

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

“Beyaz Çürüklük Mantarlarıyla İnkübe Edilmiş Odun Liflerinden Tutkalsız Lif Levha Üretimi” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kâğıt Teknolojisi Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, eşsiz bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım aynı zamanda çalışmalarında kendim olabilmeme de katkı sağlayan, çalışmalarımı bilimsel temeller ışığında yönlendiren, her türlü sorunun çözümünde yanımda olan sayın danışman hocam Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA’ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma fikrinin hazırlanmasında, proje haline getirilmesinde ve yürütülmesinde büyük emeği olan Sayın Doç. Dr. Engin Derya GEZER’e teşekkür ederim. Tez çalışmasını proje olarak destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumuna (TÜBİTAK TOVAG 118O145) teşekkür ederiz.

Çalışmam da yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Derya USTAÖMER, Öğr. Gör. Süleyman KUŞTAŞ ve Öğr. Gör. Dr. Uğur ARAS’a teşekkür etmeyi bir görev bilirim.

Maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca esirgemeyen, sonsuz sevgiyle bağlı olduğum sevgili aileme ve eşime şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın misel esaslı, biyobozunur lif levha üretimi konusunda araştırma yapanlara ve uygulayıcılara yararlı olmasını temenni ederim.

Ezel UÇAR PETEN
Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Beyaz Çürüklük Mantarlarıyla İnkübe Edilmiş Odun Liflerinden Tutkalsız Lif Levha Üretimi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16.03.2022

Ezel UÇAR PETEN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	3
1.1.1. Odunun Genel Anatomik Yapısı	3
1.1.2. Odunun Kimyasal Yapısı.....	4
1.1.2.1. Selüloz	6
1.1.2.2. Hemiselüloz.....	6
1.1.2.3. Lignin.....	7
1.2. Odunda Mantar Çürüklükleri.....	7
1.2.1. Beyaz Çürüklük Mantarı	7
1.3. Lif Levhaların Özellikleri.....	9
1.3.1. Üretim Yöntemleri.....	10
1.3.1.1. Yaş Yöntem	10
1.3.1.2. Kuru Yöntem	10
1.3.2. Orta Sert Lif Levhanın (MDF) Özellikleri	11
1.3.3. MDF'nin Kullanım Yerleri.....	11
1.3.4. Sert Lif Levhalar.....	12
1.3.5. İzolasyon Lif levhaları.....	13
1.4. Literatür Özeti.....	13
1.4.1. Mantar Bazlı Kompozitlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	16
2.1. Materyal.....	16
2.2. Deneme Levhalarının Üretim Aşamaları.....	16
2.2.1. Mantar Aşılama	16

2.2.2.	Levhaların Üretimi	17
2.3.	Odunda Kimyasal Analizler	19
2.3.1.	Alkol-Benzen Çözünürlüğü	19
2.3.2.	Holoselüloz Tayini (Klorit yöntemi)	20
2.3.3.	Lignin Tayini	20
2.3.4.	Alfa selüloz Tayini	21
2.3.5.	%1'lik NaOH Çözünürlük Tayini.....	22
2.4.	Liflerin FT-IR Analizleri	23
2.5.	Fiziksel Özellikler.....	23
2.5.1.	Yoğunluk	23
2.5.2.	Su alma Oranının Belirlenmesi.....	24
2.5.3.	Kalınlık Artışının Belirlenmesi	25
2.6.	Mekanik Özellikler	26
2.6.1.	Eğilme Direncinin Belirlenmesi	26
2.6.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi.....	27
2.6.3.	Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi	28
2.7.	Liflerin Işık Mikroskobu Çekimleri	29
2.8.	Lif Levhaların SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) çekimleri	29
3.	BULGULAR	30
3.1.	Liflerin Mantar Bozunması Sonrası Kimyasal Analizleri	30
3.2.	FT-IR Analizi	30
3.3.	Lif levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular.....	33
3.3.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular.....	33
3.3.1.1.	Yoğunluk	33
3.3.1.2.	Su Alma Oranlarına Ait Bulgular.....	33
3.3.1.3.	Kalınlık Artış Oranlarına Ait Bulgular	34
3.3.2.	Lif Levhaların Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular	34
3.4.	Liflerin Işık Mikroskobu Altında Analizi.....	35
3.5.	Lif Levhaların SEM Görüntülerine Ait Bulgular	37
4.	İRDELEME	39
4.1.	Liflerin Kimyasal Analizlerine Ait Sonuçların İrdelenmesi.....	39
4.2.	FT-IR Analizi Sonuçlarının İrdelenmesi	40
4.3.	Lif Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi	40

4.3.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi.....	40
4.3.1.1.	Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi	40
4.3.1.2.	Su Alma Oranları Değerlerinin İrdelenmesi.....	41
4.3.1.3.	Kalınlık Artış Oranı Değerlerinin İrdelenmesi	42
4.3.2.	Mekanik Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi	43
4.3.2.1.	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Değerlerinin İrdelenmesi	43
4.3.2.2.	Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerinin İrdelenmesi.....	45
4.4.	Liflerin Işık Mikroskobu Altında Analizinin İrdelenmesi.....	46
4.5.	Lif Levhaların SEM Görüntülerinin İrdelenmesi	47
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
5.1.	Liflerin Kimyasal Analizlerine Ait Sonuçlar.....	48
5.2.	FT-IR Analizi Sonuçları	48
5.3.	Lif levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar	49
5.3.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar	49
5.3.1.1.	Yoğunluk Değerlerine Ait sonuçlar.....	49
5.3.1.2.	Su Alma Oranları Değerlerine Ait Sonuçlar.....	49
5.3.1.3.	Kalınlık Artış Oranı Değerlerine Ait Sonuçlar.....	49
5.3.2.	Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar	50
5.3.2.1.	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Sonuçlar.....	50
5.3.2.2.	Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerinin İrdelenmesi.....	50
5.4.	Liflerin Işık Mikroskobu Altında Analizi Sonuçları	51
5.5.	Lif Levhaların SEM Görüntülerine Ait Sonuçlar	51
6.	KAYNAKLAR.....	52

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BEYAZ ÇÜRÜKLÜK MANTARLARIYLA İNKÜBE EDİLMİŞ ODUN LİFLERİNDEN TUTKALSIZ LİF LEVHA ÜRETİMİ

Ezel UÇAR PETEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lif ve Kâğıt Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA
2022, 56 Sayfa

Bu tez çalışmasında; beyaz çürüklük mantarları ile inkübe edilmiş (50/50 ağırlıkça) sarıçam ve kavak odun lifleri karışımından biyo-bozunur lif levha üretimi ve levhaların fiziksel ve mekaniksel, özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla odun lifleri *Pleurotus ostreatus* (PO), *Ganoderma liquidum* (GL) beyaz çürüklük mantarları 15 ve 30 gün bozunma sürelerine tabi tutulmuş, mantarla işleme tabi tutulan liflerden tutkalsız lif levha üretimi gerçekleştirilmiş ve levhaların direnç özellikleri kontrol levhasına göre değerlendirilmiştir. Kontrol lif levhası %12 üre formaldehit reçinesi kullanılarak hazırlanmıştır. Örneklere; yoğunluk, su alma, kalınlık artış oranı gibi fiziksel özelliklerini belirleyen testler yapılmıştır. Mekanik testler olarak eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü ile yüzeye dik çekme direnci testleri yapılmıştır. Beyaz çürüklük mantarlarının liflerin kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bu amaçla alkol – benzen çözünürlüğü, holoselüloz, lignin, alfa selüloz tayini ve %1'lik NaOH çözünürlüğü yapılmıştır. Misel aşılama liflerin ışık mikroskobu altında çekimleri ve FTIR analizleri ile levhaların SEM görüntüleri de bu çalışmada yer verilmiştir. Beyaz çürüklük mantarlarıyla işlem gören odun liflerinin holoselüloz oranları azalırken, alfa selüloz oranlarının arttığı belirlenmiştir. Lignin oranlarında da nispi bir artış görülmüştür. FTIR analizinde lif örneklerinin GL ve PO ile bozunma süresinin artmasıyla kontrol örneklerine göre lipitlerin, proteinlerin ve kitin piklerinin yüksekliği belirgin bir şekilde arttığı ortaya konmuştur. Işık mikroskobu altında incelenen miselli liflerin bozunma süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı belirlenmiştir. SEM görüntülerinde PO mantarı ile üretilen levhalarda ağ yapısı oluşturmadığı, GL mantarı ile üretilen levhalarda ise misel yoğunluğunun artmasıyla ağ yapısının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lif levha, miselyum, kimyasal özellikler, fiziksel ve mekanik özellikler, FTIR

Master Thesis

SUMMARY

**GLUELESS FIBER BOARD PRODUCTION FROM WOOD FIBERS INCUBATED
WITH WHITE ROOT FUNGIS**

Ezel UÇAR PETEN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Fiber and Paper Technology Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA
2022, 56 Pages

In this study, the production of biodegradable fiberboard incubated with white-rot fungi and the physical, mechanical, chemical and some technological properties of the boards were investigated. For this purpose, PO, GL white rot fungi were subjected to decay times of 15 and 30 days and the results were evaluated according to the control board. The physical properties of the boards such as density, water absorption, thickness swelling was determined. Modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bond strength were determined from mechanical tests, and alcohol-benzene solubility, holocellulose, lignin, alpha cellulose content determination and 1% NaOH solubility were determined from chemical properties. Photographs of micelle grafted fibers under light microscope and FTIR analysis and SEM images of the boards are also included in this study. It was determined that there were small differences in the density values of the boards due to the type of fungus and pressing. It was observed that the water absorption values of the control group boards were lower than the mycelium-based boards. In addition, it was determined that the thickness swelling of the control boards were lower than those of the mycelium-based boards. The FTIR analysis revealed that with the increase in the degradation time of the fiber samples with GL and PO, the height of the lipids, proteins, and chitin peaks increased significantly compared to the control samples. It was determined that the mycelium density increased as the degradation time of the mycelium fibers examined under the light microscope increased. Modulus of rupture and modulus of elasticity values of micelle-based fiber boards were found to be lower than the control board group samples. There was a significant increase in internal bond strength to the surface in the PO 30 board group. In the SEM images, it was observed that the boards produced with PO cork did not form a network structure. It was observed that the network structure increased with the increase of mycelial density in the boards produced with GL fungus.

Key Words: Fiber board, mycelium, chemical properties, physico-mechanical properties, FTIR,

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Mantar esaslı kompozit üretimi iş akışı	2
Şekil 2. Odunun makroskopik yapısı	4
Şekil 3. Hücre çeperi bileşenleri	5
Şekil 4. Tekrar eden selüloz zincirinin bir parçası.....	6
Şekil 5. Oduna arız olan beyaz çürüklük mantarı	8
Şekil 6. Geliştirilen mantar kültürleri, Islatılan lif örnekleri ve sterilizasyon işlemi...	16
Şekil 7. İklimlendirme dolabı içerisindeki aşılınmış lif örnekleri.....	17
Şekil 8. Mantar aşılınmış örnekler ve kurutma işlemi.....	18
Şekil 9. Levha taslağı, miselyum esaslı levha ve test örneklerinin hazırlanması	18
Şekil 10. Alkol benzen çözünürlüğü düzeneği.....	19
Şekil 11. Holoselüloz tayini yapılan lif örnekleri	20
Şekil 12. Lignin tayini yapılan lif örnekleri.....	21
Şekil 13. Alfa selüloz tayini yapılan lif örnekleri	22
Şekil 14. %1'lik NaOH Çözünürlüğü	22
Şekil 15. FTIR Analizi	23
Şekil 16. Su alma oranı için hazırlanan örnekler	25
Şekil 17. Örneklerin mikrometre ile ölçülmesi.....	26
Şekil 18. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği	27
Şekil 19. Yüzeye dik çekme direnci deney düzeneği.....	28
Şekil 20. Işık Mikroskobu.....	29
Şekil 21. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarına maruz bırakılan liflerin 15, 30 ve 45. günlerinde FTIR analiz sonuçları.....	32
Şekil 22. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarına maruz bırakılan liflerin 15, 30 ve 45. günlerinde FTIR analiz sonuçları.....	32
Şekil 23. GL Mantarı ile aşılınmış lif örneklerinin 15. gün gözlemlenen misel yoğunluğu	35
Şekil 24. GL mantarı ile aşılınmış lif örneklerinde 30. gün gözlemlenen misel yoğunluğu	35

Şekil 25.	PO mantarı ile aşılınmış lif örneklerinde 15. gün gözlemlenen misel yoğunluğu	36
Şekil 26.	PO mantarı ile aşılınmış lif örneklerinde 30. gün gözlemlenen misel yoğunluğu	36
Şekil 27.	GL mantarının 15 günlük bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı Lif levhanın SEM görüntüsü.....	37
Şekil 28.	30 günlük GL mantar bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü.....	37
Şekil 29.	15 günlük PO mantarının bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü	38
Şekil 30.	30 günlük PO mantarının bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü	38
Şekil 31.	Liflerin Kimyasal Analizi	39
Şekil 32.	Misel esaslı lif levhaların yoğunluk değerleri.....	41
Şekil 33.	Misel esaslı lif levhaların su alma oranı değerleri	42
Şekil 34.	Lif levhaların kalınlık artışı değerleri	43
Şekil 35.	Lif levhaların eğilme direnç değerleri	44
Şekil 36.	Lif levhaların eğilmede elastikiyet modülü direnç değerleri	44
Şekil 37.	Lif levhaların yüzeye dik çekme değerleri	46

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Odunun anatomik yapılarına göre özellikleri	9
Tablo 2. Lif levha üretim planı	19
Tablo 3. GL ve PO mantarı ile farklı bozunma sürelerine maruz bırakılmış lif materyalinin kimyasal yapısındaki değişimler	30
Tablo 4. GL ve PO mantarına maruz bırakılan lif besin ortamında yetişen mantar misellerinin IR spektrumundaki (600-3800 cm-1) gözlenen dalga boyları....	31
Tablo 5. Üretilen misel esaslı lif levhaların yoğunluk değerleri	33
Tablo 6. Üretilen misel esaslı lif levhaların su alma oranı değerleri.....	33
Tablo 7. Üretilen misel esaslı lif levhaların kalınlık artış oranı değerleri.....	34
Tablo 8. Lif levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci değerleri	34

1. GİRİŞ

Ahşap esaslı malzemeler geçmişten günümüze insanlık tarihinin en kullanışlı ürünlerin başında gelmektedir. Bununla birlikte dünyada artan tüketimle birlikte kompozit malzemelere olan ilgi de sürekli artmaktadır. Geline noktada ise gelecekte atık oluşturacak kaynakları kullanmak yerine, biyolojik orijinli malzemelere yönelim başlamıştır. Diğer bir deyişle gezegenimiz için kirlilik kaynağı olmayacak yeni yeşil ve sürdürülebilir malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur (Rowell, 2005).

Odun kompozitleri, bitkisel lif ve lif demetlerinin doğal yapıya özelliklerinden faydalanılarak veya yapıştırıcı madde kullanılarak oluşturulan levha taslağının preslenmesi sonucu elde edilen ürünlerdir.

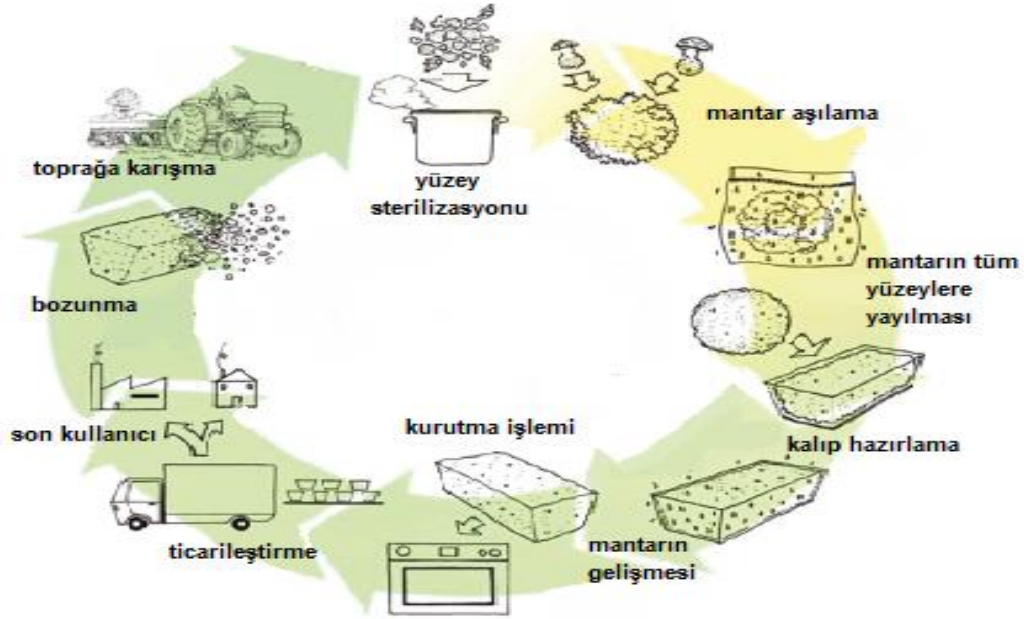
Lif levhaların (MDF) mekanik özelliklerini arttırmak ve su alma kabiliyetini azaltmak için üretim sırasında üre, melamin ve fenol esaslı reçineler tercih edilir. ÜF (üre-formaldehit), MF (melamin-formaldehit), PF (fenol-formaldehit) ve yaygın olarak üre-formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Bu sentetik yapıştırıcıların pek çoğu uçucu organik bileşiklerdir dolayısıyla zamanla formaldehit salınımı meydana gelmektedir ve bu salınım uzunca bir süre maruz kalındığında toksik bir etkisi olduğu yapılan araştırmalarla belirlenmiştir (Peng vd., 2020).

Bu dezavantajlar göz önüne odun esaslı kompozit malzemelerin üretiminde sentetik yapıştırıcılara muadil olabilecek yeni metotların araştırılması gündeme gelmiştir. Bu çalışmaların birçoğunda doğal kaynaklı reçinelerin (nişasta, furfurool, tanen gibi) kullanımı ele alınarak sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda doğal esaslı reçinelerin hem maliyet açısından hem de performans açısından mevcut durumda kullanılan sentetik esaslı reçinelere göre avantaj sağlanamamıştır (Haneef vd., 2017).

Bu tür araştırmalardan bir tanesi de tutkalsız odun esaslı kompozit levha üretimini konu alan çalışmalardır. Miselyum gelişimiyle odun kompozit üretimini konu edinen çalışmalarda belirli bir dereceye kadar direnç kazanımı, zararlı gaz salınımının olmadığı, tamamen çevre dostu bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu tür işlemlerin odun hammadde kaynağına uygulandığında reaktiflik açısından dolayısıyla tutkal performansına katkı sağladığı da tespit edilmiştir (Jones vd., 2020).

Mantarlar, çok veya tek hücreli, parazit veya saprofit olarak yaşayan, sporlarla çoğalan heterotrof bitkilerdir. Enerji kaynağı olarak karbon bileşiklerini kullanırlar. Somatik yapılardan mantar tallusu her yönde dallanan besin ortamı içinde ve üzerine dağılan hüflerden oluşur. Hüf, ince, şeffaf, tüp şeklinde çeperli bir yapıdadır. Hüflerin kitle halinde bir araya gelmiş şekline ise misel denir. Besin ortamı içinde yaşayan miseller boşluk ve yarıklar içinde yoğunlaşmış kitleler halinde yaşar.

Miseller, hızlı büyüyen, toksik olmayan biyolojik bir malzemedir. Büyürken kontrol edilebilen özelliklere sahip olması, maliyetli yöntemlere gerek olmaması, vejetatif büyümesi ve düşük karbon ayak izi, düşük yoğunluk ve enerji tüketimi tercih edilmesinin başlıca sebepleridir. Mantarlar türlerine göre selülozu veya lignini tercih ederek tahrip edebildikleri gibi hemiselülozu genellikle tüm türler tahribata uğratabilir. Şekil 1’de mantar esaslı kompozit üretimi iş akışı verilmiştir (Girometta, 2019)



Şekil 1. Mantar esaslı kompozit üretimi iş akışı

Mantar bazlı kompozitler, sadece geleneksel olarak petrol esaslı plastik malzemelerden üretilen yalıtım, ambalaj, saksı gibi ürünlerin üretiminde değil lambri, döşeme, mobilya ve zemin kaplama uygulamalarında kullanılabilecek çevreci bir malzemedir. Bunun yanında köpük tipi malzemelere benzer düşük mekanik özellikler

yüksek su alma kapasitesi gibi birçok faktör kullanımını sınırlandırmaktadır (Peng vd., 2020).

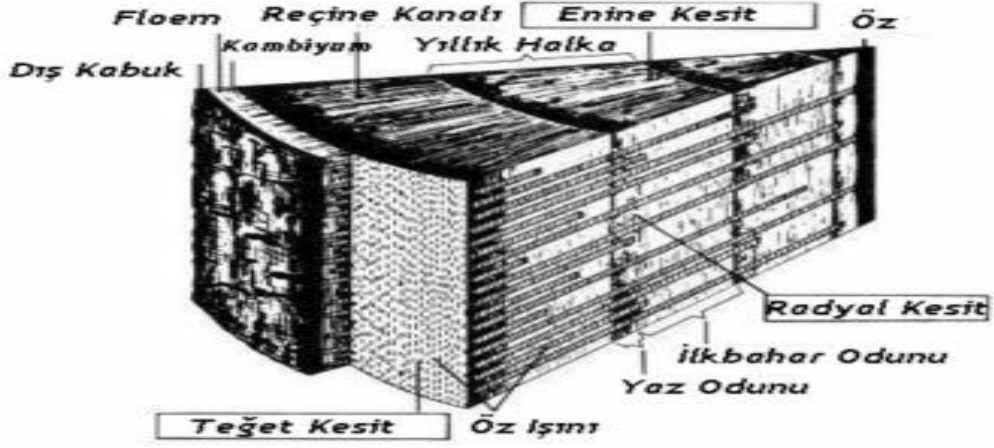
Bu çalışmada farklı beyaz çürüklük mantarları ile inkübe edilmiş odun liflerinin kimyasal bileşenlerindeki değişimlerin tespiti ve işlem görmüş odun liflerinden farklı kullanım alanlarına hitap eden tutkalsız kompozit malzemelerin üretimi amaçlanmıştır.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Odunun Genel Anatomik Yapısı

Lifsel kaynak olarak kullanılan odun türleri ve yıllık bitkiler gerek anatomik yapıları gerekse kimyasal özellikleri açısından farklılıklar göstermektedir. Bu özelliklere bağlı olarak da üretilen ürünlerin özelliklerine farklı katkılar sağlamaktadırlar.

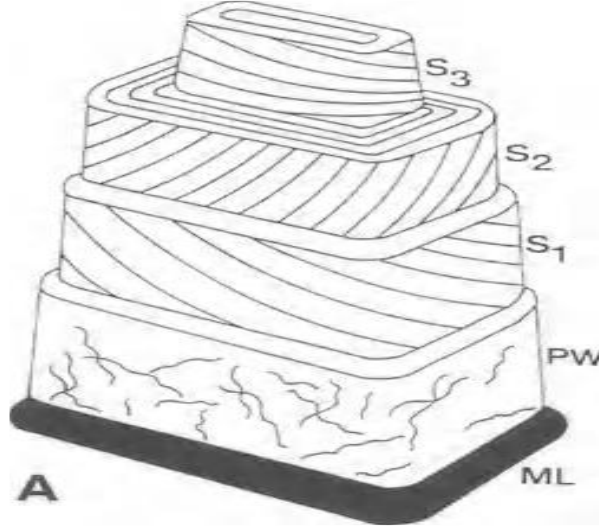
Odunun genel yapısı dıştan içe doğru kabuk, kambiyum, öz, öz odunu ve diri odundan oluşur. Kabuğun dışı odunu dış etmenlerden korurken, içi (floem) yapraklarda oluşan besini depolara iletir. Kambiyum, floem ile odun arasında tüm yüzeyi sararak üreyen dokudur. Bu üreme boyuna yönde primer, enine yönde ise sekonderdir. Odunun mikroskobik yapısını incelersek her biri bir yıl içinde meydana gelmiş ksilem dokulardan yani yıllık halkalardan meydana gelmiştir. İlkbahar ve yaz odunu adı verilen halkalar görülmektedir. İlkbahar odunu bölünme başladığında oluşup su taşırken yaz odunu bölünme sonunda oluşur ve sert yapısından dolayı destek görevi görmektedir (Schweingruber, 2007). Şekil 2'de odunun makroskopik yapısı verilmiştir (URL 7).



Şekil 2. Odunun makroskopik yapısı

1.1.2. Odunun Kimyasal Yapısı

Odun hammaddesi yakıt, alet, silah, yapı gibi alanlarda kullanılarak bize geçmiş nesillerin yeteneklerini ve yaratıcılıklarını göstermektedir. Odun organik bir malzeme olup çevresel etkenlerden dolayı bozunmaya uğrayabilmektedir. Aynı türden ağaçlar bile iklimden iklime göre farklılık gösterebilirken oksijen, nem, pH, sıcaklık ve mikro organizmalar gibi faktörler de odunun yapısındaki kimyasal değişimleri ortaya çıkarmaktadır (Nilsson, 2012). Kimyasal yapıyı ve değişimi ise hücre çeperi bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz, lignin, ekstratifler ve çözünmeyen bileşikler oluşturur. Hücre çeperi, her biri birbirinden farklı oluşan tabakalardan meydana gelir. Tabakalar orta lamel, primer çeper, sekonder çeper, tersiyer tabaka ve granüllü tabakadır (Hon, 2000). Şekil 3'te hücre çeperi bileşenleri gösterilmiştir (Fengel ve Wegener, 1989).



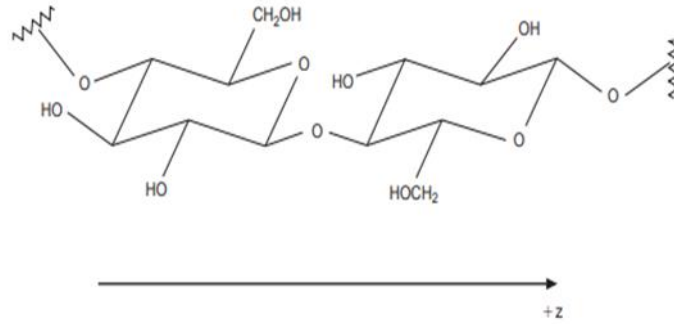
Şekil 3. Hücre çeperi bileşenleri

Lif çeperini oluşturan mikrofibrillerin (S1, S2 ve S3 tabakaları) ağ benzeri bir görüntü, tesadüfi yönlerde dağılım veya sarmal biçimde sıralandığı görülmüştür. Orta lamel (ML) bu tabaka komşu lifler arasında bağlayıcı olarak görev yapan maddelerden oluşur ve orta lamelin büyük bir kısmı lignin oluşturmaktadır. Primer çeper (PW) ince bir tabakadır ve kimyasal bileşim bakımından farklılıklar gösterir. Amorf yapılu lignin hemiselüloz karışımında tesadüfi dağılmış fibril ağından oluşmuştur. Orta lamel ve primer çeper ince tabakalar olduğundan birbirinden ayırt edilmeleri oldukça zordur. Bu yüzden birleşik tabaka olarak da adlandırılmıştır. Sekonder çeper (S1, S2 ve S3) mikrofibrillerin sıralanış biçimlerinin farklı olmasından dolayı 3 farklı tabakaya ayrılmıştır. Sekonder çeperin ilk tabakası (S1) ince olup yapı bakımından karmaşıktır. Her biri belirli bir açı ile sağ ve sol tarafa yönelen mikrofibrillerden oluşmaktadır. Sekonder çeperin en kalın tabakası (S2) dir. Hücre çeperinde selüloz miktar olarak en çok bu tabakada görülür dolayısıyla teknolojik bakımdan en önemli tabakadır ve lif özelliklerini de belirler. Diğer tabakalarla karşılaştırıldığında S2 tabakası tekdüze özelliği ve lif eksenine paralel konumda olan görüntüsü ile diğer tabakalardan kolayca ayrılır. S3 tabakası hücre çeperinin en ince tabakasıdır. Kimyasal yapısının diğer tabakalara göre farklı oluşu nedeniyle asidik ve bazik çözeltilere karşı diğer tabakalardan daha fazla dayanıklılık gösterir. (Kırcı, 2014).

1.1.2.1. Selüloz

Selüloz farklı alanlarda kullanılabilen bir biyopolimerdir. Dünyada bilinen en yaygın organik bileşik olan selülozun en önemli kaynağı odundur. Selüloz odun dışında da birçok farklı kaynakların bünyesinde yer almaktadır. Bu kaynaklar arasında pamuk keten lifleri, tarım artıkları, su bitkileri, otlar ve diğer bitki maddeleri gösterilebilir (Wüstenberg, 2013).

Selüloz, dallanmamış β -1,4-bağlı glukoz zincirlerinin basit bir polimeridir. Selüloz molekülleri içerisinde hücre içi ve hücre dışı bir dizi hidrojen bağı vardır. Mikrofibrillerin aralarında ise amorf veya kristalin yapıda olan bölgeler bulunur. Bu bölgeler reaksiyona ve dış etkilere açık olup olmama durumunu belirler. Kristal bölgede selüloz reaksiyonlara karşı dirençli yapıya sahiptir. Amorf bölgenin ise çoğu bölgesi reaksiyona açıktır (Rowell, 2012). Şekil 4'te tekrar eden selüloz zincirinin bir parçası verilmiştir (O'sullivan, 1997).



Şekil 4. Tekrar eden selüloz zincirinin bir parçası

1.1.2.2. Hemiselüloz

Odun hammaddesi büyük oranda polisakkaritlerden meydana gelmektedir. Hemiselülozlar, selüloza benzer şekilde, farklı şeker birimlerinden oluşmuş polisakkaritlerdir. Polimerizasyon dereceleri (DP) selülozdan daha düşüktür ve selüloza oranla daha düzensiz yapıdadırlar. Hemiselüloz miktarı, yapraklı ağaçlarda, iğne yapraklı ağaçlardan daha fazladır (Daniel vd., 2003). Hemiselülozlar alkali çözeltilerde kolaylıkla çözülebilen, asitlerin etkisinde kolaylıkla hidroliz olabilen maddelerdir. Selüloz homopolisakkaritlerden meydana gelirken, hemiselülozlar heteropolisakkaritlerden oluşmaktadır (Deniz, 2012).

Selülozdan farklı olarak, hemiselüloz yüksek oranda amorf yapıya sahiptir. Bu durum hemiselülozun, hücre çeperinde yüksek oranda erişilebilir serbest hidroksil (OH⁻) miktarına sahip olduğu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda selüloza göre daha reaktiftir ve termal olarak daha az kararlıdır. Hemiselülozun bozunması, odunun esnekliğini kaybetmesini ve onun daha kırılğan olmasına neden olmaktadır (Hill, 2007).

1.1.2.3. Lignin

Lignin miktarı türüne göre değişmekte olup, yapraklı ağaçlarda % 16-26, iğne yapraklı ağaçlarda % 28-32 arasındadır (Daniel vd., 2003). Ligninin su itici özelliği, bitkinin vasküler sistem aracılığı ile su taşımalarını sağlamaktadır (Ralph vd., 2007). İğne yapraklı ağaçların lignini guyasil lignini olmasına rağmen, yapraklı ağaçlar guyasil ve siringil lignine sahiptir. Yüksek miktardaki guyasil ligninin, az miktardaki siringil lignininden daha iyi doğal koruma sağladığı düşünülmektedir (Daniel vd., 2003).

Guyasil lignini neredeyse koniferil alkolden oluşmaktadır ancak az miktarda p-kumaril alkol içerebilmektedir. Siringil lignini ise koniferil ve sinapil alkollerden oluşmaktadır. Bazı yapraklı ağaçların lignini az miktarda p-kumaril alkol içerebilmektedir (Ek, 2009).

Hücre çeperinin yapısal bütünlüğü, kök ve gövdenin sağlamlık ve sertliğinin sağlanmasından dolayı bitkiler için hayati bir öneme sahiptir (Ralph vd., 2007). Aynı zamanda lignin, odun hücrelerinin orta lamel bölgesinden birbirlerine bağlanmasında rol almaktadır (Hill, 2007). Lignin nispeten oda sıcaklığında sert olsa da, camsı geçiş sıcaklığı 140 °C civarındadır. Lignin diğer polisakkaritlerle karşılaştırıldığında düşük miktarda OH⁻ gruplarına sahiptir (Pouteau vd., 2003)

1.2. Odunda Mantar Çürüklükleri

1.2.1. Beyaz Çürüklük Mantarı

Odunda yaşayan mantarlar Ascomycetes, Basidiomycetes ve Fungi imperfecti olarak sınıflandırılırlar. Beyaz çürümeye neden olan mantarlar Basidiomycetes'in tüm ana

gruplarında ve Ascomycetes'in bazılarında görülmektedir (Dolphin, 1987). Çürüme, odunun fiziksel ve mekanik özelliklerinde mikroorganizmaların kimyasal etkileri ile degradasyona uğramasıdır. Enzim ve oksidan içeren mantarlar odunun substratını kullanırken odunun bileşenlerini de farklı oranda tahribata uğratar (Yıldız, 2000). Odunun bileşenlerinin tahribata uğrama sırası ise mantarın enzimatik çekiciliğine göre değişiklik göstermektedir. Çok yönlü bir enzim mekanizmasına sahip olan beyaz çürüklük mantarları, doğrudan lignini bozundurabilir. Ayrıca hem lignin hem de selülozun aynı anda bozunmasına izin veren, "geri besleme" tipi enzimler içeren bir multienzim sistemi kullanırlar. Bu tür enzimler ayrı ayrı veya beraber çalışırlar (Leonowicz, 1999). Mantar hüflerinin özışını içerisinden demetler halinde yayılması ile başlayan beyaz çürüklük mantarları orta lamel içerisindeki pektin maddesinde besin ortamı oluşturarak gelişirler. Çürüme ile odunun makroskopik yapısında ve renginde değişimler gözlemlenir. Beyaz çürüklük mantarlarının seçici karakteristiğinde ise ilk olarak lignin sırasıyla hemiselüloz son olarak ise selüloz bozunmaya uğramaktadır (Schwarze, 2000). Şekil 5 ve Tablo 1'de oduna arız olan beyaz çürüklük mantarının görüntüsü (Trevisan, 2020) ve beyaz çürüklük mantarı özellikleri (Schwarze, 2000) verilmiştir



Şekil 5. Oduna arız olan beyaz çürüklük mantarı

Tablo 1. Odunun anatomik yapılarına göre özellikleri

	Beyaz Çürüklük Mantarı	
	Seçici olmayan çürüme	Seçici olan çürüme
Konaklama	Yapraklı ağaç nadiren iğne yapraklı	Yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaç
Hücre Çeperi	Selüloz, Lignin, Hemiselüloz	Önce lignin ve hemiselüloz sonra selüloz
Yoğunluk	Kırılgan	Lifli
Kuvvet	Gevrek Kırılma	Esnek Kırılma
Direnç özellikleri	Eğilme direncinde büyük kayıp	Eğilme elastikiyet mukavemetinde artış

1.3. Lif Levhaların Özellikleri

Odun esaslı levha tutkal aracılığıyla ısı ve basınç yardımıyla bağlanmış liflerden meydana gelir. Tutkal veya diğer yapıştırıcı bileşenler levha özelliklerini geliştirmek, hammadde ve üretim yöntemlerindeki homojenliği arttırmak için kullanılır. Parafin maddesi esas olarak su iticilik için kullanılır. Odun esaslı levhaların direnç değerlerinin artırılması için sentetik tutkalla ve ilaveleri kullanılmaktadır. Kaplama levhası, kâğıt, kumaş, plastik, dokunmuş cam lifi, metal ya da mantar ahşap lifli levhalar için kaplama olarak kullanılır (URL-1).

Odun esaslı lif levhalar masif oduna göre bazı avantajlara sahiptir. Bunlar:

- Homojendir, damar yönü yoktur.
- Yoğundur, ancak nefes alır.
- İşlemesi kolay ve montajı hızlıdır.
- Ek termal yalıtım işlevi görür.
- Rakip ürünlerden daha ucuzdur.

1.3.1. Üretim Yöntemleri

1.3.1.1. Yaş Yöntem

Yaş yöntemde %1-2 konsantrasyondaki lif süspansiyonları elek üzerine koyularak dağılım sağlanmaktadır ve lif keçesi denen yapı haline getirilmektedir. Buradaki amaç, üniform bir levha yapısı ortaya koymaktır. Üretim prosesi olarak kâğıt ve karton üretimine benzemektedir. Ancak son aşamasında uygulanan yüksek sıcaklık ve basınç yönüyle farklılık göstermektedir. Genelde yapıştırıcı olarak kolofan kullanılmaktadır. Yaş yöntemle yapılan levhaların sadece tek yüzü düzdür. (S1S= Smooth One Surface). Diğer yüzünde elek izleri bulunur. Bunun sebebi ise pres 'in bir yüzünde elek olmasıdır ve lif keçeleri preste sıcaklık ve basınca maruz kalır (URL-2). Ancak tek yüzü düzgün levhalar ikinci bir sıcak preslemeden geçirilerek iki yüzü düzgün hale (S2S) getirilebilmektedir.

1.3.1.2. Kuru Yöntem

Kuru yöntemde nem oranı %5-10 arasında olmalıdır. Uygulanan işlemler sonucu meydana gelen liflere özel olarak uygulanan kurutma yöntemiyle rutubetten uzaklaştırılır. Kurutma gerçekleşikten sonra hava veya mekanik araçlarla serme işlemine tabi tutularak levha taslağı meydana getirilir. Levha taslağına pres ile %8-11 oranında tutkal kullanarak levha sağlamlığı elde edilir.

Lif levha üretiminde kullanılan yaş ve kuru yöntem arasındaki farklılıklar aşağıda verilmiştir. (URL-2);

- Yaş yöntemle kuru yöntemi birbirinden ayıran en belirgin özellik levha taslağının oluşmasında liflerin rutubetidir. Yaş yöntemde %100 ve daha fazla rutubet, kuru yöntemde ise %5-10 arasında bir rutubete sahiplerdir.
- Taşınma ve taslak oluşumunu sağlayan ortamlardır. Yaş yöntemde su yardımı ile sağlanır, kuru yöntemde ve kuru yöntemde hava ve mekanik araçlarla sağlanır.

- Yaş yöntemde yapıştırıcı olarak kolofan tercih edilirken, kuru yöntemde ise üre formaldehit reçinesi kullanımı yaygındır.
- Yaş yöntemle elde edilen levhalar termik işlem uygulanırken, kuru yöntemlerde bu işleme gerek duyulmaz.

Yoğunluklarına göre kuru yöntemle üretilen lif levhalar esas olarak üç ayrı grupta incelenmektedir:

- Yumuşak lif levhalar (Yoğunluk 350 kg/m³ den az)
- Orta sert lif levhalar (MDF, Yoğunluk 350-800 kg/m³)
- Sert lif levhalar (HDF, Yoğunluk 800 kg/m³ den fazla)

1.3.2. Orta Sert Lif Levhanın (MDF) Özellikleri

Orta yoğunluklu lif levhanın (MDF) oduna göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir. Makine işlemlerinde kolay bir şekilde elde edilmesi, stabilizesinin kusursuzluğa yakın olması, boyut olarak değişime uğramaması, sabit boyutlar elde edilebilmesi, iki yüzünde zımparalama işlemi ve mastarlama işlemi uygulanmış olması, hiçbir alanında budak, çatlak vb. gibi kusurların olmaması, bütün alanında yoğunluğun aynı olması, kullanıma hazır olması, herhangi bir ön işleme tabi tutulma gereksinimi duyulmaması, vernik, lak, boya vs. uygulanabilir olması, kaplama, PVC kâğıt, melamin gibi malzemelerle kaplama işlemi yapılabilir olması, vida tutuşunun iyi olması gibi özelliklerle özetlenebilir. (URL-3)

1.3.3. MDF'nin Kullanım Yerleri

Dünyada genel olarak; mobilya üretiminde %70, diğer kullanım yerlerinde %30 oranında kullanılmaktadır. İnce MDF'ler çekmece altlıkları, kapı yüzeyleri, mobilya ve kabin arkalıkları, sergi paneli, üzerine delikler açılarak dekoratif paneller ve kolayca bükülebildiklerinden dolayı eğik yüzeylerin oluşturulmasında kullanılır.

Kalın levhalar en büyük kullanım yeri binalarda sütun, plaster ve kemer gibi mimari amaçların yanında ağır döşeme ve raf, merdiven basamağı, çalışma tezgâhı ve bank

oturaklarıdır. Rutubete dayanıklı olması nedeniyle banyo ve mutfak mobilyası, döşeme, pencere, merdiven ve mimari kalıp ürünlerinde kullanılır.

Açık havaya dayanıklı şekilde kaplanabildiğinde reklam panoları, mağaza vitrinleri, bahçe mobilyaları, bot kabinleri ve açık havada kullanılan kapı panellerinde kullanılır. Alev almayı geciktiren tipleriyle duvar ve pano kaplamaları, büro bölme sistemleri, gemilerde kabin ve bölme elemanlarının yanında bitişik yapılan ekipmanlar da kullanılırlar. Yüksek yoğunluklu levhalar endüstriyel raf, çalışma tezgâhları, ağır döşeme, mobilya altlığı ile mutfak ve banyo birimleri için kapı üretimlerinde kullanılır (URL-4).

Avantajları olarak; maliyetinin düşük olması, işlenmesinin kolay olması, sağlam ve dayanıklı olması, uzun yıllar dayanıklı olması, boya, vernik gibi malzemeler uygulanabilir olması, desen baskı yapılabilmesi, hammadde sıkıntısının olmaması ve her türlü odunsu malzeme kullanılabilmesi, verimin benzer diğer ürünlere göre daha yüksek olması, iç yapışma direncinin yüksek olması, kalınlık ölçülerinin daha geniş aralıklarla uygulanabilmesi (1,8-60 mm), suyun az olduğu bölgelerde de üretim yapılabilmesi, Presleme süresinin kısa olması gösterilebilir (URL-5).

Dezavantajları olarak; ağır olmaları, boya istemesi, sabitlenmezse zamanla genişleme ve bükme yapabilmesi, yaş yöntemde olduğu gibi hidrojen bağlarının bulunmayışı, ilave bir yapıştırıcının gerekli oluşu, yangın tehlikesinin daha fazla oluşu, hava kirliliği problemi olması, levhanın yüzey kalitesinin sert lif levhaya göre düşük olması ve rutubet değişimleri sonucu daha yüksek oranda boyut değişimi gösterilebilir (URL-6).

1.3.4. Sert Lif levhalar (HDF)

Yaş ve kuru yöntemle üretilen yoğunluğu yaklaşık 1 gr/cm^3 olan lif levhalara denmektedir. Kuru yöntemle üretilen levhalar rutubete karşı dayanıklılık sağlamak üzere işleme tabi tutulmadıkça genellikle iç mekânlarda kullanılırlar. Dış mekânlarda kullanılmak üzere işleme tabi tutulan levhalar “ekstra sert lif levhalar” olarak adlandırılmaktadır. HDF’ler yapısal uygulamalarda, mobilyacılıkta ve otomotiv sektöründe kullanılır (Güller, 2001).

1.3.5. İzolasyon Lif levhaları

İzolasyon levhaları düşük yoğunluğa sahiptir. Yapılarda yer döşemesi ve yalıtım amaçlı olarak kullanılırlar. Mevcut işletmelerin pek çoğu yanmaya dayanıklı bir ürün yapmak amacıyla, odun lifinden çok mineral lifi tercih edip üretim yapmaktadır. İzolasyon levhaları, folyolar, katı üretan köpükleri, fiberglas ve diğer materyallerle kombine edilen levhalar duvar ve çatı elemanları olarak üretilmektedir (Güller, 2001).

1.4. Literatür Özeti

1.4.1. Mantar Bazlı Kompozitlerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Gelişen dünya anlayışında mevcut kaynakların azalması göz önünde bulundurularak sürdürülebilir geri dönüşüm büyük bir önem kazanmıştır. Bu bağlamda bilimsel çalışmalar hızlanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları ise miselyum ve miselyum-biokütle kompozitleri yeni sürdürülebilir malzemeler konusu üzerine yapılmıştır.

Wu vd., (2011) yaptıkları çalışmada, beyaz çürüklük mantarı *Trametes hirsute* ile ön işleme tabi tutulan mısır sapı, yapıştırıcı olmadan sıcak pres ile sunta üretmek için kullanılmıştır. Biyolojik olarak ön işleme tabi tutulmuş mısır sapından üretilen lif levhanın mekanik özelliklerini arttığını tespit etmiştir. Bu durumun mantarla ön işlem sonrasında lif levhanın iki katından fazla hidroksil grubuna, %18 daha yüksek kristalliğe sahip olmasına bağlamıştır.

Arifin vd., (2013) ise yaptıkları çalışmada, pirinç kabuğu ve buğday tanesi kullanarak miselyumun potansiyelini gözlemlemek karakterini belirleyerek pirinç kabuğunun fiziksel özellikleri, mikro yapısı üzerindeki etkisini incelemiştir. Üç farklı numune ve üç farklı oran kullanılan çalışmada taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesinden sonra misel üzerinde görünür gözeneklilik testleri hesaplanmıştır.

Wang vd., (2017) bu çalışmada, pirinç kabuklarından yetiştirilen miselyum biyo-kompozitlerin bir yangın tepkimesi ve termal bozunma özelliklerini değerlendirmiştir. Miselyumun üstün yangın geciktirici özelliklerinin pirinç kabuklarındaki bileşikler (yani lignin) ve miselyumdaki fosfor ve yüksek silika içeriğine bağlı olduğu öne sürülmüştür. Bu

yangın geciktirici mekanizma dizisi, ısı ve zehirli duman miktarını azalttığı tespit edilmiştir.

Jones vd., (2018) sentetik yapı malzemelerine göre miselyum kompozitlerin yanıcılığı üzerinde yüksek silika içeren tarımsal ve endüstriyel atıkların değişen oranlarının etkisini karakterize etmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, miselyum kompozitlerinin, geleneksel yapı malzemelerinden daha güvenli olduğunu, çok daha düşük ortalama ve tepe ısı yayma oranları ve daha uzun alev parlama süresi ürettiğini ortaya koymuştur. Ayrıca önemli ölçüde daha az duman ve CO₂ salınımı yaptığı da belirlenmiştir. İnce cam taneleri içeren miselyum bazlı kompozitler ise önemli düzeyde yüksek silika konsantrasyonları ve düşük yanıcı malzeme içeriği nedeniyle en iyi yangın performansını sergilediği gibi daha yüksek cam tozu konsantrasyonlarının da maliyeti artırdığı ortaya konulmuştur.

Jones vd., (2018) tarımsal ve endüstriyel atık ürünlerinin düşük maliyetli, çevresel açıdan sürdürülebilir ve neredeyse sıfır ek enerji masrafı olan materyallere olan ilginin arttığı fark ederek nerelerde kullanılabileceği araştırmıştır. Çalışma sonucunda miselyum biokütle kompozitlerinin yanıcı petrole göre daha güvenli ve ekonomik bir alternatif olduğu, yalıtım dâhil mobilya ve kaplama alanında tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Jones vd., (2017), kullanışlı alev geciktirici potansiyellere sahip mantar miselyum ve miselyum-biokütle kompozitlerinin termal bozunma ve yangın özelliklerinin ayrıntılı bir çalışması yapılmış, çalışmayı takiben miselyumun hifal çaplarının azaldığı, koni kalorimetri test sonuçlarına göre, miselyum varlığının buğday tanelerinin yangına tepki özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Girometta vd., (2019) miselyum bazlı köpükler ve sandviç kompozitler, lignoselülozik atıkların değerlendirilmesine ve canlı mantar organizmasının doğal büyümesine dayanan, gelişmekte olan bir biyo kompozit kategorisi olarak değerlendirmiştir. Nihai ürün, yalıtım panelleri, ambalaj malzemeleri, tuğlalar veya yeni tasarım nesnelere üretecek şekilde şekillendirilebilir. Dünyada sadece birkaç öncü şirket, önemli bir teknik bilgi birikiminin yanı sıra malzeme karakterizasyonunu sağlama becerisine sahiptir. Ayrıca, endüstriyel gizlilik nedeniyle bazı teknik detaylar açıklanmamaktadır. Mevcut literatüre göre miselyum bazlı biyo kompozitler düşük yoğunluk ve iyi yalıtım özellikleri gösterdiği belirtilmektedir.

Elsacker vd., (2019) tarımsal kalıntı lifleri, hammaddeyi hafif bir malzemeye bağlayan iç içe dokunmuş üç boyutlu filamentli bir ağ oluşturan mantar miselyumu ile aşılacaktır. Beyaz çürüklük mantarı *Trametes versicolor* ile birleştirilmiş farklı lignoselülozik lifler ile yapılan miselyum bazlı kompozitlerin üretim süreci, mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bu çalışmada incelenmiştir. Ketten, kenevir ve saman içeren miselyum kompozitlerinin ısı iletkenliği ve su emme katsayısı, taş yünü, cam yünü ve ekstrüde polistiren gibi geleneksel malzemelere kıyasla her yönden genel olarak iyi bir yalıtım davranışına sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan testler, miselyum bazlı kompozitlerin mekanik performansının daha çok işlemeye (gevşek, doğranmış, önceden sıkıştırılmış ve çekme) bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar, miselyum kompozitlerin ısı yalıtımının gereksinimlerini karşılayabileceğini ve fosil bazlı kompozitlerin yerini alma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Jones vd., (2020) miselyum kompozitlerin, bileşimlerine ve üretim süreçlerine dayalı olarak özelleştirilebilir malzeme niteliklerine sahip olduğunu ve yalıtım, kapı göbekleri, paneller, döşeme, dolaplar ve diğer mobilyalar gibi uygulamalar için köpüklerin, kerestenin ve plastiğin yerini alabileceğini belirtmiştir. Düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle yüksek sentetik köpükler ve mühendislik ahşapları gibi geleneksel yapı malzemelerinden daha iyi performans gösteren akustik absorpsiyon ve yangın güvenliği özellikleri, termal ve akustik yalıtım köpükleri olarak özellikle umut vaat etmektedir. Bununla birlikte, tipik olarak köpük benzeri mekanik özelliklerinden, yüksek su absorpsiyonundan ve malzeme özelliği gereği birçok boşluktan kaynaklanan sınırlamalar, miselyum kompozitlerinin, yalıtım da dahil olmak üzere belirli uygulamalar için geleneksel yapı malzemelerine takviye olarak kullanılmasını desteklemektedir. Bununla birlikte, bu malzemelerin düşük maliyetlerine ek olarak kullanışlı malzeme özellikleri, üretim kolaylığı ve çevresel sürdürülebilirlik, çevresel yapı teknolojisinin geleceğinde önemli bir rol oynayacaklarını göstermektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Yapraklı (kavak) ve iğne yapraklı ağaç (sarıçam) liflerinin karışımı (50/50 ağırlıkça) Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.' den temin edilmiştir. Ticari üre formaldehit (ÜF) tutkalı Çamsan Ordu Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından sağlanmıştır. Beyaz çürüklük *Pleurotus ostreatus* (PO) ve *Ganoderma liquidum* (GO) mantar kültürü USDA Forest Products Laboratory, Wisconsin, ABD'den temin edilmiştir.

2.2. Deneme Levhalarının Üretim Aşamaları

2.2.1. Mantar Aşılama

Bu çalışma kapsamında beyaz çürüklük mantarları olarak PO (*Pleurotus ostreatus*) ve GL (*Ganoderma liquidum*) mantarları tercih edilmiştir. 2 kg lif tartılarak %70 rutubete gelmesi için ıslatılarak bekletilerek ve ara ara rutubet ölçerle kontrolü yapılmıştır. Kilogramın %10'u kadar kireç (CaO) pH'ı dengeleyip 7'ye getirmesi için örneklerin üzerine serpilerek karıştırılmış ve pH kâğıdı ile ölçümü yapılmıştır. Isıya dayanıklı poşetlere doldurulan pH'ı dengelenmiş örnekler otoklav makinasına alınmıştır. Şekil 6'da mantar kültürleri ve sterilizasyon işlemi gösterilmiştir.



Şekil 6. Geliştirilen mantar kültürleri, ıslatılan lif örnekleri ve sterilizasyon işlemi

Daha sonra yongalar UV kabinde steril bir biçimde soğumaya bırakılmıştır. Soğutma işleminden sonra şeffaf poşetlerin iki dip köşesine çalışılacak mantar konulmuştur. Üzerine mantarın besin ortamı oluşturması için çok az nişasta konulur ve yaklaşık 340 gr steril edilmiş lif eklenmiştir. Aşılana mantarlı örnekler 15 ve 30 gün beklemesi için nem oranı %65-70 olan iklimlendirme dolaplarına alınmıştır. Şekil 7’de dolap içerisindeki aşılama lif örnekleri verilmiştir.



Şekil 7. İklimlendirme dolabı içerisindeki aşılama lif örnekleri

2.2.2. Levhaların Üretimi

Kontrol lif levhasının üretiminde kurutma, tutkallama ve sıcak presleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Levha üretiminde %12 oranında üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Parafin ilavesi yapılmamıştır. Sertleştirici olarak %1 oranında alüminyum sülfat kullanılmıştır. Üretilen levhaların boyutları 40 cm x 40 cm x 1 cm olarak seçilmiştir.

Mantar türleri ile ön işleme tabi tutulan odun lifleri bünyesinde gelişimini tamamlayan aşılama örnekler dolaptan alınmıştır. Örnekler serilerek oda sıcaklığında %12 rutubete gelene kadar kurutulmuştur. Şekil 8’de mantar aşılama örnekleri ve kurutma işlemi gösterilmiştir. Ön işleme tabi tutulan lifler, çelik plakalar üzerinde 40 cm x 40 cm x 1 cm ebatlarda tek katmanlı olarak levha taslağı oluşturulmuştur. Bilgisayar kontrollü bir pres ile 200 °C de 9 dakika 40 bar basınçla preslenmiştir. Üretilen lif levhalar denge rutubetine ulaşana kadar bir iklim odasında bekletilmiştir. MDF panellerinin

iklimlendirilmesinden sonra, bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek için bu panellerden örnekler hazırlanmıştır. Şekil 9’da levha taslağı, üretilen levha örneği ve testler için hazırlanan örnekler verilmiştir.



Şekil 8. Mantar aşılama örnekleri ve kurutma işlemi



Şekil 9. Levha taslağı, miselyum esaslı levha ve test örneklerinin hazırlanması

Tablo 2. Lif levha üretim planı

Levha grubu	Mantar türü	İşlem süresi (gün)
KONTROL	-	-
PO15	<i>Pleurotus ostreatus</i>	15
PO30	<i>Pleurotus ostreatus</i>	30
GL15	<i>Ganoderma liquidum</i>	15
GL30	<i>Ganoderma liquidum</i>	30

2.3. Odunda Kimyasal Analizler

2.3.1. Alkol-Benzen Çözünürlüğü

Alkol-Benzen çözünürlüğü odundaki ekstraktifleri (reçine, yağ, vaks vb.) çözüp uzaklaştırmak için uygulanır. Por çapı 1 olan krozeler etüvden desikatöre alınır. Ağırlıkları alınıp içerisine kullanılacak gram kadar örnek konulur. Örnekte kayıp olmaması için üzerine süzgeç kâğıdı konulmuştur. Balon joje'ye 300 ml (200 ml benzen ve 100 ml alkol) alkol-benzen konulur. Sokslet içerisine alınan krozeler soğutuculara bağlanarak sistem başlatılır. 4-5 saat yıkanan örnekler etüve alınarak kurumaya bırakılır. Şekil 10'da alkol benzen çözünürlüğü düzeneği verilmiştir. Alkol-Benzen çözünürlüğü (TAPPI T 204 om-88) standartlarına göre yapılmıştır.



Şekil 10. Alkol benzen çözünürlüğü düzeneği

2.3.2. Holoselüloz Tayini (Klorit yöntemi)

Deneyde NaClO_2 asiti etkisiyle ClO_2 serbest kalır ve örnekteki lignin çözünmüş bir hal alarak holoselüloz elde edilmektedir. Örnekler önceden alkol-benzen ile ekstra edilmiştir. 5 gr ekstrakte edilmiş örnek 250 ml'lik erlen mayerlere alınır. Her erlen için 1,5 gr NaClO_2 (sodyum klorit), 10 damla buzlu CH_3COOH (asetik asit) ve üzerine 160 ml saf su ilave edilir. 80 °C ye ayarlanmış sıcak su banyosuna alınır. Her 1 saatte klorit ve asetik asit ilavesi yapılarak örnek türüne bağlı olarak 3-4 kez tekrarlanır. Süresi biten örnekler por çapı 2 olan krozede önce su sonra aseton ile kimyasaldan iyice arınana kadar süzülür. Şekil 11'de holoselüloz tayini yapılan lif örnekleri verilmiştir.



Şekil 11. Holoselüloz tayini yapılan lif örnekleri

2.3.3. Lignin Tayini

Karbonhidratların asit yardımı ile hidrolize olması sonucunda lignin elde edilmektedir. 1 gr ekstrakte edilmiş örnek kullanılır. 100 ml'lik beherlere alınan örneklerin üzerine 15 ml'lik H_2SO_4 (sülfürik asit) pipetle çekilerek ilave edilir. Manyetik karıştırıcılar ile 2 saat karıştırılır. 1000 ml veya 2000 ml'lik erlen mayerlere örnek alınarak üzerine 575 ml saf su eklenir. Soğutuculara bağlanarak 105 ± 3 °C 'de örnek kaynar. Kaynama 4 saat

boyunca kontrol altında olmalıdır. İşlem gören örnekler por çapı 4 olan krozede süzülüp etüve alınır. Şekil 12’de lignin yapılan lif örnekleri gösterilmiştir. Lignin tayini (TAPPI T 222 Om-88) standartlarına göre yapılmıştır.



Şekil 12. Lignin tayini yapılan lif örnekleri

2.3.4. Alfa Selüloz Tayini

Çözülebilir selülozun %17,5’luk NaOH çözeltisine dayanıklı olan kısmı alfa selülozdur. Holoselüloz tayini yapılmış 2 gr örnek behere alınır. %17,5’luk NaOH ilk seferde 10 ml, sonraki üç seferde 5 ml her 5 dk’da bir örnek üzerine eklenir ve bagetlerle karıştırılır. Son tekrardan sonra 30 dakika beklenir. Üzerine 33 ml saf su ilave edilir. 1 saat bekletilir. Süzme işleminde por çapı 2 olan krozeye alınan örnekler önce bol saf su ile yıkanır. 100 ml %8,3 NaOH örneklerin üzerine dökülür ve vakum kapatılıp beklenir. Tekrar saf su ile tüm örnekler yıkanır. 15 ml’lik %10’luk CH_3COOH eklenip 3 dakika bekletilir. Son olarak bol saf su ile yıkayıp etüve alınır. Şekil 13’te alfa selüloz tayini yapılan lif örnekleri verilmiştir.

Alfa selüloz tayini (TAPPI T 203 OS-71) standardına göre yapılmıştır.



Şekil 13. Alfa Selüloz Tayini Yapılan Lif Örnekleri

2.3.5. %1'lik NaOH Çözünürlük Tayini

Bu tayin odunda mantar çürüklüğü hakkında bilgi edinmemizi kolaylaştırmaktadır. Ekstrakte edilmemiş 2 gr örnek 200 ml'lik erlen mayerlere alınır. 100 ml %1'lik NaOH ilave edilir. 100 °C'deki su banyosuna erlenler alınır ve 1 saat bekletilir. 5-10-15 ve 25. Dakikalarda çepere yapışan örneklerin karışması yavaşça karıştırılır. Por çapı 2 olan krozede 25 ml %10'luk CH_3COOH (Asetik Asit) ile yıkanır. Bol saf su ile süzülür. %1'lik NaOH çözünürlüğü örnekleri Şekil 14'de verilmiştir. Örnekler (TAPPI T 257) standardına göre hazırlanmıştır.



Şekil 14. %1'lik NaOH Çözünürlüğü

2.4. Liflerin FT-IR Analizleri

P.O ve G.L mantar türleri ile aşılınmış karışık odun liflerinin farklı sürelerde bozunmaya maruz bırakıldıktan sonra her bir bozunma süresinin sonunda polisakkaritler, lipitler, protein miktarındaki değişimlerin belirlenmesi için FTIR-ATR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy- Attenuated Total Reflection Technique) kullanılmıştır. FTIR analizinin yapılışı şekil 15’te verilmiştir.



Şekil 15. FTIR Analizi

2.5. Fiziksel Özellikler

2.5.1. Yoğunluk

Bu ölçümler KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Misel esaslı lif levhaların yoğunlukları TS EN 323 (1999)’da belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Yoğunluk testi, 50x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örnekler tam değişmez ağırlığa gelinceye ulaşincaya kadar 103±2 °C kurutuldu ve örneklerin tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Yoğunluğun belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$\delta = m/v$$

Burada;

δ : Yoğunluk (g/cm³)

m: Tam kuru ağırlık (g)

v: Örnek hacmi (cm³) dir

2.5.2. Su alma Oranının Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı lif levhalarının su alma oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Su alma oranı ASTM D1037 (1993) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Örnekler 50x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlandı ve ağırlığı ± 0.01 gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 1,2,8,24,48 ve 72 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla bir bez ile silinmiş ve ağırlıkları aynı hassasiyetle $\pm 0,01$ gr duyarlıklı terazide tartılmıştır.

Su alma oranının (SA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$SA = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

SA: Su alma oranı (%)

Mo: Örneğin ilk ağırlığı (gr)

m: Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (gr)



Şekil 16. Su Alma Oranı İçin Hazırlanan Örnekler

2.5.3. Kalınlık Artışının Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı lif levhalarının kalınlık artış oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kalınlık artış oranı TS EN 317 (1993) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Örnekler 50x50 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örneklerin kalınlıkları 3 farklı yerinden 0.01mm duyarlılıkta mikrometre ile ölçüldü ve işaretlenmiştir Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 2, 24 ve 48 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla bir bez ile silinmiş ve kalınlıkları ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artış oranınının (KA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$KA = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100$$

Burada;

KA= Kalınlık artışı oranı

e_y = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k = Klimatize edilmiş ilk örnek kalınlığı (mm)



Şekil 17. Örneklerin Mikrometre İle Ölçülmesi

2.6. Mekanik Özellikler

2.6.1. Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarında Zwick/Roell Üniversal Test Makinesi kullanılarak TS EN 310 (1993) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 18). İklimlendirilen test örnekleri 250x50 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Deney esnasında levha örneklerinin yerleştirildiği dayanaklar arasındaki açıklık 200 mm ve test hızı 2 mm/dak. olarak ayarlanmıştır. Deneme 3 nokta eğilme testi olarak gerçekleştirilmiştir.

Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \text{ N/mm}^2$$

Eşitliğinden hesaplanır.

Burada,

F= Kırılma anındaki max. Kuvvet (N)

L= Dayanak noktalan arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliđi (mm)



Şekil 18. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Deney Düzenegi

2.6.2. Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Eğilmede elastikiyet modülü TS EN 310 (1993) standardında belirtilen esaslara uygun şekilde belirlenir. Örnekler klimatize edildikten sonra genişlik dijital kumpas ile 0,01mm hassasiyetle yükleme hattında 1, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde 2 nokta ortalaması alınarak 0.01mm duyarlıklı mikrometre ile ölçülür. Deneme makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1–2 dak içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6mm/dak hızla çalıştırılır.

Eğilmede elastikiyet modülü;

$$E = \frac{F \times L^3}{4 \times \Delta e \times b \times d^3} \quad N/mm^2$$

Burada,

F= Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliđi (mm)

Δ = Eğilme miktarı (sehim) (mm)

Elastiklik modülü kalınlıkla artmaktadır. Üretimde kullanılan tutkal miktarına, yonga geometrisine, uzunluğuna ve levhanın özgül ağırlığına bağlıdır.

2.6.3. Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi

Yüzeye dik yöndeki çekme direnci deneyi TS EN 319 (1999)'da belirlenen esaslara uygun olarak gerçekleştirilir. Örnekler 50*50*levha kalınlığı mm boyutlarında hazırlanır. Sıcaklığı 18–22°C ve bağıl nemi %65±5 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilen örneklerin boyutları 0.01mm duyarlıklılı kumpas ile ölçülür. Bunu takiben örneklerin her iki yüzüne standartlarda belirtilen profillere sahip takozlar yapıştırılır. Bu amaçla polivinil asetat tutkalı kullanılır. Bu şekilde hazırlanan örnekler üniversal test makinesinde 2 dakika içerisinde kırılacak şekilde teste tabi tutulur.

$$\sigma_{\text{çd}} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \times Nmm^2$$

Burada;

F_{max.} = Kırılma anındaki max. kuvvet (N)

A = Örnek enine kesit alanı (mm²)



Şekil 19. Yüzeye Dik Çekme Direnci Deney Düzeneği

2.7. Liflerin Işık Mikroskobu Çekimleri

PO ve GL mantar türleri ile aşılınmış lif örneklerinin farklı sürelerde bozunmaya maruz bırakıldıktan sonra her bir bozunma süresinin sonunda mantar misel yoğunluğu ışık mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünde ışık mikroskobu analizi gerçekleştirilmiştir. ZEISS Stemi 305 ışık mikroskobu ve ZEISS AxiocaAM erC 5s kamera ile örneklerin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ışık mikroskobu şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Işık Mikroskobu

2.8. Lif Levhaların SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Çekimleri

Üretilen lif levhaların SEM görüntüleri Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri Carl Zeiss marka EVO LS10 model cihazda gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde, örnekler sıvı azot içerisinde bir süre bekletildikten sonra sert bir cisim yardımıyla kırılarak temiz bir kırık yüzey (fractured surface) elde edilmiştir. Örnek yüzeyinden meydana gelebilecek yansımaları ortadan kaldırmak amacıyla kırık yüzeyler altın tozuyla 10 mA de 120 saniye süreyle kaplama işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra kaplanmış örneklerden farklı büyütmelemler kullanılarak görüntüler alınmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Liflerin Mantar Bozunması Sonrası Kimyasal Analizleri

Sarıçam ve kavak odunu liflerinin *Pleurotus ostreatus* (PO) ve *Ganoderma liquidum* (GL) beyaz çürüklük mantarları ile 15 ve 30 gün süreyle işleme tabi tutulması sonucunda kimyasal yapılarında meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Standart yöntemlere göre yapılan kimyasal analizlerin bulguları Tablo 3’de verilmiştir. Kimyasal analizler her bir grup için 3 tekrar yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. GL ve PO mantarı ile farklı bozunma sürelerine maruz bırakılmış lif materyalinin kimyasal yapısındaki değişimler

Lif												
Mantar Türü	Bozunma Süresi (Gün)	Alkol/Benzen Çözünürlüğü		%1 NaOH Çözünürlüğü		Holoselüloz		Lignin		α -selüloz		Toplam
		Ort	S	Ort	S	Ort	S	Ort	S	Ort	S	
	Kontrol	3.62	0.24	42.21	0.55	76.26	0.18	21.57	0.45	35.72	0.23	101,46
GL	15	3.65	0.19	30.44	0.08	69.59	0.13	25.86	0.07	49.51	0.55	99,10
	30	2.96	0.08	39.92	0.67	69.26	0.81	24.36	0.36	44.81	0.32	96,58
PO	15	3.70	0.17	18.20	1.56	65.91	0.10	26.81	0.21	50.44	0.19	96,42
	30	2.80	0.08	30.34	0.57	68.80	2.73	26.18	0.29	44.36	1.13	97,78

Ort: Aritmetik ortalama; S: standard sapma

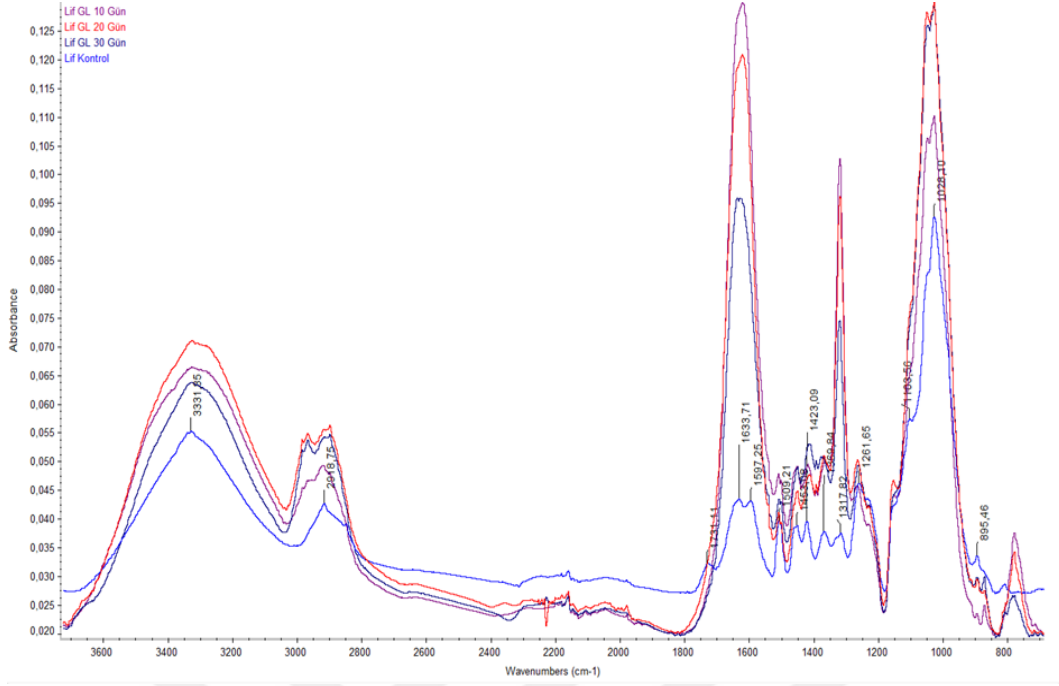
3.2. FT-IR Analizi

Analizler Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında Perkin Elmer Spectrum One marka FTIR cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Her bir örneğin spektrası 4 cm⁻¹ çözünürlükte 4000 ila 500 cm⁻¹ tarama aralığında alınmıştır. Her bir grup için en az 3 tekrar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçümler Thermo Scientific Omnic yazılımı ile incelenmiştir.

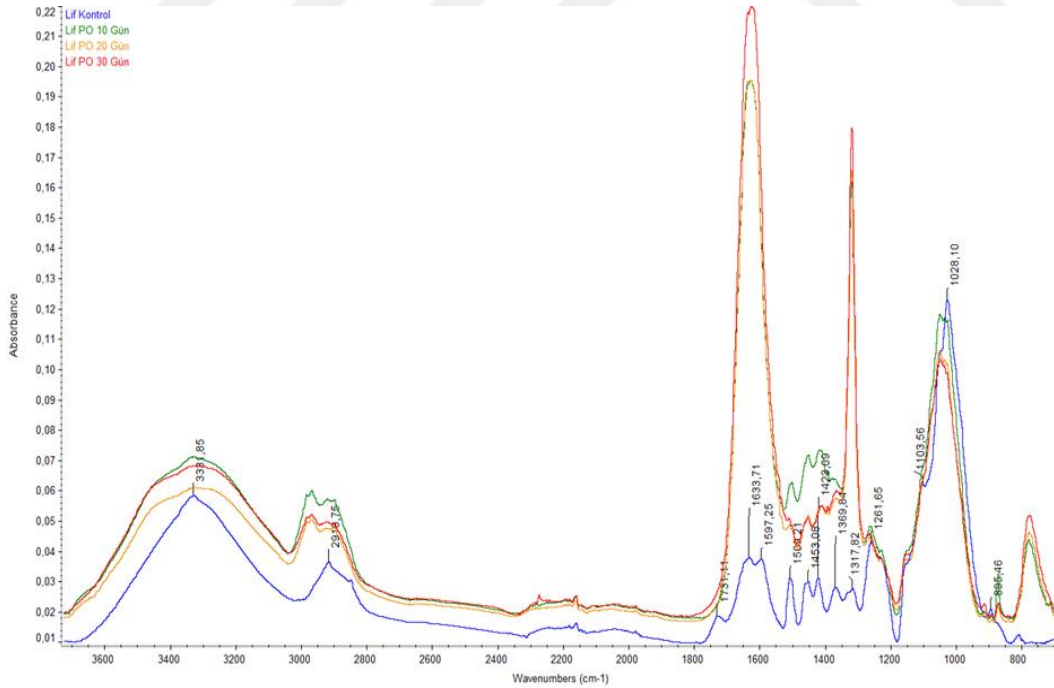
Tablo 4. GL ve PO mantarına maruz bırakılan lif besin ortamında yetişen mantar misellerinin IR spektrumundaki (600-3800 cm⁻¹) gözlenen dalga boyları

Dalga Boyu (cm ⁻¹)	Tespit	Mantar Türü Dalga Boyu(cm ⁻¹)		Kaynaklar
		GL	PO	
3600-3000	O-H genişlemesi	3331	3331	(Haneef vd., 2017; Mohebbby, 2005)
2980-2835	Selülozda CH ₂ , CH ₂ OH	2918	2918	(Schwanningera vd., 2004)
2940-2840	CH ₂ Simetrik genişlemesi	2865	2865	(Schwanningera vd., 2004)
1770-1710	Ksilanda C=O genişlemesi (Hemiselüloz)	1731	1731	(Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003)
1650-1640	Lignin veya selüloz ile ilişkili absorbe edilmiş O-H, Amid I (β-düzlemi)	1633	1633	(Haneef vd., 2017; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)
1560-1520	Lignin içindeki (syringyl) aromatic halkaların C = C genişlemesi	1597	1597	Haneef vd., 2017; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)
1520-1500	Lignin içindeki (guaiacyl) aromatic halkaların C = C genişlemesi	1509	1509	Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1470-1410	Metil guruplarda C-H defermasyon	1453	1453	(Popescu vd., 2010)
	Karbonhidrat ve lignindeki C-H defermasyonu, CH ₂ kopma vibrasyonu	1423	1423	Haneef vd., 2017; Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1375-1365	Selüloz ve hemiselülozda CH defarmasyonu, kitin	1369	1369	(Haneef vd., 2017; Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)
1365-1335	OH düzlem içi defermasyon	-	-	(Schwanningera vd., 2004)
	Selülozda CH ₂ tip vibrasyonu	1317	1317	Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)
1282-1277	Selülozda CH defermasyonu			(Schwanningera vd., 2004)
	Syringyl halkası, C-O geriliyor lignin ve ksilan, Nükleik asit	1261	1261	(Haneef vd., 2017; Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003)
1235-1225	OH düzlem defermasyonu			(Schwanningera vd., 2004)
1162-1125	Selüloz ve hemiselülozda C-O-C vibrasyonu	1103	1103	(Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)
1047-1004	Selülozda C-O genişlemesi	-	-	(Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)
986	C-C genişlemesi	1028	1028	(Haneef vd., 2017)
	Anomer C-grubu, Glukan β-anomerik C-H gurup genişlemesi, selülozda C-H defermasyonu	895	895	(Haneef vd., 2017; Mohebbby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004)

GL ve PO mantarları ile aşılınmış liflerin farklı sürelerde (15 ve 30 gün) bozunmasının ve lif kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 21 ve Şekil 22’de görülmektedir.



Şekil 21. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarına maruz bırakılan liflerin 15 ve 30. günlerinde FTIR analiz sonuçları



Şekil 22. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarına maruz bırakılan liflerin 15 ve 30. günlerinde FTIR analiz sonuçları.

3.3. Lif levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

3.3.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

3.3.1.1. Yoğunluk

Misel esaslı lif levhaların yoğunluk değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Üretilen levhaların yoğunluk değerleri 0.81 ile 0.90 gr/cm³ arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Üretilen misel esaslı lif levhaların yoğunluk değerleri

Levha grubu	Yoğunluk (g/cm ³)	
	Ort	Std
KONTROL	0,85	0,06
GL15	0,85	0,02
GL 30	0,90	0,02
PO 15	0,81	0,02
PO 30	0,85	0,02

3.3.1.2. Su Alma Oranlarına Ait Bulgular

Üretilen misel esaslı lif levhalar 72 saat süreyle su alma testine tabi tutulmuş ve levhaların 1, 2, 8, 24, 48 ve 72 saat sonunda su alma oranları belirlenmiştir. Lif levhaların su alma oranlarına ilişkin veriler Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Üretilen misel esaslı lif levhaların su alma oranı değerleri

Mantar Türü	1 Saat		2 Saat		8 Saat		24 Saat		48 Saat		72 Saat	
	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std
KONTROL	11,89	4,50	14,79	4,57	24,07	5,26	40,74	8,58	51,04	12,16	57,91	15,01
GL 15	27,70	3,49	37,95	5,51	62,94	12,17	79,02	8,85	79,77	8,71	80,98	8,93
GL 30	24,74	7,79	33,80	9,27	45,52	12,03	55,36	9,98	56,02	7,53	56,93	7,56
PO 15	36,25	11,33	44,94	12,26	59,85	8,19	67,15	4,52	65,73	4,60	66,78	3,96
PO 30	54,29	7,40	62,95	7,42	70,57	9,08	72,22	9,49	70,65	9,96	72,20	10,08

3.3.1.3. Kalınlık Artış Oranlarına Ait Bulgular

Üretilen misel esaslı lif levhalar 72 saat süreyle su alma testine tabi tutulmuş ve levhaların 1, 2, 8, 24, 48 ve 72 saat sonunda kalınlık artış oranları belirlenmiştir. Lif levhaların kalınlık artış oranlarına ilişkin veriler Tablo 7’ de verilmiştir.

Tablo 7. Üretilen misel esaslı lif levhaların kalınlık artış oranı değerleri

Mantar Türü	1 Saat		2 Saat		8 Saat		24 Saat		48 Saat		72 Saat	
	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
KONTROL	6,18	1,77	7,88	1,94	12,89	2,81	18,22	3,81	22,37	4,62	22,37	4,62
GL 15	14,86	1,70	18,66	2,00	28,31	3,94	36,38	4,16	40,81	4,81	40,81	4,81
GL 30	11,26	1,02	14,59	4,11	20,85	5,84	25,67	5,66	28,44	5,26	28,44	5,26
PO 15	16,40	4,33	19,30	5,02	23,76	4,91	27,29	4,54	29,61	5,07	29,61	5,07
PO 30	16,79	5,00	19,11	5,32	23,22	7,04	26,15	8,39	28,54	9,56	28,54	9,56

3.3.2. Lif Levhaların Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Misel esaslı üretilen lif levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci belirlenmiş elde edilen veriler Tablo 8’ de verilmiştir.

Tablo 8. Lif levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci değerleri

Mantar Türü	Eğilme direnci (N/mm ²)		Elastikiyet Modülü (N/mm ²)		Yüzeye dik çekme direnci (N/mm ²)	
	Ort	Std	Ort	Std	Ort	Std
KONTROL	19,58	5,14	4229,57	1024,82	0,24	0,05
GL 15	15,88	1,63	2304,45	183,32	0,22	0,02
GL 30	18,06	0,64	3274,74	182,65	0,26	0,03
PO 15	13,10	1,02	3510,89	87,06	0,15	0,01
PO 30	15,54	0,79	3344,64	244,68	0,40	0,04

3.4. Liflerin Işık Mikroskobu Altında Analizi

GL (*Ganoderma liquidum*) mantarı ile aşılana liflerin 15 ve 30 günlük bozunma süreleri sonundaki misel yoğunluğu ışık mikroskobunda aşağıdaki şekillerde gözlemlenmiştir.



Şekil 23. GL Mantarı ile aşılana lif örneklerinin 15. gün gözlemlenen misel yoğunluğu



Şekil 24. GL mantarı ile aşılana lif örneklerinde 30. gün gözlemlenen misel yoğunluğu

PO (*Pleurotus ostreatus*) mantarı ile aşılanan liflerin 15 ve 30 gün bozunma süreleri sonundaki misel yoğunluğu ışık mikroskobunda aşağıdaki şekillerde gözlemlenmiştir.



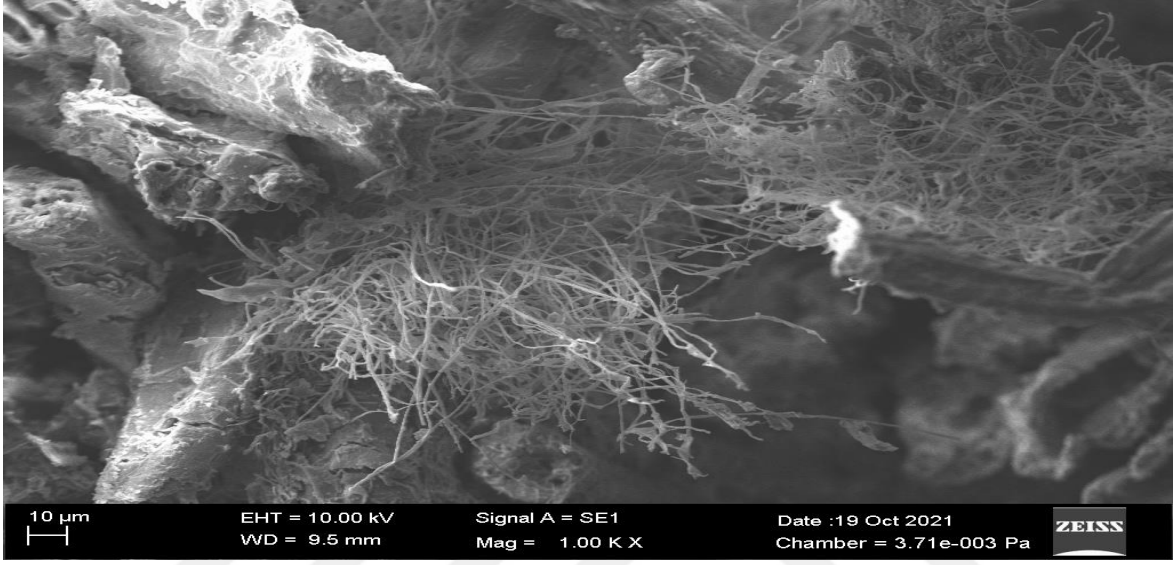
Şekil 25. PO mantarı ile aşılanmış lif örneklerinde 15. gün gözlemlenen misel yoğunluğu



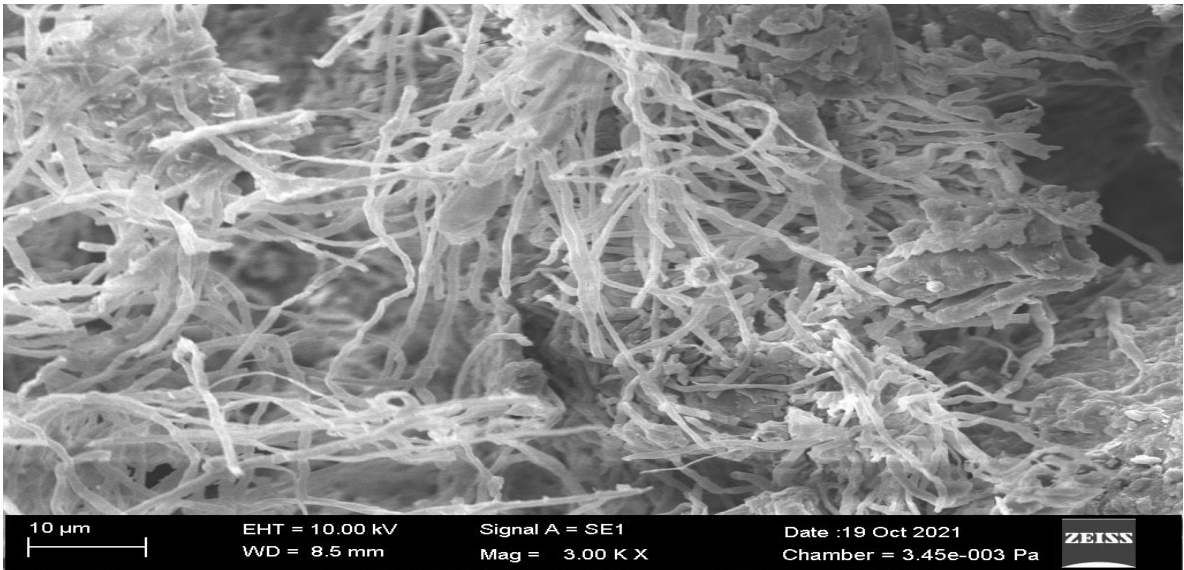
Şekil 26. PO mantarı ile aşılanmış lif örneklerinde 30. gün gözlemlenen misel yoğunluğu

3.5. Lif Levhaların SEM Görüntülerine Ait Bulgular

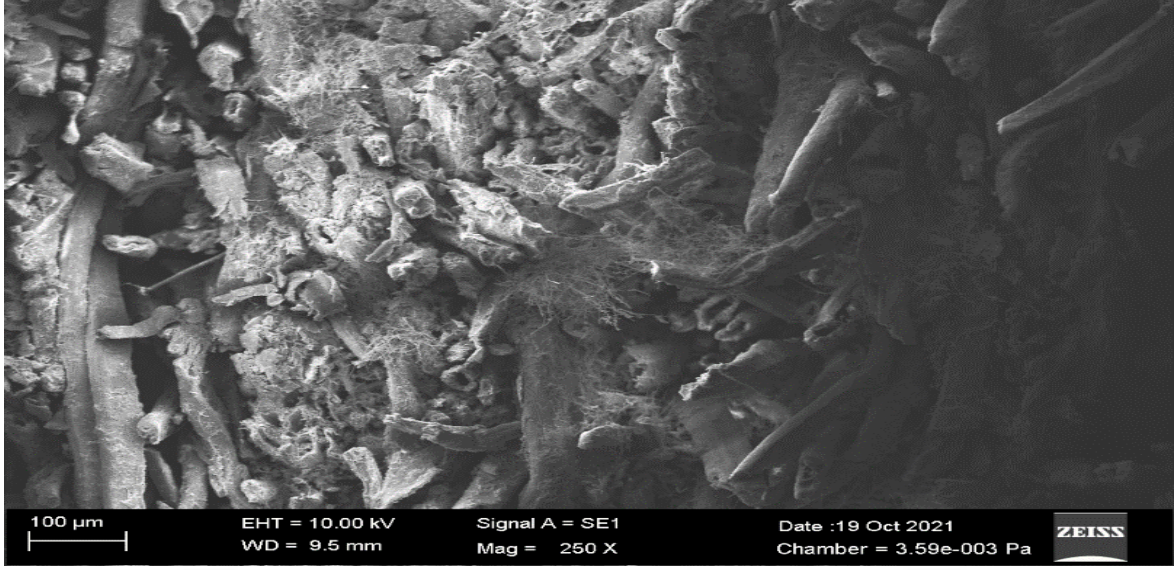
GL ve PO mantarları ile aşılanan 15 ve 30 günlük sürede bozunmaya maruz bırakılmış liflerden üretilen misel esaslı lif levhaların SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 27 Şekil 28, Şekil 29 ve Şekil 30'da verilmiştir.



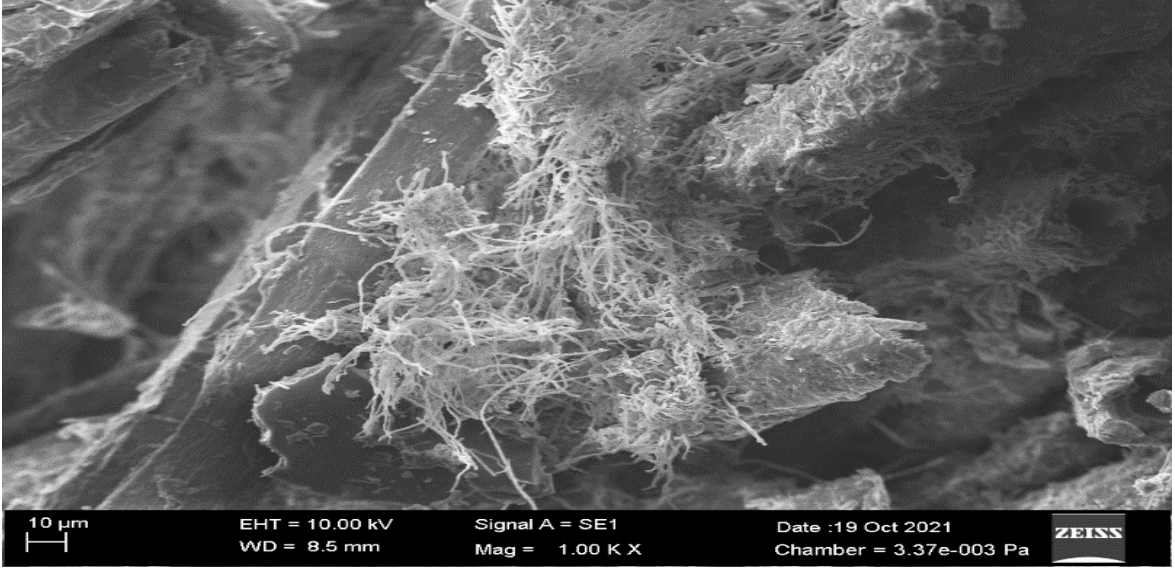
Şekil 27. GL mantarının 15 günlük bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü



Şekil 28. 30 günlük GL mantar bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü



Şekil 29. 15 günlük PO mantarının bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü

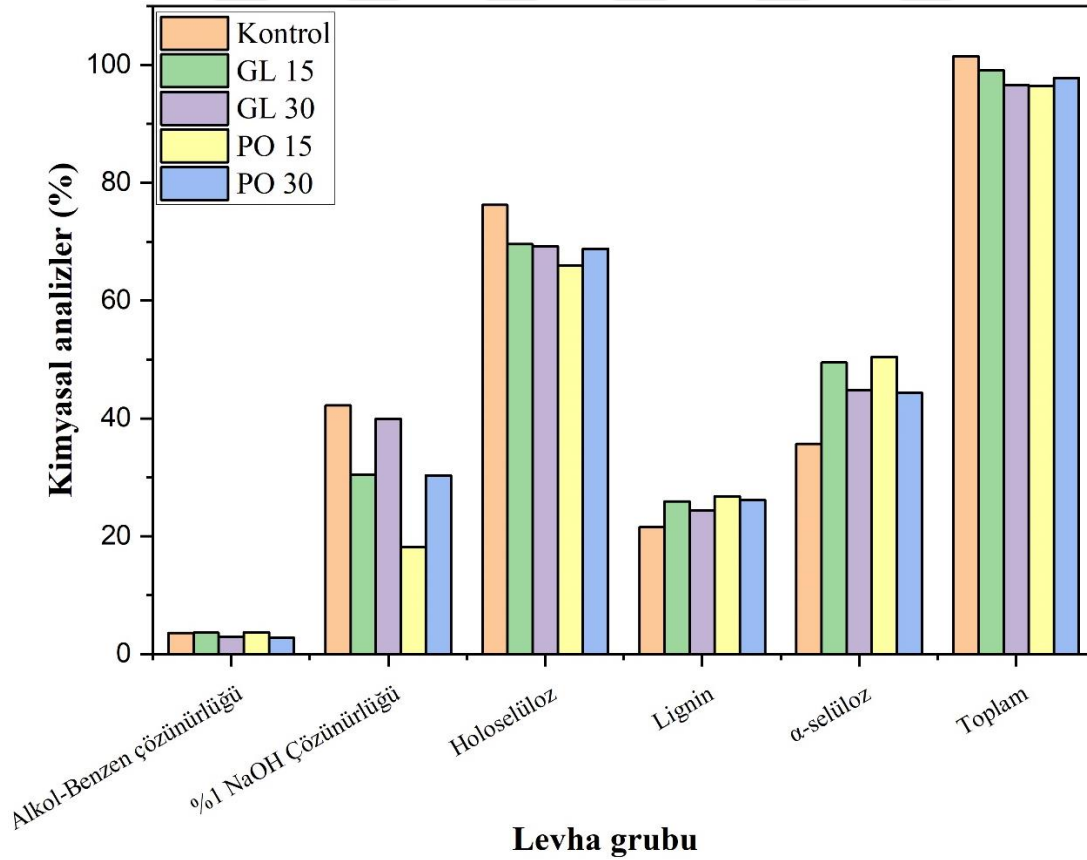


Şekil 30. 30 günlük PO mantarının bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhanın SEM görüntüsü

4. İRDELEME

4.1. Liflerin Kimyasal Analizlerine Ait Sonuçların İrdelenmesi

Üretimde kullanılan liflerin kimyasal analizlerine ait sonuçlar Şekil 31’de verilmiştir. Alkol-benzen çözünürlüğü, kontrol örneğine göre incelendiğinde 15 gün GL mantarının arız olduğu örneklerin değerlerinin azaldığı PO 15 türünün ise arttığı gözlemlenmiştir. GL 30 ve PO 30 örneklerinin alkol benzen çözünürlüğü değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir. %1 NaOH çözünürlüğü, kontrol örneğine göre incelendiğinde ise tüm değerlerin azaldığı belirlenmiştir. Holoselüloz tayini, kontrol örneğine göre değerlendirildiğinde tüm türlerin değerlerinin arttığı görülmektedir. Lignin tayini, kontrol örneğine göre karşılaştırıldığında tüm değerlerin yine arttığı görülmüştür. α - selüloz tayini yapılan örnekler kontrol örneği ile karşılaştırıldığında GL 15, PO 15, GL 30 ve PO 30 türlerinin değerlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 31. Liflerin Kimyasal Analizi

4.2. FT-IR Analizi Sonuçlarının İrdelenmesi

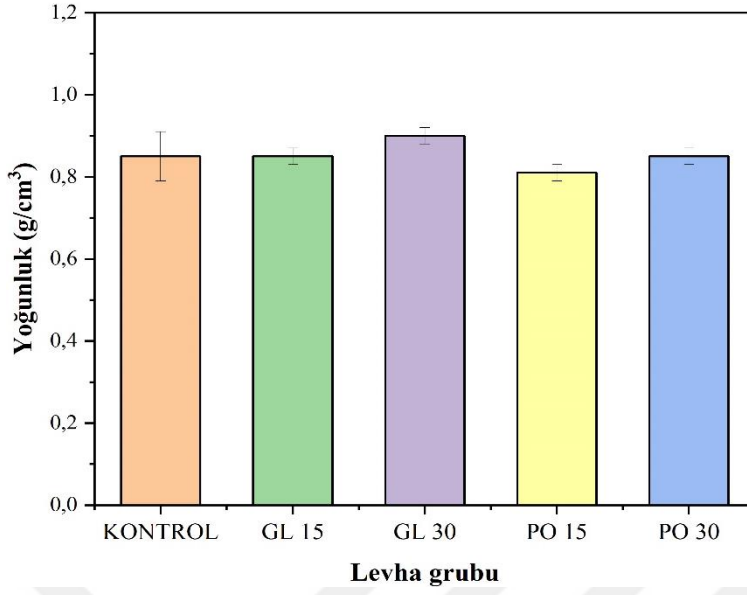
Elde edilen sonuçlara göre lif örneklerinin GL ve PO ile bozunma süresinin artmasıyla kontrol örneklerine göre lipitlerin (1731 cm^{-1}), proteinlerin (1633 cm^{-1}) ve kitin (1317 cm^{-1}) piklerinin yüksekliği belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış lignin ve hemiselüloz polimerlerinin parçalandığını göstermektedir. Fakat GL ile bozunma süresine maruz kalan lif örneklerinin selülozda O-H genişlemesi (3331 cm^{-1}), CH_2 simetrik genişlemesi (2918 cm^{-1}) ve C- O genişlemesi (1028 cm^{-1}) lif kontrol örneklerine göre pik yüksekliği azalmıştır.

4.3. Lif levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi

4.3.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi

4.3.1.1. Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi

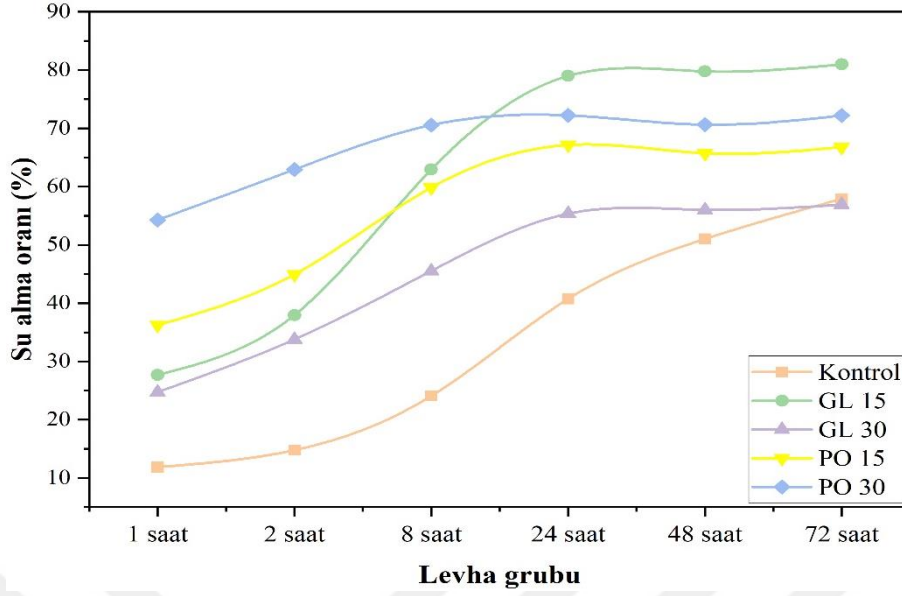
Lif levhaların yoğunluk değerleri Şekil 32'de verilmiştir. Yapılan çalışmada üretilen lif levhaların hedeflenen yoğunluk değerlerine ulaşmak amacıyla eşit ağırlıkta lif miktarı kullanmaya özen gösterilmiştir. Buna rağmen gerek mantar tarafından meydana getirilen ağırlık kayıplarından gerekse presleme sırasında meydana gelen kayıplardan dolayı lif levhaların yoğunluk değerlerinde küçük oranda farklılıklar olduğu belirlenmiştir. En yüksek yoğunluk değerine sahip lif levha ise SEM görüntülerindeki misel yapısını da göz önünde bulundurursak GL mantarıyla 30 günlük bozunma süresinin sonunda üretilen lif levhalar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 32. Misel esaslı lif levhaların yoğunluk değerleri

4.3.1.2. Su Alma Oranları Değerlerinin İrdelenmesi

Levhaların su alma oranı değerlerine ait grafik Şekil 33'te verilmiştir. Yapılan çalışmada üretilen lif levhalar farklı sürelerde su alma testine tabi tutulmuş ve levhaların 1,2,8,24,48 ve 72 saat sonunda su alma oranları belirlenmiştir. Lif levhaların su alma oranları ilk 8 saatte hızlı bir şekilde artmış, 24 saate kadar artış daha yavaş bir hızda/oranda artarak maksimum seviyelerine ulaşmış, 24 saatten sonra su alma oranları yatay seyir izlemiştir. Kontrol lif levhaların su alma oranı, misel esaslı lif levhaların su alma oranlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir. GL mantarı kullanılarak 15 gün boyunca bozunmaya maruz bırakılmış liflerden üretilen levhaların su alma oranının en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

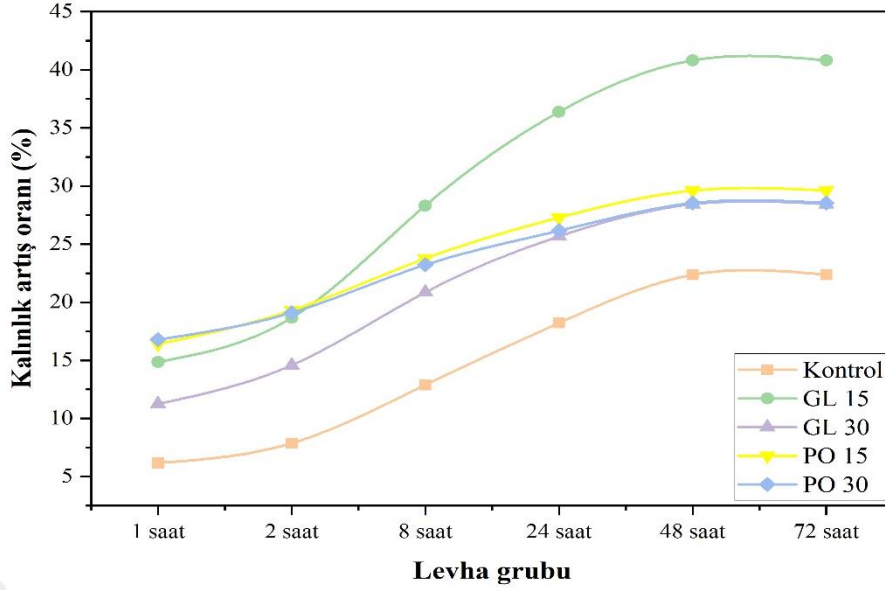


Şekil 33. Misel esaslı lif levhaların su alma oranı değerleri

4.3.1.3. Kalınlık Artış Oranı Değerlerinin İrdelenmesi

Levhaların kalınlık artış oranı değerlerine ait veriler Şekil 34'te verilmiştir. Kontrol lif levhaların kalınlık artış oranı, misel esaslı lif levhaların kalınlık artış oranlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir. GL mantarı kullanılarak 15 gün bozunmaya maruz bırakılmış liflerden üretilmiş levhaların kalınlık artış oranı en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Misel esaslı lif levhalar ilk defa çalışma kapsamında üretilmiştir. Bu nedenle, elde edilen bulguların literatürdeki diğer araştırmalarla karşılaştırılması mümkün olmamıştır. Sıcak pres uygulamasıyla gözenekli misel ağından su ve havayı uzaklaştırılmasına, malzemenin gözenekliliğini düşürmesine neden olmakta, misel esaslı kompozitlerin iç kısımlarına serbest su girişini azaltmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında üretilen misel esaslı lif levhaların su alma oranlarının sıcak pres uygulaması yapılmaksızın üretilen misel esaslı kompozitlerinkinden daha düşük olmasına karşın, kalınlık artış oranları daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, sıcak pres uygulama sırasında mantar misel, hüflerin ve liflerin ana kimyasal yapısının bozulması nedeniyle daha fazla oranda suyun bağlanmasına neden olduğu düşünülmektedir.

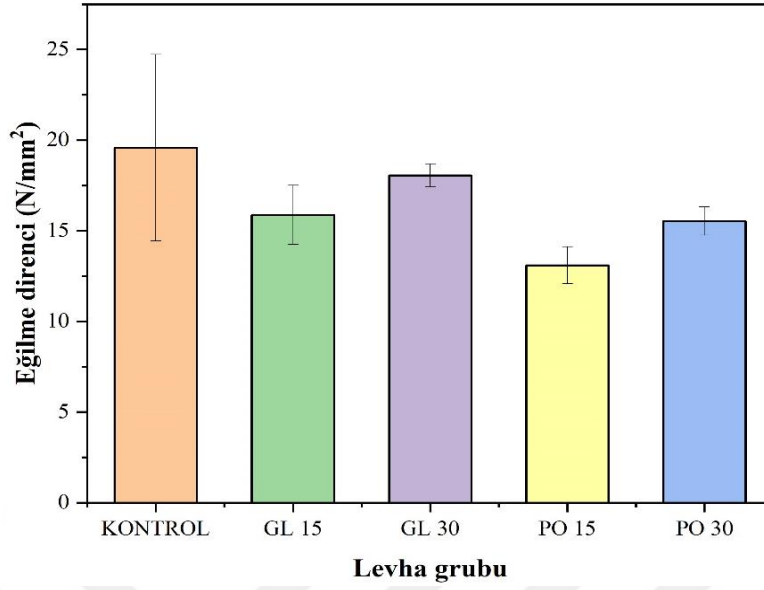


Şekil 34. Misel esaslı lif levhaların kalınlık artış oranı değerleri

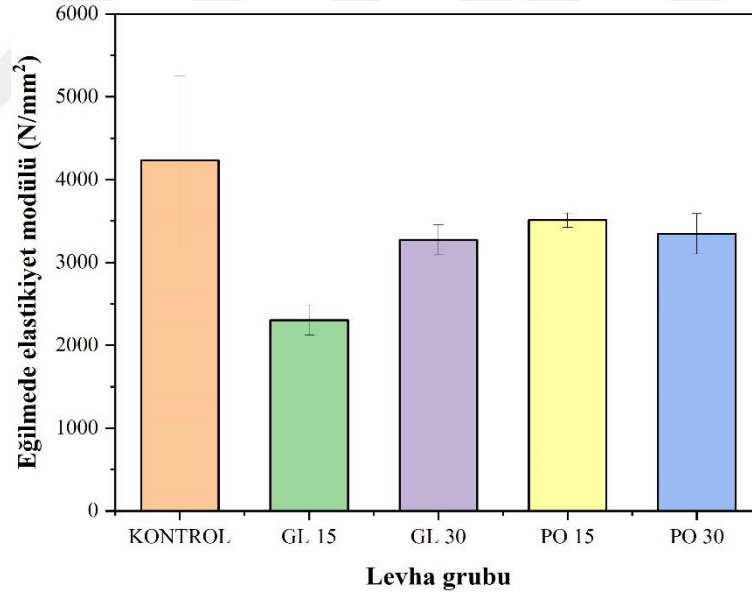
4.3.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi

4.3.2.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Değerlerinin İrdelenmesi

Misel esaslı üretilen lif levhaların eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 35 ve 36’da verilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere, misel esaslı lif levhalarının üretimine ve teknolojik özelliklerine ilişkin herhangi bir çalışma olmaması ve misel esaslı lif levhalar ilk defa bu çalışma kapsamında üretilmesi ve araştırılmasından dolayı, misel esaslı lif levhaların mekanik direnç özelliklerini literatürdeki diğer araştırmalarla karşılaştırmak mümkün olmamıştır. Bununla birlikte, literatürde odun talaş/yongalarından ve yıllık bitki sap/samanlarından pres uygulanarak üretilen misel esaslı kompozit malzemelerin teknolojik özelliklerine ilişkin çalışmalar mevcuttur. Literatürde misel esaslı kompozit malzemelerin en önemli olumsuz yönlerinden birisi yüksek oranda su alma oranına sahip olmaları ve düşük mekanik direnç değerlerine sahip olmaları olarak belirtilmektedir. Misel esaslı kompozitlerinin mekanik özellikleri, soğuk veya sıcak presleme gibi fiziksel işlemler kullanılarak önemli ölçüde iyileştirilebileceği literatürde belirtilmiştir.



Şekil 35. Lif levhaların eğilme direnç değerleri



Şekil 36. Lif levhaların eğilme de elastikiyet modülü direnç değerleri

Preslemenin, kompozit malzemeleri konsolide ettiği, malzemenin geçirgenliğini azalttığı ve genel olarak malzeme yoğunluğunu arttırdığı için misel esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileşmesi beklenmektedir (David., 2007). Presleme aynı zamanda liflerin panel düzleminde yatay olarak yeniden yönlendirilmesine yardımcı olduğu

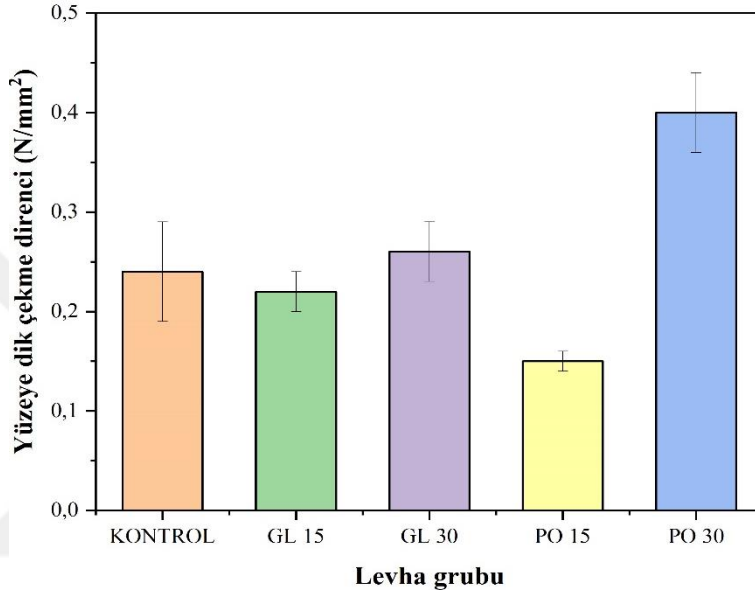
(Butterfield vd., 1992) ve presleme sırasında panel kalınlığının azalması, üst üste binme noktalarında liflerin çeperleri arasında önemli ve yakın lif teması ile sonuçlandığı bildirilmiştir (Carvalho ve Costa, 1998). Kanola (kolza) samanı/sapında PO kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitlerde, soğuk presleme, gerilme mukavemetinde (0.01 N/mm^2 ila 0.03 N/mm^2) ve daha yüksek bir elastik modülde (2 N/mm^2 ila 9 N/mm^2) önemli bir gelişme sağlandığı belirlenmiştir (Appels vd., 2019). Ayrıca, soğuk presleme sonrası elde edilenden daha yüksek eğilme dirençleri (0.06 N/mm^2 ila 0.21 N/mm^2) ve elastikiyet modülleri (1 N/mm^2 ila 15 N/mm^2) olan kompozitlerin eğilme özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir (Appels vd., 2019). Sıcak presleme ile mekanik performansta daha da büyük oranda iyileşmeler elde edilebileceği de bildirilmiştir. Sıcak presleme ile ilgili ana mekanizmalar, suyun faz değişimi (buharlaşması), kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla malzemenin sıkışması ve gerilme gevşemesi ve gaz ve bağlı su difüzyonu ve gaz ve sıvı suyun hidrodinamik akışının bir sonucu olarak meydana gelen kütle transferidir (Carvalho ve Costa, 1998). Buharın ağ üzerinden difüzyonu veya liflerdeki boşluklar, suyun hücre çeperinden difüzyonu veya hücre zarları ve boşluklarından su veya buhar akışı olarak meydana gelmektedir (Stamm, 1964). Sıcaklık, gaz basıncı ve rutubet içeriğinin tümü, kalınlık boyunca ısı ve kütle transferini etkilemekte, malzemenin plastikleşmesini ve sıkıştırılmasını önemli oranda etkilemektedir (Carvalho ve Costa, 1998). Kanola (kolza) sapı/samanından *T. multicolor* ve *P. ostreatus* kullanılarak ve sıcak pres uygulanarak üretilmiş kompozitlerin çekme dirençleri preslenmemiş kompozitlere göre önemli derecede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan GL mantarıyla üretilen misel esaslı malzemelerin daha rijit/sert yapıda olması ve dolayısıyla daha kırılğan olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.2.2. Yüzeye Dik Çekme Direnci Değerlerinin İrdelenmesi

Lif levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri Şekil 37’de verilmiştir. Misel bazlı lif levhaların yüzeye dik çekme direnç değerleri incelendiğinde gerek GL mantarıyla gerekse PO mantarıyla üretilen lif levhaların 30 günlük bozunma süresi tamamlandığında, lif levhaların yüzeye dik çekme dirençlerinin daha yüksek olduğu, hatta PO mantarıyla aşılıp 30 gün süreyle bozunmaya maruz bırakılmış liflerden üretilen lif levhaların yüzeye dik çekme direnç değerlerinin kontrol örneklerinden oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bozunma süresinin artmasıyla mantar misellerinin daha iyi/yoğun gelişmesi, lifleri daha iyi ve homojen bir şekilde sarması ve misellerin oluşturduğu ağ yapısının daha da güçlenmesi nedeniyle, lifler ile miseller arasındaki bağlanma oldukça güçlüdür. Bu da misel esaslı lif levhalarının yüzeye dik çekme direncinde önemli oranda artışa neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 37. Yüzeye dik çekme direnç değerleri

4.4. Liflerin Işık Mikroskobu Altında Analizinin İrdelenmesi

PO ve GL ile işleme tabi tutulan odun liflerinin gün sayısı arttıkça misel yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir. GL ile işleme tabi tutulan odun liflerinde oluşan misel miktarının 15 ve 30 gün arasında daha az misel oluşturma yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. PO'nun misel oluşturma etkinliğinin özellikle 30 gün sonunda GL'ya göre daha yüksek olduğu ışık mikroskobu görüntülerinden anlaşılmaktadır. Çalışmada kullanılan mantarların misel oluşturma yeteneklerinin üretilen lif levhaların farklı özelliklerine yansımaları yukarıda belirtilen bulgulardan anlaşılmaktadır. Ancak bu değişimlerin tamamını ışık mikroskobu görüntüleri ile açıklanması eksiklik olacaktır. Mantarların odun lifleri üzerindeki kimyasal etkileri ve bunların sıcak presleme sırasındaki

termik işlem ve basınçtan etkilenme şekilleri de lif levhaların özellikleri üzerinde etkili olacağı açıktır.

4.5. Lif Levhaların SEM Görüntülerinin İrdelenmesi

GL mantarı ile elde edilen 30 günlük bozunma süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı lif levhaların SEM görüntüleri incelendiğinde, GL mantarının arız olduğu lif levhalarda bozunma süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı çekilen görüntülerde görülmektedir. PO mantarı ile üretilen levhaların 15 ve 30. gün bozunma sürelerinin sonunda ve levhaların SEM görüntüleri incelendiğinde misel ağ yapısına rastlanılmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen SEM görüntülerine benzer sonuçları literatür ile paralellik göstermektedir. (Haneef vd., 2017) tarafında yapılan çalışmada *G. lucidum* ve *P. ostreatus* mantarlarını mikrokristal selüloz besi ortamında 5, 10 ve 20 günlük bozunma sonunda SEM görüntülerin de misel ağlarının bozunma süresi arttıkça misel ağ yapısı arttığını tespit etmişlerdir.

(Jones vd., 2019) tarafından yapılan çalışmada buğday sapı, pirinç kabuğu ve şeker kamışı küspesi *T. Versicolor* mantarıyla aşılınıp 7 gün süreyle bozunmaya maruz bırakılmış, misel ağ yapısını SEM görüntüleri araştırmışlar bozunma süresinin sonunda misel ağ artmış ve besin ortamına bağlı olarak ta misel ağları film tabaksı oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Literatürde de belirtildiği üzere mantar bozunma süresi arttıkça misel ağının ve yoğunluğunun besin ortamına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir (Jones vd., 2018; Attias vd., 2020; Soh vd., 2020; Sun vd., 2020; Shakir vd., 2020; Dias vd., 2021).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sarıçam ve kavak odunu liflerinin ağırlıkça 50/50 karışımı kullanılarak *Pleurotus ostreatus* (PO) ve *Ganoderma liquidum* (GO) beyaz çürüklük mantarları ile işleme tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında karışık odun liflerine uygulanan beyaz çürüklük mantarının kimyasal bileşenleri üzerindeki etkileri, üretilen lif levhaların fiziksel ve mekaniksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

5.1. Liflerin Kimyasal Analizlerine Ait Sonuçlar

- Karışık odun liflerine uygulanan beyaz çürüklük mantarı ile 15 ve 30 günlük uygulama sonucunda alkol-benzen çözünürlük değerinin kontrol örneğine göre azalırken ve %1 NaOH çözünürlük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Holoselüloz değerlerinin ise beyaz çürüklük mantarı uygulaması sırasında %6,67-10.35 oranında azalırken, lignin içeriğinin ise %2,79- 5.24 arasında arttığı belirlenmiştir. Bu değişim oranları nispi olup, kullanılan beyaz çürüklük mantarının hemiselüloz üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır.
- Alfa selüloz oranı ise 15 günlük uygulamalarda yaklaşık %13,79-14.72 oranlarında artarken, 30 günlük uygulamalarda ise %8,64-9.09 oranında artmıştır. 15 günlük uygulamanın alfa selüloz oranı üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

5.2. FT-IR Analizi Sonuçları

- Elde edilen sonuçlara göre lif örneklerinin GL ve PO ile bozunma süresinin artmasıyla kontrol örneklerine göre lipidlerin, proteinlerin ve kitin piklerinin yüksekliği belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.
- GL ile bozunma süresine maruz kalan lif örneklerinin selülozda O-H genişlemesi, CH₂ simetrik genişlemesi ve C- O genişlemesinde lif kontrol örneklerine göre pik yüksekliği azalmıştır.

5.3. Lif levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar

5.3.1. Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar

5.3.1.1. Yoğunluk Değerlerine Ait sonuçlar

- Mantar tarafından meydana getirilen ağırlık kayıplarından ve presleme sırasında meydana gelen kayıplardan dolayı lif levhaların yoğunluk değerlerinde küçük oranda farklılıklar olduğu belirlenmiştir.
- En yüksek yoğunluk değerine sahip lif levha ise SEM görüntülerindeki misel yapısını da göz önünde bulundurursak GL mantarıyla 30 günlük bozunma süresinin sonunda üretilen lif levhalar olduğu belirlenmiştir.

5.3.1.2. Su Alma Oranları Değerlerine Ait Sonuçlar

- Kontrol lif levhaların su alma oranı, misel esaslı lif levhaların su alma oranlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Misel uygulamasıyla birlikte lif levhaların su alma oranlarının arttığı tespit edilmiştir.
- GL mantarı kullanılarak 15 gün bozunmaya maruz bırakılmış liflerden üretilmiş levhaların su alma oranı en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Misel esaslı lif levhalarda an düşük su alma oranı ise GL 30 günlük uygulamalarda belirlenmiştir.

5.3.1.3. Kalınlık Artış Oranı Değerlerine Ait Sonuçlar

- Kontrol levhalarının kalınlık artış oranı, misel esaslı lif levhaların kalınlık artış oranlarından daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Lif levhaların kalınlık artış oranları ilk 8 saatte hızlı bir şekilde artmış, 24 saate kadar artış daha yavaş bir hızda/oranda artarak maksimum seviyelerine ulaşmış, 24 saatten sonra kalınlık artış oranları yatay seyir izlemiştir.
- Misel esaslı lif levhalar arasında GL mantarı kullanılarak 15 gün bozunmaya maruz bırakılmış liflerden üretilmiş levhaların kalınlık artış oranının ise en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. GL ve PO ile beyaz çürüklük mantarıyla 30 günlük işleme tabi

tutulan liflerle üretilen lif levhaların kalınlığına şişme oranları ise düşük olarak bulunmuştur.

5.3.2. Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar

5.3.2.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Sonuçlar

- Misel esaslı lif levhaların eğilme dirençleri, kontrol (herhangi bir işlem görmemiş lif ve tutkal kullanılarak üretilen lif levha) örneklerinin eğilme dirençlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. GL mantarı kullanılarak 30 günlük bozunma süresinden sonra üretilen lif levhaların eğilme direnci %7,76, PO mantarı kullanılarak 15 günlük bozunma süresinden sonra üretilenlerin ise en düşük %33.09 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Misel esaslı liflerden elde edilen levhalar arasındaki en iyi değer GL mantarı ile 30 günlük uygulama sonucunda işlem gören liflerden sağlanmıştır.
- Misel esaslı lif levhaların elastikiyet modülü değerleri, kontrol (herhangi bir işlem görmemiş lif ve tutkal kullanılarak üretilen lif levha) örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinden düşük olduğu bulunmuştur. Misel esaslı lif levhalardan elde edilen elastikiyet modülü değerindeki azalma kontrol örneklerine göre %45.52 olarak GL mantarı ile 15 günlük uygulama sırasında elde edilmiştir. En düşük azalma oranı ise PO mantarı ile 15 günlük uygulamada %17 olarak tespit edilmiştir.
- Misel esaslı lif levhalar arasındaki en iyi eğilme direnci değeri GL mantarı ile 30 günlük uygulama sonrası elde edilirken, eğilme direnci için ise PO ile 15 günlük uygulama sonucunda elde edilen liflerden üretilen levhalarda belirlenmiştir.

5.3.2.2. Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerinin İrdelenmesi

- Misel bazlı lif levhaların yüze dik çekme direnç değerleri incelendiğinde gerek GL ve PO mantarıyla üretilen lif levhaların 30 günlük bozunma süresi sonunda, lif levhaların yüze dik çekme dirençlerinin kontrol örneklerine göre yüksek olduğu belirlenmiştir. PO mantarıyla aşılıp 30 gün süreyle bozunmaya maruz bırakılmış

liflerden üretilen lif levhaların yüzeye dik çekme direnç değerlerinin kontrol örneklerine göre %66,66 oranında yüksek olduğu belirlenmiştir.

- Ağ yapısının daha da güçlenmesi nedeniyle, lifler ile miseller arasındaki bağlanma oldukça güçlenmektedir. Bu da misel esaslı lif levhalarının yüzeye dik çekme direncinde önemli oranda artışa neden olduğu düşünülmektedir.

5.4. Liflerin Işık Mikroskobu Altında Analizi Sonuçları

- Elde edilen ışık mikroskobu bulguları incelendiğinde 15 ve 30 gün PO mantar muamelesine uğratılmış liflerin bozunma süresi arttıkça misel yoğunluğu da arttığı tespit edilmiştir.
- Elde edilen ışık mikroskobu bulguları incelendiğinde 15 ve 30 gün GL mantar muamelesine uğratılmış liflerin bozunma süresi arttıkça misel yoğunluğu da arttığı tespit edilmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısı güçlenmiştir.

5.5. Lif Levhaların SEM Görüntülerine Ait Sonuçlar

- PO mantarı ile üretilen levhaların 15 ve 30. gün bozunma sürelerinin sonunda ve levhaların SEM görüntüleri incelendiğinde misel ağ yapısına rastlanılmadığı tespit edilmiştir.
- GL mantarı üretilen levhaların 15 ve 30. Gün bozunma sürelerinin sonunda ve levhaların SEM görüntüleri incelendiğinde misel yoğunluğu arttıkça ağ yapısının da arttığı tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Appels, F.V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K.M., Dijksterhuis, J. ve Wösten, H.A., 2019. Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water related properties of mycelium-based composites, Materials and Design, 161, 64-71.
- Arifin, Y.H ve Yusuf, Y., 2013. Mycelium fibers as new resource for environmental sustainability, Procedia Engineering, 53, 504-508.
- ASTM D1037, 2006. Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiberand Particle Panel Materials, A.S.T.M., United States.
- Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I. ve Grobman, Y.J., 2020. Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis, Journal of Cleaner Production, 246, 119037.
- Butterfield, B., Chapman, K., Christie, L. ve Dickson, A., 1992. Ultrastructural characteristics of failure surfaces in medium density fiberboard, Forest products journal, 42, 6, 55-60.
- Carvalho, L.M. ve Costa, C.A., 1998. Modeling and simulation of the hot-pressing process in the production of medium density fiberboard (MDF), Chemical Engineering Communications, 170, 1, 1-21.
- Dai, G., Wolff, H., Neugebauer, M., Härtig, F., Pohlenz, F. ve Danzebrink, H.U., 2007. Calibration of microscale standards using multisensor techniques.” In Proc. 7th Euspen Int. Conf. (Bremen, Germany), 1, 242-245.
- Daniel, G., Goodell, B., Nicholas, D.D. ve Schultz, T. P., 2003. Microviewof wood under degradation by bacteria and fungi, Current knowledgeof wood deterioration mechanisms and its impact on biotechnology and wood preservation, Symposium at the 221st National Meetingof the American Chemical Society, San Diego, California, USA, 34-72.
- Deniz, İ., 2012. Odun Kimyası Basılmamış Ders Notları, K.T.Ü Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- Dias, T., Monaragala, R., Needham, P. ve Lay, E., 2007. Analysis of sound absorption of tuck spacer fabrics to reduce automotive noise, Measurement Science and Technology, 18, 2657–2666.
- Dolphin, D., Nakano, T., Maione, T. E., Kirk, T. K. ve Farrel, R., 1987. Lignin Enzymic and Microbial Degradation. INRA (Ed.), Paris, 157–162.

- Ek, M., 2009. Wood Chemistry and Wood Biotechnology,1, Walter de Gruyter, Berlin.
- Elsacker, E., Vandeloock, S., Bracart, J., Peeters, E. ve De Laet, L., 2019. Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates, Plos One, 14, 7, e0213954.
- Fengel, D. ve Wegener, G., 2011. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, Berlin.
- Girometta, C., Picco, AM, Baiguera, RM, Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M. ve Savino, E., 2019. Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: a review, Sustainability, 11,1, 281.
- Güller, B., Odun kompozitleri, 2001, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 2, 135-160.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J.A. ve Athanassiou, A., 2017. Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties, Scientific Reports, 7, 1, 1-11.
- Hill, C.A., 2007. Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley and Sons, England.
- Hon, D.N.S ve Shiraishi, N., 2000. Wood and cellulosic chemistry, revised, and expanded. CRC press, Boca Raton.
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A. Ve John, S., 2020. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review, Materials and Design, 187, 108397.
- Jones, M., Huynh, T. ve John, S., 2018 Inherent species characteristic influence and growth performance assessment for mycelium composite applications, Advanced Materials Letters, 9,1, 71-80.
- Jones, M., Bhat, T., Kandare, E., Thomas, A., Joseph, P., Dekiwadia, C., Yuen, R., John, S., Ma, J. ve Wang, C.H., 2018. Thermal degradation and fire properties of fungal mycelium and mycelium-biomass composite materials, Scientific reports, 8,1, 1-10.
- Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F. ve John, S., 2017. Mycelium composites: a review of engineering characteristics and growth kinetics, Journal of Bionanoscience, 11,4, 241-257.
- Jones, M., Bhat, T., Wang, C. H., Moinuddin, K. ve John, S., 2017, August. Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites. In Proceedings of the 21st international conference on composite materials, Xi'an, China, 20-25.

- Kırcı, H., 2014. Kâğıt Hamuru Endüstrisi, Basılmamış Ders Notları, K.T.Ü., Trabzon.
- Leonowicz, A., Matuszewska, A., Luterek, J., Ziegenhagen, D., Wojtaś-Wasilewska, M., Cho, N.S. ve Rogalski, J., 1999. Biodegradation of lignin by white rot fungi, Fungal Genetics and Biology, 27, 2-3, 175-185.
- Mohebbi, B., 2005. Attenuated total reflection infrared spectroscopy of white-rot decayed beech wood, International Biodeterioration and Biodegradation, 55, 4, 247-251.
- Nilsson, T. ve Rowell, R., 2012. Historical wood–structure and properties, Journal of Cultural Heritage, 13, 3, 5-9.
- Pandey, K.K. ve Pitman, A.J., 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi, International Biodeterioration and Biodegradation, 52, 3, 151-160.
- Peng, W., Ma, N.L., Zhang, D., Zhou, Q., Yue, X., Khoo, S.C. ve Sonne, C., 2020. A review of historical and recent locust outbreaks: Links to global warming, food security and mitigation strategies, Environmental research, 191, 110046.
- Pouteau, C., Dole, P., Cathala, B., Avérous, L. ve Boquillon, N., 2003. Antioxidant properties of lignin in polypropylene, Polymer Degradation and Stability, 81, 1, 9-18.
- Ralph, J., Brunow, G. ve Boerjan, W., 2007. Lignins, Encyclopedia of life sciences, Wiley, UK.
- Rowell, R.M., 2005. Handbook of wood chemistry and wood composites, CRC press, Boca Raton.
- Schwanninger, M.J.C.R., Rodrigues, J.C., Pereira, H. ve Hinterstoisser, B., 2004. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose, Vibrational spectroscopy, 36, 1, 23-40.
- Schwarze, F.W., Engels, J. ve Mattheck, C., 2000. Fungal strategies of wood decay in trees, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Schweingruber, F.H., 2007. Wood structure and environment. Springer Science and Business Media, New York.
- Shakir, M. A., Azahari, B., Yusup, Y., Yhaya, M. F., Salehabadi, A. ve Ahmad, M.I., 2020. Preparation and Characterization of Mycelium as a Bio-Matrix in Fabrication of Bio-Composite, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 65, 2, 253-263.

- Soh, E., Chew, Z. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D. ve Le Ferrand, H., 2020. "Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites, Materials and Design, 195, 109058.
- Stamm, A.J., 1964. Wood and cellulose science, Wood and cellulose science, Ronald Press Co., New York.
- Sun, W., Tajvidi, M., Howell, C. ve Hunt, C.G., 2020. Functionality of surface mycelium interfaces in wood bonding, ACS Applied Materials and Interfaces, 12, 51, 57431-57440.
- Thomas, R.J., 1977. Wood: Structure and chemical composition, American chemical society, Washington.
- TS EN 310, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 317, 1993. Yongalevhalar ve Liflevhalar, Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 319, 1999. Yongalevhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımı Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 323, 1999. Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 717-1, 2006. Ahşap esaslı levhalar- Formaldehit salınımının tayini- Bölüm 1: Oda metodu ile formaldehit yayılması, T.S.E., Ankara.
- URL-1, <http://www.woodproducts.fi/tr/content/ahsap-lifli-levha>. 13 Şubat 2022
- URL-2, <http://www.webhatti.net/forum/konu/orman-urunleri-endustrisinde-artiklar-geri-donusum-ve-yeniden-kullanim.124478>. 13 Şubat 2022
- URL-3, <http://www.camsanpoyraz.com/tr/21428/Camsan-Poyraz-MDF>. 15 Şubat 2022
- URL-4, http://www.dos-san.com.tr/products/14/mdf-teknik-zellikleri_15.html. 15 Şubat 2022
- URL-5, <http://www.mobilyatzi.com/mdf-en-kaliteli-mobilya-malzemesi-mi>. 24 Şubat 2022
- URL-6, http://www.cevizmobilya.net/forum/index.php?Id=33930&alt_id=53969. 25 Şubat 2022

URL-7, https://arac.kastamonu.edu.tr/images/2018/bolumler/ormancilik-ve-orman-urunleri/Duyurular/ORU115_ahsap_malzeme_bilgisi_I_ders_notu.pdf . 28 Şubat 2022

Yıldız, Ü.C., 2000. Odun Zararlıları Basılmamış Ders Notları, K.T.Ü Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon.

Wu, J., Zhang, X., Wan, J., Ma, F., Tang, Y. ve Zhang, X., 2011. Production of fiberboard using corn stalk pretreated with white-rot fungus *Trametes hirsute* by hot pressing without adhesive, Bioresource Technology, 102, 24, 11258-11261.

Wüstenberg, T., 2013. Cellulose und Cellulosederivate: Grundlagen, Wirkungen und Applikationen, Behr's Verlag DE, Hamburg.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Tokat'ta tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdı. 2016 yılında bu bölümden Orman Endüstri Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kâğıt Teknolojisi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

