Kompozit Malzeme

Kabul edilmesi gerekir ki her malzemenin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin aynı olması beklenmez. Mevcut malzemelerin farklı kombinasyonlarda birleştirilmesiyle daha iyi özellikleri olan çok fazlı malzeme, kompozit malzemedir. Burada ki amaç, iki veya daha fazla malzemenin daha iyi özellikler de ürün elde etmek için bir araya getirilmesidir. Kompozit malzemeler; takviye fiberler hafifliği, yüksek mukavemeti, mükemmel korozyon direnci, tasarımdaki esnekliğinden dolayı birçok alanda tercih edilirler [30].

Kompozitlerin en temel sınıflandırılması Şekil 1.6'da görüldüğü gibidir [31].



Şekil 1.6. Kompozit malzeme türlerinin sınıflandırılması

1.4.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler

Teknolojik olarak en önemli kompozit tipi olan elyaf takviyeli kompozitler, takviye fazını elyaf şeklinde barındırırlar. Elyaf takviyelerin en belirgin özellikleri, hafif ve yüksek dayanıma sahip olmalarıdır [31].

Matris içinde yer alan takviye malzemeleri, kompozit malzemenin mukavemetini önemli ölçüde etkilediği birçok çalışmayla ortaya koyulmuştur [37, 38, 39, 40]. Elyaf takviyenin formu yani yönlendirilip yönlendirilmediği, matris içine nasıl konumlandırıldığı, kompozit malzemenin özelliklerini doğrudan etkileyen önemli unsurlardandır. Örneğin çekme mukavemetinde; elyaf doğrultularında yüksek mukavemet elde edilirken, dik doğrultularda çok daha az mukavemet elde edilir. Takviye malzemesinin yerleşimi, yoğunluğu, yönlenmesi; kompozit malzemenin beklenen özelliklere göre seçilmeli ve konumlandırılmalıdır.

1.4.1.1. Cam Elyaf

Maliyeti, hafifliği, mekanik ve fiziksel özellikleri itibariyle en çok tercih edilen takviye malzemesi, cam elyaflardır. Birçok matris malzemesi (metal, seramik vb.) ile bileşen oluşturması avantajı ile yeni uygulama alanları ve yeni matris malzemelerde kullanma imkanları doğurmuştur. Takviye malzemesinin fiziksel formu, kompozit malzemenin özelliklerini etkilediğinden kompozit malzemedeki beklenen özellikleri karşılayabilecek fiziksel biçimleri üretilmiştir. Elyaf doğrultuları matris içerisine kompozit malzemenin çekme mukavemetinin yüksek olması gerektiği doğrultularda yerleştirilmelidir.

Cam elyafının üretim yöntemleri ve eklenen bazı kimyasallara göre türleri vardır;

-A Cam- Pencerelerde ve şişelerde yaygın kullanılan yüksek oranda alkali içeren cam çeşididir. Kompozitler de çok fazla kullanılmaz.

-C Cam- Kimyasal çözeltilere karşı yüksek direnç gösterir. Bu özelliğinden dolayı depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

-E Cam- Kompozitler takviye elemanı olarak en çok kullanılan cam türüdür. Alkali oranının düşük olması elektriksel yalıtkanlığını sağlamıştır. Maliyet ve yalıtım ve düşük su özelliği yönünden avantajlıdır.

-S Cam- Yüksek maliyetli ve yüksek mukavemetli bir camdır. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır [30, 41].

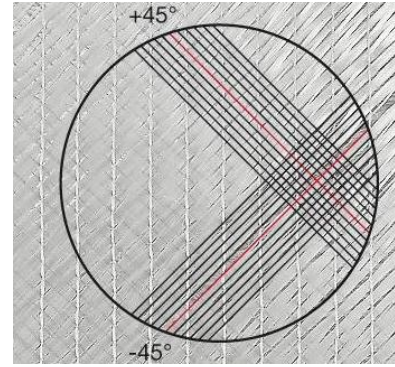
Cam elyaflarının kırılmış (kesikli, süreksiz yapıya sahip) ve fitil, keçe, kumaş (sürekli yapıya sahip) formları mevcuttur.

Kumaş cam elyafları, fitillerin endüstrideki ihtiyaçları doğrultusunda belli bir düzen içinde, tek eksenli, çift eksenli, ya da üç eksenli dokunmasıyla elde edilmiştir. Eğer çift eksenli ise fitiller dokuma sırasında birbirleriyle 45°lik veya 90°lik açı yapabilir. Uygulaması da el yatırmasıyla olan kumaş cam elyafları denizcilikte, otomotiv ve uçak sanayinde kullanılır. Kompozit malzemenin kullanılacağı yerde gerektirdiği mekanik özelliklere göre seçim yapılır ve üretilir. Keçe cam elyafı yönsüz keçe formunda bir araya getirilmiştir dolayısıyla dokunmuş kumaşlara göre yoğunluğu daha az ve

reçinenin etki edeceği elyaf yüzeyi daha genişdir. Ama yönlendirilmiş mekanik özellikleri karşılamaz.



a)



b)

Şekil 1.7. Cam elyaf formları (a: Keçe, b: +45°, -45° dokunmuş) [32]

El yatırma yöntemi kompozit malzeme üretmede en kolay yöntemlerdendir. Hazırlanan kalıp üzerine serilen elyaf kumaşlarının katmanlarına elle reçine sürülür ve emdirilir. Kalıp temizliği ve kalıp yüzeyi önemli bir etkindir. Kalifiye eleman gerektirmeyen bir yöntem olmasına rağmen seri üretime uygun değildir.

1.5. Literatür Taraması

Literatürde, doğrudan ahşap kablo makarasının güçlendirme çalışması yapılmamıştır. Daha çok yapısal kiriş diye tabir edilen, glulam, LVL gibi, tabakalı ahşap malzemelere takviye malzemeleri kullanıp ya da farklı ağaç türlerinin kombinasyonlarından kompozit malzeme üretip mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Lamine ahşap kompozit için temel elemanlar; ahşap, yapıştırmak için kullanılan reçine ve takviye malzemesidir.

Kmeid ve diğerleri [33] karbon takviye lifler (CFRP) ve çelik plaka ile güçlendirilmiş glulam kiriş ile güçlendirme yapılmamış glulam kiriş arasında kıyaslama yapmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Kullandıkları takviye malzemeleri ile daha az ahşap kullanmışlar buna ek olarak maliyeti de azaltmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar da iki grup arasında belirgin farklar olduğunu

tespit etmişlerdir. Takviye malzemesi kullanılan kirişlerin sünekliği ve yük taşıma kapasiteleri artmıştır.

Hallstrom ve diğerleri [34] cam elyaflar ile takviyelendirilmiş farklı formlardaki ahşap kirişlerin, çatlaklara karşı dayanma durumunu araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; cam elyaf takviye kullandıkları kirişlerde, çatlak ilerleme hızının takviyesi kirişlere göre daha yavaş olduğunu ve bu takviye malzemesinin bir çeşit çatlakları durdurma etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Mengeloğlu ve diğerleri [35] kaplama kullanılarak üretilen yapısal ahşap kereste (LVL) üzerine yaptıkları çalışma da endüstriyel, ticari ve konut yapımında kullanılabilme durumlarını incelemişlerdir. Bu kompozit ahşaplarla üretim için daha çok bilgi araştırma ve pazar tahmini gerektiği sonucuna varmışlardır.

Corradi ve diğerleri [36] ahşap kirişli döşemeler üzerine yaptığı çalışmada takviyeli ve takviyesiz ürettikleri ahşap kompozitlerin kesme özelliklerini hem sayısal hem de deneysel olarak analiz etmişlerdir. Ahşap kalas ve beton ile takviye edilmiş kompozitlerin kesme dayanımının da ve sertliğinde önemli artış elde etmişlerdir.

Kaplama ahşap kompozitlere karbon lif takviyesi üzerine bir çalışma olan, Xu ve diğerleri [37] çalışması, karbon lif uzunluğunun ve yönlendirilmesinin esnekliğe olan etkisini incelemiştir. Yönlendirilmiş karbon liflerin mukavemeti artırmada etkili olduğu saptanmıştır. Lif uzunluğu açısından kısa karbon liflerin, yüksek eğilme mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir.

Karayılmazlar ve diğerleri [38] tek parça masif ağaç malzemenin lamine ağaç malzemeyle mukayese ettikleri çalışmalarında, masif ağaç malzemenin üretilen tek parça kavisli elemanlarda olduğu gibi fire oranını artırdığını ayrıca ahşap malzemenin doğal olarak bulunan çürük, budak gibi kusurların mukavemetini azalttığını bildirmişlerdir. Bu gibi durumlarda büyük tek parça masif ahşap yerine laminasyon tekniği ile üretilen ahşapların hem mukavemetinin çok daha iyi olduğunu hem de fire oranını azalttığından orman kaynaklarının daha verimli kullanılacağını belirtmişlerdir.

Li ve diğerleri [39] karbon lif takviyeli tabakalı ahşabın eğilme mukavemeti üzerine araştırma yapmıştır. Karbon lif; 1, 2 ve 3 katman sayılarında kullanılarak üretilen

tabakalı ahşap kompozitin teorik ve deneysel analizleri mukayese etiklerinde eğilme mukavemetlerinde yaklaşık yarı yarıya artışlar meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Brunner ve diğerleri [40] karbon lif takviyeli tabakalı ahşap malzemenin eğilme direncini araştırmışlardır. Karbon lif takviyesi ile eğilme direncinde önemli artış elde edildiği sonucuna varmışlardır.

Basterra ve diğerleri [41] sentetik fiberin, cam elyaf ve karbon elyaf, yanı sıra keten elyaflar kullanarak ürettikleri kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçta karbon elyaf takviyeli numunelerin özelliklerini istatistiksel olarak daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Raftery ve diğerleri [42] kompozit ahşap malzeme üretmekte kritik öneme sahip farklı reçine türlerini araştırmıştır. Cam fiber, ahşap ve üç farklı ticari epoksi reçineden elde edilen numuneler ile masif ahşaptan elde edilen kontrol grubu arasında mukayese yapmışlardır. Tutkal tabakalarının birçok hidrotermal gerilmelere karşı yüksek dayanımda olduğunu göstermiştir.

Bal ve diğerleri [43] hazırladıkları masif kereste numuneleri ile aynı ağaç türlerinin soyma kaplamalarından elde ettikleri tabakalı ahşap kaplamaların ısıl genleşme katsayılarını mukayese etmişlerdir. Yoğunluğu yüksek olan numunelerin, ısıl genleşme katsayısının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Konstrüksiyon elemanlarının en önemli kritik noktaları bağlantı yerleridir. Bal ve diğerleri [44] yaptıkları çalışmada güçlendirilmiş tabakalı kaplama ahşabın çivi ve cıvata tutma dirençlerini analiz etmişlerdir. Cam elyaf takviyeli tabakalı ahşap kaplama numunelere cıvata başı çıkma direnci, cıvata çıkma direnci testleri sonucunda cıvata tutma mukavemetinin önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir.

Demir ve diğerleri [45] reçine yerine farklı oranlarda atık naylon kullanarak huş, kavak ve kayın soyma kaplamalardan ürettikleri numuneler üzerinde eğilme testi yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçların gerekli standartları karşıladığını belirtmişlerdir.

Bal ve diğerleri [43] kayın, kavak ve okaliptüs soymak kaplamalarından üre-formaldehit, fenol-formaldehit, ve melamin-üre-formaldehit ile ürettikleri tabakalı ahşap

kaplamaların bazı fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Dende rutubeti, hava kurusu yoğunluk, su alma gibi fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Fenol- formaldehit reçine kullanılanlarda denge rutubeti oranın en yüksek olduğunu, melamin-formaldehit reçinede ise en az olduğunu saptamışlardır.

Doğu kayını soyma kaplama ve epoksi reçinenin karbon fiber ile güçlendirildiği bir çalışmada, hazırlanan numuneler üzerine statik eğilme ve dinamik eğilme (şok) testi yapılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Epoksi ve karbon fiber kombinasyonunda eğilme mukavemetin de artış görülmüştür. Sonuç olarak, ahşaptan yapılan zeminlerde bu kombinasyonlar kullanılarak üretilen kompozitlerin yıpranma süresinin uzun olacağı belirtilmiştir [46].

Corradi ve diğerleri [47] epoksi reçine kullanarak meşe (yumuşak odun) ve köknar (sert odun) kirişlerden fiber takviye (FRP) takviyeli ve takviyesiz 220 deney numunesine eğme testi yapmışlardır. Kirişlerin eğilme durumunda çekme gerilmesinin olduğu yüzeylerini takviyelendirmişlerdir. Belirsizlik analizi yaptıkları çalışmalarında, epoksi reçine ve takviye fiberin kirişlerin mukavemetindeki belirsizliği azalttığını tespit etmişlerdir.



Şekil 1.8. Ahşap kiriş üzerine fiber takviye uygulanması [47]

Raftery ve diğerleri [48] farklı kombinasyonlarda cam elyaf çubuk takviyeli glulam kirişler ve takviyesiz glulam kirişin eğme yükü altında mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda, takviyeli numunelerde moment kapasitesinin %68 oranında arttığını belirlenmiştir.

Thorhallsson ve diğeri [49] toz cam fiber ve bazalt fiber takviyeli ve takviyesi ürettikleri glulam kirişlere dört nokta eğme testi yapmışlar ve eğilme momenti kapasitesini tahmin etmek için matematiksel modellerle karşılaştırmışlardır. Cam elyaf takviyeli malzemenin çekme tarafı, eğilme mukavemetini artırdığını belirtmişlerdir.

Özyurt ve diğeri [50] kumaş cam elyaf takviyeli kavak kaplama kompozitler üretmişlerdir. Sıcak preste ürettikleri numunelerin hem mekanik hemde fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, takviye malzemesinin elastikiyet modülünü ve darbe tokluğunu önemli derecede artırdığını, çekme makaslama dayanımını, su alma yüzdelerini azalttığını belirtmişlerdir.

1.6. Ambalaj Malzemesi Olarak Tabakalı Ahşap Malzeme

Literatürde de üzerinde durulduğu gibi masif ahşabın dezavantajlarından dolayı daha avantajlı olan tabakalı ahşap kullanımı yaygınlaşmıştır. Çok büyük emek ve sermaye vererek üretilen ürünlerin, fabrikadan çıktığı andan itibaren nakliyesi ve depolanması özelliklerini koruyabilmesi önem arz etmektedir. Bunun için üretilen malzemenin özelliklerine göre doğru mukavemette ve fiziksel özellikte ambalaj malzemesi seçilmesi gerekir.

Ahşap ambalaj ürünleri (palet, sandık, kablo taşıma makarası vb.) gelişen ve çoğalan endüstriyel ürünlerin bir gereksinimi olarak artmaktadır. Kablolar, çağımızın en önemli teknolojisi olan sinyali ya da elektrik enerjisini bir noktadan alıp başka noktaya iletir. Bu fonksiyonunu yerine getirebilmesinde tasarım, üretim süreçleri kadar nakliyesi ve depolanması da önemlidir. Kabloların üretildiği ilk andan kullanılacağı ana kadar en güvenli ve yaygın taşınması makaralar ile olmuştur. Mevcut durumda endüstride yaygın şekilde masif ahşap yerine üretilen kontrplak makaralar kullanılmaya başlanmıştır [51].

Kullanılan Şekil 1.9 kontrplak makaraların nakliyesi esnasında indir-bindir durumlarında makara yanaklarının mukavemetinin yetersiz gelmesinden dolayı mukavemetinin güçlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.



a)

b)

Şekil 1.9. a) Masif ahşap kablo makarası, b) Kontrplak kablo makarası



2. BÖLÜM

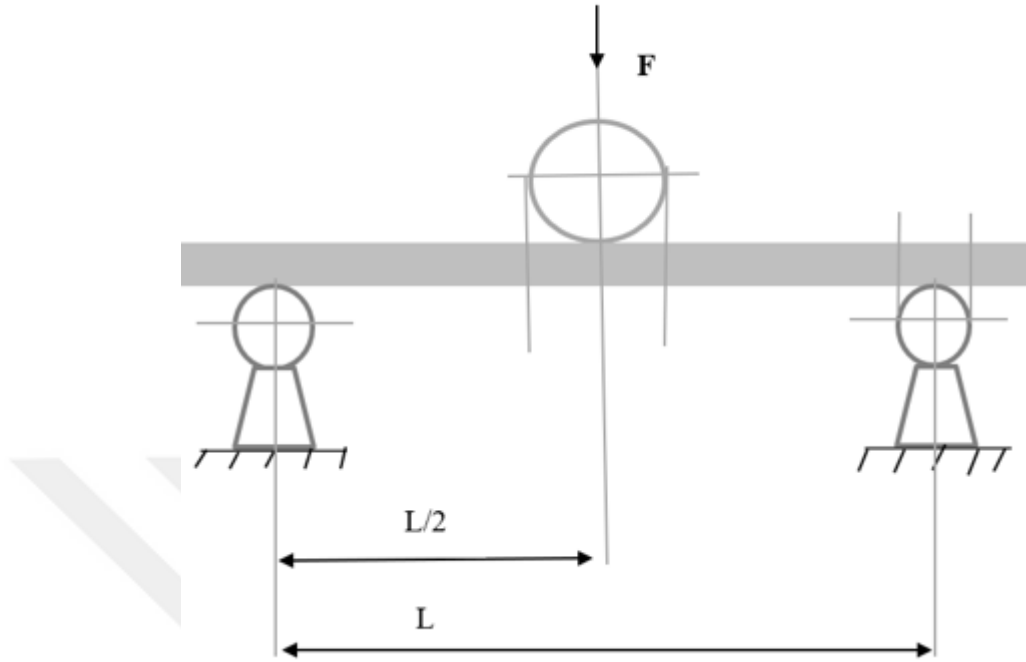
YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem

2.1.1. Eğme Testi

Eğme testi, dairesel veya dikdörtgen kesitli test numunelerinin mesnetler üzerine serbest olarak konumlandırıldıktan sonra ortasından yük uygulanarak eğilme zorlanması altında mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. (Şekil 2.1)

Elastikiyet modülü ve maksimum eğilme dayanımı belirlenmesi için, TS EN 310 numaralı standartta belirtilen şartlarda numune boyutlandırılmış ve testleri yapılmıştır. Mesnetler arası mesafe, numune kalınlığının yaklaşık on iki katı olan 150 mm (L) alınmıştır. Numuneler dörder adet üretilmiş ve ilk iki test sonuçlarında farklarının çok farklı olması durumunda üçüncü ve dördüncü tekrar testleri yapılmıştır [30, 57].



Şekil 2.1. Eğme deneyinin şematik yapısı [52]

Eğme mukavemeti ve eğme elastikiyet modülünün belirlenmesinde aşağıdaki denklemler kullanılmıştır:

$$\sigma_e = \left(\frac{3}{2}\right) \times (F \times L \times b \times h^2) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Burada;

F: Kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

L: Mesnetler arası açıklık (mm)

b: Deney numunesinin genişliği (mm)

h: Deney numunesinin kalınlığı (mm)

$$E = \frac{F}{f} \times \frac{L^3}{4 \times b \times h^3} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

f: sehim miktarı (mm)

2.1.2. Darbe Tokluğunun Belirlenmesi

Darbe testleri, malzemelerin dinamik zorlanmalar altında mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan testtir. Bu test işlemi için, darbe test cihazı kullanılmıştır. (Şekil

2.2). Ayrıca kırılma tokluğu ve kırılma enerjisi hesabında, TS 2477 standardına göre kare kesitli 55 mm uzunluğunda ve çentiksiz olarak hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda kırılma tokluğu (α_{ϕ}) ve kırılma enerjisi (E) hesaplanmıştır.

$$E = G(h - h_1) = G \times L(\cos \beta - \cos a) \quad (\text{Nm})$$

G: Çekicinin ağırlığı (kg)

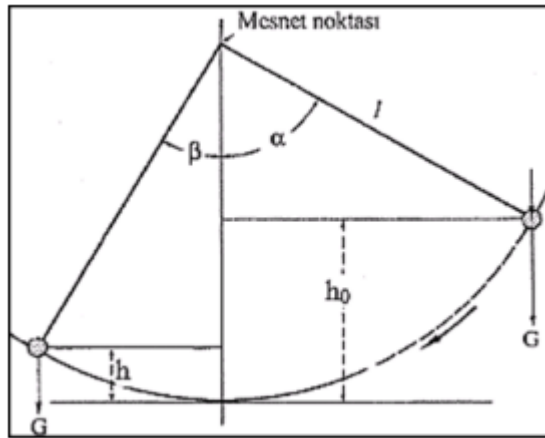
h: İlk çıktığı yükseklik (m)

h_1 : Çekicinin darbeyi uyguladıktan sonra çıktığı yükseklik (m)

$$\alpha_{\phi} = \frac{E}{A} \text{ Nm/mm}^2$$

E: Kırılma enerjisi (Nm)

A: Numunenin kesit alanıdır (mm^2)



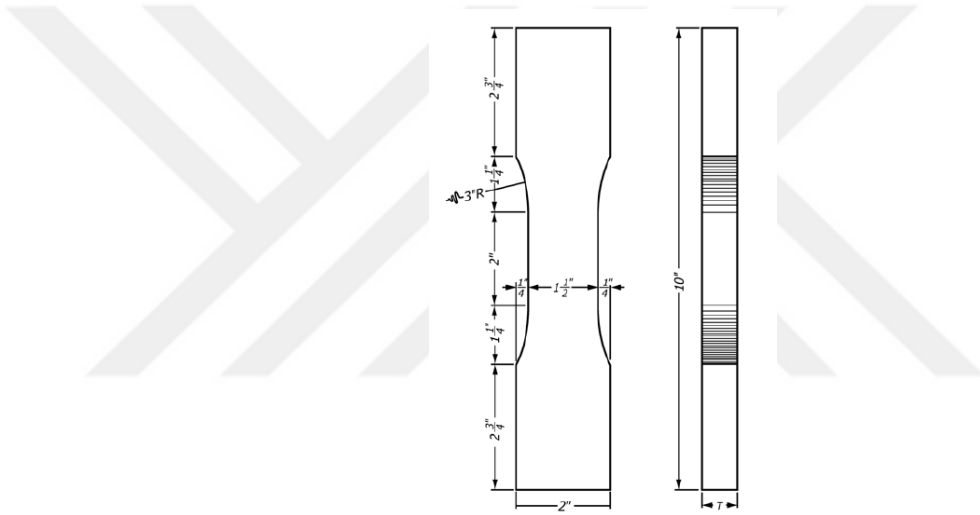
Şekil 2.2. Darbe deneyi uygulama prensibi

Darbe deneyi Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü Malzeme laboratuvarında yapılmıştır.

2.1.3. Çekme Testi

Çekme testi, malzemelerin çekme gerilmesi altında dayanımlarını belirlemek için yapılan ve elde edilen sonuçların birçok makine ve konstrüksiyonun tasarım hesaplarında en çok kullanıldığı testlerden birisidir.

ASTM D–1037 standardında tabakalı ahşap malzemeler için belirtilen boyutlarda hazırlanan numuneler üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Numuneler standartta belirtilen uzunluklarda hazırlanmıştır. Deney sonucunda numunelerin çekme dayanımları (σ_c) belirlenmiştir [16].



Şekil 2.3. ASTM D–1037 standardına göre çekme numunesinin boyutları [15]

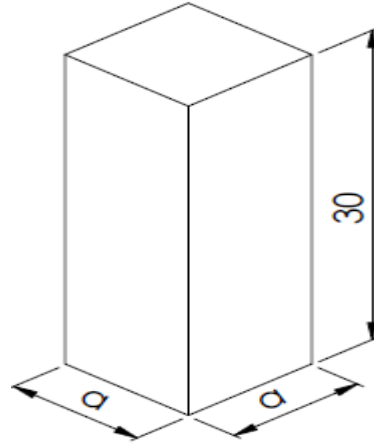
$$\sigma_c = \frac{F}{A} \text{ N/mm}^2$$

F: Çekme kuvveti (N),

A: Çekme yükü doğrultusuna dik numune kesit alanı (mm^2).

2.1.4. Basma Testi

TS 2595 standardında belirtilen esaslar göre hazırlanan test numuneleri basma gerilmesine tabi tutulmuş ve basma dayanımları (σ_b) belirlenmiştir (Şekil 2.4). Hem fiber hem de soyma kaplama sayılarının farklı olmasından dolayı, kare kesitte 30 mm uzunluğunda hazırlanan numuneler basma testine tabi tutulmuştur [53].



Şekil 2.4. Basma deney numunesi örneği [54]

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \text{ N/mm}^2$$

F: Basma kuvveti (N),

A: Kesit alanı (mm²).

Çekme, eğme ve basma deneyleri Erciyes Üniversitesi Teknolojik Araştırma ve Uygulama merkezinde Shimadzu marka cihazda yaptırılmıştır.

2.2. Materyal

2.2.1. Ahşap Kaplama Malzeme

Ahşap olarak Özellikle Rusya ve Ukrayna da yaygın olarak üretilen ve Avrupa'da birçok ülkede kaplama ahşap sektöründe kullanılan huş ağacı tercih edilmiştir. Huş ağacı, maliyeti ve özellikleri itibariyle son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Huş ağacı kereste ve ürünleri ithal edilmesine rağmen, ülkemizde kaplama ahşap sektöründe daha yaygın olarak kullanılan kayın ve kavak keresteye kıyasla, maliyet açısından daha karlıdır [4].

Özreels Ambalaj Firması'nın hali hazırda Rusya'dan %6-7 rutubet oranında tedarik ettiği huş soyma kaplamalar kullanılmıştır. Soyma kaplamaların yoğunluğu 720 kg/cm² dir. 1,5 mm (+/- 0,1 mm) et kalınlığında fabrikaya ulaşan kaplamalar 1250x1250 mm boyutlarında kesildikten sonra numune üretimine geçilmiştir (Şekil 2.5). Deney

numunelerinin üretileceği kaplamalarda özellikle budak, çürük gibi kusurların olmamasına özen gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Uygun boyutlarda kesilmiş huş kaplamalar

2.2.2. Reçine

Tabakalı ahşap kompozit üretiminde, endüstriyel olarak da kaplama ahşap üretiminde en çok tercih edilen üre formaldehit reçine tercih edilmiştir. Tablo 1.' de verilen oranlarda karışım oluşturulan reçine; tabakalı ahşap kompozit üretmede kullanılmıştır. Deney numunelerinin tutkallanması için Şekil 2.6'da görülen dört silindri tutkal sürme makinesi kullanılmıştır.

Kontrol grubunun üretilmesinde kaplamalar, bir tutkallı bir tutkalsız olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney gruplarında buna ek olarak elyaf tabakanın altına ve üstüne gelen kaplamalarda tutkallanmıştır.



Şekil 2.6. Dört silindirli tutkal sürme makinesi

2.2.3. Cam Elyaf

Bu çalışmada, takviye malzemesi olarak bulunabilirliği ve özellikle maliyeti ile çok iyi performans sergileyen cam elyaf tercih edilmiştir. E camdan üretilen $+45^\circ$, -45° ve 90° tek yönlü dokuma kumaş yapılarındaki cam elyafı ile keçe kullanılmıştır. 1250x1250 mm boyutlarında kesilen elyaf formları, tabloda belirtilen düzende soyma kaplamalar arasına yerleştirilmiştir. Şekil 2.7’de her bir farklı form elyaf için üçerli kombinasyonlarda gruplar oluşturulmuştur. Tablo 2.1’de elyaf formu ve sahip olduğu yoğunluk belirtilmiştir.



Şekil 2.7. El yatırması yöntemiyle cam elyafların tabakalar arasına yerleştirilmesi

Tablo 2.1. Cam elyaf özellikleri

Cam elyaf Formu	Yoğunlukları gr/m ²
+45°, -45°	1100
90°	1080
Keçe	400

Takviye fiberler Tablo 2.2’de görüldüğü gibi, tabakalar arasına üç farklı kombinasyonda yerleştirilmiştir. Her bir farklı elyaf formu için bu tasarım tekrarlanmıştır. Mesela Tablo 2.2’de cam fiber kullanılan 1A kodlu numunelerde PPPPEPPPP (P: ahşap kaplama, E: Cam elyaf) dört adet kaplama arasına tek kat elyaf yerleştirilerek numuneler üretilmişlerdir.

Tablo 2.2. Deney metodunda kullanılan tasarımlar ve numune kodlar

Takviye Malzeme Formu	Numune Grubu	Takviye Malzeme Özelliği	Numune kodları	Numune de Takviye Malzeme Konumları
Cam Elyafi	1	+45°, -45° 1100 gr/m ²	1.A	4PE4P
			1.B	3PE3PE3P
			1.C	2PE2PE2PE2P
	2	90° 600 gr/m ²	2.A	4PE4P
			2.B	3PE3PE3P
			2.C	2PE2PE2PE2P
Keçe	3	Devamlı Keçe 400 gr/m ²	3.A	4PE4P
			3.B	3PE3PE3P
			3.C	2PE2PE2PE2P

2.2.4. Laminasyon ve Presleme İşlemi

Tabakalı ahşap kompozit üretiminde kontrplak üretim esasları dikkate alınmıştır. Tutkallanmış kaplamalar ve cam elyafları tabloda belirtildiği düzende laminasyon işlemi yapıldıktan sonra mikrodalga prese yerleştirilmiştir (Şekil 2.8). Hazırlanan tabakalı ahşap kompozitler mikrodalga preste 75 kW enerji ve 12 kg/cm² basınç altında

laminasyon kalınlığına göre 10 ile 15 dakika arası preslenmiştir. Pres 9000 volt dc ve 13.6 MgHz frekans özelliğine sahiptir.



Şekil 2.8. Prese hazırlanmış cam elyaf takviyeli tabakalı kompozit taslak

2.3. Kontrol Grubu

Kontrol grubu takviyesiz sekiz kat kaplama ve aynı reçine karışımın kullanılması ile üretilmiştir. Tabakalı ahşap kaplama levhanın üretim esasları takip edilerek taslaklar oluşturulmuş ve mikrodalga preste pişirilmiştir. Deney standartlarına uygun boyutlarda deney numuneleri hazırlanmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu olarak hazırlanan örnekler K8 diye kodlanmıştır.

2.4. Numunelerin Boyutlandırılması

Hazırlanan dokuz deney grubu ve bir kontrol grubu, deneylerin standartlarında belirtilen boyutlarda dik fireze tezgahında kesilmiştir (Şekil 2.9).



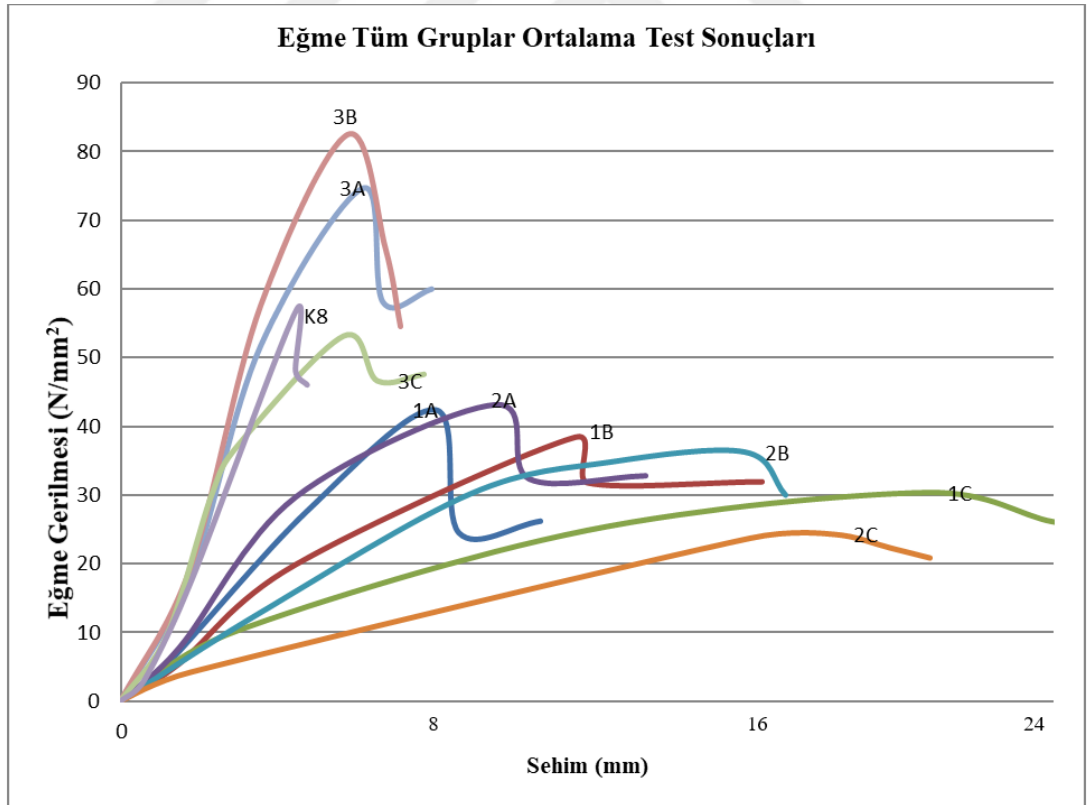
Şekil 2.9. Dik işleme tezgahında deney numunelerinin standartlara uygun olarak kesilmesi

3. BÖLÜM

BULGULAR

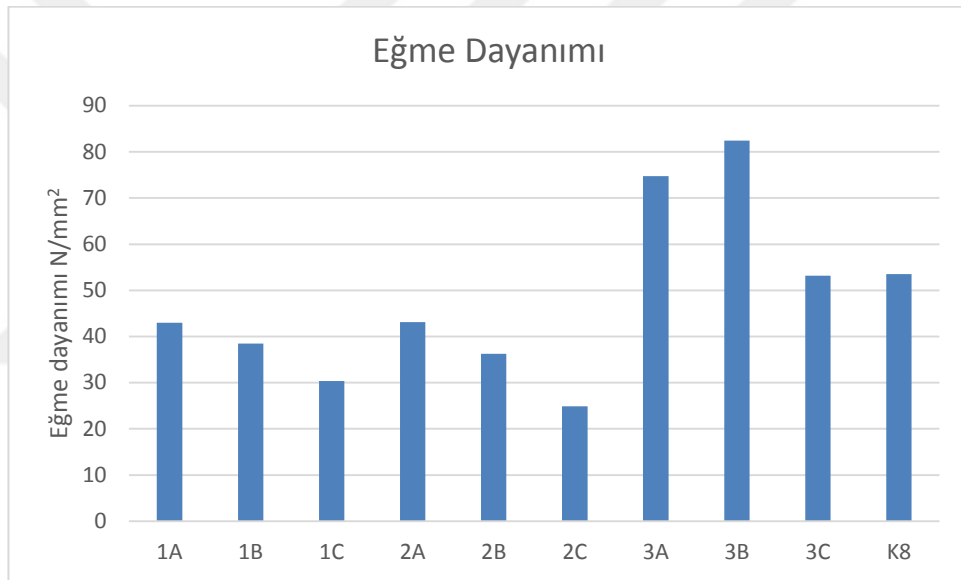
3.1. Eğme Testi Sonuçları

Takviyeli tabakalı ahşap kompozit ile takviyesiz tabakalı ahşap kompozit malzemenin üç nokta eğme deneyi sonucunda elde edilen ortalama eğilme dayanımları Şekil 3.1’de verilmiştir.



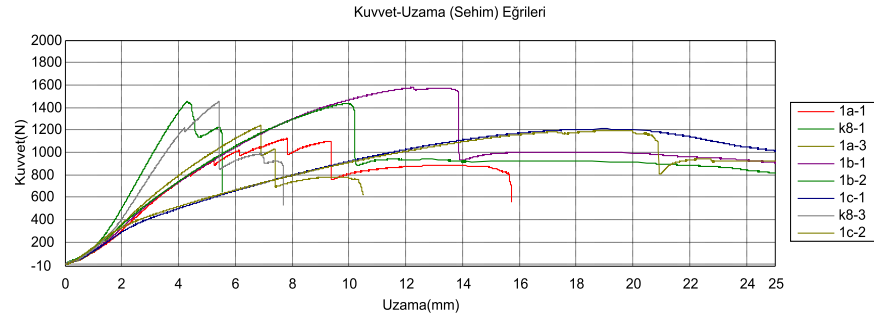
Şekil 3.1. Eğme deneyi sonucunda elde edilen her grup için ortalama eğme dayanımı-sehim eğrileri

Toplam 22 parça numune üzerinde yapılan eğme testi sonucunda, en yüksek eğme gerilmesi değeri: 3B’de $82,4487 \text{ N/mm}^2$ ve en düşük 2C’de $24,85865 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüştür (Şekil 3.2). Yani 3B, K8’in eğilme direncinden %55 daha fazla, 2C ise K8’in eğilme direncinden %50 daha az tespit edilmiştir. Kontrol grubunda eğme gerilmesi $56,6386 \text{ N/mm}^2$ olmasına rağmen, diğer numunelere göre oldukça düşük sehime sahiptir. 90° dokuma elyaf kullanılan ikinci grup (özellikle en küçük eğme gerilmesine sahip olan 2C) üçüncü gruba göre yüksek sehime göstermiştir. 90° dokuma elyaf kullanılan 2. Grupta ve özellikle en küçük eğme gerilmesine sahip olan 2C, üçüncü gruba göre yüksek sehime göstermiştir (EK 2).

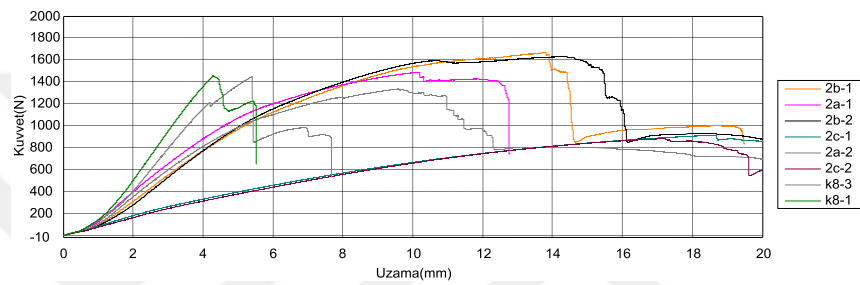


Şekil 3.2 Malzemelerin eğme deneyi sonucunda elde edilen eğme dayanımı değerleri

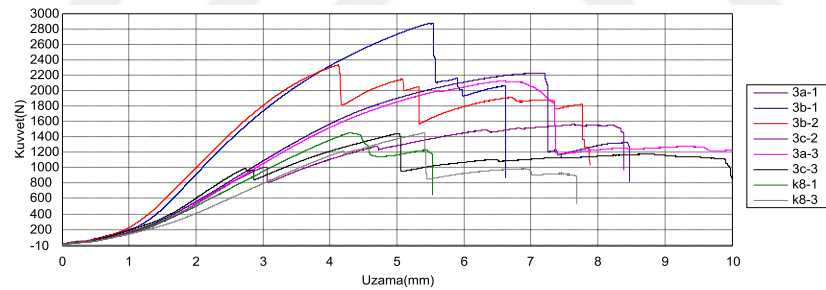
Her bir ayrı elyaf türünden elde edilen numunelerin K8 ile mukayese edildiği kuvvet-uzama diyagramları Şekil 3.3’ de verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 3.3. Üç nokta eğme testi kuvvet-sehim eğrileri a) 1A, 1B, 1C ve K8; b) 2A, 2B, 2C ve K8; c) 3A, 3B, 3C ve K8

Birinci grup ve ikinci grup numuneler, Şekil 3.3 a ve 3.3 b'de görüldüğü gibi K8'den daha yüksek uzama miktarında dolayı plastik deformasyona uğramıştır. Üçüncü grupta ise K8 ile aynı grafiksel özellik sergilemiş, düşük uzama miktarlarında plastik deformasyona uğramıştır. Yalnız akma kuvveti 3B'de K8'den yaklaşık %100 fazladır (Ek 1).



Şekil 3.4. 1B numunenin eğme deneyi esnasında deformasyon davranışı

Şekil 3.4' de 1B eğme deneyi örneğinde görüldüğü gibi; cam elyaf ve reçinenin tam olarak birleşmediği katmanlarda deformasyon, eğme yükü doğrultusunda değil katmanların birbiri üzerinden kaymasıyla meydana gelmiştir. Bu da mukavemetinin artmasını beklediğimiz dokuma cam elyaf takviyeli numunelerin mukavemetinin K8' den daha az olmasına sebep olmuştur.



Şekil 3.5. Cam elyaf takviyeli numunenin eğme deneyi esnasında deformasyon davranışı

1 kodlu +45°, -45° dokuma kumaşın üç kat kullanıldığı 1C numunesinin deformasyonu da elyaf katmanının ayrılmasıyla olmuştur (Şekil 3.5).

Özellikle dokuma elyaf kullanılan 1. ve 2. Gruplarda elyaf doğrultusuna dik yönde uygulanan kuvvetle elyafların eğilmeye zorlanması elyafların matristen ayrılmasını kolaylaştırmıştır. Kontrol grubunda ise eğme yükü doğrultusunda deformasyon meydana gelmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kontrol grubunun (K8) eğme deneyi sonrasında deformasyon davranışları

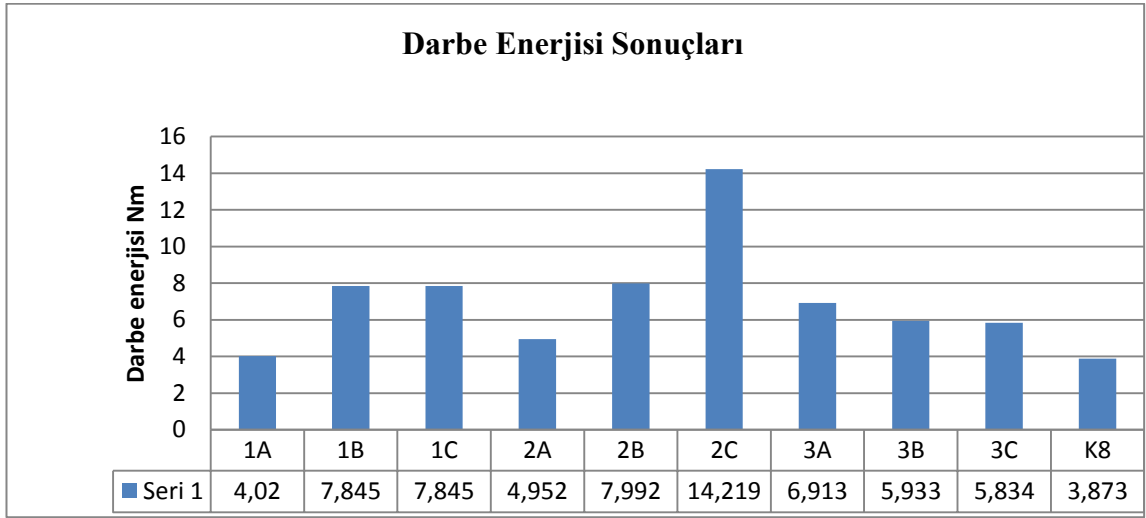
Tablo 3.1. Numunelerin eğme elastikiyet modülü değerleri

Numune kodu	Eğme Elastiklik Modülü N/mm ²
1A	1224,04
1B	1272,92
1C	862,7
2A	1948,7
2B	1046,7
2C	671,27
3A	3226,1
3B	3111,7
3C	3134,6
K8	3606,7

Tablo 3.1'deki değerler, akmanın başladığı noktanın altında eğrinin yaklaşık lineer olduğu kısımdan alınan değerlerle hesaplanan eğme elastikiyet modüllerinin aritmetik ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Sonuçlar da en düşük değer, 2C numunede gerçekleşmiştir. K8 3606,7 N/mm² değeri ile deney gruplarının sonuçlarından yüksek çıkmıştır. 3B numune K8'den daha yüksek eğme dayanımına sahipken, elastiklik modülü değerlerinden K8 ise daha yüksek değere sahiptir. Elastiklik modülünün formülündeki kalınlık ve sehim ile doğru orantılı olması bu duruma sebep olmuştur.

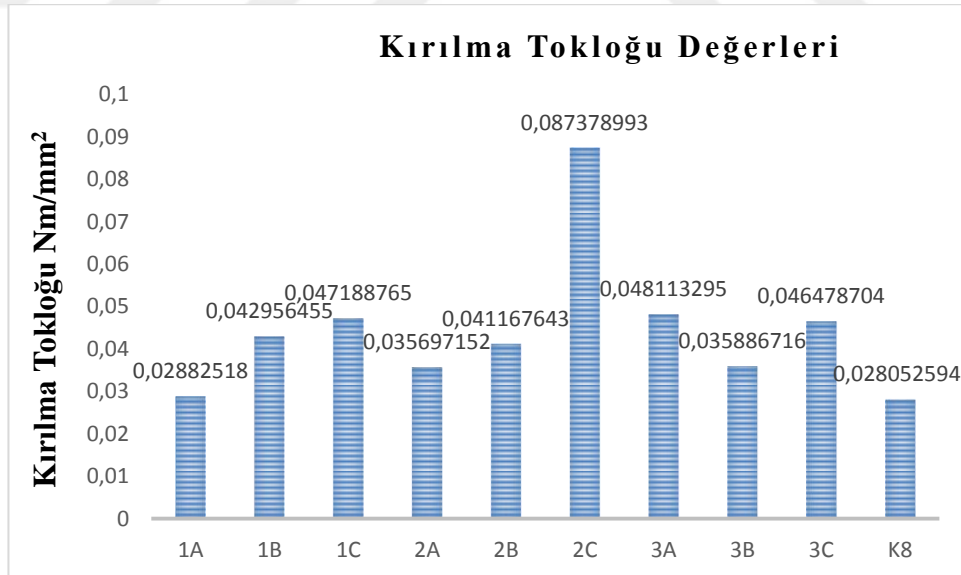
3.2. Darbe Testi Sonuçları

Yapılan testler sonucunda elde edilen kırılma enerjisi değerleri Şekil 3.7'da kırılma tokluğu değerleri Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Malzemelerin darbe deneyi sonucunda elde edilen kırılma enerjisi değerleri

Hazırlanan numunelerin farklı kombinasyonlarda olması kalınlıklarının farklı olmasına sebep olmuştur. Bu sebeple kırılma tokluğunun mukayesesi daha sağlıklı olacaktır.



Şekil 3.8. Malzemelerin darbe deneyi sonucunda elde edilen kırılma tokluğu değerleri

Yapılan tüm testler içinde en düşük kırılma tokluğu değeri, K8 de 0.02805 Nm/mm² ölçülmüştür. En yüksek değer ise, kırılma tokluğu değeri kontrol grubu değerinden yaklaşık %300 daha fazla olan 2C’de elde edilmiştir. Kontrol grubuna en yakın 1A’da

yaklaşık %3 daha yüksek kırılma tokluğu elde edilmiştir. Buna rağmen 1B ve 1C’de yaklaşık %50 artış elde edilmiştir. Üçüncü grubun test sonuçlarında K8’ e göre yaklaşık %60 oranında artış gözlenmiştir.

Takviyeli numunelerin K8’den daha yüksek kırılma tokluğuna sahip olması, kullanılan takviyelerin tabakalı ahşabın süneklliğini artırdığının belirtisi olmuştur. Bazı numunelerin darbe testi sonucu deformasyon görüntüleri Şekil 3.9’ da verilmiştir.



a)



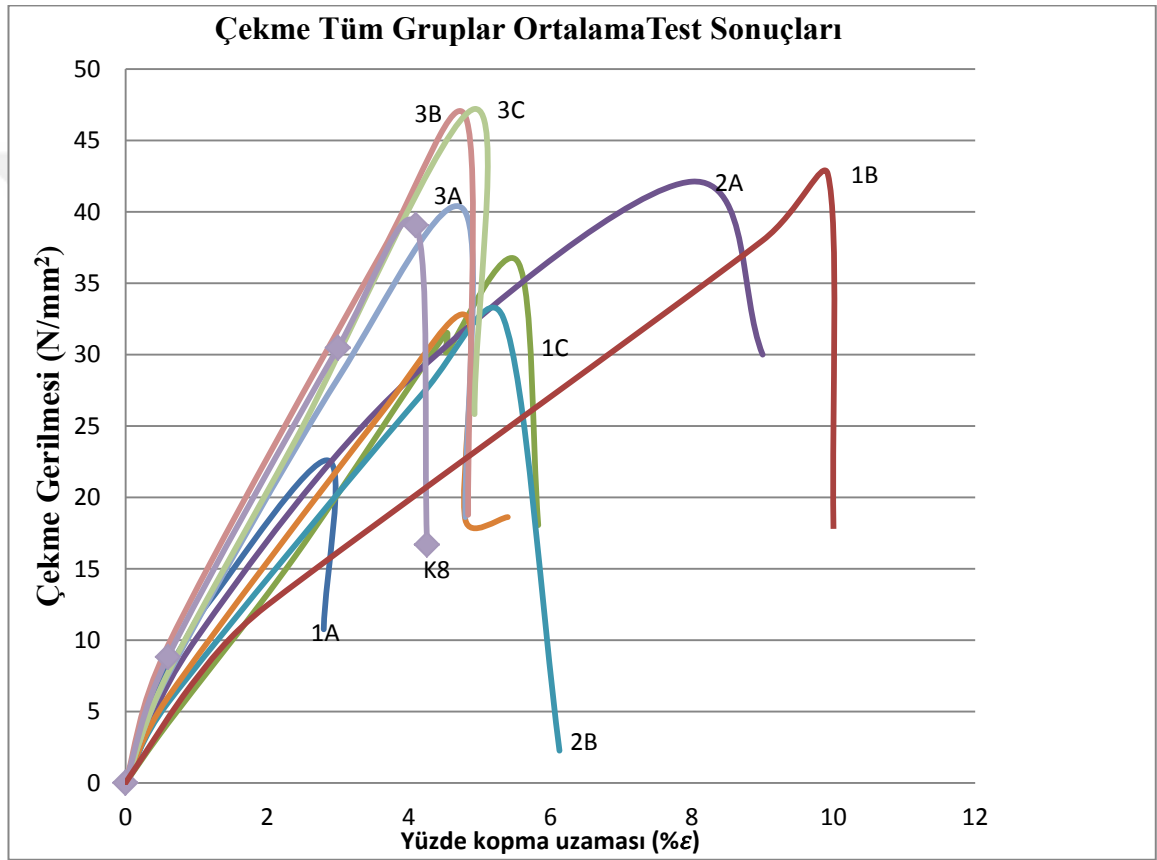
b)

Şekil 3.9. Numunelerin darbe testi sonucu deformasyon görüntüleri a) 2A kodlu numune, b) 1C kodlu numune

Bu sonuçlar literatürde yapılan çalışmalardaki kırılma enerjisi sonuçlarına paralellik göstermektedir.

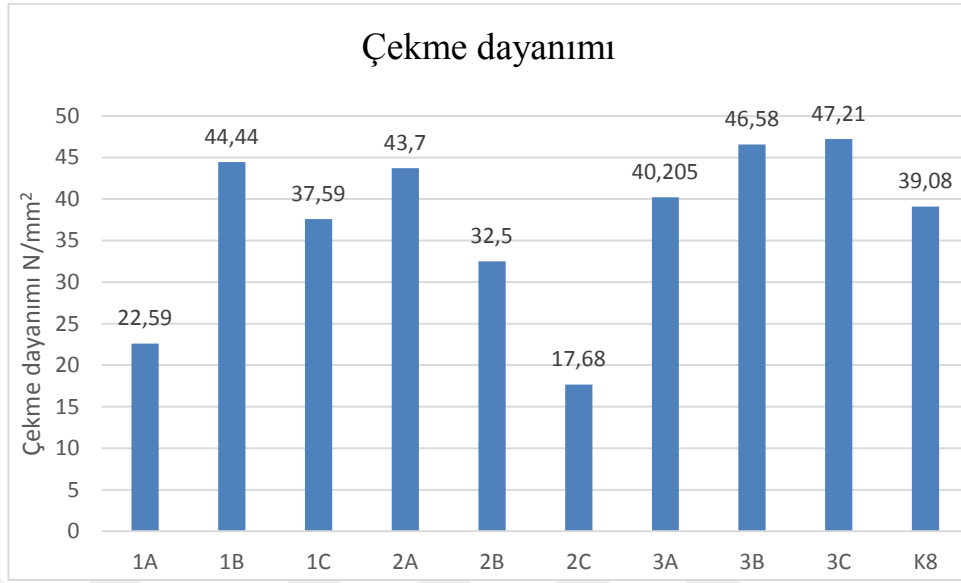
3.3. Çekme Testi Sonuçları

Çekme deneyi sonucunda takviyeli ahşap kompozit malzeme ile kontrol grubunun ortalama çekme gerilmesinin yüzde kopma uzaması diyagramı Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Çekme deneyi sonrası tüm grupların ortalama ($\sigma - \epsilon$) eğrileri

Yapılan çekme testi sonucunda en yüksek çekme gerilmesi, 3C'de $47,2 \text{ N/mm}^2$ elde edilmiştir. Takviye malzemesi olarak keçe kullanılan 3. Grubun tüm elemanlarında kontrol grubuna (K8 için çekme dayanımı $39,09 \text{ N/mm}^2$) göre daha yüksek değerler alınmıştır (Şekil 3.11). Aynı zamanda K8, 3. grup elemanları ile benzer grafiksel eğim sergilemiş ve elastik ve plastik şekil değiştirme bölgeleri de benzerlik göstermiştir. 3A ve 3B'nin çekme dayanımı kontrol grubundan yaklaşık %15 daha fazla çıkmıştır (Ek 2).



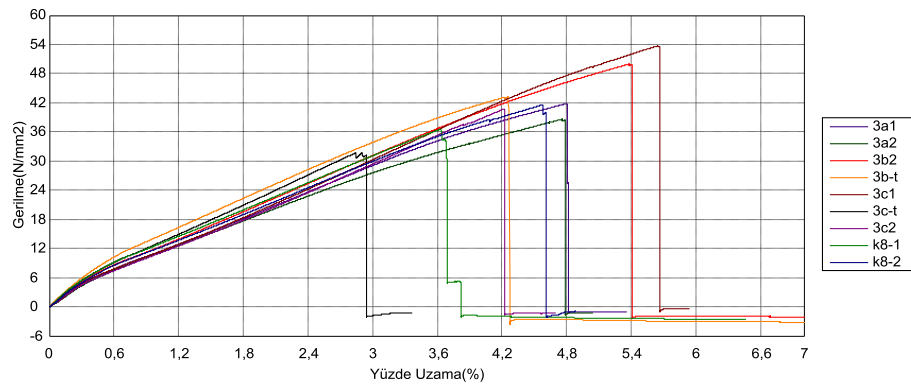
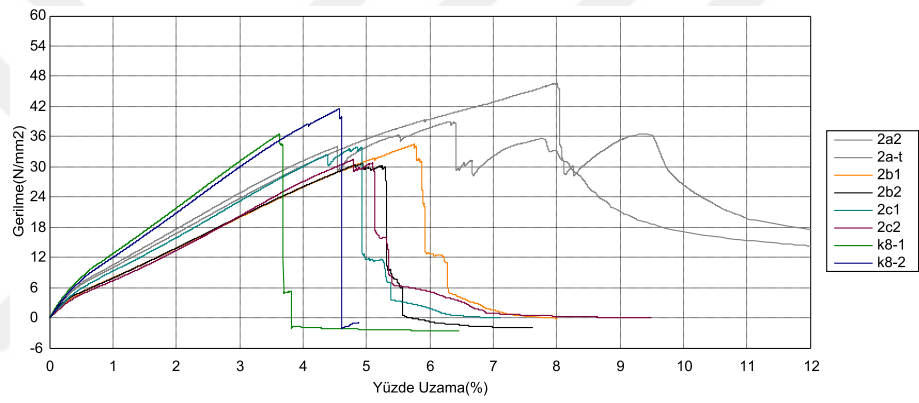
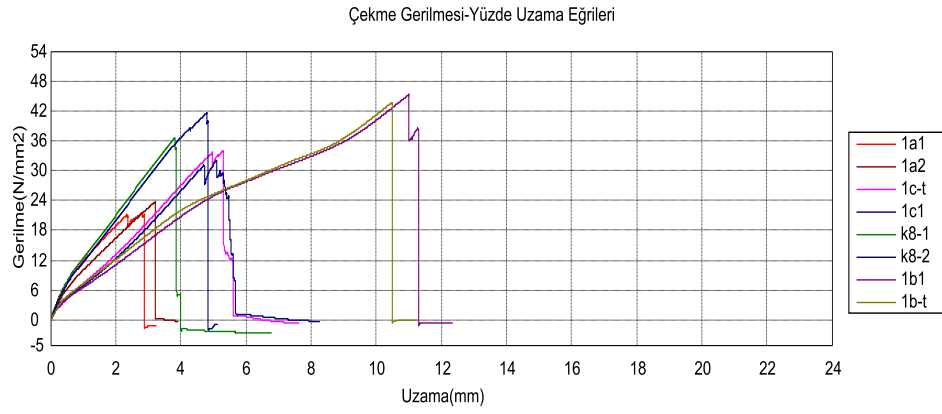
Şekil 3.11 Malzemelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri

Birinci grup numunelerde kullanılan takviye katmanı sayısı ile paralel bir şekilde çekme dayanımları artmıştır. Birinci grup içinde tek kat takviyenin kullanıldığı 1A en düşük, üç kat takviyenin kullanıldığı 1C’de en yüksek çekme dayanımı elde edilmiştir.

Çekme gerilmesinin için en düşük değer 1A’da elde edilmiştir. Şekil 3.12’de gösterilen grafiğin 1. grubundaki 1B numunesinde K8 numunesine göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.

İkinci grupta 2A’nın çekme dayanımı K8’in çekme dayanımından %20 fazla çıkmasına rağmen, 2B ve 2C, K8’in çekme dayanımından, %15 daha düşük çıkmıştır.

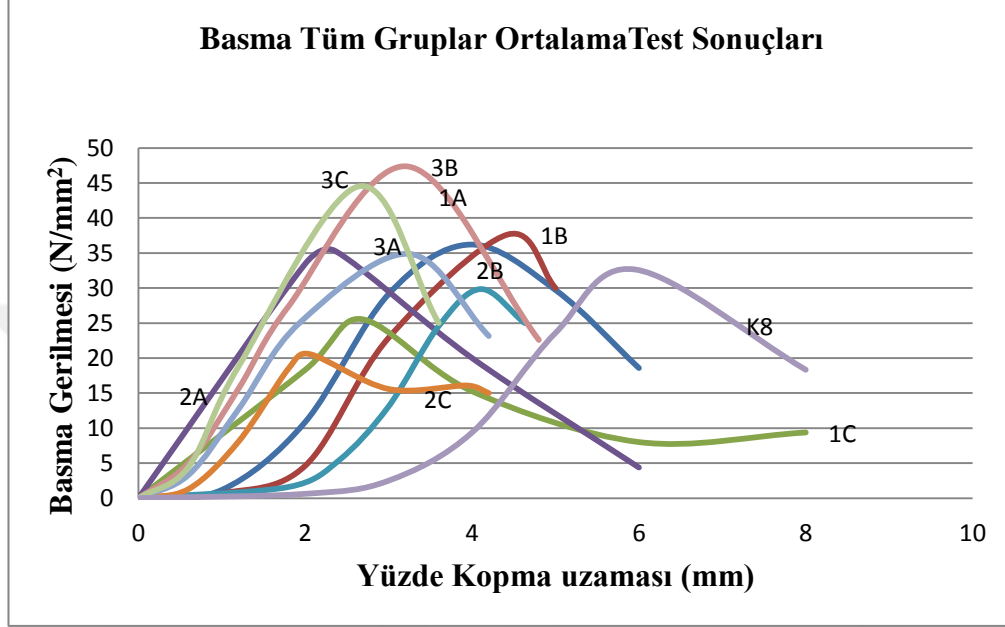
Elde edilen eğrilerin yönelimini incelendiğinde 1B’nin çekme dayanımı, kontrol grubundan %12 daha fazla iken darbe tokluğu %143 daha fazladır. Aynı şekilde 1B, en yüksek çekme dayanımına sahip 3C’den daha yüksek tokluğa sahiptir.



Şekil 3.12. Çekme testi gerilme-yüzde uzama eğrileri a) 1A, 1B, 1C ve K8; b) 2A, 2B, 2C ve K8; c) 3A, 3B ve 3C ve K8

3.4. Basma Testi Sonuçları

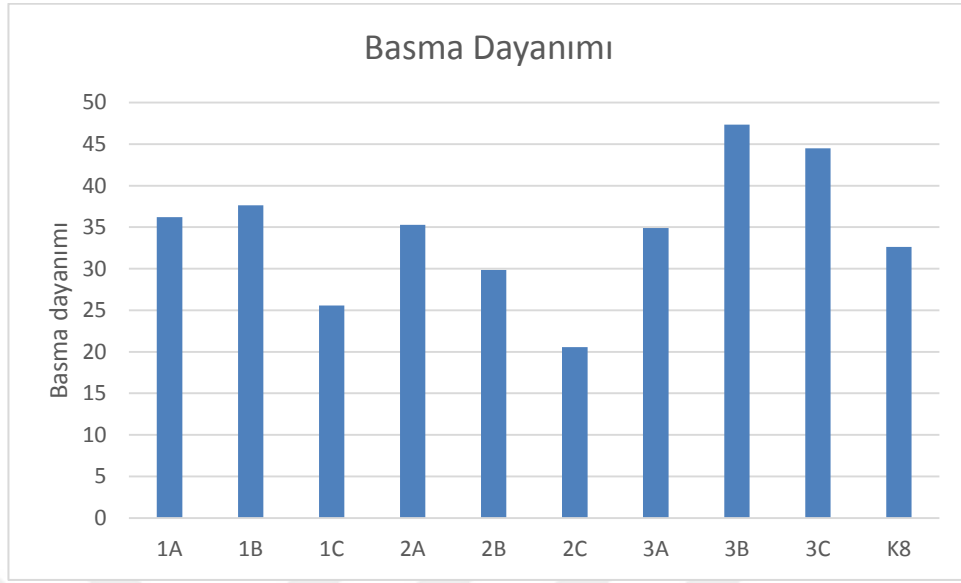
Basma deneyi sonrası tüm grupların ortalama basma gerilmesi-yüzde kopma uzaması eğrileri Şekil 3.13' te verilmiştir.



Şekil 3.13. Basma deneyi sonrası tüm grupların ortalama basma gerilmesi-yüzde kopma uzaması eğrileri

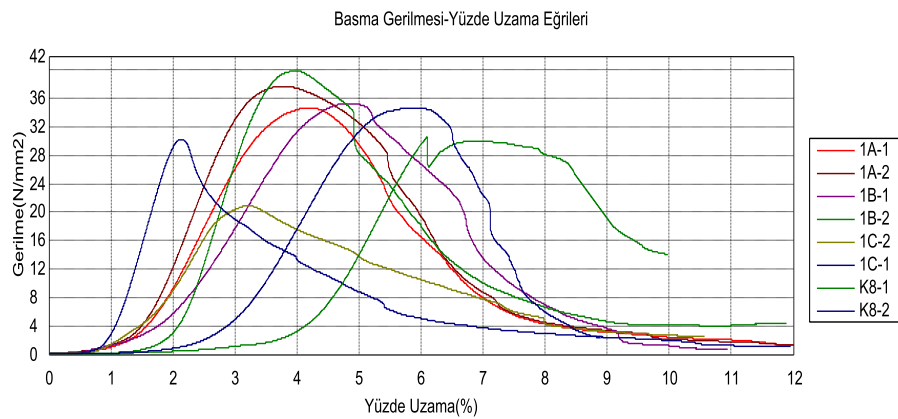
Yapılan deneyler sonucunda 3B numunesi K8 den yaklaşık 1,5 kat daha fazla basma dayanımı göstermiştir (Şekil 3.14)

Üçüncü grup numunelerde basma, çekme ve eğme testlerinde en yüksek sonuçlar elde etmiştir. Diğerlerine göre elastik şekil değiştirmesi az olmasına rağmen bütün testlerde kontrol grubundan daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

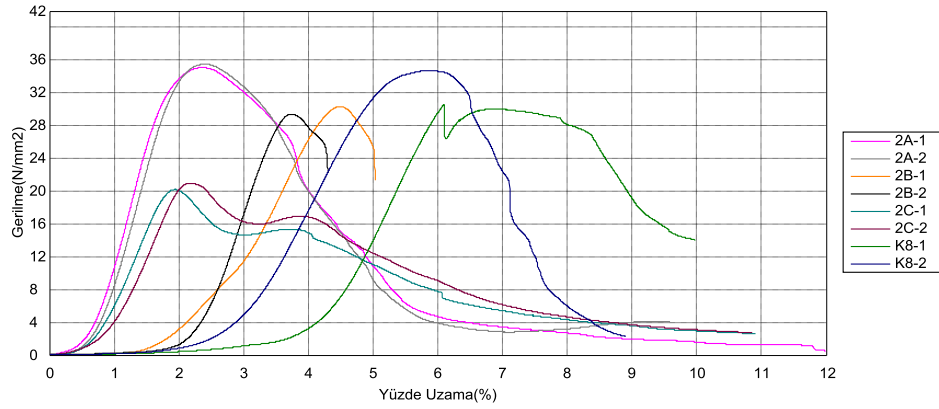


Şekil 3.14 Malzemelerin basma deneyi sonucunda elde edilen basma dayanımları

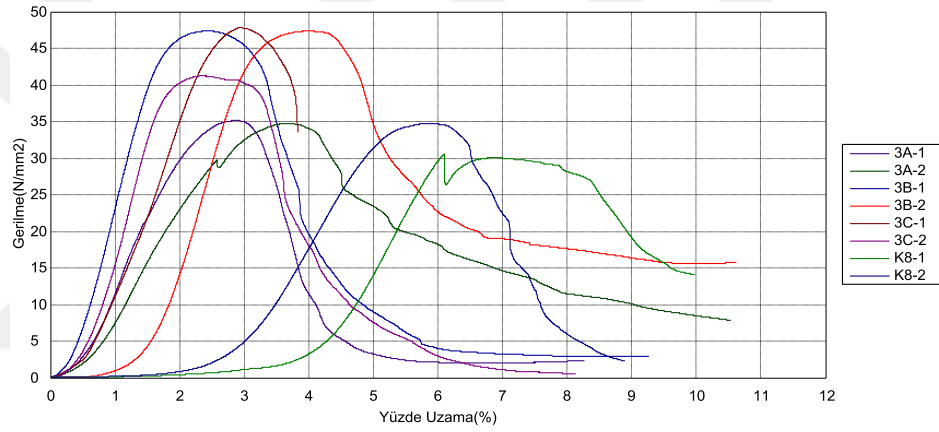
3. grupta kullanılan keçenin gözeneklerinin daha büyük olması, reçinenin hızlı ve homojen dağılmasını sağlayarak daha iyi sonuçlar aldırılmıştır. İki tabaka keçe ile takviyelendirilmiş 3B Çekme testinde K8'den %17, eğmede %45, basma da %46, darbe testinde %50 daha iyi sonuç elde etmiştir. Tek kat takviye kullanılan 3A'da buna rağmen K8'den çekme testinde %3, basma da %10, eğmede %38, darbede %80 daha iyi sonuç tespit edilmiştir (Şekil 3.15).



a)



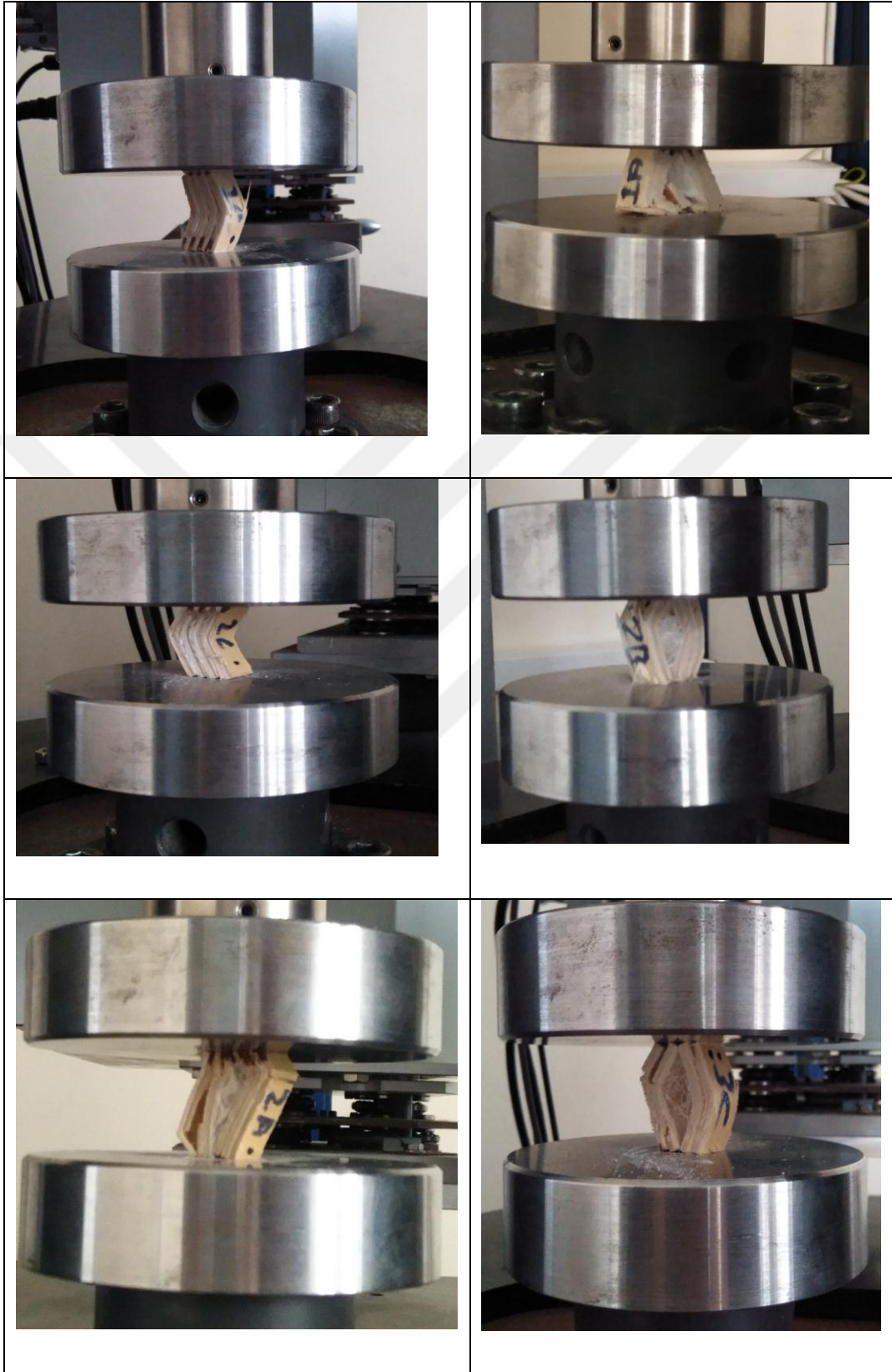
b)



c)

Şekil 3.15. Basma testi gerilme-yüzde uzama eğrileri a) 1A, 1B, 1C ve K8; b) 2A, 2B, 2C ve K8; c) 3A, 3B, 3C ve K8

Şekil 3.16'da görüldüğü gibi bazı basma deney numunelerinde takviye malzemesinin deformasyon görüntüleri verilmiştir. Takviye tabakasından ayrılan 3C en yüksek basma dayanımına sahip numunelerden bir tanesi olmuştur.



Şekil 3.16. Basma deneyi sonucunda elde edilen deformasyon örnekleri

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada geçmişten günümüze yoğun bir şekilde kullanılan lamine ahşabın cam elyaf takviye ile kompozit haline getirilen ve mikrodalga presleme yöntemi ile üretilen malzemenin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, $+45^{\circ}$, -45° ve 90° gibi farklı dokuma yönlenmelerine sahip kumaşlar ile keçe cam elyaf kullanılarak dokuz farklı kombinasyonda numuneler oluşturulmuştur. Sekiz kat kaplama kullanılarak mukayese için takviyesiz kontrol grubu üretilmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekildedir:

1. Eğme dayanımlarına göre 3B kontrol numunesinden %146 ve 3A %130 daha fazla mukavemetli çıkmıştır. Diğer bütün grupların eğme dayanımları sonucu, kontrol grubundan daha düşük çıkmıştır. 2C kontrol numunesinin %42 daha düşük eğme dayanımı ile en düşük sonuç elde edilmiştir. Kontrol grubunda ve bazı deney numunelerinde deformasyon eğme yükü doğrultusunda meydana gelmiştir. Deney numunelerinin bir kısmında da tabaka ayrılması şeklinde deformasyon gözlenmiştir.
2. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda en önemli artış, kırılma enerjisi değerlerinde olmuştur. Kontrol numunelerinin kırılma dayanımlarının diğer tüm numunelerin dayanım değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Özellikle dokuma cam elyafı kullanılan gruplarda daha iyi sonuç elde edilmiştir.

3. Üçüncü grupta keçe takviyesinin malzemenin, çekme mukavemetini %20 artırdığı tespit edilmiştir. Keçe ile yapılan iki ve üç katmanlı güçlendirme çekme mukavemetini artırmıştır.
4. Yapılan basma deneyi sonucunda, eğriler yapılan takviyenin formuna göre farklılık gösterse de genel itibariyle kontrol grubundan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
5. Keçe cam elyaflara tutkalın daha iyi nüfuz etmesinden dolayı ahşap, reçine ve elyaf arasında daha kaliteli bağ kuvveti sağladığı için genel olarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
6. Eğme testinde en düşük mukavemet gösteren 2C'nin kırılma tokluğu değeri kontrol grubu değerinden yaklaşık %300 daha fazladır.
7. Çekme dayanımında en yüksek sonucun çekme kuvveti doğrultusunda yönlendirilmiş dokuma yönüne sahip ikinci grupta olması beklenirken, ortalama sonuçlar alınmıştır. Burada reçine, ahşap ve elyaf arası bağ kuvvetinin yeterli kalitede olmadığı düşünülmektedir.
8. K8, darbe deneyinde gevrek özellik göstermiş, çekme-yüzde uzama eğrisinde de bu doğrultuda sonuç alınmış ve deney gruplarına göre daha az kopma uzaması belirlenmiştir.
9. 3B numunesi çekme, eğme ve basma deneylerinde en iyi sonuçları vermiştir.

Mikrodalga birleştirme yönteminin tabakalı ahşap üretiminde takviye malzemesi kullanıldığında etkisi araştırılmıştır. Mikrodalga gibi daha avantajlı enerji yöntemleriyle üretimin birçok alanda kullanılacağı düşünülmektedir.

Orman kaynaklarının sürdürülebilirliğinin büyüyen tüketim hızını karşılayabilmesi için, kompozit malzemelerin avantajlarından faydalanılacak çalışmalar daha da yaygınlaşması gerekmektedir.

Ahşap kompozit malzemedeki reçine ve cam elyaf yüzey bağlantı kabiliyetinin artırılmasına yönelik çalışmaların çoğalacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] R. B. Öztürk and N. Arıoğlu, “Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri,” **ITÜdergisi/a Mimar. Planlama, Tasarım**, vol. 2, no. 1, pp. 25–36, 2006.
- [2] G. Çolakoğlu, “Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları,” Trabzon: K.T.Ü. Orman Fakóltesi, 2004, pp. 1–21.
- [3] Özel İhtisas Komisyonu Raporu, “Sürdürülebilir Orman Yönetimi,” Ankara, 2014.
- [4] Çakıroğlu Evren Osman, “Huş Odununun Kayın Odununa Alternatif Olarak Kontrplak Üretiminde Değerlendirilmesi,” Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2012.
- [5] H. Keskin, “Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri Ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları,” Gazi Üniversitesi, 2001.
- [6] H. Keskin, “Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları,” Gazi Üniversitesi, 1996.
- [7] S. Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Nemli, G., Çolak, “Ahşap sanayinde melamin formaldehit (MF) ve melamin/üre formaldehit (MÜF) yapıştırıcılarının kullanımı,” **Mobilya Dekor.**, vol. 47, pp. 130–138, 2002.
- [8] A. Keskin, Hakan Togay, “Doğu kayını (fagus orientalis l.) ve kara kavak (populus nigra l.) kombinasyonu ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri,” **Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakóltesi Derg.**, vol. 2, pp. 101–114, 2003.
- [9] R. Frihart, C., “Wood Adhesion and Adhesives,” in *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC Pres, 2005.
- [10] B. Güller, “Odun kompozitleri,” **Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakóltesi Derg.**, vol. 2, pp. 135–160, 2001.
- [11] G. Çolakoğlu, *Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları*. Trabzon: K.T.Ü. Orman

Fakültesi, 2010.

- [12] G. L.M., *Engineered Wood Products*. Forest Product Journal, 1995.
- [13] Ö. Cırrık, “Tabaka Oryantasyonunun Kavak, Çam Ve Ladin’den Üretilmiş Kontrplak Ve Lvl’lerin Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi,” K.T.Ü, Trabzon, 2018.
- [14] A. Şenay, “Lamine Edilmiş Doğu Kayınının (*Fagus orientalis* Lipsky) Mekanik ve Fiziksel Özellikleri,” İstanbul Üniversitesi, 1996.
- [15] TS 2128 EN 313-2, “Kontrplak - Sınıflandırma ve Terimler,” Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 2005, pp. 1–3.
- [16] ASTM D 907, “Standart definitions of terms relation to adhesives,” *ASTM, Philadelphia*, 1982.
- [17] R. H. Ross, Robert J., Falk, “Wood as a Sustainable Building Material,” in *Wood handbook: wood as an engineering material*, Madison: USDA Forest Service., 2010, pp. 1–5.
- [18] G. Tan, H., Çolakoğlu, “Dolgu maddesi olarak meşe palamut unu kullanımının kayın ve okume kontrplak levhalarında bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi,” in *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 2010, pp. 1819–1824.
- [19] G. Dallı, “Türkiye’de Kaplama Tabakalı Kereste (LVL) Üretim İmkanlarının Araştırılması ve Teknolojik Özellikleri,” İ.Ü., 2005.
- [20] semra çolak, “Kontrplaklarda Emprenye İşlemlerinin Formaldehit ve Asit Emisyonu İle Teknolojik Özelliklere Etkisi,” K.T.Ü Trabzon, 2002.
- [21] A. Demir, “Yangın geciktirici emprenye maddelerinin çeşitli ağaç türlerinden üretilen kontrplaklarını ısı iletkenliğine etkileri,” K.T.Ü, Trabzon, 2014.
- [22] T. K. Lehtinen, M., Syrjänen, “Effect of drying temperature on properties of veneer,” Helsinki University of Technology, 1997.

- [23] H. G. C. Frihart, C., R., “Adhesives with wood materials bond formation and performance,” in *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*, Madison: USDA Forest Service, 2010, pp. 1–8.
- [24] A. Eckelman, C., “Brief survey of wood adhesives, purdue university, cooperative extension service,” *Coop. Ext. Serv.*, 2000.
- [25] H. Öztürk, “Formaldehit İçermeyen Yeni Nesil Ahşap Kompozit Kaynak,” K.T.Ü., 2018.
- [26] J. Gardner, D., “Adhesion mechanisms of durable wood adhesive bonds,” in *Characterization of the Cellulosic Cell Wall*, 2005, p. Cahpter 19.
- [27] G. Y. B. Y., *Orman Ürünlerinden Faydalanma*. 1986.
- [28] Y. Ö. Topkara, “Mikrodalga İle Hızlandırılmış Kürün Uçucu Küllü Harç Özelliklerine Etkisi,” Osmangazi Üniversitesi, 2009.
- [29] E. Ergin, “Güçlendirilmiş Ahşap Yapı Elemanı Tasarımı Ve Bazı Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi,” Gazi Üniversitesi, 2011.
- [30] H. Shi, W. Liu, H. Fang, Y. Bai, and D. Hui, “Flexural responses and pseudo-ductile performance of lattice-web reinforced GFRP-wood sandwich beams,” *Compos. Part B Eng.*, 2017.
- [31] W. Callister and D. Rethwisch, *Materials Science & Engineering*. 2014.
- [32] Dost Kimya, “Cam Fiber Multiaxial Kumaşlar,” *Cam Fiber Multiaxial Kumaşlar*, 2018. [Online]. Available: <https://www.kompozit.net/cam-elyaf-kumas-ba-300gr-m2-0-90-1m2>.
- [33] K. Z. Camille A. Issa C.A., “Advanced wood engineering: glulam beams,” **J. Constr. Build. Mater.**, vol. 19(2), pp. 99–106, 2005.
- [34] J. L. Hallstrom, S., Grenestedt, “Failure analysis of laminated timber beams reinforced with glass fiber composites,” **Wood Sci. Technol.**, no. 31, pp. 17–34, 1997.

- [35] F. Mengeloglu and R. Kurt, "Tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM)," *KSÜ Fen ve Mühendislik Derg.*, 2004.
- [36] M. Corradi and A. Borri, "Fir and chestnut timber beams reinforced with GFRP pultruded elements," **Compos. Part B Eng.**, 2007.
- [37] H. Xu, T. Nakao, C. Tanaka, M. Yoshinobu, and H. Katayama, "Effects of fiber length and orientation on elasticity of fiber-reinforced plywood," **J. Wood Sci.**, 1998.
- [38] S. Karayılmazlar, "Orman ürünleri endüstrisinde laminasyon tekniği ve önemi," *Bartın Orman Fakültesi Derg.*, vol. 9, no. 11, pp. 78–86, 2007.
- [39] Y. F. Li, Y. M. Xie, and M. J. Tsai, "Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets," **Constr. Build. Mater.**, 2009.
- [40] M. S. Brunner, M., "Timber beams strengthened by attaching prestressed carbon frp laminates with a gradiented anchoring device," *Proc. Int. Symp. Bond Behav. FRP Struct. (BBFS 2005) Chen Teng*, 2005.
- [41] L. A. Basterra, L. Acuña, M. Casado, G. López, and A. Bueno, "Strength testing of poplar duo beams, *Populus x euramericana* (Dode) Guinier cv. I-214, with fibre reinforcement," **Constr. Build. Mater.**, 2012.
- [42] G. M. Raftery and P. D. Rodd, "FRP reinforcement of low-grade glulam timber bonded with wood adhesive," **Constr. Build. Mater.**, vol. 91, pp. 116–125, 2015.
- [43] Ö. F. Bal, BC, Bektaş, İ, "Masif ve lamine ağaç malzemelerin ısı genleşme katsayıları üzerine karşılaştırmalı bir çalışma," **Orman Fakültesi Derg.**, vol. 8, no. 14, pp. 25–35, 2012.
- [44] Bal, C. B., Efe, F. T., "Tabakalı kaplama kerestenin bazı vida dirençleri üzerine cam elyaf dokuma ile güçlendirmenin etkisi," **Orman. Derg.**, vol. 11, no. 2, pp. 40–47, 2015.

- [45] S. Demir, A., Öztürk, H., Çolak, “Kayın, kavak ve huş soyma kaplamalarından farklı kombinasyonlarda atık naylon ile üretilen kontrplakların bazı teknolojik özellikleri,” **J. Adv. Technol.**, vol. ISSN:2147-, pp. 515–521, 2016.
- [46] B. C. Bal and Ý. Bektaş, “Some mechanical properties of plywood produced from eucalyptus, beech, and poplar veneer,” **Maderas. Cienc. y Tecnol.**, 2013.
- [47] M. Corradi, A. Borri, L. Righetti, and E. Speranzini, “Uncertainty analysis of FRP reinforced timber beams,” **Compos. Part B Eng.**, vol. 113, pp. 174–184, 2017.
- [48] G. M. Raftery and C. Whelan, “Low-grade glued laminated timber beams reinforced using improved arrangements of bonded-in GFRP rods,” **Constr. Build. Mater.**, vol. 52, pp. 209–220, 2014.
- [49] E. R. Thorhallsson, G. I. Hinriksson, and J. T. Snæbjörnsson, “Strength and stiffness of glulam beams reinforced with glass and basalt fibres,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 115, pp. 300–307, 2017.
- [50] H. Özyurt, “Kavak Kaplama İle Üretilen Tabakalı Kaplama Kerestelerin Cam Elyaf Dokuma Kullanılarak Güçlendirilmesi,” Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 2015.
- [51] G. Kececi, “Kablo ve makara kullanımı,” 2019. [Online]. Available: <https://www.voltimum.com.tr/haberler/kablo-ve-makara-kullanimi-0>.
- [52] TSE, “TS EN 310 Ahşap esaslı levhalar-eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini,” 1999.
- [53] “TS 2595 ‘Oduunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini,’” Ankara, 1977.
- [54] A. Efe, H. Kasal, “Çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi,” **J. Polytech.**, vol. 10, no. 3, pp. 303–311, 2007.

Ek 1. Üç nokta eğme numune kalınlıkları ve deney uygulama parametreleri

İsim	Kalınlık	Genişlik	Alt Destek
Boyut Birimi:	mm	mm	mm
1a_1	11,56	50	150
1a_2	12,17	50	150
1b_1	13,28	50	150
1b_2	13,29	50	150
1c_1	13,37	50	150
1c_2	13,3	50	150
2a_1	12,21	50	150
2a_2	12,07	50	150
2b_1	14,3	50	150
2b_2	14,3	50	150
2c_1	12,78	50	150
2c_2	12,76	50	150
3a_1	11,44	50	150
3a_2	11,6	50	150
3b_1	12,9	50	150
3b_2	12,93	50	150
3c_1	11,3	50	150
3c_2	11,24	50	150
k8_1	10,95	50	150
k8_2	11,25	50	150
1a_3	11,61	50	150
3a_3	11,43	50	150
k8_3	11,17	50	150
3b_3	12,8	50	150
3c_3	11,3	50	150

Ek 2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Hız	6mm/min.	Şekil	Plaka	
İsim	Max Kuvvet	Max Gerilme	Max Yüzde Uzama	Elastik
Parametreler	Tüm Alan Hesaplam	Tüm Alan Hesaplam	Tüm Alan Hesaplam	Kuvvet 9,999998-2
Birim	N	N/mm2	%	N/mm2
1a-1	1124,8	37,8765	2,41862	1021,92
1a-2	1581,26	48,0434	3,57358	1204,36
1b-1	1577,01	40,2394	4,34157	822,606
1b-2	1434,76	36,5547	3,53062	1580,88
1c-1	1208,51	30,4229	6,79127	646,528
1c-2	1193,59	30,3643	7,03767	937,716
2a-1	1490,61	44,993	3,31317	938,622
2a-2	1337,64	41,3178	3,08689	1049,22
2b-1	1666,43	36,6713	5,25309	482,923
2b-2	1631,13	35,8945	5,45169	742,257
2c-1	916,298	25,2457	6,37061	871,395
2c-2	885,423	24,4716	5,85221	685,39
3a-1	2223,69	76,4601	2,16997	2071,96
3a-3	2122,14	73,0961	1,99967	1832,09
3b-1	2873,88	77,7145	1,89105	1853,95
3b-2	3174,23	87,1829	2,01093	1150,9
3c-1	1560,92	55,5981	2,29113	1483,87
3c-3	1442,66	50,8415	1,51262	1504,31
k8-1	1455,43	54,6232	1,25479	1268,53
k8-3	1452,42	52,384	1,61311	1142,99

Ek 3. Çekme deney numuneleri ve deney uygulama parametreleri

İsim	Kalınlık	Genişlik	İlk Boy
Boyut Birimi:	mm	mm	mm
1a-1	11,2	40	105
1a-2	11,2	40	105
1b-1	12,76	40	105
1b-2	12,76	40	105
1c1	13,42	40	105
1c2	13,42	40	105
2a1	12,2	40	105
2a2	12,2	40	105
2b1	14	40	105
2b2	14	40	105
2c1	12,7	40	105
2c2	12,7	40	105
3a1	11,4	40	105
3a2	11,4	40	105
3b1	12,8	40	105
3b2	12,8	40	105
3c1	11,2	40	105
3c2	11,2	40	105
k8_1	11	40	105
k8_2	11	40	105

Ek 4. Çekme testi sonuçları

İsim	Max_Gerilme	Max_Kuvvet	Max_Yüzde Uzama	Max_Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametre	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm ²	N	%	mm	mm
1a-1	21,5273	9644,21	2,66873	2,80217	2,80217
1a-2	23,6696	10604	3,06016	3,21317	3,21317
1b-1	45,2188	23079,7	10,4825	11,0067	11,0067
1b-2	43,676	22292,2	9,98923	10,4887	10,4887
1c-1	32,1315	17248,2	4,87228	5,1159	5,1159
1c-2	43,0537	23111,2	6,74827	7,08569	7,08569
1c-3	34,113	18311,8	5,05615	5,30896	5,30896
2a-1	40,7987	19909,8	9,68706	10,1714	10,1714
2a-2	46,6145	22747,9	8,01962	8,4206	8,4206
2b-1	34,4467	19290,2	5,75218	6,03979	6,03979
2b-2	30,6253	17150,2	4,94742	5,19479	5,19479
2c-1	33,9215	17232,1	4,85375	5,09644	5,09644
2c-2	31,4465	15974,8	4,79599	5,03579	5,03579
3a-1	41,8207	19070,2	4,80611	5,04642	5,04642
3a-2	38,5983	17600,8	4,75851	4,99644	4,99644
3b-1	43,2044	22120,7	4,25704	4,4699	4,4699
3b-2	49,9682	25583,7	5,37907	5,64802	5,64802
3c-1	53,6733	24045,6	5,64262	5,92475	5,92475
3c-2	40,7502	18256,1	4,22631	4,43763	4,43763
k8-1	36,5831	16096,6	3,6371	3,81896	3,81896
k8-2	41,5868	18298,2	4,57528	4,80404	4,80404

Ek 5. Basma testi numune boyutları

İsim	Kalınlık	Genişlik	Yükseklik
Birim	mm	mm	mm
1A_1	11,05	12,87	31,05
1A_2	10,79	12,67	23,38
1B_1	12,48	14,85	31,61
1B_2	12,29	14,64	31,14
1C_1	13,48	12,24	30,49
1C_2	12,28	13,64	30,9
2A_1	11,13	12,53	30,54
2A_2	11,11	12,42	30,59
2B_1	13,35	14,59	31,57
2B_2	13,28	14,57	31,54
2C_1	12,41	13,22	29,96
2C_2	12,19	13,24	30,22
3A_1	11,22	12,82	31
3A_2	11,1	12,93	30,9
3B_1	11,72	13,67	30,53
3B_2	12,56	13,57	30,75
3C_1	10,35	12,23	30,75
3C_2	10,32	12,06	30,36
K8_1	10,71	12,86	31,1
K8_2	10,88	12,72	31,09

Ek 6. Basma deneyi sonuçları

İsim	Max_Gerilme	Max_Yüzde_Uzama	Max_Kuvvet
	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	%	N
1A_1	34,6837	4,18136	4932,49
1A_2	37,7383	3,78154	5159,18
1B_1	35,3212	4,85876	6546,01
1B_2	39,9303	3,98483	7184,49
1C_1	30,245	2,13178	4990,28
1C_2	20,9051	3,21197	3501,59
2A_1	35,0905	2,34958	4893,68
2A_2	35,5014	2,38102	4898,7
2B_1	30,3299	4,48204	5907,54
2B_2	29,3881	3,73626	5686,28
2C_1	20,203	1,94426	3314,51
2C_2	20,9653	2,16758	3383,71
3A_1	35,1145	2,87655	5050,88
3A_2	34,6637	3,61731	4975,04
3B_1	47,3763	2,44896	7590,27
3B_2	47,3592	4,03523	8071,86
3C_1	47,815	2,93835	6052,45
3C_2	41,2158	2,36338	5129,69
K8_1	30,5537	6,09914	4208,18
K8_2	34,7238	5,84352	4805,55

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Emin Ersoy
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 02.01.1990
Medeni Durum: Bekar
e-mail: eminersoy@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2015
Lise	Fatma Kemal Timuçin Anadolu Lisesi Kayseri	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018-Halen	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	

YABANCI DİL

İngilizce