

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**YONGA LEVHA TESİSLERİNDE YAKMA KAZANLARINDA
OLUŞAN ATIK KÜLÜN LEVHADA KULLANIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Merve Sevde Neiş

Danışman

Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

SAMSUN
2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve Sevde NEİŞ tarafından, Doç. Dr. Andaç AKDEMİR danışmanlığında hazırlanan “YONGA LEVHA TESİSLERİNDE YAKMA KAZANLARINDA OLUŞAN ATIK KÜLÜN LEVHADA KULLANIMI ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 25.6.2025 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Üye	Prof. Dr. Nurdan Gamze TURAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye (Danışman)	Doç. Dr. Andaç AKDEMİR Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

25 /6 / 2025

Merve Sevde NEİŞ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : YONGA LEVHA YAKMA KAZANLARINDA OLUŞAN ATIK KÜLÜN LEVHADA KULLANIMI

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 10/6/2025 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 8

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

20 /6 / 2025

Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

ÖZET

YONGA LEVHA YAKMA KAZANLARINDA OLUŞAN ATIK KÜLÜN LEVHADA KULLANIMI

Merve Sevde NEİŞ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Haziran/2025

Danışman: Doç. Dr. Andaç AKDEMİR

Yonga levha üretiminde sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi uygulamaları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu nedenle, yakma kazanlarında oluşan külün dolgu maddesi olarak yonga levha üretiminde değerlendirilmesi çalışmaya esas oluşturmaktadır. Bu çalışmayla, bertaraf maliyetlerini düşürmek, çevresel etkileri azaltmak ve atık malzemeleri ekonomik bir girdiye dönüştürmektir.

Kazanlardan elde edilen kül, prosese dahil edilmeden önce çeşitli eleme işlemlerinden geçirilmiş ve blender yardımıyla üretime % 0,5 - % 2 aralığındaki oranlarda levha karışımına eklenmiştir. Kül miktarının ve kullanılacak levha oranına göre hesaplanıp %1 kullanılması deneme yapılan tesis için yeterli olduğu hesaplanmıştır. Denemeler sonucunda üretilen levhalar, uluslararası kalite standartlarına uygun şekilde kapsamlı testlere tabi tutulmuştur. Testlerde kalınlık, ham ve zımparalı levha yoğunluğu, çekme direnci, eğilme direnci, esneklik, vida tutma kapasitesi, yüzey dayanıklılığı, rutubet şişmesi ve su alma performansı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Sonuçlar, kül kullanımının levha karakterinde herhangi bir olumsuz değişikliğe neden olmadığını ve kalite standartlarını koruduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın ekonomik ve çevresel katkıları oldukça dikkat çekicidir. Külün bertarafı için ödeme yapılması gerekliliği ortadan kalkmış, yıllık 9 milyon kilogramdan fazla külün atık statüsünden çıkarılarak üretimde yeniden değerlendirilmesi sağlanmıştır. Yalnızca bir tesisin verileri baz alınarak yapılan bu değerlendirme, uygulamanın Türkiye genelindeki diğer yonga levha üretim tesislerinde yaygınlaştırılmasıyla daha büyük bir ekonomik ve çevresel fayda sağlayabileceğini göstermektedir.

Gelecekte, külün kaba kısmının farklı ürün gruplarında (örneğin, yapı malzemeleri veya izolasyon ürünleri) kullanım potansiyeli araştırılacaktır. Ayrıca, bu çalışmanın karbon ayak izinin detaylı bir şekilde hesaplanması ve raporlanması planlanmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, yonga levha üretim süreçlerinde atık yönetimini optimize eden yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Atık malzemelerin değerlendirilmesi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik kazanç açısından sektöre önemli katkılar sağlamaktadır. Bu yöntem, diğer tesisler için de uygulanabilir bir örnek olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kül, Yonga levha, Atık kül, Maliyet, Dolgu maddesi, Döngüsel ekonomi

ABSTRACT

USE OF WASTE ASH FORMED IN INCINERATION BOILERS IN PARTICLEBOARD FACILITIES IN THE BOARD

Merve Sevde NEİŞ
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering
Master, June/2025
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Andaç AKDEMİR

Sustainability and circular economy practices are becoming increasingly crucial in particleboard production. Therefore, this study's basis is the evaluation of ash from incineration boilers as fillers in particleboard production. This study aims to reduce disposal costs, reduce environmental impacts and transform waste materials into an economic input.

The ash obtained from the boilers was subjected to various sieving processes before being included in the process and added to the board mixture with the help of a blender at ratios ranging from 0.5% to 2%. It was calculated according to the amount of ash and the board ratio to be used, and it was calculated that using 1% was sufficient for the tested plant. The boards produced as a result of the trials were subjected to comprehensive tests by international quality standards. The tests evaluated parameters such as thickness, raw and sanded board density, tensile strength, flexural strength, flexibility, screw-holding capacity, surface durability, moisture swelling and water absorption performance. The results showed that using ash did not cause any adverse changes in the board character and maintained the quality standards.

The economic and environmental contributions of this study are pretty remarkable. The need to pay for ash disposal was eliminated, and more than 9 million kilograms of ash per year were removed from waste status and reused in production. Based on the data of only one plant, this assessment shows that the practice can provide a more significant economic and environmental benefit by expanding it to other particleboard production facilities across Turkey.

In the future, the potential for utilization of the coarse part of the ash in different product groups (e.g. building materials or insulation products) will be investigated. Furthermore, a detailed calculation and reporting of the contribution of this study to the carbon footprint is planned.

In conclusion, this study presents an innovative approach to optimize waste management in particleboard production processes. Utilizing waste materials significantly contributes to the industry in terms of both environmental sustainability and economic gain. This method is considered an example that can be applied to other facilities.

Keywords: Ash, particle board, Waste Ash, Cost, Filler, Circular economy

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, biyokütle kazanlarında oluşan atık külün yonga levha üretiminde değerlendirilmesine yönelik yürütülmüş olup, çevresel sürdürülebilirlik ve endüstriyel geri kazanım açısından katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Çalışmam süresince bilgi, deneyim ve akademik desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli danışmanım Doç. Dr. Andaç Akdemir hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi, bu sürecin her adımında rehberliğini ve emeğini eksik etmemiştir.

Ayrıca, bu süreci sabırla benimle birlikte taşıyan, her daim desteklerini hissettiren canım anneme ve babama minnettarım. Onların sevgisi, desteği ve inancı olmasaydı bu süreci tamamlamak mümkün olmazdı.

Araştırma sürecinde, akademik bilgi birikiminin yanı sıra sanayi uygulamalarını yerinde gözlemleme fırsatı bulmam, çalışmanın bilimsel ve pratik değerini artırmıştır. Bu süreçte değerli katkılarını ve desteğini esirgemeyen Kastamonu Entegre firmasına, sağladıkları veri, teknik imkanlar ve iş birliği için içtenlikle teşekkür ederim.

Bu tez, yalnızca akademik bir çalışma değil; aynı zamanda sevgi, sabır ve inancın ortak bir emeğidir.

Merve Sevde NEİŞ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Yonga Levha Endüstrisi.....	3
2.1.1. Hammadde Temini ve Ön İşlemler	4
2.1.2. Yongalama	5
2.1.3. Kurutma	11
2.1.5. Yongaların Tutkallanması ve Tutkal Çözeltilisinin Hazırlanması	16
2.1.6. Serme	18
2.1.7. Presleme	20
2.1.8. Soğutma ve Dengeleme	24
2.2. Yonga Levhalarda Standartlar ve Test Metotları	28
2.3. Biyokütle Kaynaklı Uçucu Kül.....	31
2.3.1. Genel Bakış.....	31
2.3.2. Oluşum Süreci.....	31
2.3.3. Fiziksel Özellikler	31
2.3.4. Kimyasal Bileşim.....	32
2.3.5. Mineralojik Yapı.....	32
2.3.6. Kullanım Alanları ve Fonksiyonel Önemi	33
2.4. Yonga Levha Katkı Maddeleri Literatür Taraması	34
2.4.1. Üzüm Bağları	34
2.4.7. Pamuk Kırpıntıları	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
3.1. Materyal	47
3.1.1. Odun Hammaddesi.....	47
3.1.2. Kül Oluşumu	47
3.1.3. Tutkal ve Diğer Katkılar	48
3.1.4. Kül Kullanım Düzeyleri.....	54
3.2. Yöntem.....	54
3.2.1. Levha Tasarımı ve Kül Uygulaması	55
3.2.2. Levha Üretim Süreci	55
3.2.3. DeneySEL Gruplar	59
3.2.4. Analiz Yöntemleri.....	60
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	62
4.1. CL Tabakasında Yapılan Kül Katkılı Levha Denemeleri	62
4.1.1. Yoğunluk ve Kalınlık Değişimleri	62
4.1.2. İçten Çekme Dayanımı (Internal Bond – IB).....	62
4.1.3. Eğilme Direnci ve Elastikiyet	63
4.1.4. Vida Tutma Direnci	63
4.1.5. Yüzey Dayanımı	63
4.1.6. Suya Dayanım ve Kalınlık Artışı (Şişme).....	63
4.2. SL Tabakasında Yapılan Kül Katkılı Levha Denemeleri	65
4.2.1. Ham ve Zımparalanmış Levha Yoğunluğu	65
4.2.2. İçten Çekme Dayanımı (IB).....	65

4.2.3. Eğilme Direnci (MOR) ve Elastikiyet (MOE)	66
4.2.4. Vida Tutma Direnci	66
4.2.5. Yüzey Dayanımı	66
4.2.6. Kalınlık Artışı ve Suya Dayanım	67
4.3. Karşılaştırmalı Genel Değerlendirme	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	71
ÖZ GEÇMİŞ.....	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

MOE	: Elastikiyet
MOR	: Eğilme Direnci
IB	: İçten Çekme Dayanımı
BET	: Brunauer–Emmett–Teller Teorisi
TGA	: Termogravimetrik Analiz
DTG	: Türev Termogravimetrik
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yonga Levha Akış Diyagramı	3
Şekil 2.2. Kaba Yongalama Makinesi.....	7
Şekil 2.4. Değirmen	11
Şekil 2.5. Macro Flake Yonga.....	11
Şekil 2.6. Mikro Flake Yonga.....	11
Şekil 2.7. Döner Tamburlu Kurutucu.....	13
Şekil 2.8. Elekler.....	15
Şekil 2.9. Tutkal Hazırlama Mutfağı	17
Şekil 2.10. CL – SL Blenderlar.....	18
Şekil 2.11. Serme	20
Şekil 2.12. Ön Pres.....	22
Şekil 2.13. Ön Pres Yüzey Tutkallama	22
Şekil 2.14. Conti Pres.....	24
Şekil 2.15. Yıldız Soğutucu	25
Şekil 2.16. Ebatlama	26
Şekil 2.17. Zımpara.....	27
Şekil 3.1. TGA Analiz	50
Şekil 3.2. Elek Analizi	52
Şekil 3.3. SEM Analizi (x100 Mag), A.Kazan Külü, B.Baca Külü.....	53
Şekil 3.4. SEM Analizi (x500 Mag), A.Kazan Külü, B.Baca Külü.....	53
Şekil 3.5. Reçete Hesaplama Tablosu	56
Şekil 3.6. Tutkal karışımlarının hazırlanması ve yonga ile karıştırılması.....	56
Şekil 3.7. Serme ve Ön pres İşlemi.....	57
Şekil 3.8. Sıcak Pres.....	57
Şekil 3.9. Levha Grupları.....	58
Şekil 3.10. Melamin Kaplanmış Levha.....	59
Şekil 3.11. Deneme Levhaları Kesim Planı	60

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. Uçucu Kül Bileşenleri	32
Tablo 3. 1.XRF Analizi.....	48
Tablo 3.2. XRF ANALİZİ	49
Tablo 3. 3. BET Yüzey Alanı Analizi.....	54
Tablo 3. 4. Deney Grupları	59
Tablo 4. 1. Faz 1 Deney Grupları Test Sonuçları.....	64
Tablo 4. 2. Faz 2 Deney Grupları Test Sonuçları	67
Tablo 4. 3. Karşılaştırma.....	68



1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak yükselen yaşam standartları, yapı malzemelerine olan talebin paralel biçimde artmasına neden olmaktadır. Özellikle ahşap bazlı ürünler, doğal estetik ve işlenebilirlik avantajları sebebiyle inşaat ve mobilya sektörlerinde yaygın şekilde tercih edilmektedir. Ancak, küresel ölçekte ormanların aşırı ve kontrolsüz kullanımı, ekosistemlerin bozulması, biyolojik çeşitliliğin azalması ve karbon döngüsünün olumsuz etkilenmesi gibi ciddi çevresel problemlere yol açmaktadır. Odunun doğal yenilenme hızının tüketim oranının gerisinde kalması, sürdürülebilir orman yönetimini tehdit etmekte ve alternatif malzeme geliştirme gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu doğrultuda, ahşap bazlı kompozit malzemeler sektöründe, sentetik yapıştırıcıların ve kimyasal katkı maddelerinin gelişimiyle birlikte yeni ürünler geliştirilmiş, levha tipleri çeşitlendirilmiştir. Özellikle çimentolu yonga levhalar, odun yongası, çimento, su ve katkı maddelerinin kombinasyonu ile üretilen, yüksek dayanıklılık ve çok yönlülük özellikleriyle ön plana çıkan yenilikçi kompozitlerdir. Bu levhalar, nem, yangın, biyolojik etkenler ve boyutsal değişikliklere karşı yüksek direnç göstermekte, prefabrik yapı elemanları ve iç mekân bölme sistemlerinde etkin biçimde kullanılmaktadır. Geometrik ve yapısal formlarının teknolojiyle uyumlu olarak çeşitlenmesi, bu malzemelerin uygulama alanlarını genişletmiştir.

Ancak, üretim süreçlerinde ortaya çıkan endüstriyel atıklar, özellikle kenar kırpıntıları ve kalite kontrol fireleri, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu atıkların çoğu, yapı itibarıyla geri kazanımı güç ve maliyetli olan malzemelerden oluşmaktadır. Dolayısıyla, atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve atıkların ekonomik olarak geri kazanılması, sürdürülebilir üretim süreçlerinin temel unsurlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, yonga levha üretiminde oluşan ince fraksiyondaki endüstriyel atık külün, levha üretiminde dolgu ve bağlayıcı malzeme olarak tekrar kullanımı araştırılmıştır. Atık kül, kimyasal bileşimi (özellikle silika, alümina, kalsiyum oksit oranları) ve fiziksel partikül yapısı sayesinde çimentolu matrisle uyumlu bağlayıcı özellikler sergilemektedir. Çalışmada, kül içeriğinin farklı oranlarda levha karışımına dahil edilmesi ile üretim yapılmış; fiziksel (yoğunluk, su emme, şişme oranları) ve mekanik (eğilme dayanımı, sertlik) testler uygulanmıştır.

Deneyisel sonuçlar, kül kullanımının uygun oranlarda levha performansını olumsuz etkilemediğini; hatta bazı durumlarda mekanik dayanımda artış sağladığını göstermiştir. Su emme ve boyutsal stabilite testlerinde kül katkılı levhaların, kontrol grubuna kıyasla daha düşük su alımı ve şişme oranları sergilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, külün yapısal sıkılığı artırması ve kapiller su hareketini sınırlaması ile açıklanmaktadır. Literatürde benzer çalışmaların sınırlı olması sebebiyle, bu araştırma yeni bilgiler sunmakta ve endüstriyel atıkların sürdürülebilir geri kazanımı konusunda önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

Yonga levha üretiminde ortaya çıkan atık külün kompozit malzeme üretimine entegre edilmesi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik verimlilik açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır. Atıkların geri kazanılması ile üretim maliyetleri düşürülmekte, doğal hammadde tüketimi azaltılmakta ve atık bertarafından kaynaklanan çevresel yük hafifletilmektedir. Bu yaklaşımla, yapı malzemeleri sektöründe çevre dostu ve kaynak verimliliği yüksek üretim modelleri geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

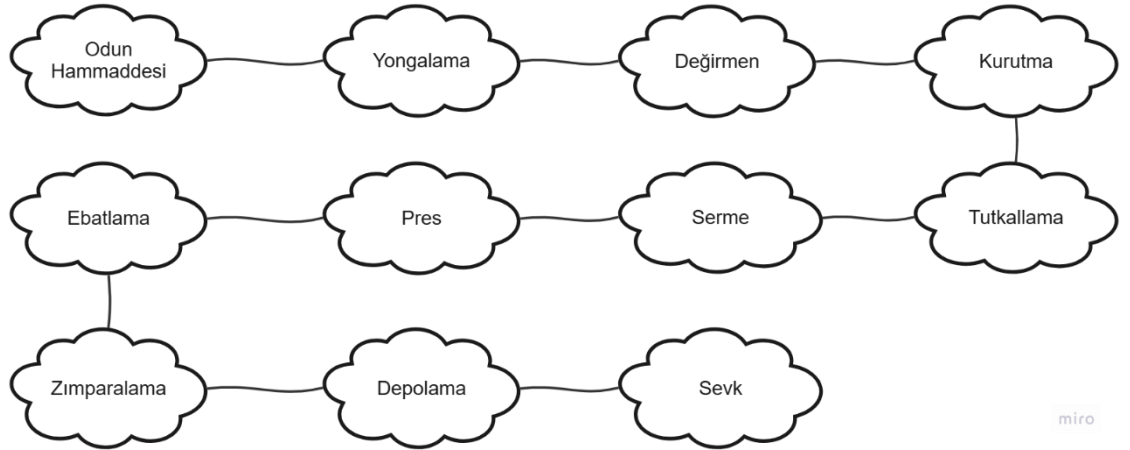
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yonga Levha Endüstrisi

Yonga levha endüstrisi, odun esaslı hammadde kaynaklarının ekonomik ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesini esas alan, çok aşamalı üretim süreçlerine sahip entegre bir üretim koludur. Bu endüstrideki temel amaç; düşük maliyetli, fonksiyonel ve çeşitli kullanım alanlarına uygun levhalar üretmektir. Yonga levhalar, mobilya, iç mimari uygulamalar, kaplama altı malzemeleri ve inşaat sektöründe geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir.

Yonga levha üretim sistemi, doğrudan odun kütüklerinden ya da işlenmiş ahşap atıklarından elde edilen yongaların, termoplastik reçinelerle (çoğunlukla üre-formaldehit bazlı tutkallar) birleştirilerek belirli sıcaklık ve basınç koşullarında preslenmesiyle gerçekleştirilir. Bu süreç, hammaddenin hazırlanmasından levhanın paketlenmesine kadar olan zincirde çok sayıda ekipmanın koordinasyonunu gerektirir.

Yonga levha üretim süreci; hammadde hazırlığı, kurutma, sınıflandırma, yapıştırma, serme, ön presleme, sıcak presleme, soğutma, zımparalama ve paketleme gibi bir dizi entegre işlemden oluşur. Her bir işlem adımı, spesifik makineler ve teknolojik ekipmanlar ile yürütülür. Bu nedenle endüstriyel süreçte kullanılan ekipmanların doğru seçimi ve verimli kullanımı, nihai ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 1.1. Yonga Levha Akış Diyagramı

2.1.1. Hammadde Temini ve Ön İşlemler

Yonga levha üretiminde ana hammadde olan odun, mevsimsel üretim dalgalanmalarına bağlı olarak sürekli temin edilememektedir. Bu nedenle tesisler, özellikle kış aylarında karşılaşılabilecek tedarik sorunlarına karşılık, belirli dönemlerde hammadde stoklaması yapmaktadır. Genellikle 2 ila 4 aylık üretimi karşılayacak miktarda odun, fabrika sahasında depolanmaktadır. Depolama işlemi, odunun türü ve yoğunluğu dikkate alınarak sınıflandırılmış biçimde gerçekleştirilir. Sanayi kökenli odun atıkları (örneğin; kapak tahtası, çıta ve hızar talaşı) ile çam, kavak, kayın, meşe, gürgen ve ladin gibi farklı ağaç türleri ayrı ayrı istiflenerek düzenli bir şekilde saklanır.

Stoklanan hammadde üretime sevk edilirken, "ilk giren ilk çıkar" (FIFO - First In First Out) prensibine uygun olarak hareket edilir. Bu yaklaşım, odun hammaddesinin uzun süre sahada beklemesinden doğabilecek kalite kayıplarının önüne geçilmesini amaçlar.

Depolama alanlarının zemin yapısı da bu sürecin verimliliğini ve güvenliğini doğrudan etkiler. İdeal bir odun deposu, beton zeminle donatılmış olmalı ve bu yüzey periyodik olarak temizlenerek organik artıkların birikimi engellenmelidir. Aynı zamanda, istifler arasında yeterli hava dolaşımının sağlanabilmesi amacıyla uygun boşluklar bırakılmalı; yangın riski dikkate alınarak istifler arasında ulaşım yolları ve yangın söndürme sistemleri tesis edilmelidir.

Depolama alanının teknik özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Beton zeminli ve kolay temizlenebilir bir altyapıya sahip olmalıdır.
- Depolama sahası, tesise hizmet edecek büyüklükte olmalıdır.
- Araçların istifler arasında rahatlıkla hareket edebilmesine olanak tanıyacak şekilde planlanmalıdır.
- İstif yüksekliği 10 metreyi geçmemelidir.
- Yangına karşı koruyucu tedbirler alınmalı ve söndürme sistemleri aktif durumda tutulmalıdır.
- Her bir istif grubu, yaklaşık 30–60 metre uzunluğunda olacak şekilde yerleştirilmelidir.

Bu şekilde düzenlenmiş bir depolama sistemi, üretim sürecinde kesintisiz hammadde akışı sağlamanın yanı sıra iş güvenliği, yangın riski azaltımı ve hammaddenin fiziksel özelliklerinin korunmasına da katkıda bulunmaktadır.

2.1.2. Yongalama

Yonga levha üretiminin temel süreçlerinden biri olan yongalama işlemi, ürün kalitesini doğrudan etkileyen en kritik aşamalardan biridir. Odunun fiziksel olarak daha küçük parçalara ayrıldığı bu süreçte, yonganın biçimi, boyutu ve yüzey yapısı, kullanılan makine tipi, odun türü ve nem içeriği gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Yüksek kaliteli yonga elde edilebilmesi için, işleme alınan odunların nem oranı genellikle %30 ile %60 aralığında olmalıdır. Bu nem aralığı, kesme esnasında yonga bütünlüğünü korumaya yardımcı olur. Eğer odun nemi bu aralığın altına düşerse, odun daha kırılğan hale gelir ve yonga yerine yüksek oranda ince parçacık ve toz oluşur. Bu durum, yonga verimini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda üretim hattında filtrasyon ve taşıma sistemlerinde tıkanmalara neden olabilir. Öte yandan, yüksek nem oranı da istenmeyen bir durumdur; çünkü yonganın kurutulması için daha fazla enerji harcanmasına sebep olur ve yüzeylerin lifli hale gelmesi, tutkal tutunmasını zorlaştırarak levha mukavemetini olumsuz etkileyebilir.

Yongalar, genel olarak kesme, kırma ve ezme prensiplerine göre çalışan makineler aracılığıyla elde edilmektedir. Bu yöntemler, yonga kalitesini farklı şekillerde etkilemekte ve bu farklılık üretim sürecinde stratejik olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, kesme yöntemiyle elde edilen düzgün yüzeyli ve kontrollü boyuttaki yongalar, genellikle dış tabaka üretiminde tercih edilirken; kırma yöntemiyle üretilen daha heterojen yongalar, orta tabakada kullanılır. Böylece, hem maliyet etkinliği sağlanmakta hem de levhanın yapısal dengesi optimize edilmektedir.

Endüstride yonga üretimi iki temel sistemle gerçekleştirilmektedir. İlk yöntemde, odun önce kaba parçalar hâline getirilir, ardından bu kaba yongalar rafine makinelerinde veya ince yongalama ekipmanlarında işlenerek son şekillerine ulaştırılır. İkinci yöntemde ise yuvarlak odun doğrudan özel tasarlanmış bıçaklı yongalayıcılardan geçirilerek, levha üretimine uygun genişlik ve kalınlıkta yongalar elde edilir. Bu doğrudan üretim yöntemi, “normal yongalama” olarak adlandırılmaktadır.

Ağaç türü de yonga kalitesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. İğne yapraklı ağaçlar, lif yapılarının uzun ve düzgün olması nedeniyle yongalama için oldukça elverişlidir. Bu ağaçlardan elde edilen levhalar genellikle daha yüksek mekanik dayanım gösterir. Ayrıca içeriklerindeki doğal reçineler ve ekstraktif maddeler sayesinde su iticilik kazandırarak levhanın şişme oranını azaltır ve tutkal ihtiyacını düşürür. Öte yandan, hafif ağaç türlerinden elde edilen yonga levhalar, aynı yoğunlukta daha iyi dayanım özellikleri sunar. Bu durum, dış tabakalarda hafif ağaçların, orta tabakalarda ise daha yoğun türlerin kullanılmasını ekonomik ve teknik açıdan avantajlı kılar.

Yonga geometrisi ise levha performansını doğrudan etkileyen bir diğer faktördür. Çok ince yongalar presleme sırasında çabuk kırıldığından levhanın dayanıklılığı azalırken, çok kalın yongalar ise aralarında boşluk bırakma eğilimindedir ve bu da yapısal zayıflığa yol açar. Optimum kalınlıkta, düzgün yüzeyli ve üniform yapıya sahip yongalar en yüksek performansı göstermektedir. Ayrıca, yonganın uzunluğu ile kalınlığı arasındaki orana işaret eden narinlik oranının 100 ila 150 arasında olması, üretim verimliliği ve mekanik dayanım açısından en uygun aralığı oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, yongalama süreci yalnızca odunu fiziksel olarak küçültme işlemi olmayıp, üretilen levhanın mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde temel rol oynayan, çok yönlü optimize edilmesi gereken bir prosestir.

2.1.2.1. Kaba Yongalama

Yonga levha üretiminde ilk aşamalardan biri olan kaba yongalama işlemi, odun hammaddesinin büyük parçalar hâlinde yongalara dönüştürülmesini sağlayan temel bir prosestir. Bu işlem, daha sonra uygulanacak olan ince yongalama veya fraksiyonlama süreçleri için uygun ön malzemenin hazırlanmasında kritik bir rol oynar.

Modern üretim teknolojilerinde kaba yongalama makineleri, odunu lif yönüne dik açıyla işleyerek daha verimli ve homojen yongalar elde edilmesini sağlar. Geleneksel sistemlerde lif doğrultusuna paralel kesimler tercih edilmekteydi; ancak bu yöntemde elde edilen yongalar, istenen mekanik ve fiziksel özellikleri sağlamada yetersiz kalmaktaydı. Günümüzde ise kesim yönü, odunun liflerine yaklaşık 30°'lik bir açı yapacak şekilde dik olarak optimize edilmiştir. Bu sayede, hem yonga yüzey kalitesi artırılmakta hem de daha düzenli bir boyut dağılımı elde edilmektedir.

Kaba yongalama makineleri, yüksek devirli döner disk sistemleri veya tambur tipi kesiciler ile donatılmış olup, odunu yassı ve geniş yongalar hâline getirir. Elde edilen yonga boyutları, makinede yer alan elek açıklıklarına ve kesici bıçakların pozisyonlarına göre belirlenmekte olup, çoğunlukla 55 mm ile 70 mm arasında değişen uzunluklarda yongalar elde edilir.(Şekil 2.3.) Bu ölçüler, son ürünün homojenliğini ve presleme aşamasındaki yoğunluk dağılımını doğrudan etkilemektedir.(Şekil 2.2.)

Sanayi tesislerinde kullanılan kaba yongalama ekipmanlarının kapasiteleri, tesisin genel üretim kapasitesine ve hammadde giriş hızına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Büyük ölçekli entegre tesislerde, bu makinelerin ortalama kapasitesi 60 ila 150 ton/saat (atro) aralığındadır. Bu yüksek kapasite, sürekli üretim hatlarında stoklanabilir ve kalite kontrollü yonga akışının sağlanmasına imkân tanır.

Kaba yongalama süreci, sadece fiziksel bir parçalama işlemi olarak değerlendirilmemelidir. Yonganın geometrisi, levha yoğunluğu, presleme davranışı ve tutkal penetrasyonu gibi birçok parametreyi etkilediği için, bu ekipmanların doğru seçimi ve proses kontrolü, nihai levha kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır.



Şekil 2.2. Kaba Yongalama Makinesi



Şekil 2.3. Chips

2.1.2.2. İnce Yongalama

Yonga levha üretim sürecinde elde edilen kaba yongalar, ürünün teknik ve yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla ikinci bir işlemde geçirilerek daha küçük boyutlara indirgenir. Bu süreçte kullanılan ince yongalama makineleri, özellikle levhanın yüzey ve orta tabaka özelliklerini doğrudan etkileyen kritik ekipmanlardır. İlk yongalama sonrasında uygun fraksiyona sahip olmayan yongalar, özel olarak tasarlanmış değirmenlerde işlenerek istenilen boyutlara getirilir.

Endüstride bu amaçla çoğunlukla elekli değirmenler tercih edilmekte olup, hemen her tür yonga bu sistemlerde inceltilebilmektedir. Güncel uygulamalarda ise makro değirmenler, orta tabakada kullanılacak yongaları üretmek için; mikro değirmenler ise dış tabaka (kaplama) yongalarının hazırlanmasında kullanılmaktadır. Disk eleklerden geçirilen kaba yongalar, bu değirmenlerin beslendiği silolarda depolanarak prosese alınır.

Yongalama işleminin etkinliği ve nihai ürün kalitesi açısından aşağıda yer alan teknik faktörler büyük önem arz etmektedir:

1. Yonga boyutu, levhanın yüzey düzgünlüğü ve mekanik performansı açısından belirleyici parametrelerin başında gelir.

2. İnce yongalama makinelerinde kesme, itme ve parçalama hareketleri eş zamanlı olarak uygulanır.

3. Sistemdeki toplam enerji tüketimi, en çok itme hareketinin gerçekleştirilmesi sırasında meydana gelmektedir.

4. Lif yönüne paralel uygulanan kesme kuvveti, liflere dik yönde uygulanan kuvvetten yaklaşık üçte bir oranında daha azdır. Bu nedenle, liflere dik çalışan makinelerde enerji ihtiyacı daha yüksektir.

5. Kesilerek elde edilen yongalar levhanın yüzeyinde, kırma veya ezilme yöntemiyle elde edilen yongalar ise orta katmanlarda değerlendirilir.

6. Yüzey tabakasında kullanılan yongaların kalınlığı yaklaşık 0,1–0,25 mm; orta tabakadakiler ise 0,25–0,6 mm arasında olmalıdır. Bu yongaların uzunlukları, kalınlığın 5 ila 10 katı aralığında olmalıdır.

7. Kesme yöntemi, yonga kalitesi açısından kırma ve ezme yöntemlerine kıyasla daha üstündür. Düzgün olmayan yüzeyler tutkalın aşırı emilimine neden olarak yapışma performansını olumsuz etkiler.

8. Ancak kesme yöntemi, diğer yöntemlere göre daha yüksek enerji ve maliyet gerektirir.

9. Biçilmiş odun artıklarından elde edilen talaşlar, belirli oranlarda yonga levha üretiminde kullanılmakla birlikte, en uygun hammadde kesme yöntemiyle üretilmiş ince yongalardır.

10. Toz ve çok ince partiküllerin oranının yüksek olması, tutkal tüketimini artırarak üretim maliyetlerini yükseltir.

11. Makinelerin kapasitesi, özellikle kesici bıçakların etkin yüzeyi ile doğrudan ilişkilidir.

İnce yongalama ekipmanları, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir:

- Diskli Değirmenler

- Elekli Değirmenler

- Besleme yönüne göre: çevresel veya merkezden beslemeli

- Kesici takımlarına göre: çekiçli değirmenler, çok çekiçli sistemler, kesici bıçaklı değirmenler, harçlı tip değirmenler

Dış tabakalarda kullanılacak yongaların genellikle 0,15–0,25 mm kalınlığında, orta tabaka yongalarının ise 0,25–0,60 mm aralığında olması gerekmektedir.

Yongaların genişliği yaklaşık 2 mm(Şekil 6.), uzunluğu ise ortalama 5 mm(Şekil 2.5.) civarındadır. Bu değerler kullanılan elek tipine ve değirmen yapısına göre değişkenlik gösterebilir.

Düşük yoğunluklu odunlardan elde edilen yongalarla üretilen levhalar, aynı yoğunluktaki yüksek özgül ağırlıklı odunlara kıyasla daha iyi direnç özellikleri sunabilmektedir.(Şekil 2.4.) Ancak bu durum, üretim parametrelerinin hassas bir şekilde kontrolünü gerektirir.

Normal yongalamada kaba fraksiyon oluşmasının başlıca nedenleri şunlardır:

- Hammadde odunun fiziksel bütünlüğü
- Ortalama kütük çapı
- Lif düzenliliği ve odun yoğunluğu
- Kesici takımların durumu ve aşınma düzeyi
- Odun rutubeti

Yonga verimini etkileyen temel faktörler ise şu şekilde özetlenebilir:

- Özgül ağırlığın artışıyla verimde artış görülür.
- Mantarla bozulmuş odunlar düşük verim sağlar.
- Odun çapı arttıkça verim artar.
- Odunun nem oranı yüksek olduğunda yonga verimi de artar.
- Yonga kalınlığındaki artış, makine kapasitesini yükseltse de kaliteyi düşürür.

Makine kapasitesine etki eden parametreler:

- Devir sayısı
- Bıçak adedi
- Kesme ağzının uzunluğu ve genişliği
- Üretilen yonganın hedef kalınlığı



Şekil 2.3. Değirmen



Şekil 2.4. Macro Flake Yonga

Şekil 2.5. Mikro Flake Yonga

2.1.3. Kurutma

Yonga levha üretiminde, öğütme aşamasından sonra elde edilen odun yongaları genellikle yüksek nem içeriğine sahiptir. Bu oran, hammadde türüne ve depolama koşullarına bağlı olarak %30 ile %120 arasında değişkenlik gösterebilir. Ancak, üretilen levhanın mekanik ve fiziksel özelliklerinin hedeflenen düzeye ulaşabilmesi için, yongaların belirli bir nem aralığına kadar kurutulması zorunludur. Aşırı nem, presleme sırasında levhanın patlamasına ve buhar basıncının artmasına neden olurken; aşırı kuru yongalar ise toz oluşumunu artırarak yangın riskini ve tutkal tüketimini yükseltmektedir. Bu nedenle, endüstriyel üretimde yongaların genellikle %1,5–3 oranında artık nem içerecek şekilde kurutulması hedeflenmektedir.

Kurutma işlemi, çoğunlukla yüksek sıcaklıktaki gaz akışıyla gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte, sistem girişindeki baca gazı sıcaklığı tipik olarak 120–135 °C aralığında kontrol edilirken, ısı enerjisinin üretildiği bölgede bu değerler 600–800 °C'ye kadar ulaşabilmektedir. Ancak kurutma sırasında yongaların iç sıcaklığı, oluşan buharlaşma nedeniyle genellikle 100 °C'nin üzerine çıkmamaktadır. Kurutucuların tasarımı, bu sıcaklık farklarını güvenli şekilde yönetecek şekilde yapılandırılmalıdır.

Yonga levha endüstrisinde kullanılan başlıca kurutma sistemleri şunlardır:

- Döner tamburlu kurutucular (Şekil 2.7.)
- Borulu ve çok bantlı kurutucular
- Temaslı (kontakt) kurutucular
- Tablalı ve türbülent sistemler
- Girdaplı (vortex) ve süspansiyon tipi kurutucular

Bu ekipmanlar, kurutma işlemini genellikle konveksiyon (taşıma), iletim (temas) ve radyasyon (ışınım) mekanizmalarının tekil ya da bileşik etkileriyle gerçekleştirir. Temasla kurutmada ısı doğrudan yonga yüzeyine aktarılır; yöntem basit olmakla birlikte yavaş ilerler ve sadece temas eden yüzeyler kurutulur. Radyasyon yoluyla kurutmada ise tüm yüzeyin eş zamanlı kuruması mümkün olmakla birlikte, enerji maliyeti oldukça yüksektir. Sanayide en yaygın kullanılan yöntem konveksiyonel kurutma olup, hava akımı aracılığıyla ısı taşındığı bu yöntemde, yonga geometrisi, başlangıç rutubeti, hava sıcaklığı ve akış hızı gibi parametreler kurutma süresini doğrudan etkiler.

Kurutma süreci, teknik olarak iki evreye ayrılabilir: İlk aşamada, odun hücrelerinde serbest halde bulunan su (kapiler su) uzaklaştırılır. İkinci evrede ise, hücre duvarlarına bağlanmış higroskopik suyun ortamdan ayrılması sağlanır. Bu ikili yapıdaki kuruma süreci, yongaların homojen rutubet içeriğine ulaşması açısından kritik öneme sahiptir.

Kurutma sistemlerinde enerji kaynağı olarak doğalgaz, fuel-oil, propan gibi klasik yakıtların yanı sıra, üretim prosesinden çıkan zımpara tozu gibi yan ürünler de alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Bu, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlar.

Kurutucular, proses güvenliği açısından yonga levha tesislerinin en riskli bölümlerinden birini oluşturur. Kurutma sırasında kullanılan sıcaklıklar, odunun tutuşma sıcaklığı olan 200 °C'ye oldukça yakındır. Ancak, özellikle reçine içeriği yüksek yongalarda ekzotermik reaksiyonlar 80–150 °C aralığında başlayabilir. Bu nedenle, kurutma sisteminin içinde oluşabilecek tıkanıklıklar veya akış düzensizlikleri yangın ve patlama gibi ciddi riskler doğurabilir. Sistem tasarımında, yongaların kurutucudan hızla ve sürekli bir şekilde tahliye edilmesi bu risklerin azaltılmasında temel önlemlerden biridir.

Kurutma ekipmanlarında performansı etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- Kurutucu tipi ve iç hacmi
- Hava debisi ve sıcaklık profili
- Yakıt türü ve yanma verimi
- Yongaların başlangıç nem oranı, boyutu ve yoğunluğu
- Akış yönü ve süre

Sonuç olarak, kurutma süreci, yalnızca yonga levha kalitesini değil, aynı zamanda üretim hattının güvenliği, enerji verimliliği ve tutkal tüketimi üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle kurutma sistemlerinin hem mekanik hem de termal açıdan optimize edilmesi, endüstriyel yonga levha üretiminde kritik öneme sahiptir.



Şekil 2.6. Döner Tamburlu Kurutucu

2.1.4. Eleme

Yonga levha üretim sürecinde, mekanik parçalama (yongalama) işlemi sonucunda elde edilen yongalar, farklı boyut ve geometrik özelliklerde olabilir. Bu durum, üretilecek levhanın performansını doğrudan etkileyen bir değişken olarak değerlendirilir. Özellikle yüzey düzgünlüğü, iç yapı homojenliği ve mekanik dayanım açısından belirli boyutsal standartların sağlanması zorunludur. Bu nedenle, kurutma işleminden geçirilen yongalar, üretime alınmadan önce sınıflandırma işlemine tabi tutulur. Bu aşamada, yongaların fiziksel boyutlarına göre ayrıştırılması “eleme” ekipmanları aracılığıyla gerçekleştirilir.

Yongaların uygun şekilde sınıflandırılmaması, levha kalitesini çok yönlü olarak olumsuz etkiler. Büyük boyutlu yongalar yüzeyde pürüzlülüğe ve kenar boşluklarına neden olurken; çok küçük parçacıkların varlığı ise hem yoğunluk dağılımında düzensizliklere hem de yüksek tutkal tüketimine yol açar. Ayrıca, küçük boyutlu yongalar levha içinde düzgün dağılmadığı için matris yapısında boşluklara sebep olabilir ve bu da levhanın mekanik özelliklerini zayıflatır. Dolayısıyla, yongaların kontrollü bir şekilde boyutlandırılması, üretim verimliliği ve kalite kontrolü açısından kritik bir süreçtir.

Sanayide yongaların sınıflandırılması, titreşimli, dairesel hareketli, sallanmalı ya da eliptik salınımlı elek sistemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu sistemlerde, yongalar belirli boyut aralıklarına göre katmanlı elek tabanlarından geçirilir ve her bir katmanda uygun boyuttaki parçacıklar ayrıştırılır. Elekler, yüzey alanı esasına dayalı olarak çalışan, çok katmanlı ve gözenekli yapılara sahiptir. Genellikle kapalı sistemlerde çalışacak şekilde tasarlanmışlardır; bu da hem toz emisyonunu azaltmakta hem de çevresel kontrollere uyum sağlamaktadır.

Eleklerin temel bileşeni olan elek tabanları, yongaların boyutuna göre ayırım yapabilen geçirgen yüzeylerdir. Bu yüzeyler, üretim hattının ihtiyacına göre farklı yapılarda olabilir:

- **Çıta tabanlı elekler:** Ahşap veya metal çıtaların paralel dizilmesiyle oluşturulan sistemlerdir.
- **Sac tabanlı elekler:** Delikli sac levhalardan oluşan dayanıklı ve kolay temizlenebilir yüzeylerdir.

• **Tarak tabanlı elekler:** Dişli yapıya sahip ve ince boyut ayırımına olanak tanıyan sistemlerdir.

• **Örgü (tel) tabanlı elekler:** Esnek yapıları sayesinde titreşimli sistemlerde verimlidir.

• **Izgara tabanlı sistemler:** Geniş aralıklı ayırım için uygundur, genellikle ön sınıflandırmada kullanılır. (Şekil 2.8.)

Eleme sistemlerinde seçim yapılırken; yonga geometrisi, kapasite, titreşim frekansı, eğim açısı ve gözenek boyutları gibi parametreler dikkate alınmalıdır. Ayrıca, sistemin düzenli bakımının yapılması ve elek tabanlarının tıkanmalara karşı kontrol altında tutulması, sürekli ve kesintisiz üretim için önem taşır.

Özellikle yüzey ve orta tabaka yongalarının birbirinden ayrılması, üretilecek levhanın yüzey kalitesini doğrudan etkilediğinden, bu ayırım mekanik sınıflandırma sistemleriyle hassas şekilde yapılmalıdır. Yüzey için daha ince ve homojen yongalar tercih edilirken, orta tabakada daha iri ve yoğun parçacıkların kullanımı, levhanın yapısal stabilitesini artırır.

Sonuç olarak, eleme ekipmanları, yonga levha üretim zincirinde yalnızca hammaddenin boyutsal uygunluğunu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda malzeme verimliliği, tutkal optimizasyonu, levha kalitesi ve proses sürekliliği gibi unsurlar üzerinde doğrudan etkili bir rol üstlenmektedir.



Şekil 2.7. Elekler

2.1.5. Yongaların Tutkallanması ve Tutkal Çözeltisinin Hazırlanması

Yonga levha üretiminde yapıştırıcı uygulaması, son ürünün fiziksel, mekanik ve yüzeysel özelliklerini doğrudan etkileyen kritik bir prosestir. Kullanılan ağaç hammaddesinin türü ve karakteristikleri kadar, tutkal türü, uygulama tekniği ve tutkalın yonga yüzeyine homojen dağılımı da nihai levha kalitesinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle tutkalın yeterli miktarda ve düzgün şekilde dağılmaması; levhada dayanım düşüklüğü, yüzey bozulmaları, içsel boşluklar ve yaşlanma direncinde azalmaya neden olabilmektedir.

Tutkallama aşamasında yongalar, bir karıştırıcı sistem (blendır) içinde dönerken, yapıştırıcı solüsyonu yonga yüzeyine püskürtülür. (Şekil 2.10.) Buradaki amaç, yonganın her tarafının ince ve dengeli bir tutkal tabakasıyla kaplanmasıdır. Yonga ile sıvı tutkal arasındaki etkileşim; yonganın boyutu, yüzey alanı ve gözenekliliği gibi fiziksel özelliklerden doğrudan etkilenmektedir. Genel olarak daha kalın veya geniş yüzeyli yongalar, daha fazla tutkal emilimi gösterir. Ancak yonga boyutunun aşırı büyük olması, tutkal dağılımını zorlaştırmakta ve levhada noktasal yapışma hatalarına yol açmaktadır. Bu nedenle, optimum yonga boyutu ve tutkal zerresi çapı üretim reçetesi doğrultusunda belirlenmelidir.

Endüstride yaygın olarak kullanılan üre-formaldehit (UF) bazlı tutkallar, genellikle %57–65 oranında katı madde içeren sulu çözelti formunda tedarik edilir. Ancak, üretim sürecinde püskürtme sistemleriyle rahat kullanılabilmesi ve yongaya homojen bir şekilde dağılabilmesi için bu çözelti, belirli oranlarda seyreltilerek yaklaşık %45–55 katı madde içeriğine ayarlanır. Bu oranlar yüzey ve orta tabaka için farklılık gösterebilir. Yüzey tabakası için genellikle daha yüksek tutkal yoğunluğu tercih edilirken, orta tabakada daha düşük konsantrasyonlu çözeltiler kullanılabilir. (Şekil 2.9.)

UF tutkalı, beyaza yakın renkte, yoğunluğu yaklaşık 1,23–1,29 g/cm³ aralığında olan bir sıvıdır. pH değeri genellikle 7,5–9 arasında değişmekte olup, bu aralık, tutkalın hem raf ömrünü hem de kararlılığını doğrudan etkilemektedir. Standart koşullarda (20–25 °C) depolandığında 1–2 ay arasında stabilitesini koruyabilmektedir.

Tutkal uygulama sistemleri, modern tesislerde otomatik dozajlama ve karıştırma üniteleri ile entegre olarak çalışmaktadır. Bu sistemde tutkal, sertleştirici ve gerektiğinde su ayrı ayrı dozaj pompaları aracılığıyla bir karışım odasına ya da statik

mikser sistemine gönderilir. Burada homojen şekilde karışan çözelti, enjeksiyon nozulları aracılığıyla hareket halindeki yongaların üzerine püskürtülür. Karışımın püskürtme başlıklarından çıkışı kontrollü basınç altında olup, hem uygulama verimini artırmakta hem de malzeme israfını azaltmaktadır.

Ayrıca üretim reçetesine bağlı olarak, tutkal çözeltisine parafin, melamin, MDI (metilen difenil diizosiyanat) gibi katkı maddeleri de ilave edilebilmektedir. Bu katkıları, levhanın suya dayanıklılığı, iç bağ dayanımı ve yüzey kalitesi gibi özelliklerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Parafin gibi su itici maddeler ise, doğrudan blendır girişine enjekte edilerek, yonga ile tutkalın birleşiminden önce karışıma dahil edilir. Bu şekilde yongaların suya karşı direnç kazanması sağlanır.

Modern yonga levha tesislerinde, bu işlemlerin büyük kısmı kapalı devre otomasyon sistemleri ile gerçekleştirilmekte olup, insan müdahalesi minimum düzeyde tutulmaktadır. Bu da hem üretim tutarlılığını artırmakta hem de iş güvenliği açısından avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.8. Tutkal Hazırlama Mutfağı



Şekil 2.9. CL – SL Blenderlar

2.1.6. Serme

Tutkallama ünitesinden çıkan yongaların, presleme öncesinde düzgün ve homojen bir şekilde yayılması (serilmesi), yonga levha üretim sürecinin kritik basamaklarından biridir. Serme aşamasında elde edilen yonga tabakası, levhanın nihai kalitesi üzerinde doğrudan etkili olup, özellikle levhanın özgül ağırlığı ve fiziksel bütünlüğü açısından büyük önem taşımaktadır. Homojen dağıtılmayan yonga tabakası, levhanın özgül ağırlığında dengesizliklere yol açarak pres basıncı ve sıcaklık parametrelerinin ideal uygulanmasını engeller. Bu da levhanın mekanik dayanımında düşüşe ve özellikle pres sonrası çarpılma, eğrilme gibi deformasyonların artmasına neden olur.

Serme işleminin temel hedefi, levha yüzeyinde olabildiğince uniform ve süreklilik arz eden bir yonga taslağı oluşturmaktır. Bu taslak, levhanın kalınlığı boyunca özgül ağırlığın mümkün olduğunca eşit dağılımını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır (Bozkurt ve Göker, 1986). Üretimde serilen yonga keçesinin kalınlığı, nihai levha kalınlığının genellikle 3 ila 20 katı arasında değişmekte olup, bu oran kullanılan yonga tipine ve ağaç türlerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Yonga büyüklükleri, yonga yüzey yapısı ve ağaçların özgül ağırlıkları, serme kalınlığını doğrudan etkileyen temel parametrelerdir.

Serme Ekipmanları ve Sistemleri

Modern yonga levha tesislerinde kullanılan serme makineleri, genellikle üç ana prensipte çalışmaktadır:

a. Dökme Serme Sistemi: Bu yöntemde, üretilecek levhanın katman sayısına göre (örneğin üç katmanlı levhalarda) en az üç ayrı serme başlığı kullanılır. Her başlık, dış katmanlar ve orta katmanda kullanılacak yongaların serilmesinden sorumludur. Bu sistem, yüksek hassasiyetli katman kalınlığı kontrolü sağlar ve her tabaka için ayrı tutkal ve yonga kalitesi uygulamasına olanak tanır. Dökme sistem, özellikle yüksek performanslı levhalarda tercih edilmektedir. (Şekil 2.11.)

b. Rüzgarlama (Havalandırma) Serme Sistemi: Yongalar, serme başlıklarından düşerken, bu tabakaya dik yönde güçlü hava jetleri uygulanır. Bu hava akımları, yongaların kütlelerine göre farklı mesafelere savrulmasını sağlar. Ağır yongalar daha kısa mesafelere, hafif yongalar ise daha uzak mesafelere düşer. Böylece taslağın enine kesitinde yongaların yoğunluğu ince tabakadan kalın tabakaya kademesiz ve doğal bir geçişle dağıtılır. Bu sistemde taslak tamamlandıktan sonra, diğer yüzey için aynı işlem tersi yönde uygulanır. Rüzgarlama sistemi, homojen bir yonga dağılımı sağlaması nedeniyle üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır ve “Bison” adıyla da anılmaktadır.

c. Savurma Serme Sistemi: Rüzgarlama sistemine benzer şekilde çalışan bu yöntemde, yongalar bant üzerine düşürülürken hava yerine mekanik bir silindir yardımıyla fırlatılır. Yongalar, silindirin uyguladığı kinetik enerjiyle farklı uzaklıklara savrulur. Böylece bant üzerinde değişken yoğunluklarda yonga dağılımı elde edilir. Savurma sistemi, özellikle farklı yonga boyutlarının ayrıştırılmasında ve istenilen serme kalınlıklarının daha kontrollü ayarlanmasında avantaj sağlar.

Modern yonga levha üretim hatlarında, bu serme sistemleri gelişmiş otomasyon ve ölçüm cihazları ile entegre çalışmakta olup, üretim esnasında yonga yoğunluğu, kalınlık ve homojenlik parametreleri sürekli izlenmekte ve gerektiğinde otomatik düzeltmeler yapılmaktadır. Bu sayede levhanın genel kalitesi, üretim verimliliği ve tekrar edilebilirliği artırılmaktadır.



Şekil 2.10. Serme

2.1.7. Presleme

Yongaların serme işlemiyle oluşturduğu gevşek ve kalın keçe, levhanın son kalınlığının yaklaşık 15 ila 20 katı kalınlıkta olabilir. Bu aşamada oluşan yonga keçesi, oldukça dağınık ve düşük yoğunluktadır. Keçe üzerindeki herhangi bir titreşim veya sarsıntı, ince taneli yongaların keçenin alt tabakasında birikmesine sebep olabilir. Bu durum, levhanın yüzeyinde düzensizliklere yol açmanın yanı sıra, levhanın mekanik dayanımında heterojenliğe ve yerel zayıflıklara neden olur. Dolayısıyla presleme öncesi keçenin mümkün olduğunca stabil ve düzgün olması gerekmektedir.

Presleme işlemi, temel olarak iki ana yöntemle gerçekleştirilir: soğuk presleme ve sıcak presleme. Soğuk pres, genellikle ön presleme olarak tanımlanır ve serme işleminden sonra keçenin presleme ünitesine alınmadan önce şekillendirilmesi ve yoğunluğunun artırılması amacıyla uygulanır.(Şekil 2.12.) Bu aşamada, keçedeki hava boşlukları azaltılır, keçenin genel yapısı sıkılaştırılır ve pres makinesine geçiş için uygun hale getirilir.

Sıcak presleme ise levha üretim sürecinin esas sıkıştırma ve yapıştırma aşamasıdır. Burada yonga keçesi, pres plakaları arasında yüksek sıcaklık ve basınç altında sıkıştırılır. Ancak, levha taslağı doğrudan sıcak pres ünitesine verildiğinde, pres katları arasındaki boşluklar artabilir. Bu durum, presin kapanma süresinin uzamasına ve ısı kayıplarına yol açar. Bu nedenle, soğuk presleme adımı, sıcak presleme öncesinde keçenin kalitesini ve yoğunluğunu optimize etmek için kritik öneme sahiptir.

Modern yonga levha tesislerinde pres makineleri, gelişmiş kontrol sistemleri ile donatılmıştır. Basınç, sıcaklık ve pres süresi gibi parametreler otomatik olarak izlenir ve ayarlanır. Bu sayede levhanın kalınlığı, yoğunluğu ve mekanik performansı standartlara uygun şekilde optimize edilir. Ayrıca, presleme sürecinde kullanılan ekipmanlar, enerji verimliliğini artırmak ve levha kalitesini tutarlı kılmak amacıyla sürekli geliştirilmekte ve yenilenmektedir.

2.1.7.1. Ön Presleme

Yonga taslağı, şekillendirme kalıpları veya kenar çerçeveleri içine serildikten sonra, öncelikli olarak soğuk pres işlemiyle sıkıştırılır. Soğuk pres işlemi, yalnızca levha taslağının sıkıştırılması işlevini görmekle kalmaz; aynı zamanda keçe içerisindeki havanın etkin bir şekilde dışarı atılmasını sağlar. Bu sayede yonga levha taslağı daha stabil ve homojen bir yapıya kavuşur.

Doğrudan sıcak presleme işlemine geçilmesi durumunda, presin kapanma esnasında, özellikle yüzey tabakasını oluşturan ince ve küçük boyutlu yongalar hareket ederek yer değiştirebilir. Bu hareketlilik, levha yüzeyinde düzensizliklere yol açar ve nihai ürün kalitesini olumsuz etkiler. Soğuk presleme uygulaması, bu tür yonga kaymalarını önleyerek yüzey düzgünlüğünü korumayı sağlar.(Şekil 2.13.)

Ön preslenmiş yonga taslaklarının sıcak pres ünitesine aktarımı sırasında, taşıma bantları ve pres giriş saçlarına olan ihtiyaç azalır veya ortadan kalkar. Bu da üretim hattının daha verimli çalışmasına imkan tanır. Etkili bir ön presleme için basıncın genellikle 15-20 kp/cm² aralığında uygulanması gerekmektedir (Güler, 2001).

Soğuk presleme işleminin başlıca hedefleri şu şekilde özetlenebilir:

1. Yonga keçesinin kenarlarını net ve düzgün bir biçimde şekillendirmek,
2. Yan alma işlemleri sırasında oluşabilecek malzeme kayıplarını minimize etmek,
3. Levhanın yüzey ve orta katmanlarının birbirine daha güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlamak,
4. Sıcak pres aşamasına geçerken keçenin taşıma sırasında yaşanabilecek yonga kaymalarını engellemek ve böylece presin kapanma süresini kısaltmaktır.



Şekil 2.11. Ön Pres



Şekil 2.12. Ön Pres Yüzey Tutkallama

2.1.7.2. Sıcak Presleme

Yonga levha üretiminde levhanın nihai özelliklerini kazanması, esas olarak sıcak presleme aşamasında gerçekleşir. Bu aşamada, önceden oluşturulan yonga taslağı, belirlenen kalınlığa ulaşana kadar yüksek sıcaklık altında sıkıştırılır. Uygulanan ısı, yapıştırıcı madde olan tutkalın kimyasal reaksiyonlarını tamamlamasını ve sertleşmesini sağlayarak malzemenin dayanıklılığını ve stabilitesini artırır (Usta, 2011).

Presleme ekipmanları, yapılarına göre tek katlı ve çok katlı olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Tek katlı preslerde her presleme döngüsünde sadece bir levha işlenirken, çok katlı pres sistemlerinde 4 ile 22 kat arasında levha aynı anda preslenebilir. Bu preslerde uygulanan basınç, hidrolik sistemler aracılığıyla sağlanmaktadır. Isıtma ise pres plakalarının sıcak su, buhar, kızgın yağ veya yüksek frekanslı elektrik enerjisi ile yapılması yoluyla gerçekleştirilir.

Pres sıcaklığı, kullanılan tutkala bağlı olarak genellikle 150 ila 220 °C arasında ayarlanır. Presleme süresi ise levhanın kalınlığı ve tutkalın sertleşme özelliklerine göre 3 ila 7 dakika arasında değişiklik gösterir (Akbulut, 2000).

Pres plakalarının taslağı istenilen kalınlığa kadar sıkıştırması için gereken kapanma süresi, levhanın mekanik performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu sürenin kısa tutulması durumunda, yüzey katmanları daha yüksek yoğunlukta sıkışırken, orta tabaka nispeten daha düşük yoğunlukta kalır. Bu yapı, yüzey kalitesi ve eğilme dayanımı açısından avantaj sağlasa da, levhanın yüzeye dik yöndeki çekme dayanımını olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, uygun basınç, sıcaklık ve zaman kombinasyonlarının sağlanamaması, levhanın çatlamasına veya patlamasına neden olabilir.

Pres tabakalarının görevleri termal ve mekanik olmak üzere iki başlık altında toplanır. Termal fonksiyon, taslağı yeterli sıcaklığa getirerek tutkala sertleşme ortamı hazırlamak; mekanik fonksiyon ise taslağı hedeflenen kalınlığa kadar sıkıştırmaktır (Karakuş, 2007).

Günümüzde kullanılan sürekli (kontinü) pres sistemlerinde, bilgisayar kontrollü otomasyon uygulamaları yaygındır.(Şekil 2.14.) Operatörler, pres sıcaklığı, basınç ve presleme faktörü gibi parametreleri bilgisayar arayüzünden tanımlar ve sistem bu değerler doğrultusunda otomatik olarak çalışır. Üretim süreci monitör ekranlarından

sürekli takip edilerek kontrol altında tutulur. Sürekli preslerin, çok katlı preslerden temel farkı üretim hattının kesintisiz biçimde işlem görmesidir. Bu sistemde, yonga taslağı prese girmeden önce önceden boyutlandırılmamaktadır; pres işlemi sonrası ise yer alan dairesel testere ekipmanı, levhayı standart ölçülerde keserek üretimi tamamlamaktadır (Ayrılmış, 2000).



Şekil 2.13. Conti Pres

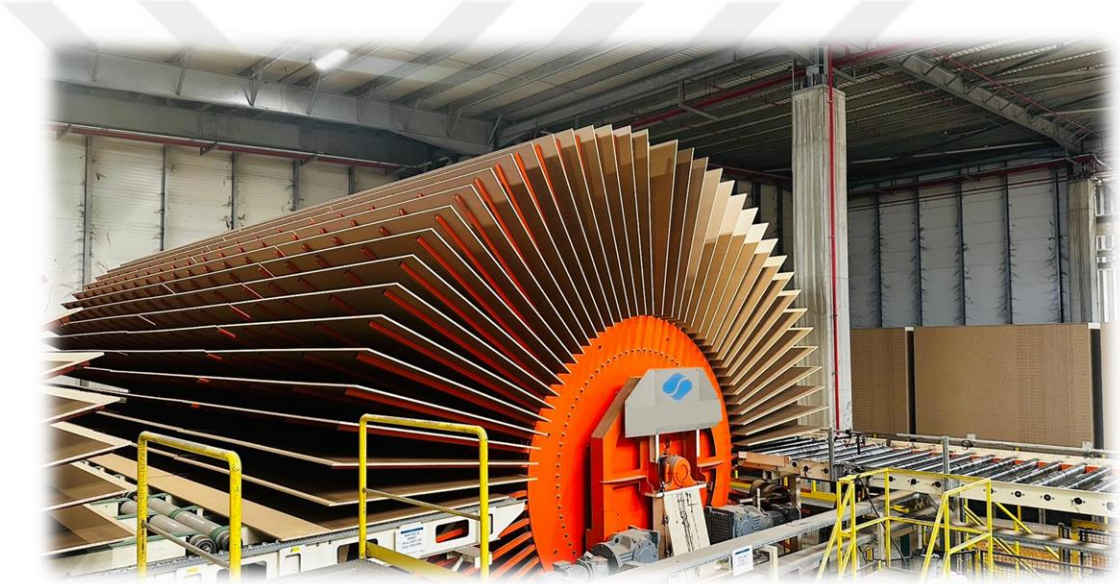
2.1.8. Soğutma ve Dengeleme

Yonga levha üretiminde pres aşamasından sonra elde edilen levhaların sıcaklığı genellikle 100 °C civarındadır. Bu yüksek sıcaklıkta levhaların doğrudan üst üste istiflenmesi, özellikle üre-formaldehit bazlı tutkalların nem etkisiyle hidroliz reaksiyonuna girmesine yol açarak mekanik dayanımda azalmaya neden olur (Güler, 2001). Bu nedenle, üre-formaldehit tutkalı kullanılan levhalar, yaklaşık 70 °C'nin altına soğutulmadan istiflenmemelidir. Fenol-formaldehit esaslı tutkalların kullanıldığı levhalarda ise yüksek sıcaklıklarda üst üste yığılma uygulaması mekanik özellikler açısından sorun teşkil etmemektedir.

Klimatizasyon işlemiyle levhalar üzerinde bir dizi fiziksel ve kimyasal değişim gerçekleşir. Bu süreçte öncelikle levhanın sıcaklığı ortam şartlarıyla dengelenir. Ardından levha, çevresel ortamın dengede bulunan nem oranına ulaşacak şekilde rutubet kazanımı veya kaybı yaşar. Levha ile atmosfer arasındaki ısı transferi devam ederken, tutkaldaki sertleşme reaksiyonları da sürdüğünden fiziksel yapıda ve mekanik özelliklerde değişiklikler ortaya çıkar.

Isının levha yüzeylerinden dışa doğru hızlı, orta tabakalarda ise daha yavaş bir şekilde kaybedilmesi, levha boyunca sıcaklık ve nem gradyanlarının oluşmasına sebep olur. Orta tabakada meydana gelen nem kaybı, yüzeye doğru ilerleyerek iç kısımda büzülme ve dış tabakalarda genleşme şeklinde deformasyon riskini artırır. Bu durum, levhanın kalitesini ve kullanım ömrünü olumsuz etkileyebilir.

Bu problemlerin önüne geçmek amacıyla, presten çıkan levhalar yıldız tipi soğutucular kullanılarak kontrollü şekilde 35-45 °C aralığına kadar soğutulmaktadır. Yıldız soğutucular, levhaların birbirinden ayrılarak hava dolaşımının sağlandığı ve homojen bir soğutmanın gerçekleştiği sistemlerdir. (Şekil 2.15.)Böylece, levhaların sıcaklıkları güvenli seviyelere indirgenirken, mekanik özelliklerde olası bozulmaların önüne geçilmektedir.



Şekil 2.14. Yıldız Soğutucu

2.1.9. Kenar Kesme

Yonga levha üretim sürecinde boyutlandırma işlemi, ürünün nihai ebatlara getirilmesi amacıyla kritik bir aşamadır. Bu işlem genellikle presleme ve klimatizasyon süreçlerinin ardından gerçekleştirilir. Preslemeden sonra boyutlandırma yapılması durumunda, levha henüz tam sertleşme ve stabilizasyon aşamasına ulaşmadığı için işleme sırasında deformasyon riski artabilir. Öte yandan, klimatizasyon işlemi tamamlandıktan sonra boyutlandırma yapılması, levhanın sıcaklık ve nem dengesinin sağlanması sonucu daha kararlı bir yapıya kavuşması nedeniyle kesim kalitesinin yükselmesini sağlar.

Modern yonga levha tesislerinde kullanılan yüksek hassasiyetli daire testereler ve CNC kesim makineleri, boyutlandırma aşamasında istenen ölçü toleranslarının sağlanmasını garanti eder. Bu ekipmanlar, otomatik besleme ve pozisyonlama sistemleriyle entegre edilerek, üretim verimliliğini artırırken fire oranlarını minimize eder. Ayrıca, kesim sonrası yüzey pürüzlülüğü ve kenar kalitesi, uygulanan kesme yöntemine ve kullanılan takımlara bağlı olarak optimize edilmektedir. (Şekil 2.16.)

Sonuç olarak, presleme sonrası veya klimatizasyon tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen boyutlandırma işlemi, yonga levhanın kullanım amacına uygun ölçülerde ve yüksek yüzey kalitesinde elde edilmesini sağlar. Üretim hattında boyutlandırmanın zamanlaması, proses kontrolü ve ekipman seçimi ile doğrudan ilişkilidir ve ürün kalitesi üzerinde belirleyici bir etkisi bulunmaktadır.



Şekil 2.15. Ebatlama

2.1.10. Yüzey Zımparalama

Presleme aşamasını tamamlayan yonga levhalar, özellikle mobilya sektöründe doğrudan kullanıma uygun yüzey kalitesine sahip değildir. Bu levhaların yüzeyleri pürüzlü olup, kalınlıklarında da homojenlik sorunları görülmektedir. Bu nedenle, sonraki işlemler öncesinde yüzey kalitesini artırmak ve kalınlık farklılıklarını minimize etmek amacıyla zımparalama işlemi uygulanmaktadır.

Zımparalama, levhanın her iki yüzeyinin de eş zamanlı olarak işlenmesini sağlayan gelişmiş zımpara makineleriyle gerçekleştirilir. Bu makinelerde, önceden belirlenen kalınlık ayarları doğrultusunda levha tek geçişte yüzey pürüzlülüğünden arındırılarak çıkmaktadır. Üretim hattında genellikle dört aşamalı zımparalama

sistemleri kullanılmakta olup, aşamalı olarak 60, 80, 100 ve 120 grit değerlerine sahip zımpara bantları ile işlem yapılmaktadır. Bu farklı grit değerleri, yüzeydeki pürüzlülük seviyesine göre kademeli olarak yüzeyi düzleştirir ve inceltir. (Şekil 2.17.)

Modern zımparalama ekipmanları, yüksek verimlilik ve hassas kontrol olanağı sunarak levha kalınlığının tutarlı olmasını sağlar ve yüzey kalitesinin üretim standartlarına uygun hale getirilmesine katkıda bulunur. Ayrıca, zımparalama işlemi sonrası elde edilen düzgün yüzey, ilerleyen kaplama ve montaj süreçlerinin kalitesini doğrudan etkiler.



Şekil 2.16. Zımpara

2.1.11. Kalite Kontrol ve Sınıflandırma

Zımparalanan levhalar, otomatik kalite kontrol sistemlerinden geçer. Optik sensörler, kalınlık ölçüm cihazları ve yüzey kalite kontrol üniteleri kullanılır. Levhalar, kalitelerine göre E1, E2 veya diğer standartlara uygun şekilde sınıflandırılır. PLC destekli otomasyon, ürünlerin hızlı ve doğru ayrımını sağlar.

2.1.12. Paketleme ve Etiketleme

Kalite kontrolü geçen levhalar, otomatik paketleme hattına alınır. Paletleme makineleri yardımıyla levhalar istiflenir, streç film ile sarılır ve çelik bantlarla bağlanır. Ürünler barkodlama sistemiyle etiketlenir ve sevkiyata hazır hale getirilir. Paketleme hızı tesisin kapasitesine göre dakikada 2-4 palet arasında değişiklik gösterir.

2.2. Yonga Levhalarda Standartlar ve Test Metotları

Yonga levhalar (YL), ahşap esaslı panel ürünleri arasında yaygın kullanım alanı bulmakta olup, kalite ve performans kriterlerinin sağlanması için kapsamlı test süreçlerine tabi tutulmaktadır. Bu testler ve standartlar, levhaların mekanik dayanımı, fiziksel özellikleri ve çevresel koşullara karşı dayanıklılığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

• Ulusal Standartlar ve Kapsamları

TS EN 326-1: Numune Alma, Kesme ve Sonuçların Gösterimi

Bu standart, yonga levha deneyleri için numune alma ve kesme prosedürlerini tanımlayarak, deneylerin tekrarlanabilirliği ve sonuçların karşılaştırılabilirliğini garanti altına alır. Deney numunelerinin homojen yapıyı temsil edecek şekilde seçilmesi, sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Ayrıca, deney sonuçlarının standartlara uygun şekilde raporlanması için kurallar içerir.

TS EN 326-3: Sevkiyatta Olan Levhaların Muayenesi

Sevkiyat aşamasında numune levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin, tedarikçi tarafından bildirilen değerlerle uyumunun incelenmesini sağlar. Bu standart, üretici ve alıcı arasındaki kalite anlaşmazlıklarını önlemek için kritik öneme sahiptir.

TS EN 312-1 ve TS EN 312-3: Yonga Levha Özellikleri

TS EN 312-1, kaplanmamış yonga levhaların genel özelliklerini düzenlerken, TS EN 312-3 standardı kuru ve kapalı ortamlar için (mobilya üretimi gibi) tasarlanmış levhaların performans kriterlerini belirler. Bu standartlar, levhaların dayanıklılık, yoğunluk, kalınlık toleransı gibi temel parametrelerini kapsar.

• Fiziksel ve Mekanik Testler

TS EN 322: Rutubet Tayini

Levhanın nem içeriğinin belirlenmesi için uygulanır. Test numunesinin kütlesi ve hacmi ölçülerek birim hacim ağırlığı hesaplanır. Nem oranı, levhanın kullanım alanına uygunluğunu belirlemede temel parametrelerden biridir.

TS EN 310: Eğilme Dayanımı ve Elastikiyet Modülü Tayini

Levhaların mukavemet performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir testtir. Numune levha iki destek noktası arasında yerleştirilir ve orta noktasına artan kuvvet uygulanır. Bu kuvvet altındaki sehim ölçülerek elastikiyet modülü ve eğilme dayanımı hesaplanır. Bu test, levhanın mekanik dayanıklılığını doğrudan yansıtır.

TS EN 317: Suyu Daldırma Sonrası Kalınlıkta Şişme Tayini

Levhaların suya maruz kalma durumunda kalınlıklarının ne oranda şiştiğini belirlemek için kullanılır. Test, levhaların su dayanıklılığı ve iç ortam uygulamalarındaki performansını ölçmek açısından önemlidir.

TS EN 319: Yüzeye Dik Çekme Dayanımı

Levhanın yüzeyine dik yönde uygulanan çekme kuvvetine karşı gösterdiği direnç bu testle ölçülür. Özellikle kaplama ve laminasyon işlemlerinde levhanın dayanıklılığını belirlemek için gereklidir.

TS EN 320: Vida Tutma Kapasitesi

Doğrudan yonga levhalar için ulusal standart bulunmamakla birlikte, lif levhalara ait bu standart test metodu referans alınarak vida tutma dayanımı ölçülür. Levha yüzeyine ve kenarına vida takılarak, vidanın çekilme kuvveti ölçülür. Bu parametre mobilya üretiminde vida bağlantılarının sağlamlığı açısından kritik önemdedir.

• Avrupa Standartları

Avrupa’da yaygın olarak kabul gören standartlar aşağıdaki gibidir:

- **EN 310:** Eğilme dayanımı ve elastikiyet modülünün tayini
- **EN 317:** Suyu daldırma sonrası kalınlıkta şişme
- **EN 319:** Levha yüzeyine dik çekme dayanımı
- **EN 320:** Vida tutma dayanımı
- **EN 322:** Rutubet miktarının tayini
- **EN 326-1 ve EN 326-3:** Numune alma, kesme ve sevkiyat muayenesi

Bu standartlar, yonga levhaların farklı kullanım koşullarına ve performans gereksinimlerine göre test edilmesini sağlar.

• Ek Testler ve Değerlendirmeler

YL üretiminde ayrıca aşağıdaki testler de uygulanmaktadır:

- **Yoğunluk ve Hacim Ağırlığı Ölçümleri:** Levhanın yapısal bütünlüğü ve dayanıklılığı hakkında bilgi verir.

- **Yüzey Pürüzlülüğü Testleri:** Kaplama öncesi yüzey kalitesini değerlendirmek için uygulanır.

- **Yangına Dayanıklılık Testleri:** Bazı uygulamalar için zorunludur ve levhanın yanma süresi ile alev yayılma hızını belirler.

- **Formaldehit Salınım Testleri:** Sağlık ve çevre standartlarına uyumu değerlendirmek için yapılır.



2.3. Biyokütle Kaynaklı Uçucu Kül

2.3.1. Genel Bakış

Biyokütle, enerji üretimi amacıyla kullanılan ve doğada yenilenebilen tarımsal, ormancılık ve organik endüstri atıklarını kapsayan bir enerji kaynağıdır. Bu tür malzemelerin termal işlemle yakılması sonucunda oluşan uçucu kül, bacadan taşınan ve partikül tutma sistemlerinde ayrıştırılan ince, hafif ve inorganik yapıdaki kalıntıdır.

Uçucu kül, enerji üretiminin doğal bir yan ürünü olmakla birlikte, özellikle biyokütle bazlı yakıtların kullanımı sonrası elde edilen kül, içerdiği mineral çeşitliliği ve düşük toksisite profiliyle sürdürülebilir atık yönetimi açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Biyokütle uçucu külü, çevresel etkilerden endüstriyel uygulamalara kadar pek çok açıdan değerlendirilmeye uygun özellikler taşımaktadır.

Biyokütle uçucu külü, fosil kaynaklı küllerin aksine daha düşük toksik element içeriğine sahiptir. Bu yönüyle hem çevreye duyarlı geri kazanım hem de hammaddeden tasarruf sağlamaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi, karbon döngüsünde kapalı bir sistem oluşturmaya olanak tanır. Ayrıca sanayi atıklarının "sıfır atık" ilkesine uygun biçimde değerlendirilmesinde önemli rol oynar.

2.3.2. Oluşum Süreci

Biyokütle külü; yanma sıcaklığı, yanma süresi, biyokütlenin türü ve kullanılan yakma sisteminin tipi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Uçucu kül, yanma odasından bacaya doğru sürüklenen ve yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ardından katı partiküller hâlinde yoğunlaşan mineral bileşenlerden oluşur. Bu parçacıklar genellikle torba filtreler, siklon ayırıcılar veya elektrostatik çöktürücüler ile toplanır.

Yanma esnasında uçucu elementler, özellikle potasyum, sodyum, kükürt ve klor gibi düşük kaynama noktasına sahip olanlar, gaz fazına geçerek yeniden kristalleşir. Bu da biyokütle uçucu külünün morfolojik ve kimyasal olarak çeşitlenmesine neden olur.

2.3.3. Fiziksel Özellikler

Biyokütle uçucu külü, fiziksel yapısı açısından oldukça heterojendir. Kullanılan biyokütlenin organik ve inorganik içeriğine bağlı olarak aşağıdaki temel özellikleri gösterebilir:

• **Renk:** Gri, açık sarı, bej veya hafif kahverengi tonlarında olabilir. Bu renk, özellikle içerdiği metal oksitlerin türüne ve miktarına bağlıdır.

• **Partikül Boyutu:** Genellikle 1 ile 100 mikron arasında değişir. Mikroskopik analizlerde küresel ve porlu yapılara rastlanır.

• **Yoğunluk:** Dökme yoğunluk 0.4–0.8 g/cm³, gerçek yoğunluk ise 2.1–2.6 g/cm³ aralığındadır.

• **Yüzey Özellikleri:** Yüksek özgül yüzey alanına sahiptir, bu da onu kimyasal reaksiyonlara karşı daha duyarlı kılar.

• **Morfoloji:** Elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde içi boş, camsı ve kırılğan partiküller olarak gözlemlenir.

2.3.4. Kimyasal Bileşim

Biyokütle uçucu külü; yüksek oranda mineral madde içerdiğinden, içerik analizi özellikle malzeme karakterizasyonunda kritik önemdedir. Uçucu külün bileşenleri tabloda verilmiştir.(Tablo 1.)

Tablo 2. 1. Uçucu Kül Bileşenleri

Oksit Bileşeni	Genel Aralık (%)
SiO ₂ (Silisyum Dioksit)	15–40
CaO (Kalsiyum Oksit)	5–30
K ₂ O (Potasyum Oksit)	5–25
MgO (Magnezyum Oksit)	1–5
P ₂ O ₅ (Fosfor Pentoksit)	0.5–10
Fe ₂ O ₃ (Demir Oksit)	1–5
Al ₂ O ₃ (Alüminyum Oksit)	1–8

Külün pH değeri genellikle bazıktır (pH 9–12), bu da onun bazı endüstriyel ve çevresel uygulamalarda nötralize edici ajan olarak kullanılmasını sağlar.

2.3.5. Mineralojik Yapı

X-ray difraksiyon (XRD) analizleri, biyokütle uçucu külünün hem amorfa yakın cam fazı hem de çeşitli kristal mineraller içerdiğini gösterir. En sık rastlanan mineraller şunlardır:

• Kalsit (CaCO₃)

• Kuvars (SiO₂)

- Sylvite (KCl)
- Apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$)
- Periklas (MgO)

Cam faz, külün bağlayıcılık ve yapısal güç açısından potansiyelini artırırken, mevcut kristal yapılar da külün inert veya aktif davranışını etkiler.

2.3.6. Kullanım Alanları ve Fonksiyonel Önemi

2.3.6.1. İnşaat Sektöründe Kullanımı

- **Beton katkısı:** Pozolanik özellik gösteren küller, portland çimentosuyla reaksiyona girerek dayanımı ve dayanıklılığı artırır.
- **Tuğla ve seramik üretimi:** Kil yerine kısmi olarak kullanılabilir. Düşük ergime noktası, enerji tasarrufu sağlar.
- **Yalıtım malzemesi:** Hafif yapısı sayesinde düşük yoğunluklu panellerde kullanılır.

2.3.6.2. Tarımda Kullanımı

- **Toprak düzenleyici:** Yüksek potasyum ve kalsiyum içeriği ile toprak verimliliğini artırır.
- **Asitli toprakların nötralizasyonu:** Bazik yapısı, pH'ı düzenler.
- **Organik gübre katkısı:** Kompost sistemlerinde mineral denge sağlar.

2.3.6.3. Çevresel Uygulamalar

- **Ağır metal adsorpsiyonu:** Özellikle Pb, Cd gibi metallerin sudan uzaklaştırılmasında adsorban olarak kullanılabilir.
- **Asit madenciği drenajı kontrolü:** Nötrleştirici etkisiyle çevresel iyileştirmeye katkı sağlar.
- **Atık stabilizasyonu:** Tehlikeli atıkların immobilizasyonunda kullanılır.

2.3.6.4. Diğer Endüstriyel Kullanımlar

- **Cam üretimi:** Yüksek silika içeriği ile cam üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilir.
- **Polimer kompozit üretimi:** Reçine esaslı malzemelere dolgu olarak eklenebilir.

- Yalıtım köpükleri, kâğıt dolgu malzemeleri, boya katkıları gibi niş alanlarda da araştırılmaktadır.

2.4. Yonga Levha Katkı Maddeleri Literatür Taraması

2.4.1. Üzüm Bağları

Üzüm bağlarından kalan dal, sap ve yaprak atıkları lif ve fenolik bileşikler açısından zengindir. Yonga levha üretiminde hem dolgu hem de doğal katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir.

Kara (2022) yüksek lisans tezinde, üzüm bağlarından elde edilen atıkların %5, %10 ve %15 oranlarında yonga levha karışımına eklenmesi test edilmiştir. %10 oranında katkı levhanın eğilme dayanımını %14, su emme oranını ise %9 oranında iyileştirmiştir. Fenolik bileşiklerin antimikrobiyal etkisi sayesinde levhanın dayanıklılığı artmıştır.

Üzüm bağı atıkları, lignoselülozik yapısı ile levha dayanımına katkı sağlamakta, fenolik içeriği ise mikrobiyal bozulmayı geciktirmektedir. Ancak, yüksek katkı oranlarında yapışma problemleri görülebilir, bu nedenle oranlar dikkatle optimize edilmelidir.

Üzüm bağı atıkları, hem mekanik dayanım hem de biyolojik dayanıklılık açısından yonga levha üretiminde değerlendirilebilir. Tarımsal atıkların ekonomiye kazandırılması açısından umut vaat eden bir alternatiftir.

2.4.2. Atık Elma Dalları

Elma üretiminden sonra kalan dallar, selüloz, hemiselüloz ve lignin açısından zengin atıklardır. Yonga levha üretiminde lif desteği ve dolgu maddesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

Çetin (2021) tezinde, atık elma dallarının öğütülüp %5, %10 ve %15 oranlarında levha karışımına katılması incelenmiştir. %10 katkı oranında levhanın eğilme ve basma dayanımlarında %10-12 oranında artış sağlandığı, su emme oranının ise %8 azaldığı bulunmuştur.

Atık elma dalları, doğal lif yapıları sayesinde levhanın mekanik dayanımını destekler. Ayrıca lignin içeriği levhanın su direncini artırabilir. Bu atıkların biyokütle değeri yüksektir ve üretimde kullanılmaları tarımsal atıkların geri dönüşümüne katkı sağlar. Atık elma dalları, yonga levha üretiminde dolgu ve dayanım artırıcı katkı

maddesi olarak faydalıdır. Doğru oran ve işleme yöntemleriyle levha kalitesi yükseltilebilir.

2.4.3. Badem Kabukları

Badem kabukları, yüksek lignin ve selüloz içeriğiyle lif bazlı dolgu malzemesi olarak öne çıkar. Organik atıkların değerlendirilmesi ve çevreci üretim için önemli bir potansiyel taşır.

Aksoy (2020) tarafından yapılan tezde, badem kabuğu öğütülerek yonga levha üretiminde %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılmıştır. %10 oranında kullanım levhanın yoğunluğunu ve eğilme dayanımını %14 artırmıştır. Fakat yüksek oranda badem kabuğu kullanımı levhanın su emme oranını %20'ye kadar yükseltmiştir. Badem kabuğunun yüksek lignin içeriği levha dayanımını artırırken, porozitesi su tutma eğilimini yükseltmektedir. Bu durum, nemli ortamlarda levha performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, kabukların yüzey modifikasyonu ya da kimyasal işlemlerle nem hassasiyetinin azaltılması önerilir.

Badem kabukları, mekanik iyileştirme ve çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlidir. Nem direnci için ek işlemlerle birlikte kullanımı önerilir.

2.4.4. Çay Atıkları

Çay atıkları, özellikle endüstriyel çay üretimi sonrası kalan organik materyallerdir. Selüloz ve lignin oranı yüksek bu atıklar, yonga levha üretiminde lif takviyesi ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca polifenol içerikleri sayesinde levhanın biyolojik dayanıklılığına katkı sağlayabilir.

Demir ve vd. (2021) tarafından yapılan tez çalışmasında, %5-15 aralığında çay atığı tozunun yonga levha hamuruna eklenmesi sonucu mekanik dayanım ve su emme özellikleri incelenmiştir. %10 katkı seviyesinde levhanın çekme dayanımı %18 artarken, su emme oranında %10 azalma kaydedilmiştir. Polifenollerin doğal antioksidan etkisi, levhanın mikrobiyal dayanıklılığını artırmıştır.

Çay atıkları, lif yapıları ve kimyasal bileşimleri sayesinde hem mekanik hem de biyolojik dayanımı destekler. Bununla birlikte, yüksek katkı oranlarında polifenol ve tanenlerin reçine ile reaksiyonları mekanik dayanımı olumsuz etkileyebilir. Bu yüzden optimum katkı oranının belirlenmesi önemlidir.

Çay atıkları, yonga levha üretiminde mekanik ve biyolojik performansı artıran fonksiyonel bir katkı maddesi olarak kullanılabilir. Katkı oranlarının ve işlemlerin doğru ayarlanması kaliteyi yükseltir.

2.4.5. Lavanta Yapağı

Lavanta yapağı, aromatik bitki atığı olarak büyük miktarlarda tarım sonrası kalan biyokütledir. İçeriğinde lif, tanen ve uçucu yağlar bulunan lavanta yapağı, yonga levha üretiminde doğal lif katkısı olarak potansiyel taşıır. Lif yapısı, levhanın mekanik dayanımına olumlu etki edebilirken, uçucu yağlar ise reçine ile etkileşimi etkileyebilir.

Öztürk (2022) tarafından gerçekleştirilen bir yüksek lisans tezinde, lavanta yapağı tozunun %5, %10 ve %15 oranlarında yonga levha hamuruna eklenmesi araştırılmıştır. Çalışmada, %10 oranında lavanta yapağı katkısının levhanın eğilme ve basma dayanımlarında %12-15 civarında artış sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, %15 katkı oranında yapraktaki uçucu yağların reçine yapışmasını zayıflatığı ve mekanik dayanımı düşürdüğü tespit edilmiştir.

Lavanta yaprağının lif içeriği, levhanın dolgu maddesi olarak işlev görmesini sağlayarak yapı bütünlüğünü destekler. Ancak uçucu yağların varlığı, reçine ile kimyasal bağların zayıflamasına sebep olabilir, bu da mekanik dayanımı sınırlar. Bu nedenle, lavanta yapağı katkısının optimal oranlarda kullanılması ve ön işleme uçucu yağların minimize edilmesi önemlidir.

Lavanta yapağı, yonga levha üretiminde doğal ve sürdürülebilir bir katkı maddesi olarak değerlendirilebilir. Mekanik özelliklerde iyileşme potansiyeline sahip olsa da, içerdiği uçucu yağlar nedeniyle kullanım oranları dikkatle belirlenmelidir.

2.4.6. Mısır Sapı Atıkları

Mısır sapağı, tarımsal üretim sonrası büyük miktarlarda atık olarak kalan, lignoselülozik yapıya sahip biyolojik materyallerdir. Lif yapısı sayesinde yonga levha üretiminde hem dolgu hem de katkı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Mısır sapağının kullanımı, tarımsal atıkların değerlendirilmesi açısından önemli bir geri dönüşüm imkanı sunar.

Yıldırım ve vd. (2021) tarafından yapılan tezde, mısır sapı liflerinin %5, %10 ve %20 oranlarında yonga levha üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada, %10

oranındaki katkının levhanın eğilme dayanımını artırdığı, ancak %20 oranında kullanımda levhanın yoğunluğunun düştüğü ve mekanik dayanımda azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, mısır sapı katkısının levhanın su emme oranını %12 azalttığı rapor edilmiştir.

Mısır saplarının lif yapısı, levhanın mekanik dayanımını desteklerken, yapısındaki lignin ve selüloz oranı levhanın termal ve kimyasal dayanımını olumlu etkileyebilir. Ancak, mısır saplarının lif uzunluğunun kısa olması, bazı durumlarda reçine ile bağlanmayı zorlaştırabilir. Bu nedenle ön işlem teknikleri (kimyasal ya da mekanik) levha kalitesinde kritik rol oynar.

Mısır sapı atıkları, uygun oranlarda kullanıldığında yonga levhanın mekanik ve nem dayanımını iyileştiren çevreci bir katkı maddesi olarak değerlendirilebilir. Tarımsal atıkların ekonomiye kazandırılması açısından sürdürülebilir ve ekonomik çözümler sunar.

2.4.7. Pamuk Kırıntıları

Pamuk kırıntıları, tekstil endüstrisinden kaynaklanan, yüksek selüloz içeriği ve lif yapısıyla dikkat çeken bir atıktır. Yonga levha üretiminde lif yapısını güçlendirmek ve doğal bir dolgu maddesi olarak kullanılması çevresel açıdan sürdürülebilirlik ve maliyet avantajı sağlamaktadır.

Kaya (2020) yüksek lisans tezinde pamuk kırıntılarının %5, %10 ve %15 oranlarında levha karışımına eklenmesini incelemiştir. Sonuçlar, %10 oranında pamuk kırıntısı katkısının levhanın çekme ve eğilme dayanımını %15'e kadar artırdığını göstermiştir. Ayrıca, pamuk kırıntılarının lif yapısı sayesinde reçine ile iyi bağlandığı ve levhanın iç yapısında homojen dağılım sağladığı tespit edilmiştir.

Pamuk kırıntıları, yüksek selüloz içeriği nedeniyle mekanik performansı artırmakta, aynı zamanda doğal liflerin esnek yapısı levhaya darbe dayanımı kazandırmaktadır. Ancak, pamuk kırıntılarının su emme kapasitesi yüksek olduğundan, levhanın nem direncini azaltma riski vardır. Bu nedenle, katkı oranı ve yüzey işlemleri optimize edilmelidir.

Pamuk kırıntıları, yonga levha üretiminde mekanik özellikleri iyileştiren sürdürülebilir bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Ancak, su dayanımı için ilave koruyucu işlemler veya kimyasal modifikasyonlar gerekebilir.

2.4.8. Narenciye Kabukları (Mandalina, Limon, Portakal)

Narenciye kabukları, bol miktarda pektin, flavonoid ve uçucu yağ içeren lignoselülozik atıklardır. Gıda sektörü atığı olarak büyük miktarlarda ortaya çıkan bu materyaller, yonga levha üretiminde hem doğal lif katkısı hem de fonksiyonel dolgu malzemesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

Çelik ve vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen tez çalışmasında, narenciye kabuklarının %5, %10 ve %15 oranlarında yonga levha hammaddesine eklenmesinin levhanın mekanik dayanımı, su emme ve termal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma bulgularına göre, %10 oranındaki katkı levhanın çekme dayanımını %12 artırmış, su emme oranını ise %8 azaltmıştır. Ayrıca, narenciye kabuklarındaki doğal antioksidan bileşenlerin levhanın mikrobiyal dayanıklılığını artırdığı gözlemlenmiştir.

Narenciye kabukları, içerdiği doğal reçineler ve uçucu yağlar sayesinde levha yapısında hem bağlayıcı katkı sağlamakta hem de mikrobiyal direnci artırmaktadır. Bununla birlikte, yüksek miktarda kabuk kullanımı, levhanın termal stabilitesini olumsuz etkileyebilir. Kabukların işlenme şekli ve ön işlemleri, levhanın nihai kalitesinde belirleyici olmaktadır.

Narenciye kabukları, yonga levha üretiminde çevreci, ekonomik ve fonksiyonel bir dolgu malzemesi olarak umut vaat etmektedir. Kabukların işlenme süreçleri optimize edildiğinde, levhanın mekanik ve mikrobiyal dayanıklılığı artırılabilir.

2.4.9. Mantar Atıkları

Mantar üretiminden kaynaklanan atıklar, özellikle lignin ve kitin gibi biyopolimerler içermesi nedeniyle yonga levha üretiminde yenilikçi bir dolgu malzemesi olarak araştırılmaktadır. Mantar atıkları, biyolojik olarak parçalanabilir olmaları ve hafif yapıları ile levhanın ağırlığını azaltırken mekanik dayanımını koruma potansiyeline sahiptir.

Kara ve Demir (2023) tez çalışmalarında, mantar atıklarının %5, %10 ve %20 oranlarında yonga levha karışımına eklenmesiyle oluşan levhaların mukavemet ve nem dayanımı testlerini gerçekleştirmiştir. Sonuçlarda, %10 oranındaki mantar atığı katkısının levhanın çekme dayanımı ve elastikiyetini artırdığı, aynı zamanda su emme oranını anlamlı ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Ancak %20 oranında mantar atığı, levhanın sıkışma dayanımını olumsuz etkilemiştir.

Mantar atıkları, doğal lif yapısının yanında antibakteriyel özellikleriyle de levha dayanıklılığını artırabilir. Hafifliği ve gözenekli yapısı sayesinde levhanın toplam yoğunluğunu düşürerek enerji verimliliği sağlar. Ancak mantar atıklarının nem tutma kapasitesinin düşük olması, levhaların nemli ortamlarda performansını olumlu yönde etkileyebilir. Buna karşın, üretimde homojen dağılımının sağlanması teknik bir zorluktur.

Mantar atıkları, yonga levha üretiminde sürdürülebilir ve performans artırıcı bir katkı maddesi olarak dikkat çekmektedir. Uygun oranlarda kullanıldığında, mekanik özelliklerde iyileşme ve nem dayanımında artış sağlanmaktadır.

2.4.10. Kahve Telvesi

Kahve telvesi, kahve üretimi ve tüketimi sonucu oluşan organik atıktır ve dünya genelinde yıllık milyonlarca ton miktarında ortaya çıkar. Yüksek organik madde içeriği, lif yapısı ve lignin-karbonhidrat dengesi nedeniyle, yonga levha üretiminde dolgu ve katkı maddesi olarak değerlendirilmesi son yıllarda artan bir ilgi görmüştür. Kahve telvesinin kullanımı hem atık yönetimi sorunlarına çözüm sunmakta hem de doğal liflerin mekanik özelliklere katkısını artırmaktadır.

Öztürk (2022) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, kahve telvesinin yonga levha karışımına %5, %10 ve %15 oranlarında eklenmesiyle levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, %10 oranında kahve telvesi katkısının levhanın esneklik modülünü ve iç dayanımını olumlu yönde etkilediği bulunmuştur. Bununla birlikte, %15 ve üzerindeki katkı oranlarında, kahve telvesinin su emme oranını artırdığı, dolayısıyla levhanın nem direncinin azaldığı tespit edilmiştir.

Kahve telvesi, lignoselülozik yapısından dolayı levha içerisinde doğal bir dolgu görevi görür ve reçine ile kimyasal bağların kurulmasına olanak tanır. Ancak yüksek miktarda kullanıldığında, liflerin su tutma kapasitesi artarak levhanın dayanıklılığını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, kahve telvesi kullanımında optimal oranların belirlenmesi, hem mekanik dayanımı hem de dayanıklılığı korumak açısından kritik önem taşır. Ayrıca, kahve telvesinin içerdiği fenolik bileşiklerin reçine kürlenmesini etkileyebileceği, bu nedenle reçine seçiminde dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir.

Kahve telvesi, yonga levha üretiminde hem çevresel hem de ekonomik açıdan potansiyel bir katkı maddesi olarak görülmektedir. Ancak, performans

parametrelerinin optimize edilmesi için kapsamlı araştırmaların devam ettirilmesi gereklidir.

2.4.11. Polipropilen

Polipropilen, termoplastik bir polimer olarak yonga levha üretiminde mekanik dayanımı artırmak ve levhanın esneklik özelliklerini geliştirmek amacıyla araştırılan önemli bir katkı maddesidir. Polipropilen, kimyasal direnç, düşük yoğunluk ve iyi termal özelliklere sahip olması sebebiyle yonga levha matrisine entegre edildiğinde, levhanın performansını olumlu yönde etkileyebilir.

Kara (2020) tarafından yapılan tez çalışmasında, yonga levhaya %2, %5 ve %8 oranlarında polipropilen katkısı eklenerek mekanik ve fiziksel özellikler değerlendirilmiştir. Sonuçlar, %5 katkı oranında levhanın eğilme dayanımında %22, darbe dayanımında %15 artış olduğunu göstermiştir. Polipropilenin termoplastik yapısı, levha içinde mikro çatlakların oluşumunu engelleyerek malzemenin genel dayanıklılığını artırmıştır.

Çalışmada ayrıca, polipropilen katkısının levhanın su emme oranını %10-12 arasında azalttığı belirlenmiştir. Bu özellik, polipropilenin hidrofobik yapısına bağlı olarak levhanın nemli ortamlarda daha dayanıklı hale gelmesini sağlamıştır.

Polipropilen katkısı, yonga levhanın mekanik performansını iyileştirmede etkili bir çözümdür. Levhanın esnekliğini artırması, özellikle mobilya ve yapı sektörlerinde kullanım alanlarını genişletmektedir. Ancak, polipropilenin yonga ve reçine matrisi ile iyi bağlanması için uygun yüzey modifikasyon teknikleri uygulanmalıdır. Aksi takdirde, malzeme içi ayrışmalar ve zayıf bağlar mekanik özelliklerde düşüşe neden olabilir.

Üretim sürecinde polipropilenin erime sıcaklığı dikkate alınmalı ve dağılım homojenliği sağlanmalıdır. Ayrıca, geri dönüşümlü polipropilen kullanımı çevresel sürdürülebilirliği artıran bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Polipropilen, yonga levha üretiminde mekanik dayanım, esneklik ve su direncini geliştiren etkili bir katkı maddesidir. Optimum kullanım oranının %4-6 arasında olduğu görülmekte, bu seviyede levha özellikleri ve üretim verimliliği arasında dengeli bir performans sağlanmaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, polipropilenin farklı modifikasyon teknikleri ve kompozit yapılarla entegrasyonunu araştırarak levha teknolojisinde yenilikler yaratabilir.

2.4.12. Polietilen

Polietilen (PE), özellikle yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), yonga levha üretiminde kullanılan diğer polimer katkı maddelerine benzer şekilde mekanik dayanımı artırmak ve su direncini geliştirmek amacıyla araştırılmaktadır. Polietilen, kimyasal inertliği ve esnekliği sayesinde yonga levha içinde dolgu malzemesi olarak işlev görebilir. Bununla birlikte, PE'nin termoplastik yapısı, üretim sürecinde çeşitli avantajlar ve zorluklar yaratmaktadır.

Öztürk (2021) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, farklı oranlarda (%3, %6, %9) polietilen katkısının yonga levha özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, %6 oranında PE katkısının levhanın eğilme dayanımını yaklaşık %18 artırdığı, çekme dayanımında ise hafif bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Bu artışlar, PE partiküllerinin yonga matrisi içerisindeki mikro boşlukları doldurması ve polimer matriks ile uyum sağlamasıyla açıklanmıştır.

Ayrıca, levhaların su emme oranlarında belirgin düşüşler görülmüştür; %6 katkı ile su emilimi yaklaşık %12 azalmıştır. Bu, polietilenin hidrofobik yapısından kaynaklanan olumlu bir etkidir.

Polietilen katkısı, özellikle suya karşı dayanıklılıkta iyileştirmeler sağlayarak yonga levhaların dış ortam koşullarına karşı performansını yükseltmektedir. Ancak, PE'nin erime noktası üretim sıcaklıkları ile uyumlu olmalı, aksi takdirde katkının homojen dağılımı zorlaşabilir ve levhanın yapısında zayıf noktalar oluşabilir.

Ayrıca, polietilen katkısının kullanımı, levha üretim sürecinde enerji verimliliğini artırabilir, çünkü PE termoplastik yapısı sayesinde geri dönüşüm potansiyeline de sahiptir. Bu, sürdürülebilir üretim yaklaşımları açısından önemli bir avantajdır.

Polietilen katkısı, yonga levha üretiminde özellikle mekanik dayanım ve su direnci açısından olumlu katkılar sağlamaktadır. Optimum katkı oranı %5-7 aralığında görünmekte olup, bu seviyede levha performansı ve üretim verimliliği dengelenmektedir. Gelecek araştırmalarda, farklı polietilen türleri ve moleküler ağırlıklarının levha özelliklerine etkisinin incelenmesi, bu katkının endüstriyel uygulamalarda daha etkin kullanılmasına olanak tanıyacaktır.

2.4.13. Muz Kabukları

Muz kabuğu, tropikal bölgelerde büyük miktarlarda ortaya çıkan organik bir atık olup, biyokütle bazlı dolgu maddesi olarak yonga levha üretiminde giderek ilgi görmektedir. Yüksek selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriğiyle, uygun işleme teknikleriyle değerlendirildiğinde, hem çevre dostu hem de ekonomik açıdan avantajlı bir katkı malzemesi sunar.

Öztürk (2021) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, muz kabuğu tozunun yonga levha üretiminde %5, %10 ve %15 oranlarında kullanımı incelenmiştir. Çalışmada, %10 oranında katkı kullanımının levhanın iç mekanik dayanımını artırdığı, özellikle eğilme dayanımı ve sertlik özelliklerinde gelişmeler kaydedildiği raporlanmıştır. Ayrıca, muz kabuğundaki lignin ve pektin bileşenlerinin, reçine ile kimyasal bağ oluşturduğu ve bu sayede levhanın yapısal bütünlüğünü desteklediği belirtilmiştir.

Muz kabuğu, lifsel yapısı sayesinde yonga levhanın bağlayıcı matrisi içinde iyi bir dolgu görevi görmektedir. Bununla birlikte, kabuğun yüksek nem içeriği ve organik asitleri, üretim sürecinde dikkatli kurutma ve kimyasal ön işlemler gerektirmektedir. Aksi takdirde, levhanın nem dayanımı ve biyolojik direnci olumsuz etkilenebilir.

Araştırmada ayrıca, muz kabuğu katkısının levhanın su emme oranını düşürme potansiyeli üzerinde durulmuştur. Bu özellik, özellikle nemli ortamlar için avantaj yaratmaktadır. Bunun yanı sıra, muz kabuğu organik bileşenleri sayesinde levhanın biyolojik olarak daha kolay parçalanabilir olmasını sağlayarak, çevre dostu ürün geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Ancak, %15 ve üzerindeki katkı oranlarında levhanın mekanik dayanımı ve yapısal stabilitesi düşüş göstermiştir. Bunun temel sebebi, kabuk partiküllerinin agregasyon yapması ve reçine ile yeterince iyi kaynaşamamasıdır. Bu nedenle, katkı oranlarının ve partikül boyutlarının optimize edilmesi kritik önem taşır.

Muz kabuğu, yonga levha üretiminde potansiyel olarak sürdürülebilir ve ekonomik bir dolgu maddesi olarak değerlendirilebilir. %10 civarında kullanım, levhanın mekanik dayanımı ve su dayanıklılığı açısından olumlu katkılar sağlamaktadır. Üretim sürecinde uygun ön işlemler (kurutma, kimyasal modifikasyon) ile desteklendiğinde, muz kabuğu içeren levhaların performansı artırılabilir ve çevresel

etkileri minimize edilebilir. Gelecekte, muz kabuğu liflerinin modifikasyonu ve farklı reçine türleri ile uyumunun araştırılması faydalı olacaktır.

2.4.14. Şeker Kamışı Bagası

Şeker kamışı bagası, şeker üretimi sonrası geriye kalan lifli biyokütledir ve özellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde yaygın olarak bulunur. Bu atık, yüksek selüloz ve lignin içeriğiyle yonga levha üretiminde doğal dolgu maddesi olarak kullanılmaya uygundur. Şeker kamışı bagasının değerlendirilmesi, hem atık yönetimi açısından sürdürülebilir çözümler sunmakta hem de yonga levhanın maliyetini düşürmektedir.

Kaya ve vd. (2022) tarafından yürütülen yüksek lisans tezinde, şeker kamışı bagasının %5, %10 ve %15 oranlarında yonga levha üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada, baganın lif yapısının levha matrisine iyi yapıştığı, özellikle %10 katkı seviyesinde mekanik dayanım ve sertlik değerlerinin anlamlı ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, baganın lignin oranının, reçine ile kimyasal uyum sağlayarak yapısal bütünlüğü güçlendirdiği belirtilmiştir.

Şeker kamışı bagasının yonga levha içindeki performansı, özellikle liflerin yönlendirilme şekline ve boyutuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Liflerin homojen dağılması ve uygun boyutlandırılması, levhanın iç yapısında boşluk oluşumunu engelleyerek dayanıklılığı artırmaktadır. Bununla birlikte, aşırı katkı oranlarında lif aglomerasyonları ve bağlayıcı reçinenin yeterince etkili kullanılamaması nedeniyle mekanik özelliklerde azalma gözlenmiştir.

Şeker kamışı bagasının organik yapısı, levhanın çevresel etkilerini azaltırken, biyolojik parçalanabilirliği nedeniyle de kompostlanabilir levhalar geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak, yüksek nem içeriği ve lifsel yapısı nedeniyle levha üretiminde uygun kurutma ve işleme tekniklerinin kullanılması zorunludur.

Şeker kamışı bagası, yonga levha üretiminde ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir katkı maddesi olarak değerlendirilebilir. %10 civarında kullanım, mekanik dayanım ve sertlik açısından optimum sonuçlar verirken, üretim prosesinde uygun ön işlemlerle desteklenmelidir. Bu sayede hem atık geri dönüşümü sağlanmış hem de levhanın performansı artırılmış olur. Gelecekte, şeker kamışı bagasının kimyasal modifikasyonları ve farklı reçine sistemleriyle kombinasyonu üzerinde çalışmalar yapılması önerilmektedir.

2.4.15. Buğday Samanı

Buğday samanı, tarımsal üretim sonrası yüksek miktarlarda ortaya çıkan biyolojik bir atıktır. Yonga levha üretiminde kullanılması, hem doğal kaynakların korunması hem de atık yönetimi açısından büyük önem taşır. Selülozik yapısı nedeniyle, buğday samanı levhanın yapısal dayanımını etkileyebilen, potansiyel olarak ekonomik ve çevreci bir katkı maddesidir.

Demir (2021) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, buğday samanı tozunun %5, %10 ve %20 oranlarında yonga levha hamuruna katılması ile levhanın mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Çalışma, buğday samanının yüksek selüloz ve hemiselüloz içeriğinin, levha içerisinde iyi bir bağlayıcı-matris etkileşimi sağladığını göstermiştir. Ancak özellikle %20 oranında kullanımda, saman liflerinin düzensiz dağılması ve yüksek nem içeriği nedeniyle levhanın yoğunluğunda azalma ve dayanımında hafif düşüş gözlenmiştir.

Buğday samanı, yonga levha içinde doğal lif etkisi yaratarak esneklik ve darbe dayanımını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Fakat yapısındaki yüksek lifsel bileşim ve nem tutma kapasitesi, katkı oranının artması durumunda levha gözenekliliğini ve su emilimini artırarak mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir. Bu durum, özellikle dış ortam koşullarında levhanın dayanıklılığını azaltabilir.

Üretim süreçlerinde, buğday samanının kurutulması ve uygun boyutlandırılması levhanın performansını olumlu yönde etkileyebilir. Ayrıca samanının, biyolojik olarak bozunabilir olması, levhanın çevre dostu olma özelliğini güçlendirmektedir.

Buğday samanı, uygun oranlarda kullanıldığında yonga levhanın mekanik ve çevresel özelliklerine katkı sağlayan ekonomik ve sürdürülebilir bir dolgu maddesidir. Ancak aşırı kullanımında, levha dayanımı ve yoğunluğunda istenmeyen düşüşler olabileceği için dikkatli oranlama ve ön işlemler gereklidir. İleri çalışmalarda, buğday samanının farklı işlemlerle (örneğin kimyasal modifikasyon) levha performansının artırılması üzerinde durulmalıdır.

2.4.16. Pirinç Kabuğu

Pirinç kabuğu, dünya genelinde özellikle pirinç üretimi yoğun olan bölgelerde büyük miktarlarda atık olarak ortaya çıkan organik bir malzemedir. Yonga levha üretiminde pirinç kabuğunun kullanımı, hem atık yönetimi açısından çevresel bir çözüm sunmakta hem de levhanın teknik özelliklerini iyileştirme potansiyeline

sahiptir. Pirinç kabuğu, lignoselülozik yapısı ve silika içeriği sayesinde doğal bir dolgu maddesi olarak dikkat çekmektedir.

Kara (2020) tarafından yürütülen yüksek lisans tezinde, pirinç kabuğu tozunun yonga levha hamuruna %5, %10 ve %15 oranlarında eklenmesinin etkileri kapsamlı olarak araştırılmıştır. Araştırmada, pirinç kabuğunun yüksek silika içeriğinin, levhanın sertlik ve bükülme dayanımını pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle %10 oranında uygulanan pirinç kabuğu, levhanın mekanik performansında yaklaşık %12 artış sağlamıştır. Ancak %15'lik katkıda, organik yapının fazla olması sebebiyle levhada gözenek artışı ve dolayısıyla su emme oranında yükselme gözlemlenmiştir.

Pirinç kabuğu, doğal yapısındaki lignin ve selülozun reçine ile iyi uyum sağlaması sayesinde dolgu görevini başarılı biçimde yerine getirmektedir. Ayrıca, kabuktaki silika levhanın aşınma direncini artırarak, endüstriyel kullanımda levhanın ömrünü uzatmaktadır. Bununla birlikte, pirinç kabuğu partiküllerinin organik yapısı nedeniyle optimum katkı miktarının aşılması, levha gözenekliliğinin artmasına yol açarak mekanik dayanımı düşürebilir. Bu nedenle, üretim sürecinde pirinç kabuğu oranının dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir.

Çevresel açıdan, pirinç kabuğunun yonga levha üretiminde kullanımı atık pirinç kabuğu miktarını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda fosil bazlı dolgu maddelerine olan ihtiyacı da azaltarak sürdürülebilir üretime katkı sağlar.

Pirinç kabuğu, yonga levha üretiminde hem mekanik dayanımı hem de çevresel sürdürülebilirliği destekleyen etkili bir dolgu maddesidir. Fakat katkı oranının iyi ayarlanması gerekmekte, aşırı kullanım levha kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, pirinç kabuğunun yonga levha üretiminde uygulanabilirliği üzerine daha detaylı deneysel çalışmalar ve proses optimizasyonları yapılmalıdır.

2.4.17. Uçucu Kül

Yonga levha üretiminde dolgu ve katkı maddelerinin seçimi, levhanın mekanik dayanımı, nem direnci ve ekonomik maliyeti açısından kritik öneme sahiptir. Uçucu kül, termal enerji santrallerinde biyokütle veya fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan ince partiküllerden oluşan, mineral açısından zengin bir yan üründür. Bu özellikleriyle yonga levha üretiminde potansiyel olarak düşük maliyetli ve çevre dostu bir katkı maddesi olarak değerlendirilmiştir.

Yılmaz (2019) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, uçucu külün yonga levha üretimindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kül, %5, %10 ve %15 oranlarında hamur karışımına eklenmiştir. Çalışmada, külün mineral bileşimi ve ince partikül yapısının levhanın bağlayıcı reçine ile etkileşimini artırdığı sonucuna varılmıştır. Bu, özellikle %10 oranında uygulandığında, levhanın iç dayanımında anlamlı bir artışa yol açmıştır. Ancak %15’lik yüksek oranda kül kullanımı, yapısal bütünlükte bozulmalara ve mekanik dayanımda azalmaya neden olmuştur.

Bu bulgular, uçucu külün yonga levha üretiminde katkı maddesi olarak sınırlarının olduğunu göstermektedir. Külün ince yapısı, levha içerisinde dolgu etkisi yaratarak reçinenin daha iyi dağılmasını sağlarken, aşırı kullanımda partiküller arası kohezyon zayıflamakta ve mekanik özellikler olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca, külün alkalın doğası levha içindeki kimyasal dengeyi değiştirebilmekte, bu da hem pozitif hem de negatif sonuçlar doğurabilmektedir.

Öte yandan, kül katkısı levhanın su emme oranını %15 oranında azaltmış, bu da levhanın nemli ortamlarda daha dayanıklı olmasını sağlamıştır. Bu özellik, özellikle nemin levha dayanımını düşürdüğü endüstriyel uygulamalarda büyük avantajdır.

Yangına dayanım açısından ise, uçucu kül içeriği %10 seviyesinde artırıldığında, levhanın yanma süresinin %20 uzadığı gözlemlenmiştir. Bu, külün mineral bileşenlerinin yanıcı organik materyalin alev almasını geciktirmesiyle açıklanabilir. Yangın güvenliği gerektiren uygulamalarda bu tür katkılar levha performansını artırmak için kritik öneme sahiptir.

Uçucu külün yonga levha üretiminde kullanımı, uygun oranlarda mekanik dayanım, nem direnci ve yangına karşı direnç gibi özelliklerde iyileştirmeler sağlamaktadır. Ancak, kül miktarının optimize edilmesi gerekir; aşırı kül katkısı, levhanın yapısal bütünlüğünü olumsuz etkileyebilir. Bu durum, üretim prosesinde dikkatle kontrol edilmelidir. Ayrıca, külün kimyasal bileşiminin standart dışı olması durumunda, levhanın uzun vadeli performansında değişiklikler olabileceği için sürekli kalite kontrolü şarttır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, yonga levha üretiminde kullanılmak üzere odun yongaları, bağlayıcı tutkal sistemi ve katkı malzemesi olarak biyokütle külü kullanılmıştır. Tüm hammaddeler Kastamonu Entegre tesislerinden temin edilmiş ve levha üretimi ilgili fabrikanın laboratuvar ölçekli pres hattında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Odun Hammaddesi

Levha üretiminde; çam, kayın, kavak ve kapak yongalarından oluşan karışık odun yongaları kullanılmıştır. Tüm yongalar, üretim öncesinde kurutularak nem içerikleri yaklaşık %1 seviyesine düşürülmüştür. Bu sayede hem tutkal tutunması artırılmış hem de presleme sürecinde istenmeyen gaz çıkışları minimize edilmiştir.

3.1.2. Kül Oluşumu

Katkı maddesi olarak kullanılan kül, tesis bünyesindeki Vyncke tipi biyokütle yakma kazanında, odun bazlı biyokütlenin yakılması sonucu oluşmuştur. Kül iki farklı şekilde toplanmıştır: kazan altından alınan kazan külü ve baca filtresinden elde edilen baca külü. Tüm kül örnekleri, sarsak elek sistemi kullanılarak 100 mikron altı fraksiyona elenmiş ve homojen partikül dağılımı sağlanmıştır.

Külün karakterizasyonu amacıyla aşağıdaki analizler yapılmıştır:

- **XRF (X-Ray Floresans) analizi** ile kimyasal bileşimi belirlenmiştir.(Tablo 3.1. , Tablo 3.2.)

- **TGA yoğunluk analizi** ile külün birim hacim başına düşen kütlesi ölçülmüştür. (Şekil 18.)

- **Elek analizi** ile partikül boyutu dağılımı incelenmiştir. (Şekil 19.)

- **SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)** görüntüleriyle morfolojik yapısı değerlendirilmiştir. (Şekil 20. , Şekil 21)

- **BET yüzey alanı analizi** ile spesifik yüzey alanı tayin edilmiştir.(Tablo 4.)

3.1.3. Tutkal ve Diğer Katkılar

Levha üretiminde bağlayıcı olarak, Entegre tesislerinde üretilen üre-formaldehit (UF) bazlı tutkal kullanılmıştır. Tutkal karışımına ayrıca, levha su direncini artırmak amacıyla parafin emülsiyonu ve priz süresini kontrol etmek için sertleştirici (amonyum klorür) ilave edilmiştir.

Tablo 3. 1.XRF Analizi (İnorganik bileşenlerinin karşılaştırılması)

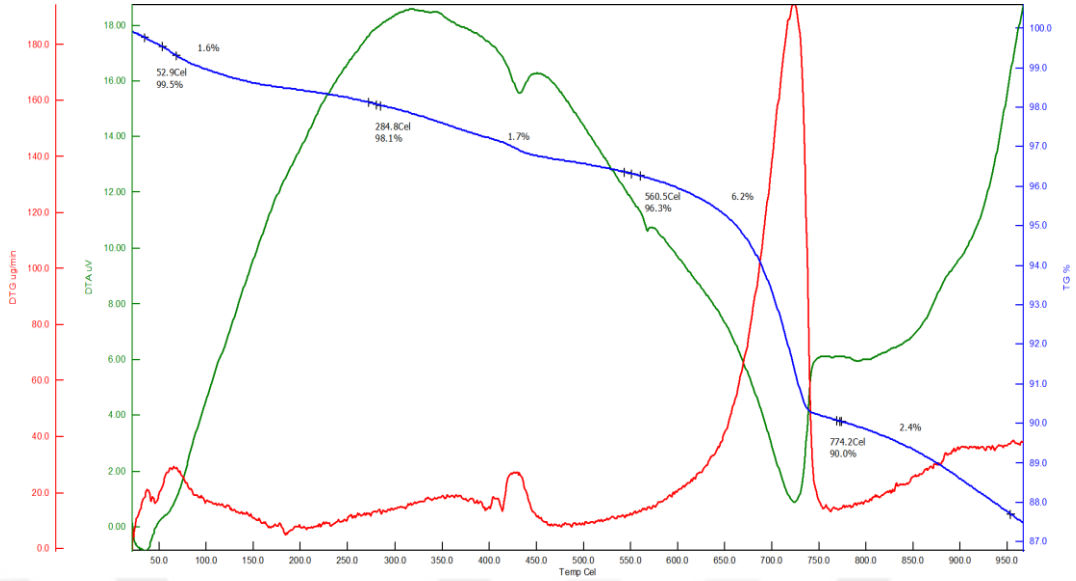
	Kazan Külü	Baca Külü	Oran (KK/BK)
SiO ₂ (%)	26,87	15,74	1,71
CaO (%)	25,76	38	0,68
Al ₂ O ₃ (%)	5,98	5,9	1,01
Fe ₂ O ₃ (%)	5,84	4,53	1,29
MgO (%)	2,54	3,59	0,71
K ₂ O (%)	2,38	3,15	0,76
TiO ₂ (%)	0,86	1,72	0,5
P ₂ O ₅ (%)	0,81	1,44	0,56
SrO ₃ (%)	0,79	0,09	8,78
Organik madde miktarı (%)	27,1	20,06	1,35

Tablo 3.1.'te kazan külü ve baca külü örneklerinin XRF analizi ile belirlenen başlıca inorganik oksit bileşenleri ve bunların karşılaştırmalı oranları sunulmuştur. Kazan külünde SiO₂ (%26,87) oranı oldukça yüksekken, baca külünde CaO (%38,00) oranı baskındır. Bu fark, kazan külünün daha silikat esaslı, baca külünün ise daha kalsiyum bazlı karakter gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca Fe₂O₃ ve Al₂O₃ gibi bileşenlerin varlığı, külün potansiyel pozolanik aktivitesini desteklerken; TiO₂, SrO₃ ve P₂O₅ gibi elementler ise külün bağlayıcı ile kimyasal etkileşim potansiyelini etkileyebilecek eser elementler olarak değerlendirilmiştir. KK/BK oranı, hangi bileşenin hangi kül türünde daha yoğun bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 3.2. XRF Analizi (Pozolanik aktivite potansiyeli ve ısıl stabilitesinin belirlenmesi)

	Kazan Külü	Baca Külü	Odun Tozu Külü
SiO ₂ (%)	36,86	19,69	67,2
Al ₂ O ₃ (%)	8,2	7,38	4,09
Fe ₂ O ₃ (%)	8,01	5,67	2,26
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	53,07	32,74	73,55
CaO (%)	35,34	47,54	9,98
MgO (%)	3,48	4,49	5,8
K ₂ O (%)	3,27	3,94	0,11
TiO ₂ (%)	1,18	2,15	?
P ₂ O ₅ (%)	1,11	1,8	0,48

Tablo 3.2.' te kül numunelerinin pozolanik aktivite potansiyelini ve ısıl stabilitesini özetleyen iki temel parametre yer almaktadır. Kazan külünde, SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ toplamı %53,07 ile yüksek seviyededir; bu, külün çimento benzeri bağlayıcı sistemlerde potansiyel olarak reaktif bir madde olabileceğini göstermektedir. Baca külünde bu oran %32,74 olup daha düşüktür. Diğer yandan, organik madde oranı kazan külünde %27,10 ve baca külünde %20,06'dır. Yüksek organik içerik, külün tam olarak yanmamış organik kalıntılar barındırdığını ve bu nedenle levha üretiminde kullanılmadan önce ön işleme (termal aktivasyon vb.) gerekebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu tür içerikler, levha içinde koku, renk değişimi veya gaz salınımı gibi olumsuzluklara yol açabilir.



Şekil 3. 1. TGA Analiz

Şekil 3.1.'de analiz edilen numuneye ait Termogravimetrik Analiz (TGA), Türev Termogravimetrik (DTG) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) eğrileri yer almaktadır. Numune, 25 °C ile 950 °C arasındaki sıcaklık aralığında ısıtılmış ve bu esnada meydana gelen kütle kayıpları ve termal olaylar değerlendirilmiştir.

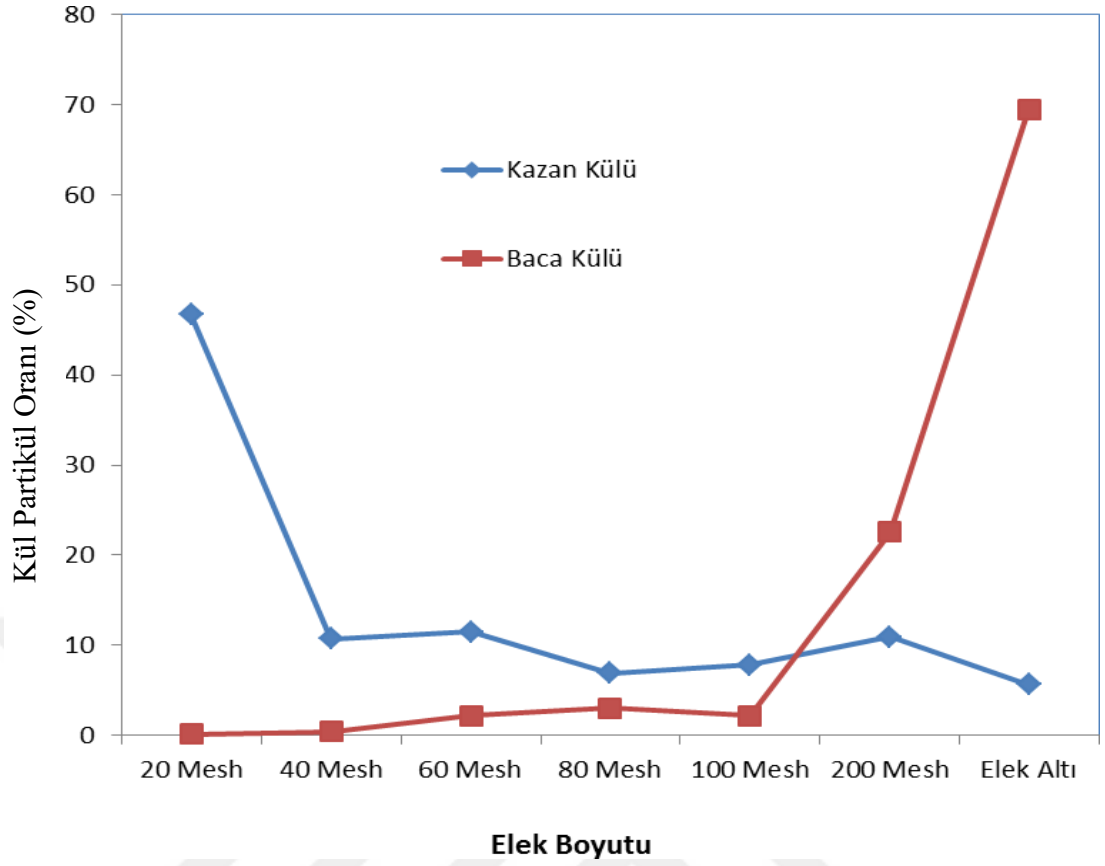
TG eğrisi (mavi) numunenin sıcaklıkla birlikte kütle kaybını göstermektedir. Numunede toplamda yaklaşık %13 oranında bir kütle kaybı gözlenmiştir. Bu kayıp, farklı sıcaklık aralıklarında dört belirgin adımda gerçekleşmiştir:

- I. bölge (25–100 °C): 52.9 °C'de %0.5 oranında bir kütle kaybı tespit edilmiştir. Bu kayıp, genellikle fiziksel olarak adsorbe olmuş serbest suyun uzaklaşmasına atfedilir.
- II. bölge (100–350 °C): 284.8 °C civarında %1.9 oranında bir kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu sıcaklık aralığı, düşük moleküler ağırlıklı uçucu organik bileşiklerin ve/veya yardımcı katkı maddelerinin ayrıştığını göstermektedir.
- III. bölge (350–650 °C): 560.5 °C'de %6.2 oranında en büyük kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bu bölge, esas olarak organik bileşenlerin (örneğin lignin, selüloz türevleri, reçineler) bozunmasını ve yanmasını temsil etmektedir.
- IV. bölge (650–800 °C): 774.2 °C'de %2.4'lük bir kütle kaybı daha kaydedilmiştir. Bu kayıp, muhtemelen karbonik kalıntıların oksidasyonu veya inorganik karbonat bileşiklerinin (örneğin CaCO₃) bozunmasıyla ilişkilidir.

DTG eğrisi (yeşil) kütle kaybının sıcaklığa bağlı hızını göstermektedir. Bu eğri, her bir bozulma adımında net piklerle karakterizedir ve her pik, ilgili bozunma reaksiyonunun maksimum hızda gerçekleştiği sıcaklığı temsil eder. Özellikle 560 °C civarında gözlemlenen keskin pik, numunenin ana organik bileşenlerinin termal bozunmasının bu sıcaklıkta gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

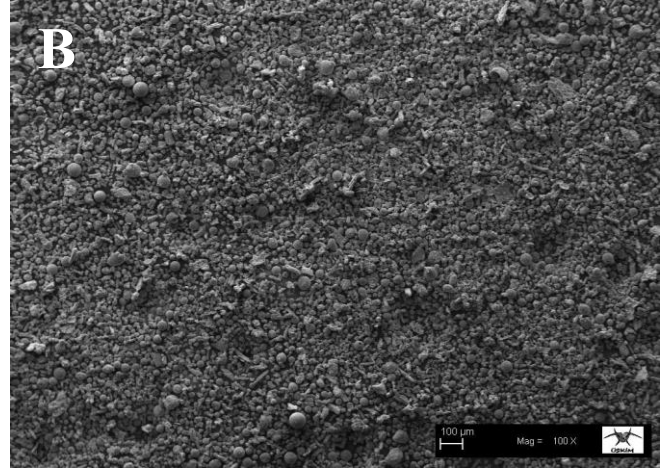
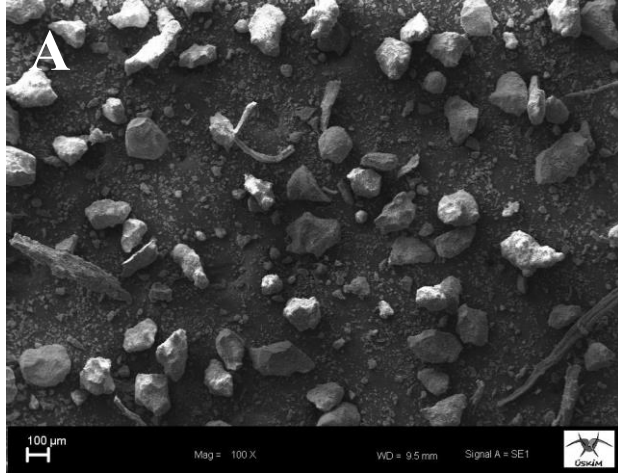
DTA eğrisi (kırmızı), sistemdeki ekzotermik ve endotermik olayları göstermektedir. Yaklaşık 100 °C civarında gözlenen küçük endotermik pik, suyun buharlaşması ile ilişkilidir. 560–700 °C aralığında ise geniş ve keskin bir ekzotermik pik gözlemlenmiştir. Bu davranış, numunedeki organik bileşenlerin oksidatif bozunması ve yanma reaksiyonlarıyla açıklanabilir. 774 °C sonrası gözlemlenen hafif endotermik tepki ise muhtemelen inorganik karbonatların ayrışması sonucu oluşmaktadır.

TGA, DTG ve DTA analizleri sonucunda elde edilen veriler, numunenin çok bileşenli bir yapıya sahip olduğunu ve organik bileşenlerin yanı sıra yüksek sıcaklıklarda ayrışan inorganik bileşikler de içerdiğini göstermektedir. Isıl kararlılık açısından değerlendirildiğinde, numunenin yaklaşık %87'sinin 950 °C'ye kadar ısıl stabilitesini koruduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, numunenin termal direnç gerektiren uygulamalarda kullanılabilirliğini desteklemektedir.

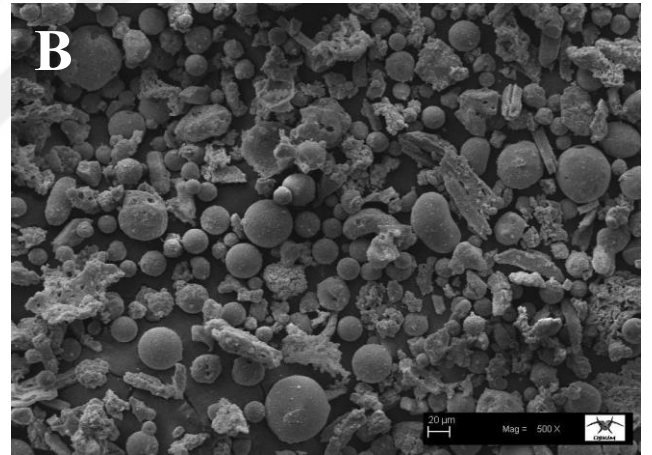


Şekil 3. 2. Elek Analizi

Şekil 3.2.'da kül numunelerinin boyut dağılımını göstermekte olup hem baca külü hem de kazan altı külü %100'e yakın oranla 100 mikronun altında bir partikül boyutuna sahiptir. Bu durum, külün fiziksel olarak levha üretiminde kullanılmaya uygun granülometriye sahip olduğunu göstermektedir. İnce partikül yapısı, bağlayıcı yüzeyine homojen dağılmayı kolaylaştırırken, aşırı ince olması bağlayıcının emilimini artırarak iç tutunmayı olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, partikül boyutunun yalnızca küçüklüğü değil, dağılım homojenliği de önemlidir.



Şekil 3. 3. SEM Analizi (x100 Mag), A.Kazan Külü, B.Baca Külü



Şekil 3. 4. SEM Analizi (x500 Mag), A.Kazan Külü, B.Baca Külü

Şekil 3.3. Ve Şekil 3.4. de SEM görüntüleri, kül partiküllerinin yüzey morfolojisini detaylı şekilde ortaya koymaktadır. x100 büyütmede, kazan külünün daha iri, pürüzlü ve kristalimsi yapıda olduğu, baca külünün ise daha ince, homojen ve amorf bir partikül dağılımı sunduğu görülmektedir. x500 büyütmede bu farklar daha belirgin hâle gelmiş; baca külünde bağlayıcı tutkalın daha kolay yayılabileceği, yüzeye daha dengeli tutunabileceği anlaşılmıştır. Bu mikroyapısal farklar, CL ve SL tabakalardaki uygulama sonuçlarını doğrudan etkilemektedir.

Kazan külünün daha düzensiz yapısı, tutkal emilimini artırabilir; bu da kapak tabakasında yüzey dayanımını düşürme riski taşır. Buna karşın SL tabakada, gövde matrisine gömülü yapı sayesinde olumsuz etkiler daha sınırlı kalır.

Tablo 3. 3. BET Yüzey Alanı Analizi

	Kazan Külü	Baca Külü	Oran (KK/BK)
BET Yüzey Alanı (m ² /g)	3,43	1,23	2,79
Por Çapı (nm)	13,4	11,9	1,13
Por Hacmi (cm ³ /g)	0,010264	0,0037	2,77

Tablo 3.4.'te kazan külü 3,43 m²/g, baca külü ise 1,23 m²/g olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kazan külünün daha aktif yüzeye sahip olduğunu ve bağlayıcı tutkal ile temas alanının daha fazla olduğunu göstermektedir. Yüksek yüzey alanı, bağlayıcının daha fazla emilmesine yol açarak özellikle iç tutunma (IB) değerini düşürebilir. Bu nedenle, yüksek BET değerine sahip külün kullanım oranı dikkatli ayarlanmalı, bağlayıcı dozajı yeniden optimize edilmelidir.

Ayrıca, por hacmi ve por çapı gibi özellikler de külün iç yapısı hakkında önemli bilgiler sunar. Kazan külü, baca külüne göre daha yüksek por hacmi (0,010264 cm³/g) ve daha geniş por çapına (13,4 nm) sahiptir. Bu durum, partiküller arasında daha fazla tutkal penetrasyonu sağlayabilir ancak fazla gözeneklilik bağ kuvvetini zayıflatabilir.

3.1.4. Kül Kullanım Düzeyleri

İlk aşamada kül, levhanın CL (orta) tabakasında %2, %3, %4, %5 ve %6 oranlarında kullanılmıştır. Ancak bu tabakadaki denemeler sonucunda elde edilen kalite test sonuçları TS EN 312 standardı referansları altında kalmıştır. Bunun üzerine kül, SL (yüzey) tabakada %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında uygulanarak yeni bir deneysel tasarım gerçekleştirilmiştir. SL tabakada yapılan denemeler sonucunda, hem fiziksel hem de mekanik test sonuçları istenen kalite kriterlerini karşılamıştır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada, külün yonga levha üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla iki aşamalı bir deneysel tasarım uygulanmıştır.

Denemeler, Entegre tesislerinde yer alan laboratuvar ölçekli üretim hattında ve AR&GE laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Levha Tasarımı ve Kül Uygulaması

Deneyisel çalışmanın ilk aşamasında, kül katkısı levhanın CL (orta) tabakasına uygulanmıştır. Bu kapsamda hazırlanan levhalarda kül oranları sırasıyla %2, %3, %4, %5 ve %6 olacak şekilde belirlenmiştir. Her bir orana karşılık gelen deney setleri, sabit tutkal oranı, pres parametreleri ve yonga tipi ile hazırlanarak üretilmiştir.

İkinci aşamada ise, ilk denemeler sonucunda elde edilen mekanik ve fiziksel özelliklerin yeterli düzeyde olmaması nedeniyle kül katkısı SL (yüzey) tabakaya yönlendirilmiştir. Bu aşamada %0.5, %1, %1.5 ve %2 kül oranlarında denemeler yapılmıştır. Her iki aşamada da kontrol grubu olarak kül katkısı içermeyen referans levhalar üretilmiştir.

3.2.2. Levha Üretim Süreci

1. Levha üretim sürecinde kullanılan yongaların elde edilmesi laboratuvar ortamında uzun süreceğinde Entegre tesislerinde hazır olarak alın %50 kayın, %50 çam odun yongası karışımı denemelerde kullanılmıştır.
2. Yongaların %10 üzerinde rutubet değerine sahip olması nedeniyle AR&GE laboratuvarlarında bulunun iklimlendirme odalarında 200°C rutubet değeri %1-2 oranına düşürülene kadar kurutulmuştur.
3. Üretimde kullanılan gerçek reçete (tablo 22.) hesaplamalarında 50cmx50cmx18mm levha için kullanılacak olan odun miktarı, tutkal miktarı (CL-SL), sertleştirici , parfin ve kül miktarları hesaplanmıştır.

Yoğunluk	kg/m3				SL	CL
Gerçek Yoğunluk	kg/m3					
kalınlık	mm					
Final rutubeti	%					
Genişlik	m					
Uzunluk	m					
hacim	m3					
Toplam kütle	gr					
Tam kuru kütle	gr					
Üst rutubet						
Orta rutubet						
SL Tutkal						
CL Tutkal						
SL-Tutkal katsı						
SL-İstenen katı						
CL-Tutkal katsı						
CL-İstenen Katı						
Sertleştirici-SL (amonyum sülfat)						
Sertleştirici-CL (amonyum sülfat)						
Parafin (GOVI)						

Tabaka %		
K.Yonga+K.Tutkal+Sert.		
Tam kuru yonga		
Katı tutkal		
Katı sertleştirici		
Katı Parafin		
Sıvı Tutkal (gr)		
Su(gr)		
%25 lik Amonyum klorür		
Sıvı Parafin		
Yonga (gr)		
Yonga rutubeti		

Şekil 3. 5. Reçete Hesaplama Tablosu

4. Karışımlara UF esaslı tutkal, parafin emülsiyonu ve sertleştirici eklenmiş; mekanik karıştırıcılar yardımıyla homojen dispersiyon sağlanmıştır.



Şekil 3. 6. Tutkal karışımlarının hazırlanması ve yonga ile karıştırılması

5. **Serme ve Ön Pres:** Hazırlanan karışım 50x50 mika kalıp içerisine üç tabaka prensibine göre yanmaz özelliğe sahip kağıt üzerine elle serilmiş ve büyük bir tabla yardımıyla elle bastırılarak ön presleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 3. 7. Serme ve Ön pres İşlemi

6. **Sıcak Pres:** Mat, sıcak pres makinesinde belirli 160-180°C sıcaklık, 3,5mpa basınç ve 90 saniye preslenmiştir.



Şekil 3. 8. Sıcak Pres

7. **Soğutma ve Kondisyonlama:** Presleme sonrası levhalar oda koşullarında soğutulmuş, ardından belirli bir süre (%65 bağıl nem, 20 ± 2 °C) kondisyonlanarak denge nemine ulaşmaları sağlanmıştır.



Şekil 3. 9. Levha Grupları

8. Denemelerin yalnızca yüzey tabakada gerçekleştirildiği üretim gruplarında, katkı malzemesi olan külün estetik ve yüzey işlemleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla ilave analizler yapılmıştır. Üretilen levhaların bir kısmına emprenyelenmiş kağıt ile melamin kaplama (Şekil 27.), diğer bir kısmına ise printpan (doğrudan yüzey baskı) işlemi uygulanmıştır. Bu uygulamalarla, kül katkısının yüzey homojenliği, desen kalitesi, renk tutarlılığı ve kaplama uyumluluğu üzerindeki olası etkileri incelenmiştir. İşlemler sonrasında yüzeylerde gözlemlenen efektler, üretim kalitesi açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



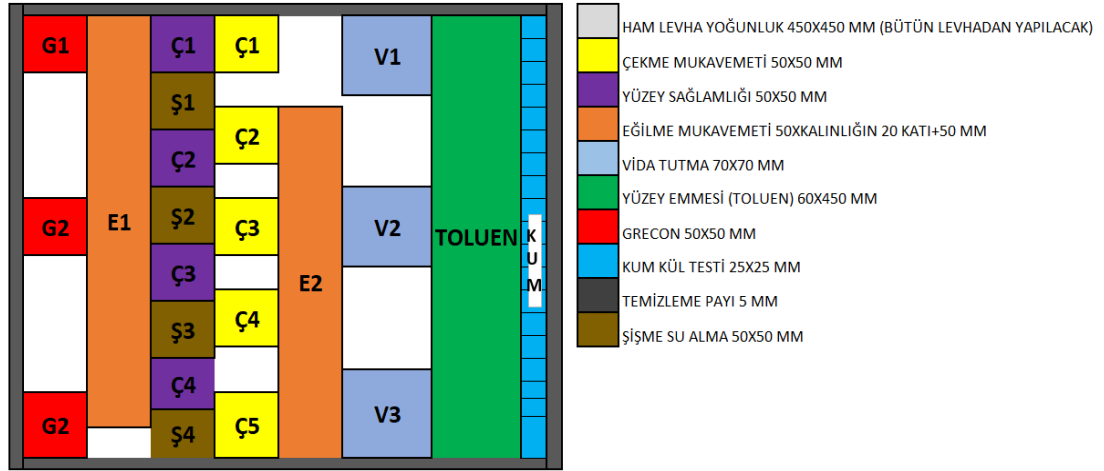
Şekil 3. 10. Melamin Kaplanmış Levha

3.2.3. Deneysel Gruplar

Levhalar 3 farklı tekrarlar üretilmiş olup, her kül oranına karşılık gelen örnekler üzerinden fiziksel ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Deney gruplarının özeti aşağıda Tablo 3.4. 'de verilmiştir:

Tablo 3. 4. Deney Grupları

	Numune Kodu	Kül Oranı (%)	Açıklama
	Şahit	0%	Katkısı referans numune
FAZ 1	CL-1	2%	Orta tabaka
	CL-2	3%	Orta tabaka
	CL-3	4%	Orta tabaka
	SL-1	1%	Yüzey Tabaka
	SL-2	2%	Yüzey Tabaka
	SL-3	3%	Yüzey Tabaka
	SL-4	4%	Yüzey Tabaka
	CL-3, SL-3	3%	Orta - Yüzey Tabaka
	CL-2, SL-2	2%	Orta - Yüzey Tabaka
	SL-0,5	0.5%	Yüzey Tabaka
FAZ 2	SL-1	1%	Yüzey Tabaka
	SL-1,5	1.5%	Yüzey Tabaka
	SL-2	2%	Yüzey Tabaka



Şekil 3. 11. Deneme Levhaları Kesim Planı

3.2.4. Analiz Yöntemleri

Bu çalışmada, kül katkılı yonga levhaların performansını değerlendirmek amacıyla fiziksel ve mekanik testler, ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler TS EN normları çerçevesinde yürütülmüş ve aşağıda belirtilen analiz yöntemleri kullanılmıştır:

• Ham Levha Yoğunluğu (Raw Board Density)

Levhaların yoğunluk değerleri, TS EN 323 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Bu test, levha homojenliğini ve üretim kalitesini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Yoğunluk değerleri kg/m^3 cinsinden ölçülmüş ve elde edilen veriler, katkı oranları ile ilişkilendirilerek karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

• İçten Çekme Dayanımı (Internal Bond - IB)

Levhaların içten çekme dayanımı, TS EN 319 standardına göre test edilmiştir. Bu test, özellikle bağlayıcının etkinliğini ve levha iç yapısındaki kohezyonu değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Numuneler, N/mm^2 cinsinden değerlendirilmiş olup minimum limit olarak $0,35 \text{ N/mm}^2$ referans alınmıştır.

• Vida Tutma Direnci (Screw Holding Capacity)

Vida tutma testi, levhaların mekanik mukavemet özelliklerinden biri olarak TS EN 320 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Numuneler ortalama 500 N vida tutma

kapasitesi sınırına göre değerlendirilmiş, özellikle kl katkısının levha yapısını zayıflatıp zayıflatmadığı incelenmiştir.

•Yüzey Dayanımı (Surface Soundness)

Levha yüzey dayanımı testleri, TS EN 311 standardı doğrultusunda yapılmıştır. Bu test, özellikle yüzey tabakaya uygulanan katkının kaplama ve emprenye işlemlerine uygunluğunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları N/mm² cinsinden ölçülmüş ve minimum 0,80 N/mm² değeri referans alınmıştır.



4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. CL Tabakasında Yapılan Kül Katkılı Levha Denemeleri

Bu çalışmanın ilk etabında, kül katkısı yalnızca levhaların yüzey (CL) tabakasına uygulanmış, katkı oranları %2, %3, %4 ve %5 olarak belirlenmiştir. Bu aşamanın amacı, külün doğrudan yüzey özelliklerine etkisini belirlemek ve olası yüzey kaplama (emprenye veya printpan) işlemleri üzerindeki performansını değerlendirmektir. Elde edilen sonuçlar hem TS EN standartlarına göre teknik olarak değerlendirilmiş hem de görsel ve yüzeysel gözlemlerle desteklenmiştir.

4.1.1. Yoğunluk ve Kalınlık Değişimleri

Ham levha yoğunluğu değerleri 596–610 kg/m³ aralığında seyretmiş ve genel olarak TS EN 323 standardında belirtilen 600 ± 30 kg/m³ limitleri içinde kalmıştır. Zımparalanmış levha yoğunlukları da benzer şekilde kabul edilebilir düzeyde olup, levhalar üretim reçetesine uygun olarak homojen bir yoğunluk dağılımı göstermiştir.

Buna karşılık, levhalarda kalınlık artışı dikkat çekicidir. Özellikle %3 ve %4 kül içeren levhalarda kalınlık 18,45 mm ve 18,53 mm'ye ulaşmış, bu da yetersiz sıkıştırma veya homojen olmayan mat yapısından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir.

4.1.2. İçten Çekme Dayanımı (Internal Bond – IB)

Levhaların en kritik mekanik parametrelerinden biri olan içten çekme dayanımı, bu etapta istenen minimum performans değerine ulaşamamıştır. TS EN 319 standardına göre $\geq 0,35$ N/mm² olması gereken IB değeri:

- %2 kül oranında 0,20 N/mm²,
- %3 ve %4 katkılı levhalarda ise fiziksel bütünlük sağlayamadığından dolayı “patlak” olarak değerlendirilmiştir.

Bu sonuç, külün yüzey tabakada bağlayıcı tutkal sistemiyle yeterince bütünleşemediğini, partikül yapısının (yüksek yüzey alanı ve reaktiflik) bağ kurma sürecini sekteye uğrattığını göstermektedir. Yüzeyde fazla kül birikimi, bağlayıcının ahşap yüzeyle etkileşimini azaltarak levha içi kohezyon zayıflığına neden olmuştur.

4.1.3. Eğilme Direnci ve Elastikiyet

Eğilme direnci (MOR) değerleri de katkı oranına paralel olarak düşüş göstermiştir. %2 katkı oranında MOR 13,15 N/mm² ile referans levhaya yakinken, %3 katkı oranında 9,12 N/mm²'ye ve %4 oranında 8,39 N/mm²'ye kadar gerilemiştir. Bu düşüş, levha bütünlüğünün yüzeyden başlayarak genel yapıya yansıdığını göstermektedir.

Elastikiyet modülü (MOE) değerlerinde de benzer eğilim görülmüş, özellikle %3 ve %4 katkılı levhalarda 1800–1900 N/mm² seviyelerine düşülmüştür. Yüksek kül oranı levhalarda rijitliği azaltarak elastikiyet performansını düşürmüştür.

4.1.4. Vida Tutma Direnci

TS EN 320 standardına göre ≥ 500 N olması gereken vida tutma direnci; %2 katkıda 432 N, %3 ve %4 katkılı levhalarda ise sırasıyla 209 N ve 219 N olarak ölçülmüştür. Bu değerler yüzey mukavemetinin ciddi biçimde zayıfladığını ortaya koymuştur. Levhanın vida tutma özelliği, doğrudan yüzey lif yapısına ve bağlayıcı homojenliğine bağlıdır. Yüzeyde kül birikimi bu yapıyı bozmuş ve mekanik sabitlemeyi zayıflatmıştır.

4.1.5. Yüzey Dayanımı

Yüzey dayanımı testleri (TS EN 311), kaplama işlemleri için kritik bir parametredir. %2 katkı oranında elde edilen 0,92 N/mm² değeri standardın ($\geq 0,80$ N/mm²) üzerindeyken, %3 ve %4 oranlarında bu değer sırasıyla 0,78 ve 0,74 N/mm²'ye düşmüştür. Bu da kaplama sonrası yüzey bütünlüğü ve desen kalitesi açısından olumsuz sonuçlar doğurmuştur.

4.1.6. Suya Dayanım ve Kalınlık Artışı (Şişme)

- **Şişme (2 saat):** %2 kül katkılı levhada şişme %33,27 iken, %3 ve %4 katkılarda bu değer %50,48 ve %49,3 olarak ölçülmüştür. TS EN 317 standardına göre ≤ 20 % olması gereken sınırın çok üzerinde değerler elde edilmiştir.

- **Su Alma:** %2 kül katkısında %91,95 olan su alma, %3 katkı ile %138,92'ye ulaşmıştır. Bu, levha matrisinin fazla gözenekli ve geçirgen olduğunu, bağlayıcı yoğunluğunun yetersiz kaldığını göstermektedir.

Tablo 4. 1. Faz 1 Deney Grupları Test Sonuçları

PLATE TESTS PERFORMED (YAPILAN LEVHA TESTLERİ)	UNIT (BİRİM)	STANDART (TSE STANDARTLARI)	TEST LİMİTLERİ	ŞAHİT	CL %2	CL %3	CL %4	SL %1	SL %2	SL %3	CL%3 + SL%3	CL%2 + SL%2	CL%1 + SL%1
RAW BOARD DENSITY (HAM LEVHA YOĞUNLUĞU)	kg/m ³	TS EN 323	600±30	615	610	598	597	599	613	618	607	610	605
THICKNESS (KALINLIK)	mm	TS EN 324-1	18 ± 0,5	17,7	18,2	18,53	18,45	18,05	18,22	18,26	18,3	18,7	18,05
SANDED BOARD DENSITY (ZIMPARALI LEVHA YOĞ.)	kg/m ³	TS EN 323	600±30	602	603	608	607	606	612	612	637	623	603
INTERNAL BOND (ÇEKME DİRENCİ)	N/mm ²	TS EN 319	≥ 0,35	0,26	0,32	0,3	0,32	0,32	0,33	0,31	0,35	0,31	0,3
BENDING STRESS (EĞİLME DİRENCİ)	N/mm ²	TS EN 310	≥ 11	12,68	13,26	13,15	12,91	13,14	13,62	13,14	13,65	13,55	12,8
ELASTICITY (ESNEKLİK)	N/mm ²	TS EN 310	≥ 1800	1839	1869	1861	1904	1925	2045	2137	2216	1980	1850
SCREW HOLDING (VİDA TUTMA)	N	TS EN 320	≥ 500	820	828	432	470	847	822	951	patlak	919	910
SURFACE SOUNDNESS (YÜZEY DAYANIMI)	N/mm ²	TS EN 311	≥ 0,80	1,06	0,82	0,84	0,91	1,05	1,03	1,03	1,02	1,01	0,92
MOISTURE CONTENT (RUTUBET)	%	TS EN 322	2–10	7,5	6,4	6,1	6,3	5,6	6,5	5,9	6,7	5,7	6,3
SWELLING (ŞİŞME/ 2 SAAT)	%	TS EN 317	≤ 17	50,48	45,94	40,94	44,14	40,52	39,01	39,01	40,67	40,69	41,87
WATER ABSORPTION (% SU ALMA / 2 SAAT)	%	TS EN 317	-	138,92	102,48	49	49,36	48,73	47,86	47,76	94,66	84,99	96
YÜZEY EMMESİ	mm	-	-	260	210	200	230	190	180	180	140	140	170
KÜL MİKTARI	%	-	-	0,21	0,495	2,687	2,825	2,668	2,946	2,982	3,279	2,762	2,268
GRECON DENSITY (Max)	kg/m ³	-	-	855	747	750	750	730	740	730	920	755	845
GRECON DENSITY (Min)	kg/m ³	-	-	460	457	455	460	455	440	450	446	471	460

4.2. SL Tabakasında Yapılan Kül Katkılı Levha Denemeleri

İlk etapta CL (orta) tabakada yapılan denemelerin başarısız sonuçlar vermesi üzerine kül katkısının SL (yüzey) tabakaya uygulanması kararlaştırılmıştır. Bu değişiklik, bağlayıcının yüzeyde kaplama uyumu açısından korunmasını, külün ise daha homojen ve etkili şekilde levha gövdesine dağılmasını hedeflemiştir.

Bu amaçla %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında kül katkısı içeren SL tabakalı levhalar üretilmiş ve fiziksel ile mekanik özellikleri kapsamlı şekilde analiz edilmiştir.

4.2.1. Ham ve Zımparalanmış Levha Yoğunluğu

Ham levha yoğunlukları, katkı oranına bağlı olarak 578–630 kg/m³ aralığında değişmiş, bu değerler TS EN 323 standardında belirtilen 600±30 kg/m³ sınırları içinde kalmıştır. Zımparalanmış levha yoğunluğu ise çoğu örnekte 608–637 kg/m³ arasında seyretmiştir. Bu sonuçlar, SL katkısının levha yoğunluğu üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını göstermektedir.

Özellikle %1,5 katkıda yoğunluk 630 kg/m³ ile optimum değerlere ulaşmış; bu oran, levhanın kompaktlığını korurken külü homojen şekilde absorbe edebildiğini göstermektedir.

4.2.2. İçten Çekme Dayanımı (IB)

IB test sonuçları, SL tabakalı levhalarda belirgin bir iyileşme eğilimi göstermiştir:

- %0.5 kül katkısında IB: 0,23 N/mm²
- %1 kül katkısında IB: 0,27 N/mm²
- %1.5 kül katkısında IB: 0,32 N/mm²
- %2 kül katkısında IB: 0,37 N/mm²

Bu sonuçlara göre yalnızca %2 katkı ile TS EN 319 standardında belirtilen ≥ 0.35 N/mm² sınırı geçilebilmiştir. Bu durum, külün SL tabakada daha stabil ve tutkal ile uyumlu bir yapı sergilediğini göstermektedir. %1.5 katkı seviyesi ise neredeyse sınır değere ulaşarak teknik olarak kabul edilebilir sınıra yaklaşmıştır.

4.2.3. Eğilme Direnci (MOR) ve Elastikiyet (MOE)

- MOR değerleri, katkı oranına bağlı olarak 9,61 – 12,12 N/mm² aralığında değişmiştir. %1 katkıda 12,12 N/mm² ile en yüksek değer elde edilmiştir.

- MOE (elastikiyet) değerleri ise 1945 – 2216 N/mm² arasında olup, özellikle %1.5 ve %1 katkılarda 2200 N/mm² civarına ulaşılmıştır.

Bu veriler, katkı artışına rağmen levhaların yapısal dayanımını kaybetmediğini ve hatta bazı katkı oranlarında artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. SL tabakadaki kül, mat içinde daha iyi yayılmış ve elastik özellikleri desteklemiştir.

4.2.4. Vida Tutma Direnci

- Vida tutma değerleri %0.5 ve %1 katkıda 502–557 N ile 500 N standardını geçmiştir.

- %1.5 katkıda ise 337 N değeriyle sınırın altında kalmıştır.

- %2 katkıda 429 N değerine ulaşılmış, bu da %1 katkının optimum aralıkta olduğunu göstermektedir.

Vida tutma performansı %1 oranına kadar yüksek seyrederken, %1.5 katkıdan sonra olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu durum fazla külün lif yapısını zayıflatabileceğini düşündürmektedir.

4.2.5. Yüzey Dayanımı

TS EN 311 standardına göre $\geq 0,80$ N/mm² olması gereken yüzey dayanımı şu şekilde ölçülmüştür:

- %0.5 kül katkısında: 0,54 N/mm²

- %1 katkıda: 0,61 N/mm²

- %1.5 katkıda: 0,66 N/mm²

- %2 katkıda: 0,78 N/mm²

Her ne kadar hiçbir katkı seviyesi standardı tam olarak karşılamasa da, %2 kül katkısı ile sınır değere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu da, SL tabaka

katkısının yüzeye dolaylı etkisinin CL'ye kıyasla çok daha dengeli olduğunu göstermektedir.

4.2.6. Kalınlık Artışı ve Suya Dayanım

- Kalınlık artışı (%2h): %10,34 – %15,44 aralığında seyretmiş, tüm katkı oranlarında TS EN 317 standardı sınırı olan %20'nin altında kalmıştır.
- Su alma (%2h): En düşük %41,03 (%2 katkı), en yüksek %64,38 (%0.5 katkı) olarak gerçekleşmiştir.

CL tabakadaki %50–138 seviyelerine kıyasla bu sonuçlar oldukça başarılıdır. Külün SL tabakada lifler arasında suyu absorbe edebilecek boşlukları azaltarak daha kompakt bir yapı oluşturduğu düşünülmektedir.

Tablo 4. 2. Faz 2 Deney Grupları Test Sonuçları

PLATE TESTS PERFORMED (YAPILAN LEVHA TESTLERİ)	UNIT (BİRİM)	STANDART (TSE STANDARTLARI)	TEST LİMİTLERİ	ŞAHİT	SL %0,5	SL %1	SL %1,5	SL %2
RAW BOARD DENSITY (HAM LEVHA YOĞUNLUĞU)	kg/m ³	TS EN 323	600±30	618	578	618	630	610
INTERNAL BOND (ÇEKME DİRENCİ)	N/mm ²	TS EN 319	≥ 0,35	0,27	0,23	0,27	0,32	0,37
SCREW HOLDING (VİDA TUTMA)	N	TS EN 320	≥ 500	510	557	502	337	429
SURFACE SOUNDNESS (YÜZEY DAYANIMI)	N/mm ²	TS EN 311	≥ 0,80	0,76	0,54	0,61	0,66	0,78

4.3. Karşılaştırmalı Genel Değerlendirme

Külün yüzey tabakada kullanımı, levhanın hem yapısal bütünlüğünü hem de yüzey işlenebilirliğini ciddi şekilde bozmuştur.

Buna karşın, yüzey tabakada %1,5–2 katkı oranlarıyla yapılan uygulamalar, iç tutunma, suya dayanıklılık ve mekanik performans açısından standartlara uygun ve ekonomik bir alternatif sunmuştur.

Özetle, iki etap sonuçları kıyaslandığında ulaşılan başlıca çıkarımlar sunulmuştur:

Tablo 4. 3. Karşılaştırma

Parametre	CL Tabaka (Etap 1)	SL Tabaka (Etap 2)	Değerlendirme
İç Tutunma (IB)	< 0,20 – patlak	0,23 – 0,37	SL tabaka > CL tabaka (IB için daha uygun)
Vida Tutma	209 – 432 N	337 – 562 N	SL tabaka > CL tabaka
Yüzey Dayanımı	0,10 – 0,92 N/mm ²	0,54 – 0,78 N/mm ²	SL daha dengeli sonuçlar vermektedir
Su Direnci (WA, %2h)	91–139 %	41–64 %	SL tabaka bariz şekilde daha iyi sonuç verir
Şişme (SW, %2h)	33 – 50 %	10 – 15 %	SL katkısıyla şişme değerleri kabul edilebilir

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Vyncke tipi biyokütle kazanında oluşan külün yonga levha üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Kül, farklı oranlarda levhaların orta (CL) ve yüzey (SL) tabakalarına uygulanmış, üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri TS EN standartlarına uygun testlerle değerlendirilmiştir.

CL (Orta) Tabaka Denemeleri:

- Külün doğrudan yüzey tabakaya uygulanması, özellikle içten çekme dayanımı, vida tutma ve yüzey dayanımı gibi kritik kalite parametrelerinde yetersiz sonuçlar vermiştir.
- %3 ve %4 katkı oranlarında levhalar fiziksel bütünlüğünü dahi koruyamamış, testler sırasında "patlak" vermiştir.
- Su alma ve kalınlık artışı değerleri %100'ü aşan seviyelere ulaşmış, bu da yüzeyde homojen bağlayıcılık sağlanamadığını ve levhanın suya karşı direncinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir.
- Emprenyeme ve yüzey baskı işlemlerinde estetik bozulmalar, renk dağılımı problemleri ve kabarmalar gözlenmiştir.

SL (Yüzey) Tabaka Denemeleri:

- Kül katkısının SL tabakada uygulanmasıyla hem fiziksel hem de mekanik parametrelerde belirgin iyileşmeler sağlanmıştır.
- %2 kül katkı oranı ile TS EN 319 standardındaki minimum iç tutunma değeri (0.35 N/mm^2) başarıyla karşılanmıştır.
- Eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet (MOE) değerleri katkı oranlarına göre stabil seyretmiş, %1–1.5 oranlarında maksimum değerlere ulaşılmıştır.
- Su alma ve şişme değerleri, CL tabakalı denemelere kıyasla önemli ölçüde daha düşük çıkmıştır (örneğin %2 katkıda %41 su alma, %15 şişme).
- Yüzey dayanımı, doğrudan yüzey katkısı yapılmadığı hâlde %0.78'e kadar çıkmış ve emprenye uyumu açısından yeterli düzeyde bulunmuştur.

Kül Karakterizasyonu:

- XRF analizleri külün yüksek oranda SiO_2 ve CaO içerdiğini, bunun bağlayıcı ile olası kimyasal etkileşimler yarattığını ortaya koymuştur.

- SEM ve BET analizleri külün yüzey alanının yüksek, partikül yapısının gözenekli olduğunu göstermiştir; bu da bağlayıcının emilimini artırarak performansı etkileyebilmektedir.
- CL tabakada bu özellik dezavantaja dönüşürken, SL tabakada bu yapı daha stabil sonuçlar doğurmuştur.

Orta (CL) tabakada kül kullanımı, levha bütünlüğü, yüzey kalitesi ve kaplama uyumu açısından uygun değildir. Bu tabakada kül kullanımı önerilmemekte, performans açısından risklidir.

Yüzey (SL) tabakada külün %1 ila %2 oranlarında kullanılması, özellikle %2 katkı düzeyinde, hem kalite testlerinden başarılı sonuç alınmasına hem de maliyet avantajı sağlanmasına olanak tanımaktadır.

Üretim reçetelerinde külün SL tabakaya entegrasyonu düşünülmeli, tutkal dozajı bu katkıya göre yeniden optimize edilmelidir.

Uzun vadede kül kullanımının sadece maliyet değil, çevresel sürdürülebilirlik açısından da olumlu katkılar sağlayacağı göz önüne alınmalı, atık yönetimi politikalarında bu geri kazanım stratejisi desteklenmelidir.

Gelecek çalışmalarda:

- Külün ön işleme (örneğin termal aktivasyon, yüzey kaplama) süreçlerinden geçirilmesi,
- Farklı tutkal sistemleriyle (örn. MUF, PMDI) uyumunun değerlendirilmesi,
- Termal iletkenlik, yangın dayanımı gibi ek performans parametrelerinin incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahıskalıoğlu, S., (2023). Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Çimentolu Yonga Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, ACU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin
- Akbulut, T., (2000). Yonga Levha Endüstrisi, Laminart, (7) : 112-119
- Aksoy, F., Öztürk, C. (2022). Atıkların yonga levha üretiminde ekonomik ve çevresel avantajları. Çevre ve Endüstri Dergisi, 7(3), 45-58.
- Badrul, H. S., Zainal, A. (2024). Eco-friendly bio-composite sheets: A study on the utilization of banana peels, cassava starch, and banana stem fibers. *Frontiers in Sustainability*, 5, 1410986.
- Bozkurt, A. Y., Göker, Y., (1990). Yonga levha Endüstrisi, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3311, Orman Fakültesi Yayın No: 372, İstanbul
- Bozkurt, A.Y.,Göker, Y., (1985), Yonga Levha Endüstrisi, İstanbul Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 263s.
- Brunauer, Stephen, Paul H. Emmett, and Edward Teller. 1938. "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers." *Journal of the American Chemical Society* 60(2): 309–319.
- Çelik, B., Arslan, M. (2019). Narenciye kabuklarının (portakal, limon, mandalina) kompozit malzemelerde kullanımı ve mekanik özelliklere etkisi. *Gıda ve Tarım Teknolojileri Dergisi*, 14(1), 112-125.
- Demirtaş, R. (2017). Elma dalları ve üzüm bağlarının yonga levha içerisinde dolgu maddesi olarak kullanımı (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi, İzmir.
- Erdinç, H. (2019). Atık kül kullanımı ile çevresel sürdürülebilirlik: Yonga levha örneği. *Çevre ve Orman Dergisi*, 31(2), 134–145.
- Eymir, M. (2014). Odun esaslı kompozit panellerde geri dönüşümlü katkıların etkisi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Filiz, M, Usta, P, Şahin, H. T. (2011). Melamin, Üre Formaldehit Tutkalı, Kızılcam Ve Çay Atıkları İle Elde Edilen Yonga Levhanın Bazı Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15-2, 88-93
- Göker, Y. (1978), Türkiye’ de Kontrplak, Kontrtabla Yongalevhaları Sanayi, Gelişme Olanakları, Bu Malzemelerin Teknolojik Özellikleri Hakkında Araştırmalar, İ.Ü. Yayın No: 2489, Orman Fakültesi Yayın No: 267, İstanbul.
- Göker, Y. ve Akbulut, T. (1992). Yonga levha ve Kontrplağın Özelliklerini Etkileyen Faktörler. "Orenko 92" I. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, Bildiri Metinleri 1. Cilt, Trabzon 269-287.
- Göker, Y., (2000), Değişik Yöntemlerle Üretilmiş Yonga Levhaların Kullanım Yerleri, Laminart,7:128-133s.
- Göker, Y., Kantay,R., ve Kurtoğlu, A., (1984), Üç Tabakalı ve Okal Tipi Yonga levhaların Teknolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar. İ.Ü. Orman Fak. Yayın No: 367, İstanbul
- Güler, C., et al. (2022). Almond shell particle containing particleboard mechanical and thermal properties. *Materials Today: Proceedings*, 50, 3114-3119.
- Güler, C., et al. (2022). Almond shell particle containing particleboard mechanical and thermal properties. *Materials Today: Proceedings*, 50, 3114-3119.
- Karakuş, S. (2007). Use of infused black tea leaf wastes in particleboard production. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 57(1), 1-10.

- Kaya, H., Şahin, F. (2021). Bitkisel atıkların (lavanta yaprağı, çay atıkları, badem kabukları) yonga levha üretiminde kullanımı ve çevresel etkileri. *Biyokütle ve Enerji Dergisi*, 9(2), 78-92.
- Korkmaz, M., Demir, S. (2020). Tarım atıklarının yonga levha üretiminde dolgu maddesi olarak kullanımı ve performans analizi. *Endüstriyel Hammaddeler Dergisi*, 15(3), 45-60.
- Korkmaz, M., (2020). Birim Hacimdeki Yonga Miktarının Yonga Levha Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, BARU, Fen Bilimler Enstitüsü, Bartın
- Kumar, R., Singh, R. (2023). Properties changes of rice husk-particleboard during indoor and outdoor exposure. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 13(1), 1-10.
- Maloney, T. M. (1993). *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Publications.
- Nguyen, T. T., Bailleres, H., Redman, A., Leggate, W., Vandi, L., & Heitzmann, M. (2020). Homogenous particleboard made from whole cotton (*Gossypium hirsutum* L.) stalk agricultural waste: Optimisation of particle size and influence of cotton residue on performance. *BioResources*, 15(4), 7730–7748.
- Özkan, E. (2018). Polipropilen ve polietilen katkılarının yonga levha performansına etkisi (Doktora tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Potts, P. J., and M. West. 2008. *X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometry in Geoanalysis*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Rowell, R. M. (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press.
- Sarıkaya, A., (2022). Badem Kabuğu Katkılı Yonga Levhaların Isıl İletkenlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Sayed, M. A., El-Sayed, M. (2024). Sustainable utilization of sugarcane bagasse for wood-based panels. *Science Progress*, 107(1), 1-12.
- Sevinçli, Y., (2014) Atık Lavanta Bitkisinden Üretilen Yonga Levhanın Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Sing, K. S. W. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure and Applied Chemistry*, 57(4), 603–619.
- Taş, H., Sevinçli, Y. (2015). Properties of particleboard produced from red pine (*Pinus brutia*) chips and lavender stems. *BioResources*, 10(4), 7865-7876.
- Topbaşlı, B., (2013). Atık Muz Kabuklarından Üretilen Yonga Levhanın Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- TS EN 310. (1993). Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity and modulus of rupture in bending. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 311. (2002). Wood-based panels – Surface soundness – Test method. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 317. (1993). Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 319. (1993). Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 320. (1993). Determination of resistance to axial withdrawal of screws. Türk Standartları Enstitüsü.

- TS EN 322. (1993). Wood-based panels – Determination of moisture content. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 323. (1993). Wood-based panels – Determination of density. Türk Standartları Enstitüsü.
- Uslu, S., Tuncer, M. (2018). Biyokütle atıklarının ahşap kompozitlerde kullanımı: Bir literatür incelemesi. Ahşap Teknolojileri Dergisi, 11(4), 23-37.
- X-ray Fluorescence (XRF) Spectrometry in Geoanalysis – Potts, P. J., & West, M. (2008). Royal Society of Chemistry.
- Xu, J., et al. (2020). Utilization of biomass ash in wood-based composites: A review. Construction and Building Materials, 250, 118857.
- Yıldız, T. (2020). Kahve telvesi ve mantar atıklarının yonga levha üretimindeki rolü (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Yılmaz, A. (2019). Yonga levha üretiminde uçucu kül kullanımının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yiğittap, Ö., (2016). Tutkallamada Yonga Sıcaklığının Levha Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, BARU, Fen Bilimler Enstitüsü, Bartın

ÖZ GEÇMİŞ

Merve Sevde Neiş ilk, orta ve lise öğrenimini Samsun ili Bafra ilçesinde tamamladı. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisans Çevre Mühendisliği Bölümünü 2020 yılında bitirdi. 2022 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 2020 yılında Kastamonu Entegre A.Ş. çalışmaya başladı.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0004-9746-3213

Yayınlar:

1. Neiş, S. M. , Akdemir, A. (2024). Use Of Waste Ash Formed In Incineration Boilers In Particleboard In The Board, *International Scientific Research And Innovation Congress -II*, 936-943. Adana, Türkiye