

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BAZI SELÜLOZİK ESASLI SEKONDER LİFSEL
HAMMADDELER KATILARAK ÜRETİLMİŞ ALÇI ESASLI
KOMPOZİTLERİN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

İl Khan DEMİR

**Danışman
Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [İlkhan DEMİR]

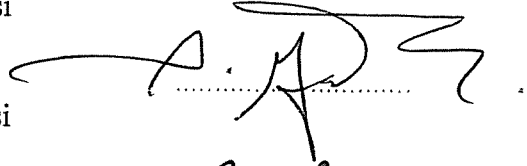
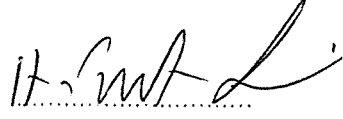
TEZ ONAYI

İlkhan DEMİR tarafından hazırlanan "Bazı Selülozik Esaslı Sekonder Lifsel Hammaddeler Katılarak Üretilmiş Alçı Esaslı Kompozitlerin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi Prof. Dr. Samim YAŞAR
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan KAYA
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü Prof. Dr. Yusuf UÇAR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İlhan DEMİR



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Lif- ve Yonga levha - Tanım ve Genel Özellikleri.....	4
2.2. Levha Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler.....	5
2.2.1. Odun hammaddesi	6
2.2.2. Yıllık bitkiler	6
2.3. Pirinç (Çeltik) Bitkisi ve Genel Özellikleri.....	9
2.4. Kâğıt ve Oluklu Mukavva Üretimi ve Tarihsel Gelişimi	15
2.4.1. Kâğıt geri dönüşüm işlemleri	19
2.4.2. Atık kâğıdın yeniden kullanılması	21
2.4.3. Atık kâğıtların sınıflandırılması	23
2.4.4. Geri dönüşümün selüloz liflerine etkileri.....	24
2.4.4.1. Hornifikasyon olayı.....	26
2.4.5. Atık kâğıt ve mukavva ürünlerinin geri dönüşüm ve yeniden kullanılması	28
2.5. Alçı ve Genel Özellikleri.....	32
2.5.1. Alçının kimyasal yapısı	32
2.5.1.1. Doğal alçıtaşları.....	32
2.5.1.2. Sentetik alçıtaşları	33
2.5.1.2.1. Perlitli sıva alçısı (Kaba sıva 5-40 mm)	34
2.5.1.2.2. Saten sıva alçıları (İnce sıva 0,3-1 mm)	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1. MATERYAL	36
3.1.1. Pirinç sapları, odun yongası ve atık kâğıtlar.....	36
3.1.2.Yapıştırıcı madde (Alçı)	37
3.1.3. Hammaddenin hazırlanması	37
3.1.4. Deneme levhalarının üretimi	38
3.2. Levhaların Özelliklerinin Tayini	40

3.2.1. Levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini	40
3.2.2. Levhaların optik (renk) özelliklerin tayini.....	44
3.2.3. Levhaların kimyasal ve teknolojik özelliklerinin tayini	44
3.3. İstatistik Değerlendirme.....	48
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	49
4.1. Deneme Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	49
4.1.1. Deneme Levhaların Mekanik Direnç Değerlerinin İstatistik Analizi ..	67
4.2. Deneme Levhaların Optik (Renk) Özellikleri.....	82
4.3. Deneme Levhaların Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri	85
4.3.1. Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopi (FTIR) analizi	85
4.3.2. TGA analizi.....	87
4.3.3. Yangın Yalıtım ve Yanma Davranış Analizi	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	97
KAYNAKÇALAR.....	104
ÖZGEÇMİŞ	113

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI SELÜLOZİK ESASLI SEKONDER LİFSEL HAMMADDELER KATILARAK ÜRETİLMİŞ ALÇI ESASLI KOMPOZİTLERİN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İlhan DEMİR

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN

Bu tez çalışmasında, ülkemiz ve dünya genelinde gittikçe önemi artan atıl durumdaki dört farklı selülozik pirinç sapı, oluklu mukavva, sekonder lif (geri kazanılmış kâğıt lifi), tam ağartılmış kraft kâğıdı ile birlikte kızılçam odun yongası ve yapıştırıcı olarak mineral esaslı (alçı) kullanılarak kompozit levhaları üretilmiştir. Bu çalışmada 4 farklı levha türünün mekanik, kimyasal, fiziksel, yangın yalıtımı ve termal testleri yapılarak etkileri araştırılmıştır. Atık kâğıt, oluklu mukavva ve sekonder lif miktarının artmasının levhaların kalınlık artımlarını kalınlık (şişme), yüzeye dik çekme (IB) direnci özelliklerini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Odun/pirinç sapı ve alçı karışımından üretilen deneme levhalarının ise diğer levhalara göre şişmede negatif bir durum fakat yüzeye dik çekme direncinde diğer levha türlerinden daha düşük değerler kaydedilmiştir. Üç levha tipinde ise (atık kâğıt, oluklu mukavva ve sekonder lif) Eğilme direnci (MOR) ve Elastik modül (MOE) değerleri sadece alçıdan üretilen levhalardan daha yüksek bulunmuştur. Odun/alçı karışımına pirinç sapı katılmasının ise levhaların eğilme direnç özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Levhaların sertlik direnç (Shore D) özellikleri incelendiğinde, ise, dört levha tipinde de dış atmosferik şartlarda bekletilen levhaların yüzey sertlik değerlerinin, kontrol örneğinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Üretilen her dört levha tipinin de yanmazlık sınıfı olarak A sınıfından olduğu belirlenmiştir. Atık kâğıt, oluklu mukavva veya sekonder kâğıt lifi ilavesinin levhaların yalıtım özelliklerini iyileştirdiği fakat kütle kaybı oranını ise artırdığı sonucu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık kâğıt, alçı, termal, fiziksel, mekanik, pirinç sapı

2019, 113 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF GYPSUM COMPOSITES PRODUCED FROM SOME CELLULOSIC BASED SECONDARY FIBER SOURCES

İlkhān DEMİR

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Forest Industry Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN

In this study, in our country and throughout the world, four different cellulosic materials (rice stalks, corrugated cardboard, secondary fiber and waste bleached kraft paper) have been utilized to produce composite boards by using pine wood chip and mineral based adhesive as binder (gypsum). The mechanical, physical, chemical, thermal and fire insulation properties of board has been investigated. It has been observed that increasing the amount of waste paper, corrugated board and secondary fiber in board stucture adversely affect the thickness increments of the panels (thickness swelling) and IB properties. However, in the mixture of wood/ rice stalk with gypsum, an opposite situation was observed in thickness swelling in comparison with other panels and the IB values are found to be lower than other types of panels. The MOR and MOE values of three type boards (waste paper, corrugated cardboard and secondary fiber) were higher than the boards produced only from gypsum. It was observed that the addition of rice stalks to the wood/plaster mixture adversely negatively affected the bending resistance properties of the boards. When the hardness resistance (Shore D) properties of the boards were examined, it was determined that the surface hardness values of the panels which were kept under external atmospheric conditions were lower than the control sample in all type of boards. In each of the four board types produced, it is observed that thse could be classified as A type fire resistance boards. It can be concluded that the addition of waste paper, corrugated board or secondary paper fiber improves the insulating properties of the boards but the mass loss rate was also increases too.

Keywords: Waste paper, gypsum, thermal, physical, mechanical, rice (paddy)

2019, 113 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında, bilimsel tecrübesiyle beni yönlendiren ve fiziksel-kimyasal analizlerde önerilerinden yararlandığım Değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Halil Turgut ŞAHİN' e teşekkürlerimi sunarım. İstatistiksel analizlerde bana yol gösteren Arş. Gör. Ömer Ümit YALÇIN' a ve hammadde temininde bana yardımcı arkadaşım Orman Endüstri Mühendisi İrfan İPEKÇİ' ye teşekkür ederim.

Araştırmanın yapılabilmesi için gereken çekme direnci (iç yapışma) için yardımlarını esirgemeyen ORMA A.Ş.' ye ve eğilme-elastikiyet deneylerinde yardımlarını gördüğüm Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü' ne teşekkür ederim.

Tezimin ve hayatımın her aşamasında beni maddi ve manevi destekleyerek yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İlkhan DEMİR
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Odun esaslı bazı kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2. Tipik oluklu mukavva üretim şeması.....	17
Şekil 3. Oluklu mukavva çeşitleri	19
Şekil 4. Selüloz zincir yapısında -OH grupları.	25
Şekil 5. Hornifikasyona uğramış liflerin görünümünü.	27
Şekil 6. Selüloz zincir yapısının yüksek nem ve zamana bağlı değişimi.....	28
Şekil 7. Alçı oluşum kimyasal denklemi	33
Şekil 8. Laboratuvar ortamında deneme numunelerinin hazırlanması.....	38
Şekil 9. Deneme levhalarının üretim aşamaları	39
Şekil 10. Deneme levhalarının mekanik direnç özelliklerinin tayini.....	43
Şekil 11. Deneme levhalarının tek kaynaklı alev testi	47
Şekil 12. Deneme levhalarının yanma davranışı tespiti.....	48
Şekil 13. Alçı esaslı deneme levhalarının su içinde kalınlık artım özellikleri.	53
Şekil 14. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı karışımından üretilmiş deneme levhaların su içinde kalınlık artım özellikleri.	53
Şekil 15. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnç özellikleri.	57
Şekil 16. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı karışımından üretilmiş deneme levhaların yüzeye dik çekme direnç (IB) özellikleri.	57
Şekil 17. Alçı esaslı deneme levhalarının eğilme direnç (MOR) özellikleri.	61
Şekil 18. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı esaslı deneme levhalarının eğilme direnç (MOR) özellikleri.....	62
Şekil 19. Alçı esaslı deneme levhalarının elastik modül (MOE) özellikleri.....	63
Şekil 20. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı esaslı deneme levhalarının elastik modül (MOE) özellikleri.	64
Şekil 21. Alçı esaslı deneme levhalarının Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) Spektrumları.	87
Şekil 22. Alçı esaslı deneme levhalarının termal bozulma (TGA) davranışları	89
Şekil 23. Alçı esaslı deneme levhalarının DTG termogramları	91
Şekil 24. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeylerinin, tek kaynaklı alev testindeki yanma davranışları (60 saniye).....	93
Şekil 25. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeylerinin, tek kaynaklı alev maruz kalması sonucu (5 dakika) yanma davranışları.	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Bazı bitkisel materyalin kimyasal ve anatomik özellikleri.....	12
Çizelge 2. Oluklu mukavva üretiminde dalgaların özellikleri	18
Çizelge 3. Ülkemizde atık kâğıt kullanımı.....	21
Çizelge 4. Türkiye kâğıt karton tüketimi	22
Çizelge 5. Geri dönüşüm kâğıt sınıfları	24
Çizelge 6. Perlitli sıva alçısı teknik özellikleri.....	37
Çizelge 7. Alçı esaslı deneme levhalarının kodları ve karışım oranları.....	40
Çizelge 8. Odun ve pirinç sapı karışımının ilave edilmesiyle üretilmiş alçı esaslı levhaların kodları ve karışım oranları.	40
Çizelge 9. Alçı esaslı deneme levhalarının su içinde kalınlık artım değerleri.	51
Çizelge 10. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeye dike çekme direnç değerleri	56
Çizelge 11. Alçı esaslı deneme levhalarının MOR ve MOE değerleri	60
Çizelge 12. Alçı esaslı deneme levhalarının sertlik özellikleri.	66
Çizelge 13. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.....	67
Çizelge 14. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.	67
Çizelge 15. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Duncan testi.....	68
Çizelge 16. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.....	68
Çizelge 17. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Duncan testi.	69
Çizelge 18. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.....	69
Çizelge 19. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.	70
Çizelge 20. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Duncan testi.	70
Çizelge 21. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.....	71
Çizelge 22. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Duncan testi.	71
Çizelge 23. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.....	72
Çizelge 24. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Duncan testi.	72
Çizelge 25. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.	73
Çizelge 26. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.....	73

Çizelge 27. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Duncan testi.	74
Çizelge 28. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.	74
Çizelge 29. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Duncan testi.	75
Çizelge 30. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.	75
Çizelge 31. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.	76
Çizelge 32. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Duncan testi.	76
Çizelge 33. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.	77
Çizelge 34. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.	77
Çizelge 35. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.	78
Çizelge 36. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.	78
Çizelge 37. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.	79
Çizelge 38. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.	79
Çizelge 39. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.	80
Çizelge 40. Pirinç sapı/odun-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.	80
Çizelge 41. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.	81
Çizelge 42. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.	81
Çizelge 43. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.	81
Çizelge 44. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.	82
Çizelge 45. Açık havada bekletilmiş deneme levhalarının yüzeylerinde oluşan renk değişimleri.	84
Çizelge 46. Alçı esaslı deneme levhalarının termal bozulma sonucu (TGA) kütle kaybı özellikleri.	90
Çizelge 47. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeylerinin, ısı geçirgenlik ve toplam kütle kaybı özellikleri.	95

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	:	Statistical Package for Social Sciences
°C	:	Santigrat
CaSO ₄	:	Kalsiyum Sülfat
cm ³ /g	:	Santimetreküp/Gram
dk	:	Dakika
DTA	:	Differential thermal analiz
EN	:	Europen Standards
FGD	:	Flue Gas Desulfurization
FTIR	:	Fourier-transform infrared spectroscopy
g/cm ²	:	Gram/Santimetrekare
g/cm ³	:	Gram/Santimetreküp
g/m ²	:	Gram/Metrekare
GPa	:	Gigapascal
h	:	Yükseklik
H ₂ O	:	Su
H ₃ PO ₄	:	Fosforik asit
ISO 2471	:	Kâğıt Opaklık Tayini
Kg/cm ²	:	Kilogram/Santimetre
Kgf/cm ²	:	Kilogram Kuvvet/Santimetrekare
kN/g	:	Kilogram Newton/Gram
lt	:	Litre
m	:	Metre
M.Ö.	:	Milattan Önce
M.S.	:	Milattan Sonra
m ²	:	Metrekare
MDI	:	Metilen Difenil Di İzosiyanat
mm	:	Milimetre
MPa	:	Megapascal
N/mm ²	:	Newton/Milimetrekare
N/mm ²	:	Newton/Milimetrekare
NaOH	:	Sodyum hidroksit
°SR	:	Shopper İndisi
PDMI	:	Polimerik Difenilmetan di İzosiyanat
PF	:	Fenol Formaldehit
RHA	:	Pirinç Kabuğu Külü
Tappi R-457	:	Kâğıt Parlaklık Tayini
TGA	:	Termal gravimetrik analiz
Thickness	:	Kalınlık/Genişlik
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
TVOC	:	Toplam Uçucu Bileşik
UF	:	Üreformaldehit
W/m ² K	:	Watt/Metrekare Kelvin Derecesi
YYPE	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ZnCl ₂	:	Çinko klorür

1.GİRİŞ

Lignoselülozik esaslı kompozit malzemelerin üretimde kullanılan hammaddelerin başında odun gelmektedir. Odun hammaddesi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Fakat dünya genelinde ormanlık alanların orman endüstrisi için büyük oranda tahrip edilmesi sonucunda, odun esaslı malzemelerin üretimi için, odun yerine kullanılabilir alternatif hammadde arayışları yoğun olarak devam etmektedir.

Oduna olan talebin sürekli artması, odun fiyatlarının da yükselmesine sebep olduğundan, orman ürünleri endüstrisi için kullanılabilir yeni hammadde kaynaklarının arayışına ve buna yönelik çalışmaların artmasına yol açmaktadır. Bu tür çalışmaların yapılmasında diğer bir etkende çevreye olan duyarlılık ve ormanlık alanların tahribatının önlenmesi sayılabilir.

Dünyada genelinde, selüloz ve kompozit panel endüstrisi için, odun dışında en çok araştırma yapılan doğal hammadde kaynaklarının başında; tahıl samanı, keten, şeker kamışı, agave, bambu, jüt, rami, kenaf, buğdaygiller, kamış gelmektedir. Bu bitkisel lignoselülozik atıklardan birçoğu, esas üretim olan besin maddesi elde edildikten sonra atıl olarak kalmaktadır. Özellikle şeker kamışı, bambu ve saman sapları üzerine tesis düzeyinde yoğun çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar bulunmuştur.

Son yıllarda, birçok ülkede olduğu gibi nüfus ve teknolojiye bağlı olarak enerji ve hammadde için ormanlardan aşırı derecede faydalanma yoluna gidilmiştir. Ormancılık ana planı verilerine göre endüstriyel odun talep tahmini, 1990 yılında 13 milyon metreküp iken, 2009 yılında ise 22,5 milyon metreküpü aşmıştır. Bu oran, ülkemiz ormanlarından sağlanabilecek odun hammaddesi miktarının üzerindedir (Öner ve Aslan, 2002).

Yapılan araştırmalarda, ülkemizdeki birçok yıllık bitki atığının üretimde başarı ile kullanılabilir olduğu açıklanmıştır. Bu amaçla göl kamışı, ayçiçeği atıkları, keten-kenevir sapı, antepfıstığı kabuğu, pamuk atıkları gibi atıklarla levha üretimi denemeleri yapılmış ve özellikleri belirlenmiştir (Kalaycıoğlu, 1992; Güler, 2001).

Kâğıt keşfedildiği ilk günden günümüze kadar medeniyetlerin gelişmesinde önemli bir ara malzeme olmuştur. Teorik olarak, yapısında selüloz bulunan hemen tüm odunsu ve otsu bitkisel materyalden kâğıt ve karton ürünleri üretilebilmekle birlikte temin edilmesindeki kolaylık ve diğer malzemelere göre daha kolay ve ucuz temin edilebilmesinden dolayı kâğıt üretiminde dünya genelinde en fazla odun kullanılmaktadır. Kâğıt, lignoselülozik materyalden katma değeri en yüksek ürünlere dönüşümün sağlandığı bir üründür.

Kâğıt ürünleri, ülkemizde ve dünyada önemli bir stratejik konuma sahip bulunmaktadır. Çünkü kâğıt endüstrisi çok yüksek yatırım ve işletim maliyetine sahiptir ve 1 ton kâğıt üretiminde binlerce kWh elektrik enerjisi ve yüzlerce ton su kullanıldığı düşünülürse bu ürünün ne kadar değerli ve israf edilmemesi gerektiği anlaşılabilir. Ayrıca günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin karşılaştırılmasında dahi kullanılır duruma gelmiş olan kişi başı kâğıt kullanımı ve atık kâğıt geri dönüşüm oranı, bu ürünün değeri hakkın bir fikir vermesi bakımından önemlidir.

Dünya genelinde yıllık bitkiler, atık lignoselülozik kaynaklar, geri kazanılmış selüloz lifleri (sekonder lif), pirinç sapları üzerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. Ancak literatürde bu atıkların mineral bağlayıcı esaslı alçı ile karıştırılarak levha üretiminde kullanılmasının üzerinde kapsamlı bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Önemli bir tahıl ürünü olan pirinç, canlıların besin değeri için önemli bir yer tutmakta, ülkemiz ve dünya genelinde geniş ekim alanlarını kapsamaktadır. Fakat bu kadar yaygın üretilmesine ve insanlar için gerekli bir besin olmasına rağmen, esas tahıl ürünü olan tanenin alınmasından sonra geriye kalan ve selüloz içeren sap kısımlarından katma değeri yüksek ürün üretimi çok sınırlıdır.

Bu araştırmada da kompozit levha endüstrisinin hammadde problemine bir çözüm önerisi olarak yeni hammadde kaynakları denenmiştir. Bu amaçla, ülkemizde pirinç üretiminin yoğun olarak yapıldığı Çanakkale-Biga bölgesinden atık olarak pirinç sapları temin edilmiştir. Bu sapsız özelliğine göre sınıflandırılmış, kurutulmuş küçük boyutlara getirilmiş ve alçı ile karıştırılarak levhalar üretilmiştir.

Ayrıca yine atıl durumdaki atık karton ve kâğıtlar küçük parçalar haline getirilmiş ve lif açma işlemi (geri kazanım) uygulanmış, bu sekonder selüloz lifleri, pirinç (çeltik) sapları, alçı ile birlikte karıştırılarak alternatif bir kompozit malzeme üretimi yapılmıştır.

Bu atıl haldeki atık lignoselülozik hammaddelerin alçı ile birlikte kullanılmasıyla kompozit levha üretim olanakları gözlenmiş, ayrıca hammadde özelliklerinin, alçı ile uyumu ve üretim şartlarındaki değişkenlerin belirlenmesiyle, levha üretim teknolojisinde alçı ile birlikte bu atıklarının kullanılmasının uygunluğu konusunda bilgi birikimi oluşmuştur.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Lif- ve Yonga levha - Tanım ve Genel Özellikleri

Lif levha ve Yonga levha ürünleri genellikle odun hammaddesinden elde edilen yonga ve lif parçacıkların sentetik bir tutkal yardımı ile ısı ve basınç altında geniş ve büyük yüzeyli levhalar haline getirilmesi ile oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir. Bu levhaların kullanım yerleri, üretim prosesinde kullanılan hammadde ve yapıştırıcı özelliklerine göre değişmektedir.

Yonga levhalar: EN 309 (1999)' a göre; 'odun parçalarından (odun parçaları, yonga, testere talaşı, rende talaşı vb.) veya lignoselülozik malzemelerden (keten, kenevir ipliği, kendir ipliği, suyu çıkarılmış şeker kamışı posası vb. odunlaşmış bitkilerden) elde edilen yongaların tutkalladıktan sonra, sıcak preslenmesiyle elde edilen levhadır' şeklinde tanımlanmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1990).

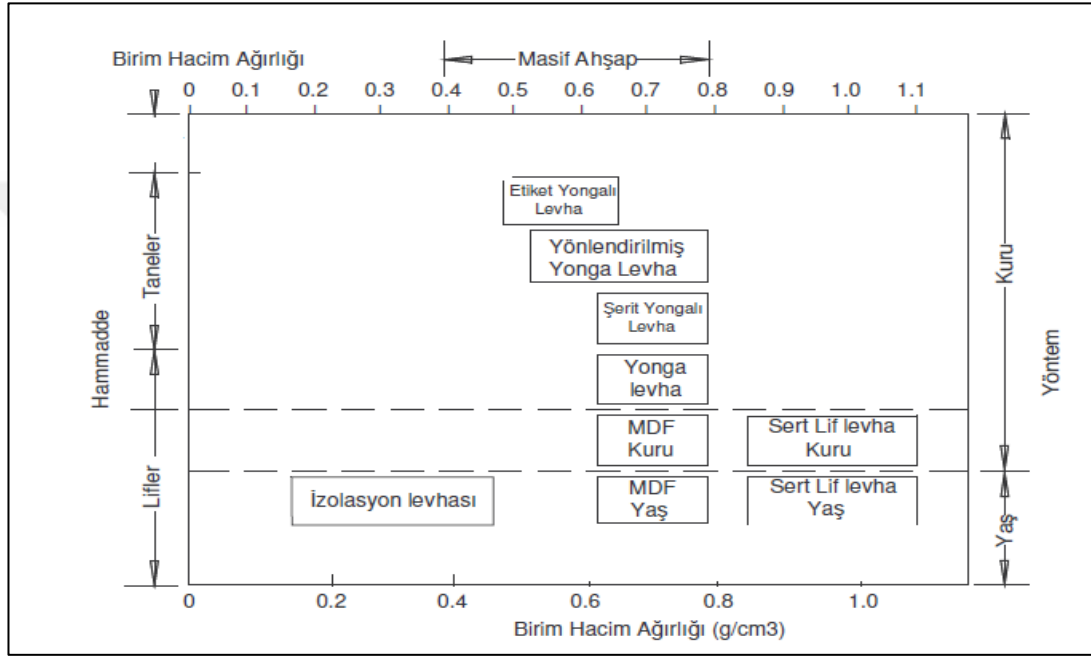
Lif levhalar: EN 316 (2005)' ya göre; 'ısı ve/veya basınç uygulaması ile lignoselülozik liflerden üretilen, kalınlığı 1,5 mm ve daha büyük panel malzeme' olarak tanımlanmaktadır. Levha yapısını oluşturan lignoselülozik lifler arasındaki yapışma doğal keçeleşme veya sentetik yapıştırıcıların ilave edilmesi ile sağlanmaktadır (Suchland ve Woodson 1986).

Dünya genelinde orman ürünleri endüstrisinde en çok üretilen mühendislik tasarımı levha ürünleri değişik ölçütlere göre sınıflandırılmaktadır (Maloney, 1977). Bu sınıflandırma ölçütlerine örnek olarak;

- Özgül ağırlıklarına,
- Yonga veya lif boyutlarına,
- Yüzey işlemlerine,
- Yüzey kaplama malzemesine,
- Kalınlıklarına,
- Üretimde kullanılan yöntem,
- Tutkal ve bağlayıcı cinsine,

- Kullanış amacına,
- Üretimde kullanılmış hammadde cinsine,
- Presleme yöntemine, vb. verilebilir.

Fakat genel olarak en fazla, özgül ağırlıklarına, kullanım alanlarına (taşıyıcı yük, dekoratif) ve kullanım yerlerine (iç mekân, dış mekân) göre sınıflandırılmaktadırlar. Şekil 1’de kısaca gösterilen sınıflandırma şekli genel olarak en yaygın olarak kabul edilmiş bir sınıflandırma özelliğini şekilsel olarak göstermektedir.



Şekil 1.Odun esaslı bazı kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Suchland ve Woodson, 1987).

2.2. Levha Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler

Yonga ve lif levhaların üretiminde kullanılan hammaddelerin başında odun gelmektedir. Ayrıca tarımsal atık veya yıllık bitkilerin odunsu kısımları, saman, şeker kamışı, keten sapı, kenevir sapı ile pamuk tohumu kabukları da kullanılabilir. Bu levha ürünlerinin üretimi için en iyi hammadde öncelikli olarak ince ve uzun lif yapısından dolayı iğne yapraklı ağaçlardır, ayrıca daha kalın ve kısa lifli yapraklı ağaçlarda kullanılabilir. Bu levhaların üretiminde hammadde olarak levha ağırlığının yaklaşık %90'ından fazlasını odun oluşturmakta, yapıştırıcı olarak ise %6-12 oranında sentetik reçineler kullanılmaktadır (Maloney 1977 ve 1996;

Suchland ve Woodson, 1987; Bozkurt ve Göker, 1990; Eroğlu ve Usta, 2000; şahin ve Arslan, 2007).

2.2.1. Odun hammaddesi

Genel olarak, endüstriyel amaçla ve yapacak maksatla kullanılan odunun dışında kalan hemen hemen tüm odun hammaddesi levha üretiminde kullanılabilir. Bu durumda, ortalama çapları 4 cm'nin üzerindeki odunlar kabukları soyulmuş veya soyulmamış olarak faydalanılabilir. Ayrıca diğer orman ürünleri endüstrisinde kullanılan ve artık / atık olarak oluşan; kapak tahtaları, fıçı, kasa üretim artıkları, ince çitalar, tahta parçaları, kaplama levha üretimi atıkları, testere talaşı vb. kullanılabilir (Maloney 1977 ve 1996; Suchland ve Woodson, 1987; Bozkurt ve Göker, 1990; Eroğlu ve Usta, 2000; şahin ve Arslan, 2007; Kalaycıoğlu ve Özen 2009).

2.2.2. Yıllık bitkiler

Levha üretiminde temel hammadde olarak odun kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda odun hammaddesinin bulunmasında ortaya çıkan güçlükler ve dünyanın bazı bölgelerinde ormanlık alanların odun ihtiyacı için aşırı baskı oluşması sonucunda yapısında uygun selüloz bulunan ve lifsel özellikleri oduna benzer birçok yıllık bitkilerin kullanılması da alternatif bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. En genel olarak tarımsal atık ve yıllık bitkilerin hammadde olarak kullanılması iki grup altında incelenebilir. Bunlar;

Yapraklı odunlara benzeyen bitkiler: Bu bitkisel materyal daha kalın ve kısa hücre yasına sahiptirler. Örnek olarak şeker kamışı, ayçiçeği sapı, bambu, mısır sapı, vb. bitkilerdir.

İğne yapraklı odunlara benzeyen bitkiler: Bu bitkisel materyal daha ince ve uzun lifsel yapıya sahiptirler. Örnek olarak pamuk karpelleri, ayçiçeği çekirdeği kabuğu, kenaf, saman, vb. verilebilir (Hurter, 2001).

Yukarıda kısaca açıklanan bitkisel materyalin yeterli miktarda bulunması yanında toplama, taşıma, depolama ve hazırlanmalarının kolay, ucuz ve mantarlar tarafından herhangi bir bozulmaya maruz kalmamış olması kullanımları için önemlidir (Güler, 2001).

Odun dışındaki bitkisel birçok kaynaktan, yani tarımsal/orman atıkları ve yıllık bitkilerden kompozit materyal üretilebilmesi üzerine laboratuvar ortamında araştırma yapılmıştır (Youngquist vd., 1994). Bu çalışmalardan önemli olan bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Buğday saplarında, sıcak su çözünürlük denemeleri sonucunda yapısında %9,0 oranında ekstraktif madde bulunmuştur. Bu oran oduna göre oldukça yüksektir ve hücre yapısındaki ilk epidermis dokular içerisinde mumsu maddelerin bulunmasından dolayı olduğu açıklanmıştır (Cooper vd., 1999).

Mantains ve ark. (2000), dünya genelinde, 709,2 milyon ton buğday sapının, 673,3 milyon ton ise pirinç sapının açığa çıktığını ve bu büyük miktardaki lignoselülozik hammaddenin kompozit levha üretiminde kullanılabileceğini açıklamışlardır. Bu amaçla bu iki tarımsal atığı ÜF tutkalı ile karıştırarak orta yoğunlukta ($0,75 \text{ gr/cm}^3$) levhalar üretmişlerdir. Levhaların, buğday ve pirinç saplarından sırasıyla yüzeye dik çekme direnci; $0,57-0,48 \text{ N/mm}^2$, eğilme direnci; $20-21 \text{ N/mm}^2$, 24 saat kalınlığına şişme değerleri ise; %14-15 olduğunu açıklamışlardır. Bu sonuçlar standart değerlerin üzerinde olup, levha üretimi için uygun olarak değerlendirilmiştir.

Grigoriou ve ark. (2000), kenaf bitkisinin farklı kısımları kullanarak ürettiği levhaların özelliklerini araştırdığı çalışmada, kenaf bitkisinin dış kabuk kısmından (yumuşak lif; bast) üretilen levhaların yüksek eğilme dirençlerine sahip olduğunu, kenafın odunsu öz kısmından üretilen levhaların ise, dış kabuk kısımlarından üretilen levhalara oranla daha iyi özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Fakat sanayi odunundan üretilen levhalardan daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca su içinde kalınlığına artım değerlerinin her iki durumda da odundan üretilen levhalardan daha yüksek olduğunu açıklamıştır.

Wu (2001), şeker kamışından da % 5-8 oranında difenilmetan di izosiyanat tutkalları kullanılarak, levhalar elde etmiştir. Levhaların eğilme dirençleri 19-28 N/mm², elastikiyet modülü 2,30-3,79 GPa, kalınlığına şişme değerleri ise % 2,0-9,0 arasında olduklarının belirlemiştir.

Ntalos ve Grigoriou (2002), budanmış asma saplarını ve odunu karıştırarak tek ve üç tabakalı levhalar üretmiştir. Asma saplarıyla yapılan levhaların mekanik özelliklerin ve su alma, kalınlığına şişme özelliklerinde azalma olduğunu açıklamıştır. Bu azalmanın sanayi odunu kullanımının %50 oranında arttırılmasıyla dengelenebileceği sonucuna varılmıştır.

Xu ve ark. (2004), kenaf bitkisinin öz kısımlarından, tutkalsız ve sadece buharlı basınç ile presleme sonucunda düşük yoğunluklarda (0,10-0,30 gr/cm³), bazı mekanik direnç özellikleri ve boyut stabilizesi yüksek levhalar elde edilmiştir.

Bektaş ve ark. (2004), ayçiçeği sapları ve kavak odunundan orta yoğunlukta (0.7 gr/cm³) 3 tabakalı levhalar üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda, ayçiçeği saplarından yonga levha üretiminde faydalanılabileceği ve levha karışımı içerisindeki ayçiçeği yüzde oranının artırılmasının bazı olumlu sonuçlar verebileceği saptanmıştır.

Guler ve Ozen (2004), pamuk saplarından 0,60-0,70 gr/cm³ yoğunluklu üç tabakalı UF tutkalı kullanılarak 20 mm kalınlığında levhalar üretmişlerdir. Bu levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin odunla üretilenlere yakın olduğunu açıklamışlardır.

Seller ve ark. (2005), kenaf bitkisinden UF, PMDI ve PF kullanarak levhalar üretmiştir. Yaptıkları testlerde, ÜF ile üretilen levhalarda diğer iki tutkal türüne göre daha yüksek yüzeye dik çekme değerleri elde edilmiştir. Bu şekildeki düşük yoğunlukta levhalar içinde oldukça iyi yüzeye dik çekme direnç değerlerinin elde edilebileceğini açıklanmıştır.

Ndazi ve ark. (2006), pirinç kabuklarıyla odun talaşı karışımından panel levha üretmiş ve yapıştırıcı olarak tanen bazlı reçine kullanmıştır. Levhaların eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri minimum standart değerlerinin altında hesaplanırken, yüzeye dik çekme değeri ise değerleri ise daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Çöpür ve ark. (2007), fındık kabukları ile kivi bitkisi ve pamuk saplarından üre formaldehit, fenol formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkalları kullanılarak 0,6 ve 0,7 gr/cm³ yoğunluklu levhalar üretmişlerdir. Levhaların mekanik değerlerinin, odun ile üretilen aynı özellikteki standart değerlere yakın olduğunu açıklamışlardır.

Filiz ve ark. (2012), çay bitkisi atıklarını (*Camellia sinensis*) Kızılçam (*Pinus brutia*) odun yongaları ile değişik oranlarda karıştırarak üre-formaldehit tutkalı ile levhalar üretmiştir. Elde edilen levhaların kabul edilebilir seviyelerde mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Tekstil pamuk atıklarının, geri dönüşümü ve alternatif bir kullanım şekli oluşturma adına atık dokuma kumaşlar, plastiklere takviye elemanı olarak kullanılmış ve kompozit bir yapının oluşturulması sağlanmıştır. Bu sayede hem tekstil atıklarının değerlendirilmesi hem de plastik malzemelerin performans özelliklerini artırılması hedeflenmiştir (Aral, 2009).

Farklı oranlardaki keten lifleri, polyester bazlı reçine ile karıştırılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Karışımındaki keten lif oranının artmasının (%0-30) polyester reçinesi ile üretilen keten takviyeli kompozitlerin çekme ve darbe dayanımı yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır (Koyuncu, 2009).

Yavilioğlu (2017), pamuk telefi artıklarını kızılçam odun yonga ve lifleri ile karıştırarak Üre-formaldehit tutkalının yapıştırıcı olarak kullanmış ve kompozit malzeme üretimi üzerine çalışmalar yapmış ve mekanik direnç ve diğer özellikleri kabul edilebilir sınırla içinde yonga ve lif levhaların üretilebileceğini açıklamıştır.

2.3. Pirinç (Çeltik) Bitkisi ve Genel Özellikleri

Tahıl ürünleri, canlıların besin değeri için önemli bir yer tutmakla beraber dünyada geniş ekim alanlarının büyük bir çoğunluğunda ekilmektedir. Dünya’da tüketilen en önemli besin kaynağı buğdaydan sonra pirinç tüketilmektedir.

Pirinç, buğdaygiller (*Gramineae*) familyasından, *Oryza sativa L.* cinsinden otsu bir bitki türüdür. Pirinç, Asya'da binlerce yıldır tarımı yapılan bir bitkidir. M.Ö. 3000 yıllarında Güney Hindistan'dan Çin'e M.Ö. 1000 yıllarında ise Endonezya'ya doğru yayılış alanı genişlemiştir. Ülkemize ise Meriç nehri ve kollarının suladığı alanlardan tohumlarının alındığı ve M.S. 1750'de Tosya'ya (Kastamonu) getirilerek tarımına başlanmıştır. 2016-17 dönemi dünya pirinç üretiminde 1. sırada %38 ile Çin, 2. sırada % 28 oranla Hindistan olmasına karşın Türkiye'nin sadece ise % 0.11 üretim payı bulunmaktadır (Gül, 2003).

Pirinç, su içerisinde yetiştirme kabiliyetine sahip ve kökleriyle sudaki erimiş haldeki oksijenden faydalanan tahıl cinsidir. Bu nedenle sulak alanlara ihtiyacı olmakla beraber çok iyi verim ve gelir sağlamaktadır.

Pirinç, yüksek verim ve kaliteli pirinç elde etmek için salkımların %80'nin saman rengini aldığı, alt kısımdaki tanelerin sert mum devresine ulaştığı ve tanelerin % 20-25 arasında rutubet içerdiği devrede hasat edilmelidir. Çeltik (Pirinç) mahsulünü çok yüksek derecedeki rutubette hasat etmek, tanelerin tam olgunlaşmasını engeller ve kurutma için daha fazla masraf yapılmasına sebep olur. Gereğinden fazla düşük rutubette hasat etmek ise hasat ve pirince işleme sırasında daha fazla kırık meydana gelmesine neden olur.

Ülkemizde çeltik (pirinç) hasadı bölgelere göre değişmesine rağmen, 15 Eylül ve 30 Ekim tarihleri arasında yapılmaktadır. Önemli pirinç ekim bölgelerinden Trakya ve Karadeniz bölgelerinde Eylül ayı ortalarında başlar ve Ekim sonlarında biter. Bana karşılık, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde hasada ağustos ortalarında başlanabilir. Güney Marmara bölgesinde Ağustos sonunda çeltik (pirinç) hasat edilebilir (Sürek, 1994).

Ekim ve hasat zamanlarının bölgeler arasında farklılığın en büyük nedeni iklim farklılıkları ve yeryüzü şekilleri olarak sıralanabilir. Hasat edilen çeltiğin rutubet oranı genellikle %25'tir. Depolanması için %15 civarında olmalıdır. Kurutma güneş altında veya mekanik kurutma olmak üzere iki çeşit yapılmaktadır.

Güneş altında kurutmada mahsul 4-5 gün beton zeminde tutulur. Kürek veya tırmık gibi araçlarla karıştırılarak homojen bir kurutma sağlanır. Mekanik kurutmada, ısıtılmış hava ürünün içine belirli bir süre gönderilir. Bu işlem, ürünün rutubet oranı, belirli bir seviyeye düşünceye kadar devam eder. Kuruma süresi sıcaklık seviyesine bağlı olarak 4–8 saat arasında değişir (Sürek, 1994).

Hasadın ardından elde edilen kavuzlu ürüne çeltik denilmektedir. Kavuz'un kimyasal bileşeni genel olarak; %25 selüloz, %30 lignin, %15 arabinoksilan ve %21 külden oluşmaktadır. Külün ise %95'i silika formundadır. Kavuz giderildikten sonra çeltik "esmer pirinç" olarak adlandırılır. Endospermin en dış katmanı olan alöron tabakası perikarp ve tohum kabuğu ile birlikte kazıyıcı öğütme işlemine tabi tutularak "beyaz pirinç" elde edilir (Juliona, 1994).

Pirinçte nişasta oranı buğdaydan yüksektir. 100 gram pirinçte, 78 gram nişasta, 8 gram protein, 13 gram su, 1 gram kül bulunmaktadır. Pirinç besin maddesi olarak taşıdığı bu değer yanında endüstride de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Anonim, 1998).

Çeltik pirince işlendiğinde; 100 kg çeltikten 50- 60 kg sağlam pirinç, 10-20 kg kırık pirinç, 13 kg pirinç kepeği, 3 kg pirinç cila unu ve 20 kg kavuz elde edilir. Tane rutubeti %14-15 olduğunda pirinç verimi daha yüksek olmaktadır. Sağlam pirinç taneleri ve kırık pirinç taneleri tüm dünya mutfaklarında sıcak ve soğuk olarak tüketilmektedir.

Pirinç üretiminin atığı olan kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur. Birinci kabuk; pirinç tanesinin etrafını saran ince bir zar şeklinde olup buna kepek denir. Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İkinci kabuk ise; bir pirinç tanesinin en dışındaki kabuktur. Bu kabuğa da kavuz veya kapçık denmektedir. Kavuz, silis ve karbon içerir. Yapısındaki silis kabukların iskeletini oluşturur ve amorf haldedir. Pirinç kabuğu yaklaşık %40-45 selüloz, %25-30 lignin, %15-20 kül, %8-15 nem içermektedir (Yıldız vd., 2007). Aşağıda Çizelge 1 de, dünya genelinde yoğun olarak kullanılan bazı bitkisel materyalin odun ile karşılaştırmalı özellikleri özet olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Bazı bitkisel materyalin kimyasal ve anatomik özellikleri (Han, 1998).

Lif Kaynağı	Lif Uzunluğu (mm)	Lif Genişliği (micron)	Selüloz (%)	Lignin (%)	Silis (%)
Buğday	0,4-3,2	8-34	29-51	16-21	3-7
Şeker Kamışı	0.8-2,8	10-34	32-48	19-24	0.7-35
Pirinç	0,4-3,4	4-16	28-48	12-16	12-16
Bambu	1,5-4,4	7-27	26-43	21-31	0.7
Yapraklı Ağaçlar	1,2	25	40-50	25-30	20-30
İğne Yapraklı Ağaçlar	3.6	30	40-50	30-35	20-25

Mehta ve Pitt (1976), pirinç sap ve kabuklarının termik özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, pirinç bitkisinin 500°C’ de yakılması sonucunda amorf silis içeren külün oluştuğunu ve yakma sıcaklığının 680°C’ ye yükseldiğinde dahi amorf yapının korunduğunu araştırmışlardır. Bu özelliğinden dolayı, yüksek ısı emme yeteneğine sahip olduğu ve bu nedenle yüksek sıcaklıklara dayanabilen ısı yalıtım tuğlaları ve özel seramiklerin üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Yang ve ark. (2003), Pirinç samanı ile ahşap parçacıklarını üre formaldehit tutkalı ile birleştirerek yalıtım levhaları üretilmiştir. Karışımda 10/90, 20/80 ve 30/70 pirinç samanı/odun parçacığı ağırlık oranları kullanılmış ve 0,4, 0,6 ve 0,8’lik özgül ağırlık hedeflenmiştir. Sonuç olarak 0,4 ve 0,6 özgül ağırlığındaki levhaların ses emilim katsayıları diğerlerine göre daha yüksek olduğu açıklanmıştır.

Pirinç samanı ile yapılan bir diğer çalışmada ise, pirinç samanı ve atık tekerlek lastiği parçacıklarından 0,8 özgül ağırlıkta, 10/90, 20/80 ve 30/70 pirinç samanı/atık lastik partikülü kullanarak, poliüreatan yapıştırıcı ile levhalar üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda, levhaların su emme, kalınlık artımı ve eğilme direnç özelliklerinin, diğer ahşap panellerden daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Bu levhaların, çarpmaya karşı kullanılabileceğini ve ucuz olarak üretilabileceğini belirtmişlerdir (Yang vd., 2004).

Zhang ve ark. (2002), pirinç ve buğday samanını, istiridye mantarı yetiştirilmede besin takviyesi olmadan kullanmışlardır. Pirinç samanının, aynı yetiştirme koşullarında buğday samanından %10 daha fazla verimli olduğunu bulmuşlardır.

Zhang ve ark. (2009), Pirinç samanından, makro ve mikro gözenekli ağ yapısında karbon lifleri hazırlamışlar ve bunların yüksek lityum iyonlu piller için anot malzeme olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Rodríguez ve ark. (2008), Pirinç samanından kraft ve soda-antrokinoon prosesleri yardımıyla kâğıt hamuru üretim olanaklarını araştırmışlardır. Selülozik hamur üretilmiştir. Sonuç olarak 23 °SR shopper indis değerinde, 3493 m kopma uzunluğu, %3,34 ve 2,51 kN/g patlama indisi değerlerine sahip kimyasal hamurlar elde edilmiş ve bu haliyle pirinç samanının kâğıt hamuru üretimi için alternatif ham madde kaynağı olabileceği açıklanmıştır.

Bir çalışmada, saf ve geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen ile pirinç bitkisinin değişik kısımları (pirinç kabuğu, pirinç saman yaprağı, pirinç saman sapı ve bütün pirinç samanı) birleştirilerek kompozit levha üretilmiş ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Pirinç kabuğundan üretilen levhaların darbe dayanım özellikleri, diğer levhalardan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş polietilenden üretilen levhaların, saf polietilenden üretilen levhalara göre daha iyi mukavemet özelliklerine sahip olduğu açıklanmıştır (İngin vd. 2008).

Pirinç bitkisinden plastik kompozit panel levha üretimi üzerine yapılan bir diğer çalışmada, değişik oranlarda pirinç sapları, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile karıştırılarak levhalar üretilmiştir. Sadece YYPE den üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü 1149,71 MPa, 30:70 pirinç sapı/YYPE karışımından üretilen levhalarda 1783,55 MPa'ya düştüğü, 40:60 pirinç sapı/YYPE karışımından üretilen levhalarda ise 1716,32 MPa olduğu ve 50:50 pirinç sapı/YYPE karışımından üretilenlerde ise 1104,25 MPa olduğu belirlenmiştir (Acar vd., 2014).

Yoshida ve ark. (2004), pirinç samanını odun talaşı ile karıştırarak süper kritik su gazlaşma özelliğini araştırmışlardır ve yüksek sıcaklıklarda oluşan gaz ürününün

karbondioksit, hidrojen ve metan içerdiğini, çok yüksek sıcaklık ve konsantrasyonda ise hidrojeni üretmişlerdir.

Pirinç kabuklarının, Portland çimentolarına katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, pirinç kabuk küllerinin Portland çimentolarının direnç ve bazı özelliklerini yükselttiği açıklanmıştır (Mehta, 1997).

Pirinç kabuğu-odun talaşı karışımından sentetik tutkal ile hafif levhalar üretilmiştir. Levha pastası, pirinç kabuğunun sodyum hidroksit ile 16 saat ısıtılmasıyla hazırlanmıştır. Levhalar standart mekanik ve fiziksel testlere tabi tutulmuşlardır. Elde edilen veriler ticari olarak piyasada bulunan bazı yapı malzemeleri ile (tavan malzemesi) yakın bulunmuş ve pirinç kabuğu ile odun talaş karışımından üretilen levhaların, binalarda tavan döşeme levhası olarak kullanılabilceğini göstermesi bakımından önemlidir (Ajite vd. 1998).

Bagas ve pirinç kabuğundan, kısa süreli ve tek kademeli bir kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi çalışması yapılmıştır. Ön işlem görmüş numuneler %75 nem oranında reaktöre konulmuştur ve 600, 700 ve 800 °C'de $ZnCl_2$, NaOH ve H_3PO_4 kimyasalları işlem yapılmıştır. Çalışmada sadece $ZnCl_2$ ile işlemden yüksek yüzey alanlı aktif karbonlar üretilebilmiştir (Kal deriş vd., 2008).

Kim (2009), çeltik kabuğunu alçı karışımına ilave ederek, levhaların toplam uçucu organik bileşik (TVOC) ve yanmazlığa etkisini araştırılmıştır. Bu çalışmada, pirinç levha içindeki pirinç kabuğu oranı artışının, levhaların su ve nem alma özelliğini düşürdüğünü bununda matris yapıdaki alçı parçacıkları arasındaki gözeneklerin pirinç kabuğu ile dolması sebebiyle olduğu belirlenmiştir. Ayrıca karışımda ağırlık olarak %30'a kadar pirinç kabuğu ilave edilmesinin levhaların yanmazlık sınıfının yükselmesine (1. Sınıf) sebep olduğu belirlenmiştir.

Zhang ve Malhotra (1996), pirinç kabuğu külünü (RHA), çimento ile karıştırılmasıyla betonda puzolanik (silikalı ve alüminalı malzeme) yapının oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışma ile pirinç kabuk külü yüksek performanslı çimentoya dolgu malzemesi olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.

2.4. Kâğıt ve Oluklu Mukavva Üretimi ve Tarihsel Gelişimi

Kâğıdın ilk olarak kim tarafından bulunduğu üzerine bazı değişik bilgiler bulunmakla birlikte, kâğıt hamurundan üretilen ilk kâğıdın M.S. 105'te Çin'de Ts'ai Lun adında bir saray görevlisi tarafından yapıldığı kabul edilmektedir. Ts'ai Lun ağaç kabukları, bez parçaları ve diğer lifli malzemeleri özlü ve yumuşak bir hamur haline gelinceye kadar dövüp, elde ettiği hamuru geniş bir tekne içinde suyla karıştırarak ilk mekanik odun hamurunu elde etmiştir. Daha sonra gözenekli bir kalıbı, hamurun içine daldırılıp yukarıya kaldırıldığında, kalıbın yüzeyinde lifli bir tabaka kalmıştır. Bu tabaka kalıp üzerinden alınıp kurutulduğunda ve üzerinden el yapımı silindirlerle ilkel kalenderlemeden sonra kullanıma hazır hale gelmiştir (Huş, 1961).

Ülkemizde ilk kâğıt fabrikası 1744 yılında Yalova'da kurulmuştur. İbrahim Müteferrika tarafından ilk Türk matbaasının kurulmasıyla artan kâğıt ihtiyacını temin etmek için, Yalova'da kâğıt fabrikasının yapılmasına karar verildi. Bu fabrikada birçok cins kâğıt imal edildi. Sultan Birinci Mahmud Han bu fabrikadan çok memnun oldu. Osmanlı Devleti zamanında kurulan uzun ömürlü fabrika Beykoz Kâğıt Fabrikasıdır. 1804'te hizmete açılan bu kâğıt fabrikasında İngiliz ve Flemenk kâğıtları kalitesinde kâğıt yapmak istenmiştir. Fakat dışarıdan kâğıt getirmek daha ekonomik olmuş, yabancı devletler kâğıtlarını maliyetin altında, zararına Türkiye'ye satmak suretiyle kâğıt sanayisi baltalamışlardır. Neticede Beykoz Fabrikası da kapanmıştır (Bozkurt, 2012; Huş, 1961).

Cumhuriyet döneminde ilk kâğıt fabrikasını İzmit'te 1936 yılında işletmeye açıldı. Bu fabrikaya 1944 yılında ikinci kâğıt selüloz fabrikası, 1945'te Klor Alkali Fabrikası ilave edildi. 1954'te de üçüncü kâğıt fabrikası kuruldu. 1957'den sonra eski makineler değiştirildi. 1960 yılında dördüncü, 1961'de beşinci kâğıt fabrikası kuruldu. 1955 senesine kadar Sümerbank Kâğıt ve Karton Fabrikası ismi ile çalıştıktan sonra İzmit Selüloz Sanayi Müessesesi adı verildi. Fakat 1955'te çıkarılan bir kanunla Sümerbank'tan ayrılarak Türkiye Selüloz ve Kâğıt Fabrikaları İşletmesi Genel Müdürlüğü (SEKA) adı ile iktisadi bir devlet kuruluşu oldu (Bozkurt, 2012; Huş, 1961).

Kâğıdın ilk keşfinden günümüze kadar binlerce yıl geçmesine rağmen hala önemini korumaktadır. Günümüzde ise, hayatımızın vazgeçilmez unsurlarından biri olan kâğıt ürünlerinin yüzlerce çeşidi bulunmakta ve birçok işlemlerden sonra kullanılabilir. Bazı önemli kâğıt türleri olarak:

- Oluklu mukavva kâğıtları (kraft kâğıdı, yüzey kâğıdı, atık kâğıt yüzey kâğıdı, oluklu katı kâğıdı),
- Kraft torba veya çimento torba kâğıdı,
- Gazete kâğıtları,
- Temizlik kâğıtları ve sıhhi kâğıtlar, (tuvalet kâğıdı, peçete)
- İnce özel kâğıtlar (sigara kâğıdı vb.),
- Ambalaj kâğıtları,
- Yazı ve tabı kâğıtları (1, 2 ve 3. hamur kâğıtlar, ofset kâğıdı, aydınlatma kâğıdı vb.)
- Diğer özel kâğıtlar

Kâğıt ürünlerinin üretimi esnasında tesislerden çevreyi ve insan sağlığını tehdit edecek endüstriyel kaynaklı önemli kirlilikler oluşmaktadır. Bu kirliliklerin değişik proseslerde oluşumu, dereceleri ve bazı önlem stratejileri üzerine çok yoğun çalışmalar halen devam etmektedir.

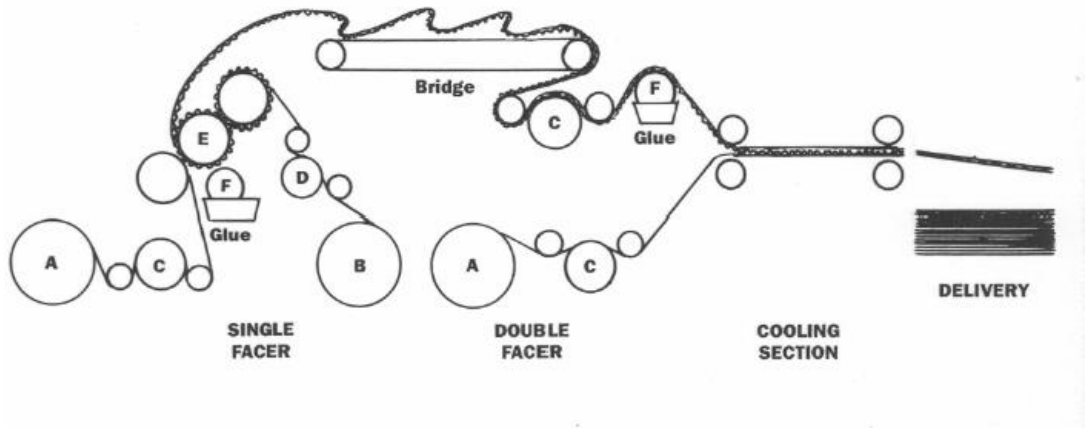
Oluklu mukavva üretimi yaklaşık 150 yıl öncesine dayanmaktadır. 1856 yılında ilk olarak İngiltere'de Edward E. Allen ve Edward G. Healey tarafından erkek şapkalarının iç kısmındaki ter bantları için oluklu malzeme üretilmiştir. Bildiğimiz anlamda ilk oluklu mukavva üretimi ise, 1875 yılında ABD'de yapılmıştır.

Ülkemizde ise, ilk oluklu mukavva fabrikası İzmit Seka Tesislerinde 1954 yılında kurulmuş; böylece batı ülkelerinden 75 yıl sonra oluklu mukavva ile tanışılmış ve ancak 83 yıl sonra üretilmiştir. 1966 yılında Bomsaş, 1968 yılında ise Olmuksa firmalarının açılması ile Türkiye'de özel müteşebbis mukavvaları üretilmiş ve bu sayı gün geçtikçe artmıştır (Tuncer, 2010).

Oluklu mukavva, iki düz levha ile ara kâğıdı oluklandırılmış (ondüle, yiv) en az üç kâğıdın tabaka şeklinde yapıştırılmasıyla meydana gelmektedir. Oluklu mukavva

kâğıtları temel olarak iç veya dış yüzeyler ile (lineer kâğıtları) ara katlarda (ondülelerde) kullanılan kâğıtlar (fluting kâğıtları) olarak iki ana gruba ayrılırlar. Bu kâğıt türleri de kendi aralarında örneğin; Kraft liner, test liner, NSSC ve Saman fluting vb. Atık kâğıt geri dönüşümden elde edilen selüloz hammaddesi cinsine göre lineer veya fluting olarak kullanılabilir (Biermann, 1993; Smook, 1994).

Oluklu mukavvaların ara katmanlarındaki ondüle sayısı artırılıp azaltılarak oluklu mukavvadaki kalınlık ve dayanıklılık özellikleri ayarlanabilmektedir. Aradaki kâğıdın yani ondülenin şekil aldıktan sonra aynı halde kalması için ısı ve buhar kullanılır. Oluk oluştuktan sonra üst ve alt tabakasına sulu ve nişastalı karışım sürülür. Bu karışım nişasta ve sodyum silikattır. Sonrasında levhalar 160-180 °C arasında 10–50 kg/cm² basınç uygulanır (Smook, 1994).



Şekil 2. Tipik oluklu mukavva üretim şeması (A: Astar kaplama, B: Orta ondüle, C: Ön ısıtıcı, D: Oluklandırma rulosu, E: Ondüle rulosu, E: Tutkal) (Roth ve Wybenga, 1991).

Oluklu mukavva üretiminde kullanılan birçok dalga çeşidi kullanılmaktadır. Bunların özellikleri kısaca aşağıda açıklanmıştır.

A dalgası; Şok emici özelliğine sahiptir. Genelde üst üste istiflenen malzemelerde destek takviyesi olarak kullanılır.

B Dalgası; Taşıyıcı özelliğiyle beraber yüksek hacimli kutuların üretiminde kullanılır.

C Dalgası; İnce dalgadır. Pek çok üründe ambalaj malzemesi olarak kullanılır.

E Dalgası; Diğer dalgalara göre daha incedir. Baskı olarak kalite bir ambalaj malzemesi ortaya çıkmaktadır.

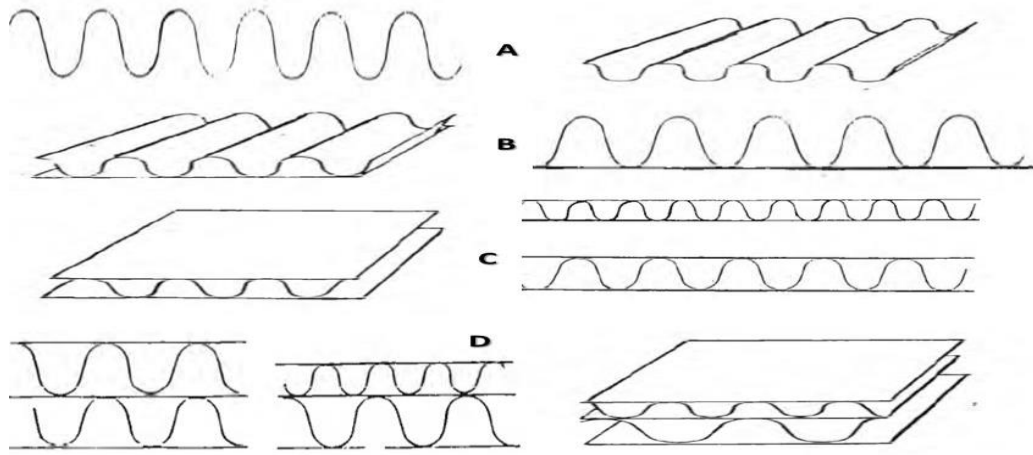
B+C, E+B ve B+A dalgaları üst üste konarak (birleştirilerek) çift dalgalı oluklu mukavva üretilebilir. Bunlar üst üste yük koymak için dayanıklıdır.

A+C+B, E+B+B, B+C+C ve C+B+E gibi dalgaları üst birleştirilerek üç dalgalı oluklu mukavva üretilebilir. Bunlar ağır ürünlerin taşınmasında kolaylık sağlar.

Aşağıdaki Çizelge 2’de dalgaların cinsi, genişliği, yüksekliği ve metredeki oluk sayısı belirtilmiştir.

Çizelge 2. Oluklu mukavva üretiminde dalgaların özellikleri (Tuncer, 2010).

Ondüle Cinsi	Kısa Gösterim	Genişlik (t, mm)	Yükseklik (h, mm)	Sayısı (Oluk/m)
İri dalga	A	8,5 – 8,9	4,5 – 4,8	104- 125
İnce dalga	B	5,7 – 6,3	2,1 – 3,2	150- 185
Orta dalga	C	7,2 – 7,4	3,5 – 3,7	120- 145
İri dalga üstü	D	12,1 – 21,6	6,0 – 10,0	90- 103
Mikro dalga	E	3,2 – 4,0	1,1 – 1,8	275- 320
Süper mikro dalga	F	2,38	0,75	~ 420,1
Süper iri dalga	K	12,40	5,6 – 8,5	~ 80.6



Şekil 3. Oluklu mukavva çeşitleri (A: Ondüle, B: Bir yüzü kaplı ondüle, C: Tek dalgalı oluklu mukavva, C: Çift dalgalı oluklu mukavva, D: Çok katlı mukavva) (Özden, 1993).

Oluklu mukavvalar kullanım yerlerine göre çeşitli özelliklere sahiptir. Kullanış yerine göre; oluklu kâğıdın m^2 ağırlığı $127-176 \text{ g/m}^2$; örtü kâğıdının ağırlığı ise $127-439 \text{ g/m}^2$ arasında değişir. Kalınlıkları ise oluklu kâğıtta $0,229-0,305 \text{ mm}$, örtü kâğıtlarında ise $0,203-0,711 \text{ mm}$ arasında değişir (Pellen, 1975).

2.4.1. Kâğıt geri dönüşüm işlemleri

Atık kâğıt, amacına uygun olarak kullanıldıktan sonra işlevini tamamlayan ve atılan her türlü kâğıt, karton ve mukavvalara verilen genel bir isimdir. Geri dönüşüm ise, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir atık malzemelerin çeşitli yöntemlerle tekrar imalat sürecine kazandırılması şeklinde tanımlanabilir. Bu terim, atık haldeki kâğıt ürünlerinin geri dönüşümü yapılacak olan kâğıtlar için de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Daha 1800'lü yıllarda, kullanımını tamamlamış ve atıl duruma gelmiş kâğıt ürünlerinin yeniden kâğıt üretiminde kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılmış ve bazı eserler ortaya çıkmıştır (İmamoğlu, 2002). Özellikle son 50-60 yıllık zaman diliminde, kullanımını tamamlamış atık kâğıt ürünleri, kâğıt endüstrisi için önemli

bir hammadde kaynağı olmuştur. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak atık kâğıt kullanan endüstri kolları da yaygınlaşmıştır.

Haberleşme ve kültürel alanda kullanımı gittikçe artan kâğıt ürünlerinin, evsel ve endüstriyel katı atıklarla birlikte çoğunlukla atılmaktadır. Fakat yapısında hazır olarak selülozun bulunmasından dolayı, bu atıkların geri kazanılması özellikle kâğıdın ana maddesi olan orman varlıklarının korunması yanında su ve enerji tasarrufuna imkân sağlaması bakımından önemlidir. Zira daha basit bir üretim prosesine sahip olmasından dolayı, atık kâğıttan kâğıt ve lif üretiminde kullanılmasıyla enerjiden büyük tasarruf sağlanması yanında hava ve su kirliliğinde önemli derecede azalmalar oluşmaktadır (Şahin, 2013).

Ülkemizde ise 2010 verilerine göre kâğıt endüstrisinde kullanılan lif bileşiminin %42'lik kısmı birincil (virjin) liflerden, %58'lik kısmı ise sekonder liflerden karşılanırken toplam tüketilen kâğıt ve kartonun sadece %42'si geri kazanılabilmektedir. Çizelge 3'te SEKA sanayi vakfi (SKSV) verilerine göre Türkiye'deki atık kâğıt kullanım oranı ve geri kazanım oranları verilmiştir.

Yapısında selüloz hazır olarak bulunan atık kâğıt-karton ürünlerinin geri dönüşüm işlemi sırasında selülozun yapısından bazı önemli değişiklikler oluşmaktadır. Özellikle selülozun suda şişme özelliği geri dönüşümsüz olarak azalmaktadır (Atalla, 1992; Şahin 2013; Yılmaz, 2017). Selüloz liflerinde oluşan bu değişiklik sonucu liflerde esneklik ve plastiklik özelliği azalmakta ve sertlik/kırılganlık artmaktadır. Liflerde meydana gelen bu değişim, bu liflerin yeniden kâğıt ve karton ürünleri üretiminde malzemenin performans özelliklerini de etkilemektedir.

Çizelge 3. Ülkemizde atık kâğıt kullanımı (x 1000 ton) (Anonim, 2011).

Grup/Yıl	2004	2006	2008	2010
SEKA	17.3*	-	-	-
Özel	1412.9*	1669	1913	2231
Atık Kâğıt Alımı	1412.9*	1669	1913	2231
Kâğıt Karton Üretimi	1769.3*	2118	2332	2538
Kullanım Oranı (%)	79.9	78.8	82.03	71.1
Atık Kâğıt İthalatı	37*	43	73	116
Geri Kazanma Oranı (%)	41.33	39.55	42.65	41.8

2.4.2. Atık kâğıdın yeniden kullanılması

Orman varlığının azalması ve çevreyle ilgili baskılar ve insanların çevreye olan duyarlılığının artması düşük maliyet atık kâğıt kullanımını daha da cazip hale getirmektedir. Kâğıt ürünlerinin ana iskelet maddesi olan selülozun birçok kez yeniden kullanılabilme özelliğine sahip olması onu önemli kılmaktadır.

Değişik kalite sınıflarında üretilen kâğıt-karton ürünlerinin herhangi bir ayrıştırma/sınıflandırma işlemi yapılmadan aynı anda geri dönüşüm işlemine sokulması, kalite ve verim kaybının oluşmasına sebep olabilir (Scott, 2011). Bu bakımdan amaca uygun ve başarılı geri dönüşüm işleminin olabilmesi için işlemin temelini, benzer gruptaki kâğıt gruplarının aynı anda işleme sokulması oluşturur. Bu durumda, geri dönüşümü yapılacak kâğıtların dolgu ve fonksiyonel madde içerikleri daha yakından gözlemlenebilir. Böylelikle geri dönüşümde en uygun işlem basamakları ve ekipmanlar seçilerek, geri dönüşümde verim ve kalite artırılabilir.

Başarılı bir geri dönüşüm prosesinin gerçekleşmesi için sınıflandırma işlemi sonrası aynı veya benzer özelliklere sahip atık kâğıtların aynı anda geri dönüşümünün yapılması birçok araştırmacı tarafından açıklanmıştır (Şahin 2013; Thompson, 1992; Yılmaz, 2017).

Çizelge 4'te Türkiye'deki kâğıt tüketimi verilmiştir. İstatistiklere göre, dünya nüfusunun ve tüketim artışının aynı hızla devam etmesi halinde 2020 yılında itibaren dünya kâğıt tüketiminin 500 milyon ton/yıl' a ulaşacağı ve bunun yaklaşık % 40'ının ormanlardan karşılanacağı ön görülmektedir. Bu durum ormandan hammadde sağlayan (odun hammaddesi) diğer endüstri dallarında etkileyeceği açıktır. Ülkemizde Toplam kâğıt tüketimi yaklaşık 5 milyon ton olduğu ve Geri kazanma oranının %42 olduğu verisi üzerinde 2,1 ton geri kazanıldığını bu miktarın kâğıt ve levha endüstrisi için dikkate değer bir hammadde kaynağı olacağı görülmektedir.

Çizelge 4. Türkiye kâğıt karton tüketimi (Anonim, 2011).

Alt Gruplar	Tüketim(ton)
Gazete kâğıdı	486.336
Yazı-Tabı kâğıdı	1.101.486
Sargılık Kâğıtlar	197.576
Oluklu Mukavva Kâğıdı	1.968.290
Kraft Torba Kâğıdı	117.955
Kartonlar	935.554
Temizlik kâğıtları	370.518
Sigara ve ince, Özel kâğıtlar	16.396
Toplam	5.194.084

Ülkemize odun esaslı kompozit ürünleri üretimi bakımından Avrupa ve Dünyanın önemli üreticilerinden birisi durumunda gelmiştir.

Kullanılmış kâğıt ve kartonlardan geri kazanılmış liflerin yeniden orman ürünleri endüstrisinde kullanılması, örneğin yeniden kâğıt imali veya kompozit panel imalinde değerlendirilmesiyle yüksek maliyetli hammadde temini ve birçok pahalı işleme gerek kalmayacaktır.

Orman ürünleri endüstrisinde özellikle kompozit ve lif levha endüstrisinde hammadde sorunu artan şekilde devam etmektedir. Bunun başlıca nedeni olarak

ormanların kâğıt ve orman ürünleri sanayisi için plansız ve yüksek oranda tahribata uğratılmış olmasındandır. Atık kâğıtların, bu endüstri için alternatif hammadde kaynağı olarak kullanılması çevre içinde sorun teşkil eden katı atık durumundaki hammaddelerin daha rasyonel ve katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi sağlanabilir. Ayrıca, bu alternatif kaynaklardan elde edilecek panel levhalar, geleneksel levhaların özelliklerinden farklı bazı özelliklere sahip olabilir. Örneğin yanmaya karşı belli derecede direnç gösterebilirler, ses ve ısı yalıtım malzemesi olarak ucuz ve etkili olarak binalarda yapı malzemesi olarak kullanılması mümkün olabilir.

2.4.3. Atık kâğıtların sınıflandırılması

Ülkemizde toplam kâğıt tüketimin yaklaşık %40'ı geri kazanılabilmektedir. Bu miktarın %10-20'si üretim için yeterli kalitede olmadığı için değerlendirilememektedir. Yapısında hazır olarak selüloz liflerini bulunduran atık kâğıdın lifsel niteliğini kaybedinceye kadar kullanılması, dünya atık kâğıt piyasası açısından bakıldığında kıymetli bir malzeme olmasını sağlamaktadır.

Atık kâğıdın toplanması, taşınması, sınıflandırılması ve üretimi önemli planlama yapılması gereken bir süreçtir ve sürecin ticari açıdan uygun yönetilmesi gerekir. Toplama ve balyalama işlemi ayrı bir işlem basamağı olarak atık toplayıcı firmalar tarafından yapılmaktadır. Fakat atık kâğıtların ilk kaynaktan ayrıştırılıp sınıflandırılmasının planlanması gerekmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde daha 1950'li yıllarda ilk atık kâğıt standardı oluşturulmuştur. Bu standart sayesinde atık kâğıtların toplanması, değerlendirilmesi ve ticaretinde bir takım kurallar ortaya konmuştur. Daha sonra geliştirilen bazı standart terim ve uygulamalar sayesinde kâğıt üreticileri, kâğıt ticareti ile uğraşanlar ve araçlar arasında oluşabilecek yanlış kavram ve düşüncelerin önlenmesi sağlanmıştır (Thompson, 1992).

Atık kâğıtların sınıflandırılması, sayfa yapısı, kullanılan dolgu veya yüzey maddeleri tipi, üretim teknolojilerine bağlı olarak çok değişik şekilde yapılabilir (Kleinau,

1987). Değişik kâğıt sınıflarından kalite ve sayfa yapısı olarak belirgin şekilde ayrılan, geri dönüşüme konu olan kâğıt ve karton ürünleri genel olarak 5 ana sınıf altında özet olarak Çizelge 5’te gösterilmiştir (Thompson, 1992).

Çizelge 5. Geri dönüşüm kağıt sınıfları (Thompson, 1992).

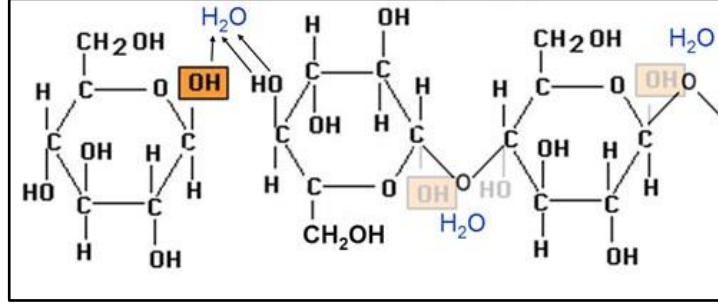
Kâğıt Sınıfı	Tanım	Kullanım yeri
Karışık kâğıtlar	Mekanik veya kimyasal hamurdan üretilmiş değişik kalitede evsel ve ofislerden toplanmış kâğıtlar, kâğıt fabrikasında oluşan kenar-kesim atıkları	Kâğıt-karton kutu üretimi
Gazete atıkları	Ev ve işyerlerinden toplanan yüksek mekanik hamur içeren eski gazeteler	Gazete kâğıdı, yalıtım kâğıt levha ürünleri
Kullanılmış karton kutular	Perakende dükkânları, fabrikalar, ofislerde oluşan her türlü eski karton kutular, kutu fabrikasında oluşan atıklar	Kâğıt-karton kutular, ambalajlama malzemeleri
Kâğıt fabrikasyonu atıkları	Kâğıt fabrikasyonu esnasında oluşan baskı görmemiş beyaz ve renkli kâğıtlar, beyaz veya yarı ağartılmış kâğıtlar, kâğıt dönüşüm tesislerinde oluşan artık kâğıtlar	Beyaz veya renklendirilmiş kâğıtlar, renkli kâğıt havlular
Mürekkepli atıklar	Yüzeylerinde baskı ve yazıyla oluşmuş mürekkep bulunan her türlü kâğıtlar (defter, kitap, magazin, beyaz ve renkli kâğıtlar, bilgisayar çıktısı)	Beyaz ve renklendirilmiş kâğıtlar, renkli kâğıt havlular

Ülkemizde ilgili mevzuatlar çerçevesinde atık kâğıdı toplama ve değerlendirme yetkisi belediyelerin imtiyazına bırakılmıştır. Küçük ölçekli bu kâğıt toplama tesislerinde, kâğıtlar tür veya sınıflarına göre sınırlı şekilde ayrıştırılarak sıkıştırılmakta/balyalanmakta, daha sonra geri dönüşüm tesislerine ulaştırılmaktadır. Bu durum, kâğıt balyaları içinde bazı değişik sınıf kâğıtlarında bulunmasına ve verim kaybının oluşmasına etkiyi yapmaktadır (Şahin, 2010).

2.4.4. Geri dönüşümün selüloz liflerine etkileri

Bilindiği gibi kâğıt yapısının ana iskelet elemanı selülozdur. Selüloz, yeryüzündeki canlı organizmalar tarafından üretilen en önemli doğal polimerlerin başında gelir.

Selüloz zincirinde glukoz ünitelerini bir arada tutan üç adet hidroksil (-OH) grubu bulunmaktadır. Bu hidroksil (-OH) grupları sadece kristal yapının oluşmasında etkili olmayıp aynı zamanda selülozun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ortaya konmasında etkilidir (Atalla, 1992; Biermann 1993; Fengel ve Wegener).



Şekil 4. Selüloz zincir yapısında -OH grupları.

Selülozun yapısını oluşturan anhidroglukopiranoz birimlerinin 180° dönerek bağlanması oluşturdukları yapının stabilitesinde katkı sağlar. Ayrıca selülozun en düşük enerji seviyesinde kararlı ve direnç özellikleri yüksek polimer olması; koltuk formunda düzenlenen anhidroglukopiranoz halkalarında OH gruplarının ekvatorial düzenlenmesi sonucunda kimyasal grupların arasındaki sterik etkileşimin en alt seviyede olmasını sağlar (Şahin, 2010).

Günümüzde en genel kabul görmüş yaklaşıma göre, selüloz yapısında, mikrofibrillerin bir düzen içerisinde ve yoğun hidrojen bağları ile demetler şeklinde bulunduğu kristalin bölge ile daha gevşek düzenin bulunduğu amorf bölge olmak üzere iki farklı kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4). Kristal ve amorf bölgelerin oranı kaynağına göre değişmekle birlikte genel olarak selüloz; %60-70 kristal, %40-30 amorf bölgeden oluşur (Atalla, 1992; Fengel ve Wegener 1984; Sjöstrom 1993).

Selüloz lifleri primer lif olarak veya sekonder lif olarak geri dönüşüm prosesinde fiziksel ve kimyasal olarak değişime uğramaktadır. Selüloz liflerinin kimyasal yapısında yüksek sıcaklığın ve kurumanın etkisiyle değişiklikler meydana gelir (Isogai ve Atalla, 1992).

Selüloz liflerde meydana gelen bu değişim ve etkiler son üründe de direnç, elastiklik açısından farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle primer (virjin lif)

dışında sekonder lifler kâğıt veya levha sanayinde kullanılmaları durumunda modifiye edilmeleri gerekir veya primer liflerle belirli oranda karıştırılırlar.

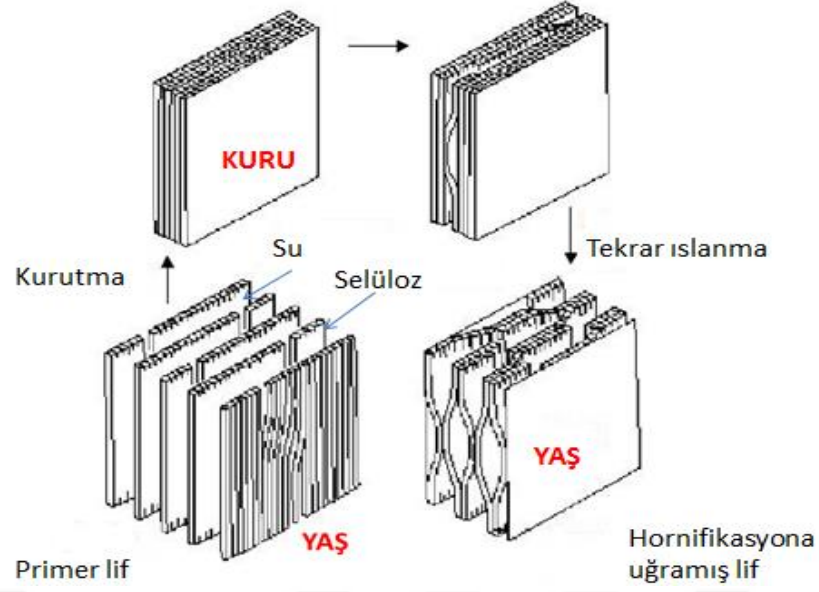
Selüloz lifinin primer ve sekonder lif olması onun su ile davranışında etkilidir. Geri dönüşüm prosesinde primer liflerle sekonder lifler arasında farklılık bulunabilir. Bu farklılık lifler üzerinde en dramatik etkiyi yapan kurutma (su verme) işleminden kaynaklanır (Minor, 1994).

Selüloz lifleri kâğıt imalatı aşamasında, pek çok mekanik etkilere maruz kalmakta ve fiziksel yapısında bir takım değişiklikler meydana gelmektedir. Özellikle ortam ısısının değişmesi selüloz lifleri arasında ısı farklılıkları gerilmeler ve gözeneklerde geri dönüşümsüz büzülmeler oluşturmakta ve bu durum esnekliğin azalması, kırılabilirliğin artması ile sonuçlanmaktadır (Garg ve Singh, 2006).

2.4.4.1. Hornifikasyon olayı

Bilindiği gibi odun yapısında su; serbest su ve bağlı su olmak üzere iki şekildedir. Mikrofibriller arasındaki suya serbest su, selüloz mikrofibrillerine bağlı ve film şeklinde tabaka oluşturan suya bağlı su denilmektedir.

Selüloz liflerinin sürekli kuruma ve ıslanmaya maruz kalması sonucunda, lif morfolojisi geri dönüşümsüz olarak değişir. Lif yüzey alanı azalır ve kristal yapı artar. Esneklik ve elastiklik azalır (Wistara ve Young, 1999). Su verme (kuruma) sonucu selülozun yapısında gerçekleşen kalıcı değişime hornifikasyon denilmektedir (Ellis ve Sedlachek, 1993). Primer lifin kurutulduktan sonra tekrar ıslatıldığında oluşan hornifikasyona uğramış lifler Şekil 5'te görülmektedir (Kaya, 2015; Şahin 2010).

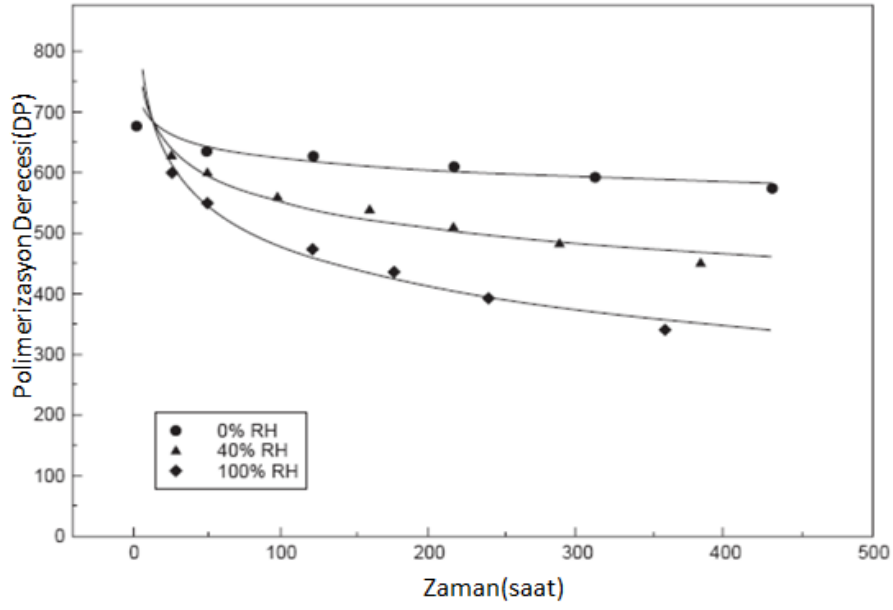


Şekil 5. Hornifikasyona uğramış liflerin görünümünü (Kaya, 2015).

Yapılan çalışmalar sekonder liflerin direnç özelliklerinin primer liflere göre düşük olmasının en büyük sebebinin hornifikasyon olduğunu belirtmektedir. Genel olarak hornifikasyona uğrayan lifler; sert, kırılğan, uyumsuz, bağlanma potansiyeli düşük, yüzey alanı daha azdır (Kaya, 2015; Şahin, 2010).

Kullanımını tamamlayarak atık duruma gelmiş kâğıtların yapısında bulunan selüloz lifleri literatürdeki en yaygın kaniya göre 7. Geri dönüşüme kadar kullanılabilir (Broncato, 2008; Üner ve Şahin, 2004).

Geride dönüşüm esansında sürekli sıcaklık farklılığı, rutubet, mekanik etki ve kurumaya maruz kalan lif üzerinde deformasyon olması olağandır. Şekil 6'da selüloz zincir yapısında zamana bağlı değişim durumu grafikte açıklanmıştır.



Şekil 6. Selüloz zincir yapısının yüksek nem ve zamana bağlı değişimi (Broncato, 2008).

2.4.5. Atık kâğıt ve mukavva ürünlerinin geri dönüşüm ve yeniden kullanılması

Türkiye'de üretilen kâğıdın yaklaşık %30'u toplanabilmektedir. Bu da sistematik bir şekilde yapılmadığından bilhassa büyük şehirlerde evlerde çöp ile dışarıya çöp kaplarına konulan kâğıtların bazı kişilerce çöpten ayıklanması suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu durum iki bakımdan mahzurludur. Birincisi çöpe bulaşan kâğıdın evsafi kötüleşmektedir, ikincisi bu kâğıtların ayıklanması sırasında ortalığa saçılan çöpler toplum sağlığı açısından tehdit oluşturmakta ve çevreyi kirletmektedir. Bu yüzden ülkemizde bu konuda atılacak ilk adım sistematik bir toplama sisteminin devreye sokulmasıdır.

Yapısında selüloz bulunan ve kullanımdan sonra atıl duruma gelmiş olan atık kâğıtların geri kazanılması ve yeniden kâğıt üretiminde kullanılması son yıllarda kâğıt endüstrisinin üzerinde durduğu önemli konuların başında gelmektedir.

Atık kâğıt geri kazanılmasının en önemli faydasının başında daha ekonomik ve çevrede az zararlı prosesler yardımıyla yeniden kâğıt üretimine uygun selüloz

hammadesinin üretilebilmesidir. Ayrıca önemli bir katı atık olarak görülen selüloz hammaddesinden en uygun faydalanma sağlanmaktadır.

Atık kâğıt-karton ürünlerinin toplanıp yeniden kâğıt üretiminde kullanılması ile yurt dışından selüloz ve kâğıt ithalinin azalması ile önemli derecede enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Atık kâğıt ve karton ürünlerinin geri dönüşüm miktarını arttırmak ve bu konuda gerekli gelişmeleri sağlamak amacıyla aşağıdaki hususların göz önünde tutulması önemlidir.

- a) Atık kâğıdın önemi vurgulanarak halkın bilinçlenmesi sağlanmalıdır,
- b) Atık kâğıt işleyen tesislerin kurulması teşvik edilmelidir,
- c) Atık kâğıtların toplanması ve işlenmesi esnasında sınıflandırmalar yapılmalıdır,
- d) Atık kâğıt standartları geliştirilmelidir,
- e) Atık kâğıt fiyatları toplumu teşvik edici seviyede olmalıdır,
- f) Gönüllü çevre koruma ve yardım derneklerinin atık kâğıt toplamasına katkıları sağlanmalıdır.

Atık kâğıt kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- a) Enerji tasarrufu sağlanmaktadır,
- b) Ucuz bir hammaddedir,
- c) Orman kaynaklarının korunmasını sağlar,
- d) Belediyelerin temizlik işleri kolaylaşır, katı atıkları bertaraf etme giderleri azalabilir,
- e) Atık kâğıdın geriye kazanılmasının başarıya ulaştığı ölçüde çevre kirliliği azaltılabilir,
- f) Son yıllarda göze batan reorganize edilirse gerçekten istihdam gücü yaratabilecek önemli bir husus atık kâğıdın iş olanakları sağlar,
- g) Atık kâğıda dayalı tesislerin ilk yatırım ve işletme giderleri hammadde olarak selüloz kullanan tesislere göre daha düşüktür.

Atık kâğıtların geri dönüşüm işlemleri sırasında selüloz kalıtsal olarak değişime uğramakta, suda şişme özeliği geri dönüşümsüz olarak azalmaktadır. Selüloz liflerinde meydana gelen bu değişiklik sonucu liflerin esneklik ve plastikleşme özeliği kaybolmaktadır. Selüloz liflerinin kuruması ve tekrar su ile muamelesi

sonucu mikrofibrillerin yeniden karşılıklı olarak düzenlenmesi sonucu daha yoğun hidrojen bağları oluşmakta ve selülozun kristal yapısı artmaktadır. Bu durumdaki selüloz liflerinden üretilen ürünlerin (kâğıt/karton) fiziksel ve direnç özellikleri azalmaktadır (Şahin, 2013).

Atık kâğıtlardan elde edilen sekonder liflerin drenajlarının düşük olması, yabancı maddeler içermesi ve her bir dönüşüm sonrası dirençlerinin azalması gibi nedenlerle kâğıt üretimi sırasında problemler oluşmaktadır (İmamoğlu vd., 2005).

Atık kâğıtlardan elde edilen liflerin sıva malzemesi kullanımının araştırıldığı çalışmada, karışımda; %5'e kadar perlit ve kalsine tinkal (boraks), %2,5' a kadar atık kâğıt ve %17,7'e kadar atık kalsine tinkal kullanılarak sıva malzemesi üretilmiştir.

Bu çalışmada, katkı malzemesi olarak %0-5 perlit, %0-2,5 atık kâğıt, %0-5 kalsine tinkal (boraks) ve %3,5-17,7 atık kalsine tinkal kullanılarak sıva malzemesi üretilmiştir. Bu malzemenin deney sonuçlarında en uygun ısı iletkenlik değeri: 0,17 W/m²K, mukavemet değeri 61,44 kg/cm² bulunmuştur. TSE 825 e göre bu değerlerin sırasıyla 0,13 W/m²K ve 24 kg/cm² olduğu göz önüne alındığında, laboratuvar şartlarında üretilen atık kâğıt katkılı bu ürünün, ısı geçirgenlik ve mukavemet direnç değerinin, standart değerden sırasıyla yaklaşık %26 ve %31 daha yüksek olduğu anlaşılmıştır (Batar vd., 2009).

Kağıt hamurlarının yonga levha üretiminde kullanılmasının araştırıldığı çalışmada, levha yüzeylerinde kağıt hamuru bulunan tek ve üç tabakalı levhalar imal edilmiştir. Levhaların üretiminde %3-4 metilen difenil diizosiyanat (MDI) ve %10-12 üre-formaldehit (UF) tutkalları kullanılmıştır. Sonuç olarak üretilen levhaların mekanik özelliklerinin kağıt hamuru miktarından olumsuz etkilendiğini açıklanmıştır (Taramian vd., 2006).

Melamin ile empenye edilmiş atık kağıt kesikleri odun parçacıkları ile MUF tutkalı kullanılarak levhalar üretilmiştir ve levhaların özellikleri araştırılmıştır (Fur vd., 2004).

Grigoriou (2003), odun parçaları ile atık kâğıt parçacıklarını değişik oranlarda karıştırarak üç farklı kâğıt çeşidinden (gazete, ofis kâğıdı ve dergi kâğıdı) %0,7-2,0 arasında balmumu ve % 5, 8 ve 10'luk üç farklı seviyede izosiyanat reçinesi ile levha üretim olanaklarını araştırmıştır. Levhaların yapındaki balmumunun levhalar su içinde kalınlık artımını önemli ölçüde azalttığını ve atık gazete kâğıdın üretilenlerin en yüksek, atık dergi kâğıdından üretilenlerin ise en düşük özelliklere sahip olduklarını belirlemiştir.

Yang ve ark. (2002), atık kâğıt parçacıkları % 10 oranında üre-formaldehit (UF) tutkalı ve yangın geciktirici maddeler ile karıştırılarak 0.8-1.0 özgül ağırlığında levhalar üretilmiştir. Levhaların mekanik direnç özelliklerinin, MDF ve yonga levhalardan daha düşük olduğunu fakat alçı levha ve yalıtım levhasına göre daha üstün özelliklere sahip oldukları gözlenmiştir (Yang vd., 2002).

Binici ve ark. (2013), atık kâğıt ve mukavvaların geri dönüşümü esnasında (lif açma) uçucu kül ve barit ile karıştırılarak bir yalıtım malzemesi üretimi yapılmıştır. Levha taslakları, etüvde kurutulmuştur. Elde edilen levha örneklerinin ısı iletim katsayısı, ses izolasyon özellikleri ve radyoaktif geçirgenlik özellikleri belirlenmiştir (Binici vd., 2013).

Bir çalışmada, atık oluklu mukavvalardan geri dönüşümle elde edilen lifler değişik oranlarda odun lifleri ile karıştırılarak lif levhalar üretilmiştir. Çalışma sonucunda, odun liflerine %40'dan daha fazla oranda geri kazanılmış mukavva liflerinin katılmasının levhaların özelliklerini önemli derecede düşürdüğü saptanmıştır (Chin-Y vd., 2005).

Kaya (2015), atık kâğıtları üç farklı kategoride toplayarak geri dönüşüm işlemleri uygulamış ve geri kazandığı atık kâğıt liflerinden (sekonder lif) sentetik üre formaldehit tutkalı ile karıştırılarak orta yoğunlukta lif levha üretim olanaklarının araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda sekonder kâğıt liflerinin tek başlarına veya birbirleriyle değişik oranlarda karıştırılarak lif levha benzeri panel ürünlerinin üretilebileceğini ve bu ürünlerin mekanik direnç ve teknolojik özelliklerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu açıklamıştır.

2.5. Alçı ve Genel Özellikleri

Alçı, tarihte kullanılan en eski yapı malzemelerinden birisidir. Yapılan arkeolojik çalışmalarda, M.Ö. 6800-5700 tarihlerinde kullanıldığı anlaşılan bazı alçı kalıntıları Konya Çatalhöyük'te bulunmuştur. Tarih boyunca insandan alçıdan yapı malzemesi olarak faydalanmıştır. Alçıdan yapılmış eserlere Anadolu ve Mezopotamya'da Sümer, Asur, Selçuklu ve Osmanlı kalıntılarında, ayrıca Aztek, Mısır, Yunan ve Roma uygarlıklarında rastlanılmıştır. Avrupa'da Rönesans mimarlığında, devrin mimar ve ressamı tarafından iç ve dış mekânlarda, kolay şekillendirilebilmesinden dolayı kullanılmıştır (Avcıoğlu, 2011).

Günümüzde, Dünya genelinde işletilebilir alçı rezervlerinin 3 milyar tonun üzerinde olduğu tahmin edilmekle beraber yarısına yakını ise Amerika kıtasında bulunduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de alçı taşı yatakları yaygın olarak Orta Anadolu, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde bulunmaktadır. Alçı taşı rezervlerimizi onlarca milyon ton olarak ifade edebiliriz.

2.5.1. Alçının kimyasal yapısı

Alçı taşına, doğada büyük miktarlarda rastlanılır. Genel olarak doğada iki farklı şekilde bulunur. Bunlar;

A. Sulu Kalsiyum Sülfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),

B. Susuz Kalsiyum Sülfat Anhidrit (CaSO_4).

Kimyasal bileşiminde ağırlıklı olarak kalsiyum sülfat bulunan mineraller ise doğal alçıtaşları ve sentetik alçıtaşları olarak iki grupta toplanırlar. Doğal alçıtaşı mineralleri; jips, anhidrit, bassanit, albatr, ipek jips, selenit olarak tanımlanırken, sentetik jipsler ise; fosfojips, florojips, titanojips ve FGD jips gibi isimler alırlar (Avdan, 1997).

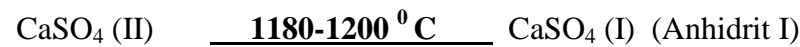
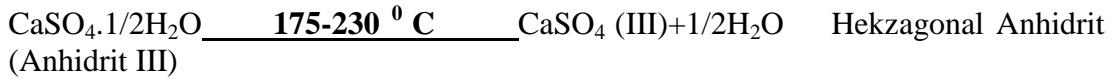
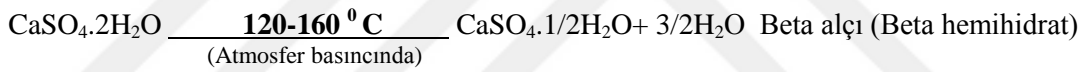
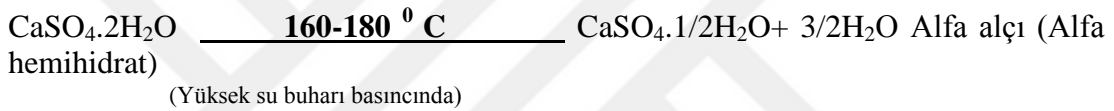
2.5.1.1. Doğal alçıtaşları

Jips ve Anhidrit ekonomik rezerv oluşturan alçıtaşı mineralleridirler. Birbirlerinden sertlik ve özgül ağırlıkları ile kolayca ayırt edilebilirler. Taneli jips kristalleri jips kayaçlarını oluşturur, tane çapları safsızlık dereceleri ile orantılıdır ve yabancı madde etrafında oluşan kristalleri iri taneli olurlar. Jipse göre daha yoğun olan anhidrit

minerali de, anhidrit kayacı olarak, jips yataklarında bulunur (Sarız ve Nuhoğlu, 1992).

2.5.1.2. Sentetik alçıtaşları

Bu gruba deniz suyundan elde edilen deniz suyu jipsi ile fosforik, fluorik, sitrik, laktik ve tartarik asitler ile titanyum dioksit üretimlerinde birlikte üreyen jipsler ve yüksek kükürt içerikli kömür kullanan termik santral baca gazları sülfür giderme işlemlerinde oluşan jips ürünleri girer. Bu nedenle, üretim yerine göre: fosfojips, florojips, borojips, tanojips ve sülfür giderme (desülfüro jips) olarak tanımlayabileceğimiz FGD Jips (Flue Gas Desulfurization) isimlerini alırlar (Özbayoğlu ve Gürel, 1997).



Şekil 7. Alçı oluşum kimyasal denklemi (Önem, 1996).

A. Beta Alçı: Priz süresi 25-35 dakika, 13 kg/cm² çekme dayanımlı ve 56 kgf/cm² basma dayanımlı, katılaşması için yüksek oranda suya ihtiyaç duyulan, düşük değerli bir alçıdır.

B. Alfa Alçı: Priz süresi 15-20 dakika, 66 kg/cm² çekme dayanımlı ve 560 kgf/cm² basınç dayanımlı, yüksek değerli bir alçıdır.

C. Anhidrit III. Çözünür anhidrit olarak bilinir. Alçıdan daha az plastiktir, uygun koşullarda su ile birleştiğinde daha yoğun ve yüksek dayanımlı kütle oluşturur. Neme karşı aşırı duyarlıdır.

D. Anhidrit II: Çözünmez anhidrit olarak bilinir. Su ile birleşerek katılaşma özelliği yoktur, Keenes Çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanılır. Anhidrit I bileşiminde kalsiyumoksit oranı yüksektir. Suyla karıştırıldığı zaman alçıtaşının diğer ürünlerine göre daha yavaş katılaşır. Katılaştığı zaman daha yoğun, sert ve dayanıklı bir kütle oluşturur (Önem, 1996). Alçı taşı, fırınlarda sıva ham alçının kireçlenmesiyle elde edilir.

Genel olarak, alçı donarken hacmi %7' ye yakın oranda daralmaktadır. Alçının suyunu buharlaştırmaya kalsiniye etmek denir. Açık havada, zayıf organik asit çözeltilisinde, otoklavda (Otoklav, basınçlı su buharı ile doymuş bir ortamda 121°C sıcaklıkta 15-20 dakikada sterilizasyon yapan araçtır.), kalsiyum klorürlü suda (en sert alçı bu şekilde elde edilir) kalsiniye edilebilir. Ticari olarak genellikle üç alçı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar;

2.5.1.2.1. Perlitli sıva alçısı (Kaba sıva 5-40 mm)

Her türlü kagir yüzey(tuğla ve beton malzemeye yapılan yapı) üzerine yerinde dökülen betonda dahil, kaba ve gözenekli tavan ve duvar yüzeylerine ilk kat olarak uygulanır. Düşeyde 5-40 mm, yatay da 5-20 mm kalınlıkta yapılır. Son kat saten uygulaması için ideal astar oluşturur (Avcioğlu, 2011)

2.5.1.2.2. Saten sıva alçıları (İnce sıva 0,3-1 mm)

İç mekânlar için son kat alçı karışımıdır. Saten perdah alçısı; alçı levha, kaba sıva, alçı sıva ile kaplanmış duvarlar, brüt beton yüzeyler ve kirli boyanmış yüzeylere uygulanan bir yüzey düzeltme sıvasıdır. Duvar ve tavan yüzeylerini son şekle getirmek, her türlü boya ve duvar kâğıdına uygun zemin hazırlamak için ideal inşaat malzemesidir. Yatayda ve düşeyde 0,3-1 mm kalınlığında yapılır (Avcioğlu, 2011).

2.5.1.2.3. Makine sıva alçları

Beton, gaz-beton, brüt-beton, tuğla, bimsblok, briket gibi malzemeler üzerine uygulanabilen, ideal inşaat malzemesidir. Tek kat uygulama ile saten perdah alçısına gerek kalmadan, boyaya hazır yüzey oluşturur (Avcıoğlu, 2011).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1. Pirinç sapları, odun yongası ve atık kâğıtlar

Kompozit levha üretimi için kullandığımız pirinç sapları Biga-Çanakkale'den temin edilmiştir. Pirinç ekim alanlarında üretimin bittiği dönemde pirinç elde edildikten sonra arta kalan sapları biriktirilmiş ve yeterli miktarda bu araştırma için kullanılmıştır. Odun talaşları ise Isparta'da Kızılcıdam tomruklarından kereste üretimi yapan ticari bir tesisten temin edilmiştir. Atık kâğıtlar ise, Isparta'daki bir matbaadan kenar kırpma/kesme artıkları şeklinde küçük parçacıklar halinde temin edilmiştir. Bu kâğıt çeşidi yazı/basımlık kâğıt olarak tam ağartılmış kraft kâğıdı olarak bilinmektedir. Bu kâğıt ürünleri henüz üzerinde herhangi bir dönüşüm işlemi uygulanmamıştır ve kâğıt firmasından temin edildiği durumda reçetesinde belirtildiği şekilde (Stora Enso Creamy) özellikleri aşağıda gösterilmiştir.

- Gramaj (g/m^2): 48-90
- Hacimlilik (cm^3/g): 1,6-2,0
- Parlaklık (ISO 2470-2, %): 73,5
- Opaklık (ISO 2471, %): 86-96

Oluklu mukavvalar ise, Isparta'da kurulu bir tesisin kullandığı oluklu mukavva ambalaj örneklerinden temin edilmiştir. Bu mukavva örnekleri herhangi bir ilave kimyasal işlem yapılmadan temin edildiği şekli ile sadece küçük boyutlara getirilerek kullanılmıştır. Bu mukavva örneklerinin teknik özellikleri üretici firma tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir (Hugener, 2014).

- Yoğunluk (g/cm^3): 1,27-1,31
- Hacimlilik (cm^3/g): 0,76-0,79
- Parlaklık (Tappi R-457, %): 88-93
- Opaklık (ISO 2471, %): 95-96.

Sekonder lifler ise, yazımlık/basımlık işleminden sonra atıl hale gelmiş, üzerinde mürekkep ve diğer yazı/şekillerin bulunduğu ofis kâğıtlarından özel olarak toplanmış ve geri dönüşüm işlemine tabi tutulmuşlardır. Atık kâğıtların geri dönüşüm işlemi/lif açma işlemi Tappi standart test yöntemlerine göre yapılmış ve açığa çıkan lifler geri

kazanılarak kurutulmuş ve deneme levhalarının üretimi için standart rutubet derecelerine ulaşması sağlanmıştır.

3.1.2.Yapıştırıcı madde (Alçı)

Levha üretiminde yapıştırıcı olarak kullanılan alçı (mineral esaslı yapıştırıcı), piyasadan ticari olarak satıldığı şekli ile 35 kg'lık çuvalda satın alınmıştır ve temin edildiği şekli ile kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan alçının (perlitli sıva alçısı) genel özellikleri Çizelge 6' da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Perlitli sıva alçısı teknik özellikleri.

Su/Alçı kullanım oranı (hacim, lt./ağırlık, kg)	6,0–6,5/10
Priz başlangıç süresi (Dakika, TS EN 13279-1'e göre)	> 20 dk.
Karışım hazırlandıktan sonra kullanım süresi (Dk.)	60
Uygulamadan sonra donma süresi (dakika)	150
Tüketim miktarı (her 1,0 cm kalınlık için)	9 – 9,5 kg/m ²
Basınç dayanımı (en az; 4x4 blok, 4x4x16 küp blok)	25 kgf/cm ²
Eğilmede kırılma dayanımı (en az)	10 kgf/cm ²
1000 Mikron elekten geçen miktarı (En az, %)	100
150 Mikron elekten geçen miktarı (En az, %)	60
Gevşek birim hacim ağırlığı (toz)	750 – 850 kg/m ³
Kuru birim hacim ağırlığı (toz)	950 – 1000 kg/m ³
Isı iletkenlik değeri (TS 825'e göre)	0,34 W/mK
Yangına Tepki	A1
Standart	TS EN 13279-1 B4/20/2 Yüksek alçı oranlı (elle uygulanan) bina için hafif sıva alçısı

3.1.3. Hammaddenin hazırlanması

Kızılcım odun talaşları, laboratuvar şartlarında fırında fırın kurusu hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Pirinç sapları ise biçildikten sonra 15 gün tarlada, temin edildikten sonra laboratuvar şartlarında 45 gün açık havada ve en son kurutma fırınında 105 °C (±5), rutubet % 2-3'e gelinceye kadar kurutulmuştur. Pirinç makinede daha kolay yongalanması için makasla küçük boyutlara kesilmiş ve

boyutları 50-60 cm' den, 6-7 cm' ye düşürülmüştür. Matbaadan kenar kesim artıkları olarak ince şeritler (25-50 cm'lik parçacıklar) olarak temin edilen atık kâğıtlarda elle kesme işlemi ile daha küçük parçalara (3-5 cm) ayrılmış ve çekiçli değirmen makinesinde yongalanmıştır. Yine benzer şekilde geniş tabakalar halinde sağlanmış mukavva kartonlarda elle kesme işlemi ile daha küçük boyutlara (3-5 cm) getirilmiştir.



Şekil 8. Laboratuvar ortamında deneme numunelerinin hazırlanması (Foto: İlhan Demir, 2018).

3.1.4. Deneme levhalarının üretimi

Ağırlık ölçümleri hassas terazide ($\pm 0,10$ gr) yapılmış olan alçı, atık kâğıt/karton, talaş ve pirinç sapları karışımı laboratuvar tipi karıştırıcıda (mikser) yapılmıştır. Genel olarak karıştırma işlemi esnasında yapılan gözlemler sonucu 5-10 dakika arasında uygulanmıştır.

Levha taslağının hazırlanmasında 400 x 400 mm boyutların da genişlik ve enine sahip 10 mm kalınlığında metal bir kalıp kullanılmıştır. Bu levha taslağımızın hacmine göre istenilen yoğunlukta yapılacak levhalar için karışım miktarları ayarlanmıştır. Levha taslağı (karışım), daha önceden yağlı kâğıt yerleştirilmiş presleme kalıbına aktarılmıştır. Bu yağlı kâğıtların kullanılmasının nedeni, presleme esnasında ve

sonrasında levhaların pres saçlarına yapışmasının önlenmesidir. Karışımın homojenliği sağlandıktan sonra kalıplara dökülmüş ve daha sonra plastik mala ile yüzeyi düzgün hale getirilmiştir.

Taslak levhalar, laboratuvar tipi 50 x 50 cm plakaları olan elektrik ile ısıtılan preste soğuk olarak preslenmiş ve 14 gün'e kadar bekledikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Deneme levhalarının üretiminde kullanılan presleme şartları diğer sayfadaki şekilde kısaca belirtilmiştir. Bunlar;

Presleme zamanı: 1-2 gün pirinç/alçı karışımı için: 7-14 gün atık kâğıt ve mukavva örnekleri için,

Pres basıncı (N/mm²): 2-3 pirinç/alçı karışımı için: 0-1 kâğıt ve mukavva/alçı örnekleri için,

Kalınlık (mm): 6-10,

Levha boyutları (mm): 420 x 330 mm.

Levhaların üretilmesi esnasında, levha taslağına su almasını ve kalınlık artışını engelleyecek herhangi bir hidrofobik madde kullanılmamıştır. 1000 gr/cm³ (\pm 100 gr/cm³) yoğunluklarda üretilen levhaların üretim aşamaları Şekil 1 de, üretimde kullanılan karışım oranları ise Çizelge 7 ve 8'de özetlenmiştir. Her bir üretim şartlarından da 2'şer adet olmak üzere toplam 54 adet deneme levhası üretilmiştir. Levhalar klimatize edilerek deneme örnekleri uygun boyutlarda kesilmiştir.



Şekil 9. Deneme levhalarının üretim aşamaları (Foto: İlkhan Demir, 2018).

Çizelge 7. Alçı esaslı deneme levhalarının kodları ve karışım oranları (%) (A: Kâğıt, B: Oluklu mukavva, C: Geri kazanılmış kâğıt lifi (Sekonder lif).

Levha kodu	Selülozik katkı (gr)	Alçı (gr)	Selülozik katkı (%)	Alçı (%)
A1-B1-C1	0	1600	0	100
A2-B2-C2	160	1440	10	90
A3-B3-C3	320	1280	20	80
A4-B4-C4	480	1120	30	70
A5-B5-C5	640	960	40	60
A6-B6-C6	800	800	50	50
C7	960	640	60	40
C8	1120	480	70	30

Çizelge 8. Odun ve pirinç sapı karışımının ilave edilmesiyle üretilmiş alçı esaslı levhaların kodları ve karışım oranları (%) (D: Odun, E: Pirinç sapı).

Levha kodu	Odun (gr)	Pirinç (gr)	Odun (%)	Pirinç (%)	Alçı (gr)
DE0	1000	0	100	0	800
DE1	900	100	90	10	800
DE2	800	200	80	20	800
DE3	700	300	70	30	800
DE4	600	400	60	40	800
DE5	500	500	50	50	800
DE6	400	600	40	60	800

3.2. Levhaların Özelliklerinin Tayini

3.2.1. Levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini

Çalışma kapsamında farklı hammadde karışımlarıyla elde edilen deneme levhalarının fiziksel ve mekanik özellikleri olarak; Yoğunluk, su içinde 2 ve 24 saat sonraki kalınlık artış ve su alım değerleri, genel direnç özellikleri (yüzeye dik çekme, kırılma direnci ve elastikiyet modül özellikleri ile optik renk özellikleri, Isparta Uygulamalı

Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında yapılmıştır.

Yoğunluk: EN 323 (1999) de belirtilen esaslara göre üretilen deneme levhaları; EN 325 (1999)' e göre 50x50 mm boyutlarında her bir levhadan 5 er tane olmak üzere bir gruptan minimum 15 adet örnek hazırlanmıştır. EN 326-1 (1999)'e göre deney numunelerinin kesimi yapılmıştır. Kesim işlemi tamamlandıktan sonra örnekler 105 (±2) °C de fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Örneklerin ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır ve boyutları ise ± 0,01 duyarlıdaki kumpasla ölçülmüştür. Örneklerin yoğunlukları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\delta = (Mo/V)$$

Burada: δ : Yoğunluk (gr/cm³): Mo: Deney örneğinin tam kuru ağırlığı (gr): V: Deney örneğinin tam kuru hacmi (cm³).

Su içinde kalınlık artımı (%): EN 317 (1999)' standardına uygun olarak her bir gruptan minimum 15 adet örnek hazırlanan örnekler su içinde 24 saat süre ile bekletilmiş ve numunelerin kalınlık artımları, EN 325 (1999)' e göre mikrometre ile örneğin köşelerinin kesişme noktasından 0.01 hassasiyetle ölçülmüştür. Buna göre;

$$Ka = (Es - Eo/Eo) \times 100$$

Burada; Ka: Deney örneklerinin kalınlık artım miktarı (%): Es: Deney örneğinin su almış haldeki kalınlığı (gr): Eo: Deney örneğinin tam kuru haldeki kalınlığı (gr).

Eğilme Direnci: EN 310 (1999)' a göre eğilme direnci deneyleri yapılmıştır. Numunenin alınması ve deney parçalarının kesilmesi işlemi ise EN 326-1 (1999)' e göre; deney parçaları dikdörtgen biçiminde olup, 50 mm genişliğinde ve uzunluk ise deney parçasının en kalınlığının 20 katı (± 50 mm) en çok 1050 mm ve en az 150 mm olacak şekilde ve ayarlanır. Eğilme direnci aleti olarak ise; EN 325 (1999)' e uygun olan alet kullanılmıştır. Yük deney boyunca sabit hızla uygulanmış ve yükleme başlığının hızı en büyük kuvvete saniyede ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan kuvvetin değeri 0.01 hassasiyetle ölçülerek “yük-ehim” diyagramı çizilir. Uygulanan en büyük kuvvet % 1 hassasiyetle ölçülerek kaydedilir. Her bir deney parçasının eğilme dayanımı, en büyük kuvvet “Fmax” anındaki momentin “M” en kesit alanına oranı yoluyla hesaplanır.

Buna göre;

$$F = (3 P_{max} * L/2b * h^2)$$

Burada; F: Örneğin eğilme direnç değeri (N/mm²): P_{max}: Kırılma anındaki maksimum yük (N): L: Dayanak açıklığı (mm): b: Örnek genişliği (mm): h: Örnek kalınlığı (mm).

Eğilmede Elastikiyet Modülü: Eğilmede Elastikiyet modülü EN 310 (1999)' a göre belirlenmiştir. Eğilme direncindeki aynı örnekler üzerinden ölçme aletiyle eğilme direnci yapılırken eğilme miktarı deney parçasının ortasından 0.01 mm hassasiyette ölçülür. Buna göre Eğilmedeki elastikiyet modülü (E);

$$E = (P * L^3/4b * h^3 * f)$$

Burada: E: Eğilmedeki elastikiyet modülü (N/mm²): P: Elastikiyet sınırı altında tatbik edilen yük (N): L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: Örnek genişliği (mm), h: Örnek kalınlığı (mm), f: P yüküne karşı örnekte meydana gelen deformasyon (mm).

Yüzeye Dik Çekme Direnci: Yüzeye dik çekme deneyleri EN 319 (1999)' a göre zwick marka 3 silindirli 4-75 devir hız ayarı olan bir makine kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney makinesi kavrama çeneleri arasına yerleştirilen deney parçalarının yüzeye dik yöndeki çekme kuvveti uygulayacak ve uygulanan kuvveti %1 hassasiyetle ölçecek özelliktedir. Numunelerin alınması ve deney parçalarının kesilmesi, EN 326-1 (1999)' e uygun olarak yapılmış olup, kenar uzunluğu 50 mm (±1) olan kare şeklinde, kenarları dik uçları düzgün ve temiz olarak kesilir. Hazır olan örnekler standartlara uygun şekilde hazırlanmış olan alüminyumdan hazırlanmış metal olan aparatlara cyabond tutkalı ile yapıştırılır. Yapıştırılan örnekler 5 dk bekletilir, tamamen yapışma gerçekleştirildikten sonra numune deney makinesinin kavrama çeneleri arasına yerleştirilir. Deney parçalarının yüzeye dik yönde ve kırılma meydana gelinceye kadar, üniform bir çekme kuvveti uygulanarak, deney parçalarının yüzeye dik yöndeki çekme dayanımı tayin edilir. Deney parçasının kopmasını sağlayan kuvvet % 1 hassasiyetle ölçülerek kaydedilir. Deney parçasının yüzeyine uygulanan maksimum çekme kuvvetinin, deney parçasının yüzey alanına oranı yardımı ile yüzeye dik çekme direnci aşağıdaki şekilde hesap edilir.

$$Y_{dc} = (P_{max}/A)$$

Burada; Y_{dc} : Yüzeye dik çekme direnci (N/mm^2), P_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N), A : Örneğin enine kesit alanı (mm^2)

Deneme bölgesinin dışında meydana gelen kısmi çatlaklar, tutkallama hattında oluşan çatlaklar veya deney blokları üzerinde meydana gelen çatlaklar değerlendirilmemeli ve bu durumda, yeni deney parçaları kullanarak deney yenilenmelidir.



Şekil 10. Deneme levhalarının mekanik direnç özelliklerinin tayini (Foto: İlkhan Demir, 2018).

Yüzey Sertlik Tayini: Bilindiği gibi bir malzemenin sertliği genel olarak yüzeyde deformasyona (batmaya) karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Malzemelerin yüzeylerinde oluşan deformasyon ne kadar küçük ise malzemenin sertliği o derece yüksektir şeklinde değerlendirme yapılabilir. Literatürde metal ve diğer sert malzemelerde Rocwell, Brinell ve Vickers sertlik deneyleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu her bir yaklaşımın kendisine özgü bir değerlendirme skalası bulunmaktadır.

Daha yumuşak malzemeler için ise örneğin odun esaslı kompozit malzemeler, plastikler, polimerler ve diğer bazı esnek malzemelerin (elastomer) sertlik değerini belirlemek için Shore (A-D) yöntemi de kullanılabilir.

Shore-D sertlik ölçüm yöntemi daha çok plastik, poliüretan, poliamid, kevlar, akril, ahşap ve polistren gibi daha rijit malzemelerin sertliğini ölçmede kullanılmaktadır. Bu uygulamada, sertlik ucunun malzemeye ne kadar nüfuz ettiği ölçülmektedir. Dalma ucu, uluslararası normlarca belirlenmiş özelliklere sahip yaylı bir sistem tarafından hareket ettirilmektedir. Malzemenin sertlik değeri ne kadar büyükse, dalma derinliği o kadar az, fakat uygulanan kuvvetin ise daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmamızda alçı yapısına farklı oranlarda atık kâğıt, atık mukavva, sekonder lif ve kızılçam odun/pirinç sapı karıştırılarak üretilmiş levhalar ASTM D2240 standardına göre Shore-D sertlik cihazı ile yapılmıştır. Deneme levhalarının ilk önce normal şartlardaki Shore-D sertlik değerleri belirlenmiş daha sonra aynı levha örnekleri 60 gün süreyle dış atmosferik şartlarda bırakılmış ve yeniden Shore-D sertlik değerleri ölçülmüştür.

3.2.2. Levhaların optik (renk) özelliklerin tayini

Çalışma esnasında elde edilen deneme levhalarının genel renk özellikleri X-RITE SP 68 model spektrofotometre cihazı ile belirlenmiştir. Deneme levhalarından 50x50x10 mm boyutlarında 2'şer adet deney numunesi, dış atmosferik şartlarda 60 gün süre ile bekletilmiş ve yüzeyler arası renk farklılıkları CIE L* a* b* (1976) standardına göre ölçülmüştür. Bilindiği gibi bu standartta L* parlaklık/koyuluk, a* kırmızılık (+)/yeşillik (-), b* sarılık (+)/mavilik (-) değerlerini ifade etmektedir. Renk değerleri aşağıda gösterilen CIE L* a* b* renk alanlarına ait koordinatlara göre değerlendirilmiş ve ΔE (toplam renk farkı) hesaplanmıştır.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Burada; ΔE : toplam renk farkını; Xn, Yn, Zn: Temel renk referans (tristimulus) değerlerini; a*: Kırmızılık-yeşillik, b*: Sarılık-mavilik değerlerini ifade etmektedir.

3.2.3. Levhaların kimyasal ve teknolojik özelliklerinin tayini

Kısaca FTIR analizi olarak bilinen Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi malzemelerin fonksiyonel gruplarının belirlenmesi ve muhtemel değişimlerinin

karşılaştırmalı olarak analizinde yaygın olarak kullanılan ve iyi bilinen bir yaklaşımdır. Temiz (2005), FTIR tekniğinin yaygın olarak kullanılmasını kısaca aşağıdaki şekilde açıklamıştır;

- Değişik moleküllerin daima farklı kızılötesi spektruma sahip olmaması,
- Lignoselülozik hammaddelerdeki temel kimyasal bileşiklerin (selüloz, hemiselüloz ve lignin) farklı karakteristik piklere sahip olması,
- Karışımları oluşturan bileşiklerin katkılı olması ve anahtar piklerinin absorpsiyonunun, kimyasalların konsantrasyonu ile orantılı olmasıdır.

Literatürde açıklanmış selüloz esaslı hammaddelerin tipik FTIR pik frekans değerleri aşağıdaki gibi verilebilir (Yilgör vd. 2013; Pandey, 2005).

- 1030-1060 cm^{-1} : Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi
- 1145-1162 cm^{-1} : Selülozdaki C-O-C gerilmesi
- 1230-1270 cm^{-1} : Lignin ve hemiselülozdaki CO
- 1315-1376 cm^{-1} : Selüloz ve diğer bileşiklerdeki CH_2 ve C-H
- 1420-1430 cm^{-1} : Aromatik halkalardaki C=C
- 1500-1610 cm^{-1} : Lignindeki aromatik halkalardaki C=O veya COO-
- 1630-1660 cm^{-1} : Aril ketondaki -OH, Alkinlerdeki C=O
- 1718-1740 cm^{-1} : Keton, aldehit ve diğer gruplarındaki C=O

FTIR analizi: Deneme levhalarının yüzeylerindeki fonksiyonel grupların tayini için Shimadzu IR Prestige-21 IR spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Yüzeylerdeki çok ince tabakadan hassas olarak toplanan parçalar, potasyum bromür ile standart peletlerin hazırlanmıştır. Cihazda 4000–400 cm^{-1} aralığında örneklerin spektrumları alınmıştır. Elde edilen spektrumlar kendi aralarında birbirleri ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş, varsa oluşan farklılıklar belirlenmiştir.

TGA/DTA/DSC analizi: Bu analiz ile deneme levhalarının sıcaklık değişim aralıklarında, ağırlığında meydana gelen değişimi nicelik olarak incelenmiştir. Zira maddenin dehidrasyonunu ve bozulmasını sıcaklık-zaman değişkenlere bağlı olarak TGA (Termal Gravimetric Analyzer) analizi yardımıyla incelenebilmektedir. Malzemede ağırlık değişimi, yapısında bağların kopması sonucu oluşur. Sıcaklık artışı ile oluşan kimyasal reaksiyonlar sonrası yüzeyden uçucu madde ayrışması olur

ve ağırlık zamanla azalır. TGA analizleri yaklaşık 5 mg örnekler ile termal bozunma ve kütle kayıpları, azot ortamında 10 °C/dk ısıtma hızında Perkin Elmer SII Diomand model termal analiz cihazında yapılmıştır. TGA testi sırasında numunenin kütlelerinin, numunenin sıcaklığına ve zamana göre değişimi, kontrollü atmosferik şartlar altında ölçülmüştür.

Sıcaklık değişiminin örneğin kütlesinde bir değişimin oluşturması gerektiği için, Termogravimetrik yöntemlerden elde edilen veriler, DSC (Diferansiyel Scanning Calorimeter)'den elde edilen verilere göre daha sınırlıdır. Ayrıca enerji değişimi yaratan dönüşümler her zaman bir ağırlık değişimi yaratmayabilir. Bu nedenle DSC termogramında alınabilen sonuç Termogravimetrik incelemede alınamayacaktır.

Diferansiyel termal analizde (DTA) bir kimyasal örnek ile inert bir referans bileşik arasındaki sıcaklık farkı ölçülerek örneğin absorpladığı ısı gözlemlenir. Örnek ile referans arasındaki sıcaklık farkı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak izlenir.

Yangın yalıtım özellikleri tayini: Üretilen levhaların yangına karşı davranışlarını belirlemek amacıyla; Tek alev kaynaklı yanma deneyi, Alev kaynaklı yanma (AKY), kor halinde yanma (KHY) ve kendi kendine yanma (KKY) davranışı denemeleri Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarında bulunan tek alev kaynaklı test cihazı ve özel tip yanma test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu özelliklere ait değerler standartlarda belirtilen levhaların özellikleriyle ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Levhalarda yapılacak deneylerden tek alev kaynaklı yanma deneyi 250*90 mm örnek boyutunda en az 2 adet, Yanma davranışı deneyi DIN 4102 standardına göre 100*100 mm boyutlarındaki en az 2 örnekle yapılmıştır.

Tek kaynaklı alev testi: Deneme numunelerinin yanma davranış özellikleri, TS EN-ISO 11925-2 'Yangın deneylerine reaksiyon-Aleve doğrudan maruz kalan ürünlerin tutuşabilirliği - Bölüm 2: Tek alev kaynağıyla deney' standardına göre yapılmıştır. Deney numuneleri 23 °C (±2) ve %50 (±5) bağıl nemde klimatize edilmiştir. Levhalar 90x250 mm boyutlarında dikey konumda test düzeneğine mandallar ile sabitlenirler, tek kaynaklı küçük alev simülasyonu deneyi levhanın alt orta kenarından 45 °C eğimle 20 mm mesafede yakma başlatılır. Deney süresi 30 saniye

ve toplam deney 60 saniye süresi sonunda tamamlanır. Bu deneyde, numunede tutuşma olup olmadığı, alevin uygulandığı noktadan itibaren yüksekliğinin 150 mm'ye ulaşip ulaşmadığı, ulaşırsa bu yüksekliğe ulaşma süresi ve deney sonunda oluşan durum fiziksel olarak gözlemlenir. Sonuç olumlu veya olumsuz olarak kaydedilir (Kaya, 2015).



Şekil 11. Deneme levhalarının tek kaynaklı alev testi (Foto: İlkhan Demir, 2018).

Yanma Davranışı: Deney numuneleri 100 x 100 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Deney düzeneği alev kaynağı, levha tutma aparatı ve kızıl ötesi lazer termometreden oluşur. Deney levhalarının 300 s süre içerisinde 30 s aralıklı olarak levha yüzeyinin arka yüzünden kızıl ötesi lazer termometre ile ölçüm yapılarak ısı yalıtım değeri hesaplanır. Aynı zamanda deney levhalarının bu süre içerisinde yanma olayından ne kadar etkilendiklerini ve kütle kaybını % olarak tespit etmek amacıyla ilk ağırlıkları ve son ağırlıkları tartılarak, yanma derinliği ve yanma çapı değerleri hesaplanır (Kaya, 2015).



Şekil 12. Deneme levhalarının yanma davranışı tespiti (Foto: İlkhan Demir, 2018).

3.3. İstatistik Değerlendirme

Deneysel sonuçları elde edilen verilere temel istatistik uygulamaları yapılmış ve temel istatistik sonuçları elde edilmiştir. Deneysel faktör sayısı tek ise basit varyans analizi, faktör sayısı iki veya ikiden fazla ise çoklu varyans analizi uygulanmış ve devamında Duncan testi ile değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlarında öncelikle ANOVA tablosundaki anlamlılık değeri incelenmiştir. Deneysel sonuçlarına uygulanan Homojenlik (Post-hoc) testi ile eğer varyans analizi sonucunda gruplar arasında bir fark bulunmuşsa, farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını tespit etmek için kullanılmıştır.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneme Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Atık kâğıt-alçı (A tipi levhalar); atık mukavva-alçı (B tipi levhalar), sekonder kağıt lifi-alçı (C tipi levhalar), pirinç sapı/odun yongası ve alçı (DE tipi levhalar) karışımından üretilen levhaların su içerisinde 2 saat ve 24 saat bekletilmesi sonucunda kalınlığına şişme miktarlarına ait aritmetik ortalama değerleri Çizelge 9'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

A tipi deneme levhalarında en yüksek kalınlığına artım değeri, %23,32 ile 50:50 oranında atık kağıt/alçı karışımından üretilen levhada (A6) en düşük ise %1,88 ile sadece alçıdan üretilmiş deneme levhasında belirlenmiştir (A1). Bu durumun oluşması normal olarak görülebilir zira alçı yapısına hidrofilik özellikteki bir selülozik maddenin ilave edilmesiyle (atık kâğıt) levhaların kalınlık artım değerleri belirgin seviyede artış gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca karışımdaki alçı miktarı ile kalınlık artım arasında ters bir ilişki olduğu bunun tersi durumunda ise karışımda atık kâğıt oranı artışının levhaların kalınlık artım değerlerini negatif etkilediği görülmüştür.

B tipi deneme levhalarında da, A tipi levhalara benzer durum belirlenmiştir. En yüksek suda şişme miktarı yine 50:50 atık oluklu mukavva/alçı karışımından üretilen levhalarda (B6) %12,76 ile gözlemlenmiş, daha sonra %10,31 ile 40:60 oluklu mukavva/alçı karışımından üretilen levhalarda (B5) oluşmuştur. Karışımda oluklu mukavva miktarının artışı levhaların su içinde kalınlık artım değerlerini olumsuz etkilediği ve kalınlık artım değeri ile karışımdaki mukavva oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmıştır.

A ve B tipi deneme levhalarında da gözlemlenen kalınlık artım özellikleri hemen hemen benzer durumda C tipi levhalarda da belirlenmiştir. Levha karışımında sekonder kâğıt lif oranının artışı ile levhaların suda kalınlık artımı arasında yakın bir ilişki olduğu, bunun tam tersi durumda yani alçı oranının artışının ise levhaların kalınlık artışını olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır. En yüksek kalınlık artım değeri %15,94 olarak 70:30 sekonder kağıt lifi/alçı karışımından üretilen levhada (C8)

olduğu daha sonra ise %8,41 olarak 60:40 sekonder kağıt lifi/alçı karışımından üretilen levhada (C7) %8,41 olarak ve 50:50 sekonder kağıt lifi/alçı karışımından üretilen levhada (C6) %7,79 olarak ölçülmüştür.

Odun/pirinç sapı ve alçı karışımından üretilmiş DE tipi levhalarda ise diğer üç tip (A, B ve C) levhalardan kısmen benzer fakat çok daha yüksek kalınlık artım değerleri belirlenmiştir.

Burada da sadece odun/alçı karışımından üretilen levhalarda (pirinç sapı ilavesiz), (DE0) en düşük kalınlık artım değeri olan %24,85 gözlemlenmiş ve karışıma pirinç sapı ilave edilmesinin levhaların kalınlık artımına olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. En yüksek kalınlık artım değeri %47,66 olarak, 60:40 odun/pirinç sapı karışımından üretilen levhada (DE4) olarak ölçülmüştür. İlginç olarak karışımda pirinç sapı oranının odun yongasına eşit ve daha yüksek olduğu (DE5 ve DE6 levhaları), kontrol örneğine yakın ve sırasıyla %27,18 ve %26,45 kalınlık artım değerleri belirlenmiştir.

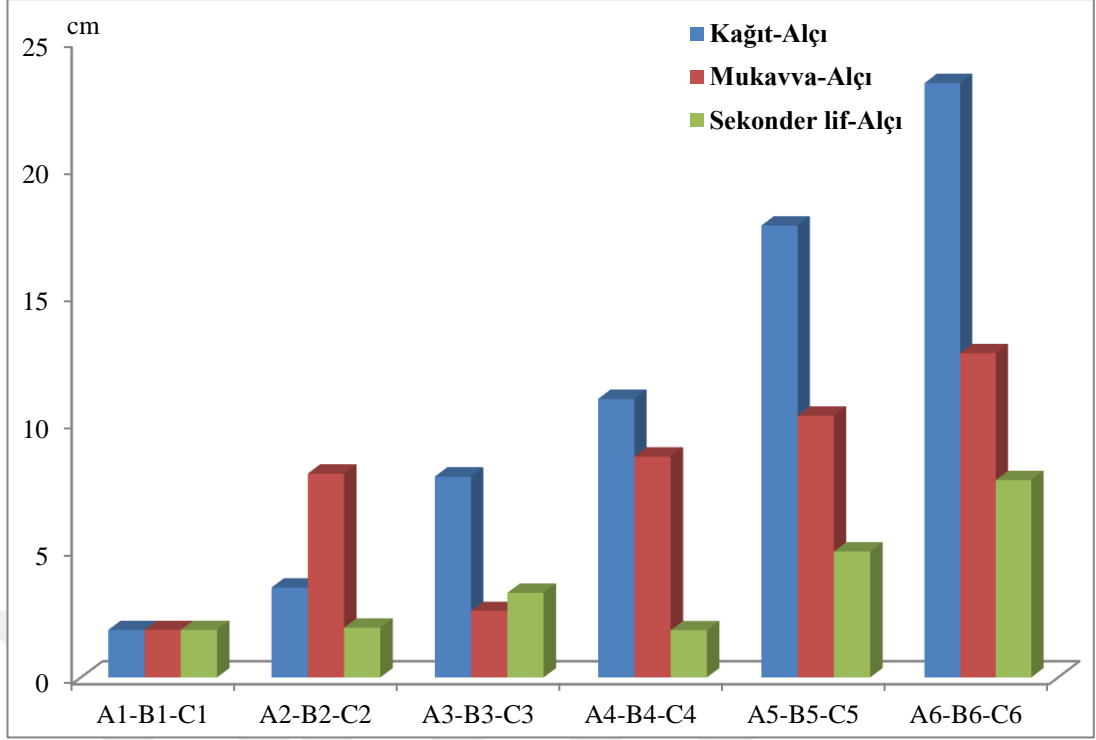
Çizelge 9. Alçı esaslı deneme levhalarının su içinde kalınlık artım değerleri (%).

Levha Kodu	Kontrol (mm)	2 saat (mm)	24 saat (mm)	Kalınlık artımı (%)
Kâğıt-Alçı Karışımı				
A1	10,12	10,21	10,31	1,88
A2	12,63	13,04	13,08	3,56
A3	12,86	13,65	13,88	7,93
A4	14,77	16,24	16,39	10,97
A5	13,80	15,35	16,25	17,75
A6	13,85	16,45	17,08	23,32
Oluklu Mukavva-Alçı Karışımı				
B1	8,31	8,34	8,41	1,88
B2	10,69	11,00	11,55	8,05
B3	11,75	12,02	12,06	2,63
B4	11,36	12,19	12,35	8,71
B5	11,73	12,72	12,94	10,31
B6	11,68	12,59	13,17	12,76
Sekonder Lif-Alçı Karışımı				
C1	9,94	10,07	10,07	1,88
C2	10,30	10,37	10,41	1,07
C3	11,36	11,68	11,74	3,35
C4	11,86	11,99	12,01	1,27
C5	11,83	12,03	12,42	4,99
C6	12,32	13,03	13,28	7,79
C7	12,60	13,52	13,66	8,41
C8	12,23	13,51	14,18	15,94
Odun/Pirinç sapı -Alçı Karışımı				
DE0	17,77	21,20	22,18	24,85
DE1	14,50	19,67	20,76	43,17
DE2	18,80	22,94	24,79	31,86
DE3	15,84	19,86	21,52	35,86
DE4	16,64	22,99	24,57	47,66
DE5	18,36	21,34	23,35	27,18
DE6	14,78	17,77	18,69	26,45

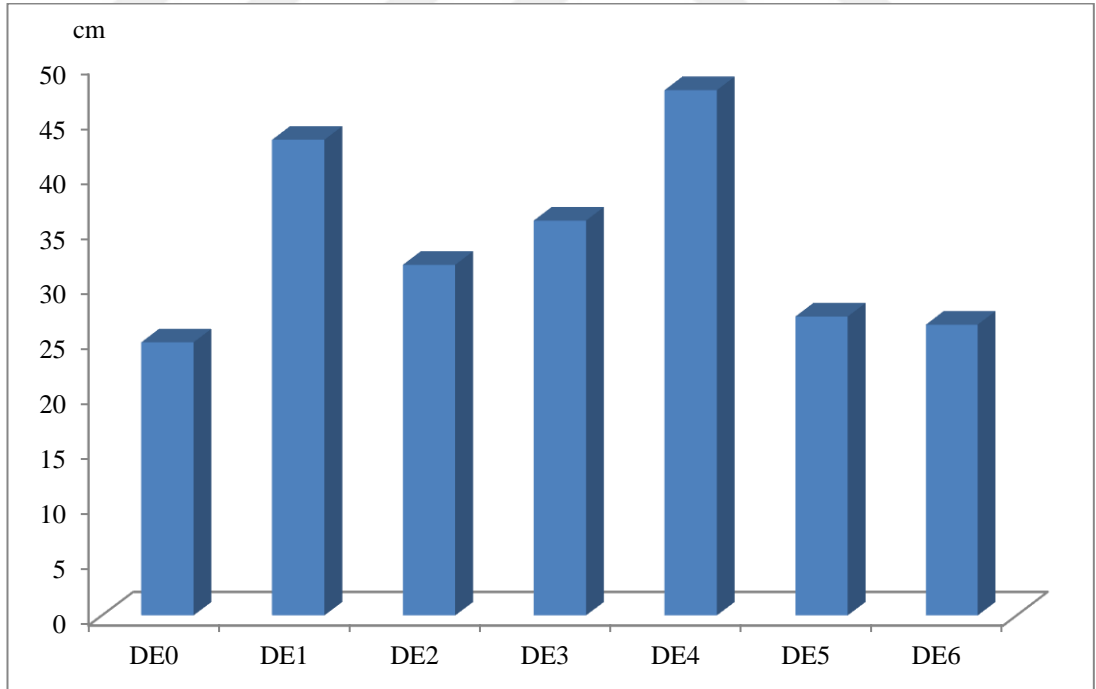
Çizelge 7 ve Çizelge 8’de verilen değerlerden faydalanılarak benzer üretim şartlarında (Alçı ve selülozik katkı maddesi oranı) A, B ve C tipi deneme levhalarının su içinde kalınlık artım özellikleri Şekil 13’te gösterilmiştir. Pirinç sapı/kızılçam odun yongası ve alçı karışımından üretilen deneme levhalarının (DE tipi levhalar) kalınlık artım özellikleri ise Şekil 14’te gösterilmiştir.

Çizelge 9'dan da görüleceği üzere genel olarak sadece A2 tipi levha hariç, diğer tüm üretim şartlarında atık kâğıt/alçı karışımından üretilen levhaların su içinde kalınlık artım değerleri oluklu mukavva ve sekonder kâğıt lifi ile üretilenlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca karışımdaki atık kâğıt/oluklu mukavva veya sekonder kâğıt lif oranı artışının (alçı oranı azalması) levhaların kalınlık artım değerleriyle doğrusal ilişki içinde olduğu ve bu özelliği olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. En düşük kalınlık artım değerleri, benzer üretim şartları ve karışım oranlarında, sekonder lif/alçı karışımından üretilen levhalarda (C tipi levhalar) olduğu hesaplanmıştır. Bu durumun oluşmasında, sekonder liflerin alçı ile daha uyumlu ve boşluklu yapıyı daha iyi doldurduğu sonucuna varılabilir. Fakat her üç levha tipinde de (A,B,C tipi levhalar), sadece alçı ile üretilen levhalardan daha yüksek kalınlık artım değerinin elde edilmiş olması ise, suya karşı ilgisi yüksek olduğu bilinen selüloz esaslı katkı maddelerin matris yapıda bulunması ve su ile etkileşiminin artması olarak özetlenebilir. Ayrıca levha yapısında hidrofobik özellikte herhangi bir ilave kimyasal madde kullanılmamıştır. Hâlbuki endüstriyel düzeyde üretimlerde genel olarak levhaların yapılarına yaklaşık %1 gibi hidrofobik özelliği iyileştirici maddeler katılmaktadır (mum, vaks vb.)

Şekil 14'ten görüleceği üzere genel olarak karışımda (levha yapısında) pirinç sapı bulunması levhaların kalınlık artım değerlerini olumsuz etkilemektedir. En yüksek kalınlık artım değeri (%47.66) 60:40 odun/pirinç sapı karışımından üretilen levhada (DE) en düşük ise sadece odun yongası/alçı karışımından üretilen levhada (%24,85) hesaplanmıştır. Burada açık olarak pirinç sapı ilavesinin alçı/levha esaslı levhaların kalınlık artım değerlerini olumsuz etkilediği sonucuna varılabilir.



Şekil 13. Alçı esaslı deneme levhalarının su içinde kalınlık artım özellikleri.



Şekil 14. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı karışımından üretilmiş deneme levhaların su içinde kalınlık artım özellikleri.

Alçı esaslı levha yapısına atık kâğıt (A tipi levhalar); atık mukavva (B tipi levhalar), sekonder kâğıt lifi (C tipi levhalar) ve pirinç sapı-odun yongası (DE tipi levhalar) ilave edilmesiyle üretilen levhaların yüzeye dik çekme direnç değerlerine (IB) ait aritmetik ortalama değerleri Çizelge 10’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Atık kağıt-alçı karışımından üretilen A tipi deneme levhalarında, en yüksek yüzeye dik çekme direnç değeri $0,27 \text{ N/mm}^2$ ile sadece alçıdan üretilmiş deneme levhasında (A1), en düşük ise $0,14 \text{ N/mm}^2$ olarak 70:30 alçı/atık kağıt karışımından üretilmiş (A4) deneme levhalarında hesaplanmıştır. Genel olarak, alçı yapısına atık kâğıt eklenmesinin levhaların direnç özelliklerini belli derecede azalttığı belirlenmiştir. Atık kâğıt ilavesi ile üretilmiş en yüksek yüzeye dik çekme direnci A5 tipi levhada ve $0,22 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüş ve bu değer sadece alçıdan üretilmiş levhadan yaklaşık %27 daha düşük yüzeye dik çekme direnci olarak ölçülmüştür. Fakat levha karışımı ağırlık/ağırlık esasına göre hazırlandığından, kâğıtların özgül ağırlıkları, alçıdan daha düşük olduğundan tüm levhanın yoğunluğu da atık kâğıt miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Bu durum levhaların direnç azalmasına etki etmesi bakımından da önemlidir.

Atık karton-alçı karışımından üretilen B tipi deneme levhalarında da en yüksek dik çekme direnç yine sadece alçıdan üretilmiş deneme levhasında (B1) belirlenmiştir. Karışıma atık mukavva ilave edilmesi, levha direncini belli seviyelerde olumsuz etkilemiştir. En düşük yüzeye dik çekme direnci $0,11 \text{ N/mm}^2$ olarak, en yüksek atık mukavva ilave edilmiş (50:50 alçı/mukavva karışımı) B6 tip deneme levhasında hesaplanmıştır. Fakat burada önemli bir durumda oluşmuş ve karışımdaki atık mukavva oranı artışı aynı zamanda levhaların dik çekme direncini olumsuz etkilemiş olabilir. Bu durum karışımın ağırlık olarak hazırlandığı düşünülürse önlenemeyecek bir durumdur.

Sekonder kâğıt lifi-alçı karışımından üretilen tüm C tipi deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnç özellikleri, sadece alçıdan üretilmiş kontrol (C1) deneme levhasından daha yüksek bulunmuştur. Hatta sekonder lif karılmasıyla levha yoğunluğunun azalması dahi bu direnç değerlerinin kontrol örneğinden daha yüksek olduğunu göstermiştir (C2-C8). En yüksek yüzeye dik çekme direnci 20:80 sekonder lif/alçı karışımından üretilen levhada $0,60 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Karışımdaki

sekonder kâğıt oranının %20 den daha fazla olması direnç değerlerini belli seviyede düşmesine sebep olmasa da yinede tüm karışım şartlarında, kontrol örneğinden daha yüksek yüzeye dik çekme direnç değerleri bulunmuştur.

Odun/pirinç sapı -alçı karışımından üretilen tüm DE tipi deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnç özellikleri, A ve B tipi levhalara benzer şekilde, sadece alçı/odun karışımından üretilmiş kontrol (DE0) deneme levhasından daha düşük bulunmuştur. Yani odun/alçı karışımına pirinç sapı ilave edilmesi levhaların yüzeye dik çekme direnç özelliklerini olumsuz etki yapmıştır. En yüksek yüzeye dik çekme direnci $0,06 \text{ N/mm}^2$ olarak sadece odun/alçı karışımından (10:90) üretilen levhalarda hesaplanmıştır.

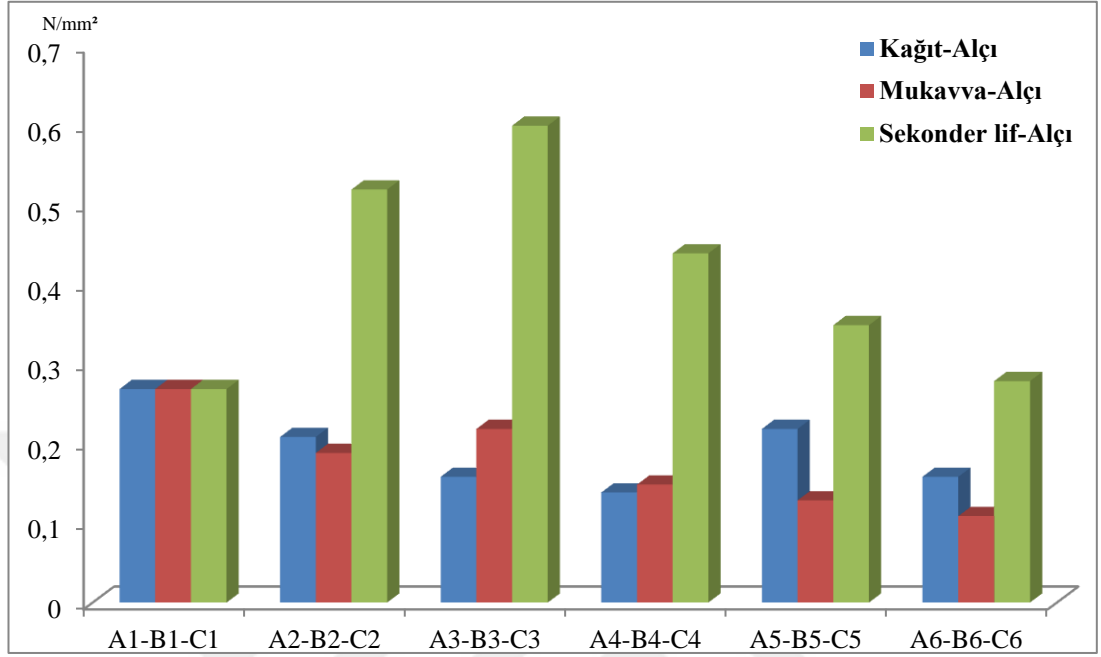
Çizelge 10'daki verilerden faydalanılarak, alçı yapısına atık kâğıt/oluklu mukavva ve sekonder kâğıt lifi karışımının, aynı üretim şartlarındaki direnç özelliklerine etkisi Şekil 15'te gösterilmiştir. Buradan görüleceği üzere, aynı üretim şartlarında karışım oranlarında (ağırlık/ağırlık), alçı yapısına sekonder kâğıt lifi ilave edilmesiyle üretilen deneme levhalarının yüzeye dik çekme değerleri (C tipi levhalar), diğer iki levha tipinden de belirgin şekilde daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca tüm A ve B tipi levhalarda, yani alçı yapısına atık kâğıt ve oluklu mukavva ilave edilmesiyle üretilen levhaların yüzeye dik çekme dirençleri, kontrol örneğinden (sadece alçı ile üretilmiş levha) daha düşük olduğu anlaşılmıştır. İlginç olarak bu durumun tam tersi durum ise alçı yapısına sekonder kâğıt lifi ilave edilmesiyle üretilen tüm deneme levhalarının yüzeye dik çekme değerleri, kontrol örneğinden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun oluşmasında, alçı yapısına ilave edilen lignoselülozik materyalin boyutsal özelliklerinin etkili olduğu söylenebilir. Zira A ve B tipi levhalarda kâğıt ve oluklu mukavva parçacıkları (2-5 cm) kullanılmışken, C tipi levhalarda sekonder lifler (1-3 mm) kullanılmıştır. Bu durumda lifler, parçacıklara göre alçı ile daha uyumlu ve matris yapı oluşturduğu ve yüzeye dik çekme direncini olumlu etkilediği varsayılmaktadır.

Çizelge 10. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeye dike çekme direnç (IB) değerleri (%).

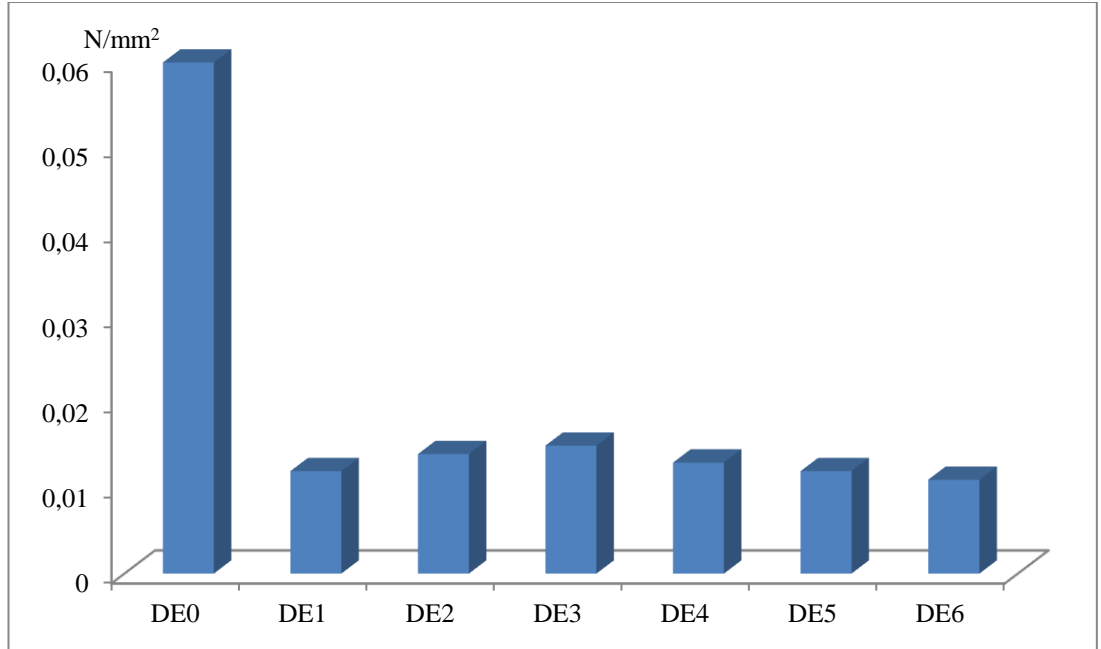
Levha Kodu	Yoğunluk (kg/m ³)	Yüzeye Dik Çekme Direnci (IB) (N/mm ²)	Kontrolenden fark (%)
Kâğıt-Alçı Karışımı			
A1	1107,61	0,27	0,0
A2	938,65	0,21	-22,2
A3	885,58	0,16	-40,8
A4	837,03	0,14	-48,1
A5	823,49	0,22	-18,5
A6	861,01	0,16	-40,7
Oluklu Mukavva-Alçı Karışımı			
B1	1107,61	0,27	0,0
B2	952,22	0,19	-29,6
B3	930,47	0,22	-18,5
B4	825,46	0,15	-44,4
B5	884,30	0,13	-51,9
B6	840,91	0,11	-59,3
Sekonder lif-Alçı Karışımı			
C1	1107,61	0,27	0,0
C2	1136,10	0,52	92,6
C3	1050,25	0,60	122,2
C4	1033,63	0,44	62,9
C5	962,92	0,35	19,6
C6	939,93	0,28	3,7
C7	966,67	0,30	11,1
C8	951,49	0,28	3,7
Odun,/ Pirinç Sapı-Alçı Karışımı			
DE0	709,99	0,06	0,0
DE1	747,94	0,012	-80,0
DE2	717,94	0,014	-76,7
DE3	719,31	0,015	-75,0
DE4	705,89	0,013	-78,3
DE5	699,70	0,012	-80,0
DE6	697,48	0,011	-81,7

Şekil 16’da ise alçı ile birlikte odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmesiyle üretilmiş levhaların direnç özellikleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada açık olarak görülmektedir ki, hem odun yongası hem de pirinç sapı alçı ile uyumlu bir karışım sağlayamadığından, deneme levhalarının yüzeye dik çekme dirençleri çok düşük bulunmuştur. Ayrıca karışımdaki odun oranının azalması veya tam tersi durumda

pirinç sapı oranının artmasının (ağırlık/ağırlık), levhaların yüzeye dik çekme direnç özelliklerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.



Şekil 15. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnç (IB) özellikleri.



Şekil 16. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı karışımından üretilmiş deneme levhaların yüzeye dik çekme direnç (IB) özellikleri.

Alçı esaslı levhaların üretimi esnasında, ilave olarak lignoselülozik hammaddeler eklenerek üretilen dört farklı tip levhaların (A: Atık kâğıt/alçı; B: Oluklu mukavva/alçı; C: Sekonder kâğıt lifi/alçı; DE: Odun yongası/pirinç sapı/alçı) eğilme direnç (MOR ve Eğilmeye elastik modülü (MOE) değerlerine ait aritmetik ortalama değerleri Çizelge 11’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

A tipi deneme levhaları incelendiğinde, genel olarak alçı yapısına atık kâğıt ilave edilmesiyle üretilen tüm levhaların eğilme direnç değerleri, sadece alçıdan üretilmiş (A1: 2,22 N/mm²) levhadan daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. En yüksek direnç değeri 6,59 N/mm² olarak 10:90 (ağırlık/ağırlık) A2 tip levhada hesaplanmıştır. Daha sonra en yüksek direnç değeri 50:50 atık kağıt/alçı karışımından üretilen levhalarda (A6) 6,44 N/mm² olarak bulunmuştur.

A tipi levhaların elastik modül özellikleri ise biraz farklılık göstermektedir. En yüksek MOE değeri, yine MOR e benzer şekilde A2 tip levhada 2274 N/mm² olarak, en düşük ise 802 N/mm² olarak 40:60 atık kağıt/alçı karışımından üretilen levhalarda (A5) 802 N/mm² olarak bulunmuştur.

Atık oluklu mukavva/alçı karışımı ile üretilmiş tüm levhaların eğilme direnç değerleri (B2-B6), kontrol örneğinden (B1: 2,22 N/mm²) daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Yani buradan, alçı yapısına atık mukavva ilave edilmesi levhaların eğilme direnç değerlerini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılabilir. En yüksek eğilme direnç değeri 4,92 N/mm² olarak 60:40 alçı/oluklu mukavva kağıt karışımından üretilen levhada (B5) hesaplanmıştır.

B tipi deneme levhalarının eğilme direnç değerlerinden gözlemlenen benzer durum (MOR), hemen hemen elastik modül özelliklerinde de oluşmuştur (MOE). Sadece 50:50 alçı/atık kağıt karışımından üretilen levhada, kontrolden daha düşük MOE değeri (522 N/mm²) gözlemlenmiş, diğer tüm levha üretim şartlarında ise daha yüksek MOE değerli bulunmuştur.

A ve B tipi deneme levhalarında da gözlemlenen eğilme direnç özellikleri (MOR), tüm C tipi levhalarda da belirlenmiştir. Yani sekonder kâğıt lifi ilavesiyle üretilmiş tüm levhaların (C2-C8) eğilme direnç değerleri, kontrol örneğinden (C1: 2,22

N/mm²) daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. En yüksek eğilme direnç değeri olan 6,98 N/mm² olarak C3 levhasında hesaplanmıştır. Çizelge 11 dikkatlice incelendiğinde alçı yapısına sekonder kâğıt lifi ilave edilmesinin direnç değerlerini olumlu etkilediği anlaşılmaktadır.

C tipi levhaların eğilmede elastik modül değeri, %40 sekonder kağıt ilavesine kadar, kontrol örneğinden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Fakat karışımında %50 ve 60 sekonder kâğıt lif ilavesi levhaların MOE değerlerinin önemli derecede düşmesine ve hatta kontrol değerinin de aşağısına düşmesine neden olmuştur. En yüksek MOE değeri 6117 N/mm² olarak C3 levhasında en düşük ise C7 levhasında 870 N/mm² olarak belirlenmiştir.

DE tipi deneme levhalarının eğilme direnç değeri, diğer üç tip levhalardan da (A, B ve C tipi) oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Zira diğer levha tiplerinden farklı olarak tüm üretim şartlarında Alçı/odun/pirinç sapı karışımından üretilen levhaların eğilme direnç değeri, sadece odun/alçı karışımından üretilen levhadan (DE0) daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu durum açık olarak, odun/alçı karışımına pirinç sapı katılmasının levhaların direnç özelliklerini düşürücü etki yapmasını açıklaması bakımından önemlidir. En düşük MOR değeri, DE3 levhasında (70:30; odun yongası/pirinç sapı karışımı) 0,97 N/mm² olarak hesaplanmıştır.

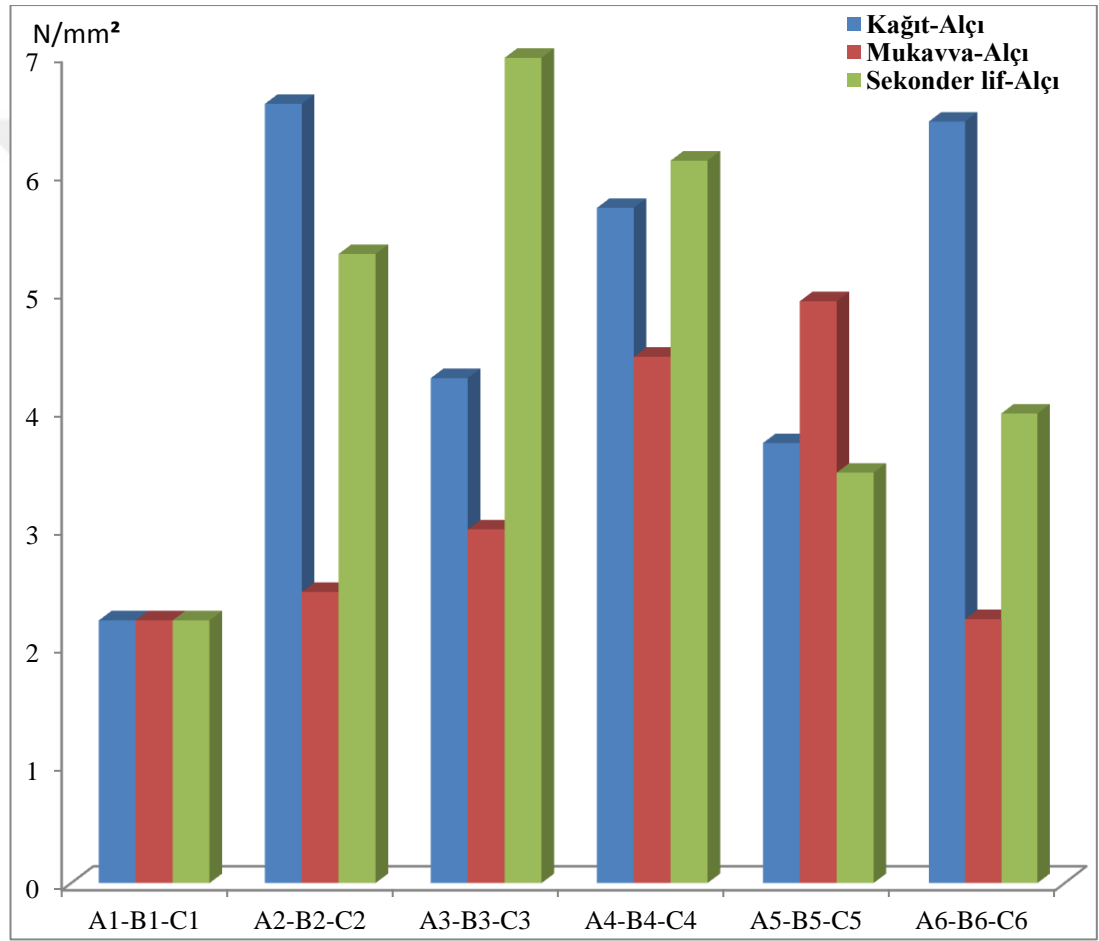
Eğilme direnç değerlerinde gözlemlenen benzer durum, levhaların elastik modül özelliklerinde görülmüştür. Odun/alçı karışımına %40 pirinç sapı ilavesiyle üretilmiş sadece DE4 levhasında, en yüksek MOE değeri olan 553 N/mm² hesaplanmış, pirinç sapı ilavesiyle üretilmiş diğer tüm MOE değerleri ise daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 11. Alçı esaslı deneme levhalarının MOR ve MOE değerleri (%).

Levha Kodu	Eğilme Direnci (MOE) (N/mm ²)	Kontrolden Fark (%)	Elastik Modülü (MOR) (N/mm ²)	Kontrolden fark (%)
Kâğıt-Alçı Karışımı				
A1	2,22	0,0	1373	0,0
A2	6.59	196,8	2274	65,6
A3	4.27	92,3	806	-99,4
A4	5.71	157,2	1545	12,5
A5	3.72	67,6	802	-41,6
A6	6.44	190,1	1423	3,6
Oluklu Mukavva-Alçı Karışımı				
B1	2.22	0,0	1373	0,0
B2	2.46	10,8	1536	11,9
B3	2.99	34,7	1603	16,8
B4	4.45	100,5	1536	11,9
B5	4.92	121,6	1798	30,9
B6	2.23	0,45	522	61,9
Sekonder lif-Alçı Karışımı				
C1	3.49	0,0	1373	0,0
C2	5.32	52,4	3819	178,2
C3	6.98	100	6117	345,5
C4	6.11	75,1	4881	255,5
C5	3.47	0,58	5437	295,9
C6	3.97	13,8	1294	-5,8
C7	5.17	48,1	870	-36,6
C8	4.93	41,3	1002	-27,1
Odun/Pirinç Sapı-Alçı Karışımı				
DE0	2.77	0,0	445	0,0
DE1	1.21	-56,3	113	-74,6
DE2	1.22	-55,9	192	-56,9
DE3	0.97	-64,5	446	0,23
DE4	1.07	-61,4	553	24,3
DE5	1.16	-58,1	360	-19,1
DE6	2.3	-16,9	138	-68,9

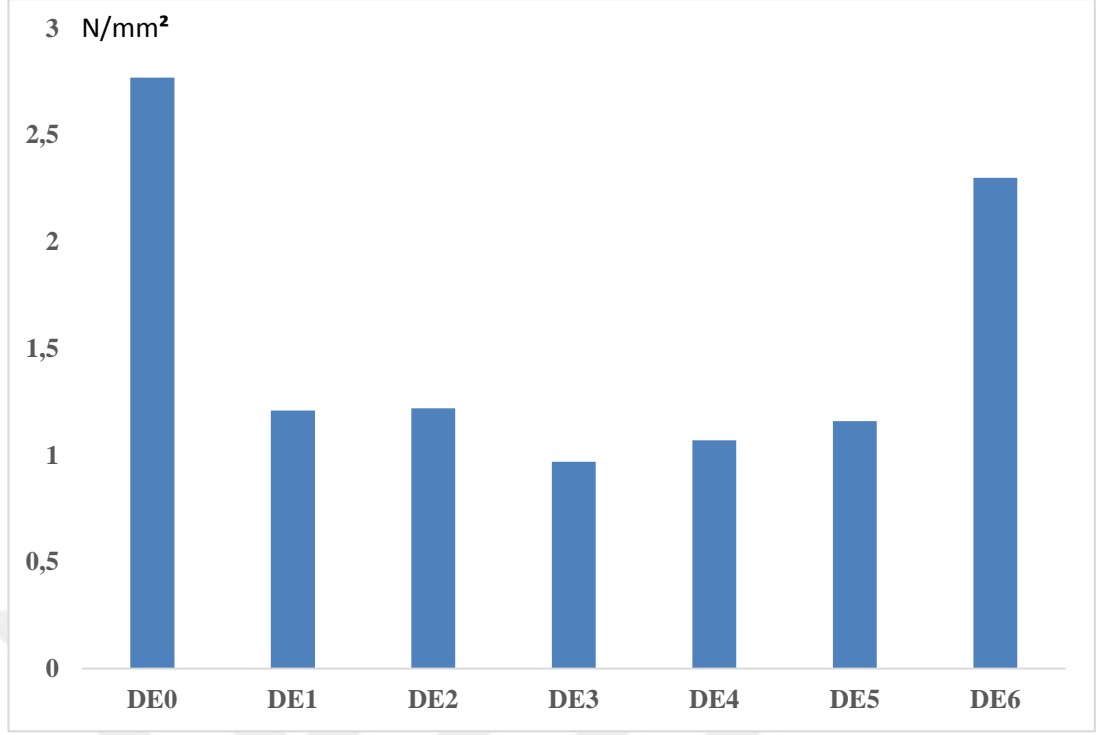
Aynı üretim şartlarında, alçı yapısına farklı lignoselülozik maddeleri ilavesinin levhaların eğilme direnç özelliklerine etkisinin araştırılması amacıyla Çizelge 11'deki verilerden faydalanılarak Şekil 17 ve Şekil 18 oluşturulmuştur. Çizelge 11 dikkatlice incelendiğinde, alçı yapısına ilave edilmiş her üç tip lignoselülozik kaynağında, kontrol örneğinden daha yüksek eğilme direnç özelliği sağladığı anlaşılmıştır. %10 ve 50 atık kâğıt ilavesiyle üretilmiş levhaların MOR değerinin (A2: 6,59 N/mm²; A6:6,44 N/mm²), diğer iki levha tipinden daha yüksek olduğu

anlaşılmıştır. %40 atık mukavva ilavesiyle üretilmiş levhanın direnç değeri ise (B5: 4,92 N/mm²) aynı üretim şartlarından diğer iki levha tipinden (A5 ve C5) daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. %20 ve 30 sekonder kâğıt lifi ilavesiyle üretilen levhaların direnç değeri ise (C3 ve C4), aynı üretim şartlarındaki diğer iki tip levhadan (A3, A4 ve B3, B4), daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Her üç lignoselülozik kaynağın alçı yapısına ilave edilmesinin levhaların direnç özelliklerini artırması, bu hammaddelerin alçı ile uyumunun yüksek ve uyumlu olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.



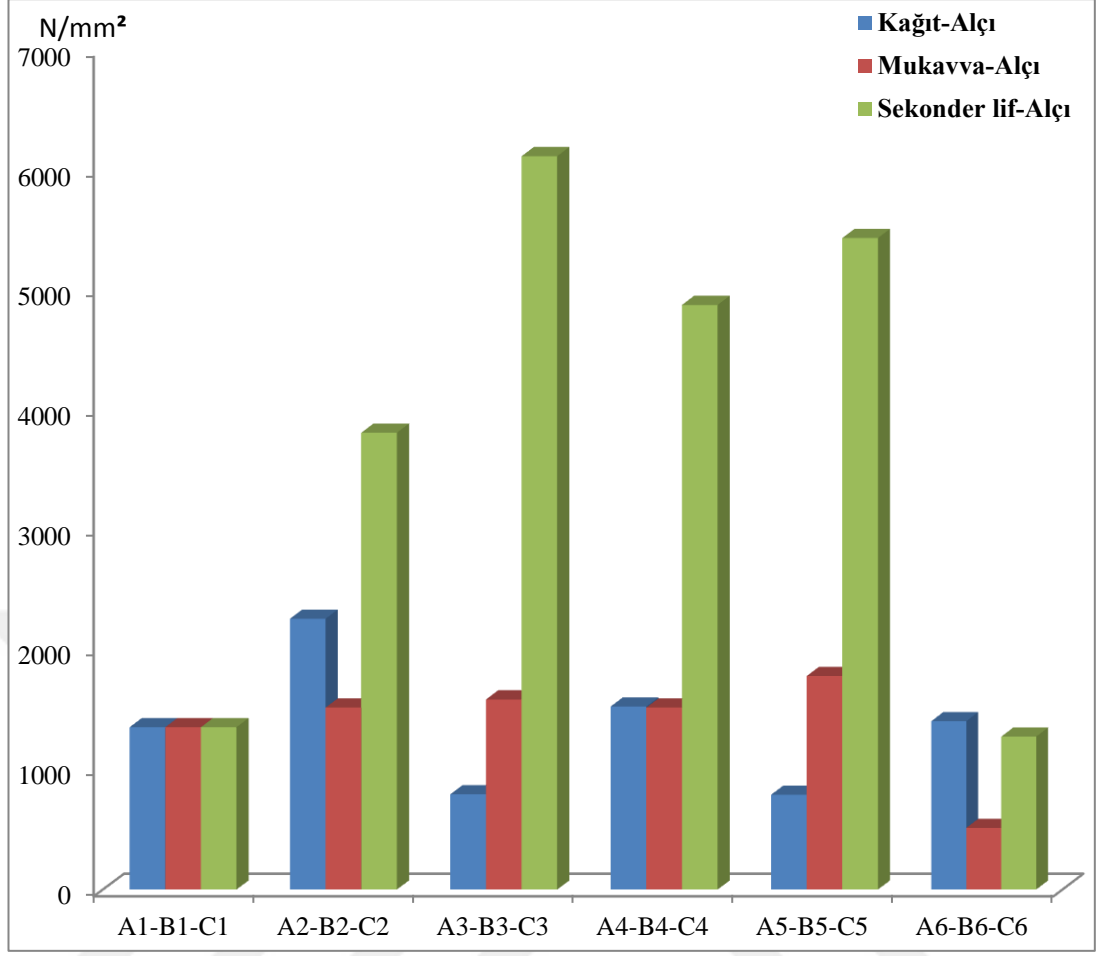
Şekil 17. Alçı esaslı deneme levhalarının eğilme direnç (MOR) özellikleri.

Şekil 18’de, alçı ile birlikte odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmesiyle üretilmiş levhaların eğilme direnç özellikleri gösterilmiştir. Şekil 18’den anlaşılacağı üzere, pirinç sapının odun/alçı karışımına ilave edilmesiyle levhaların MOR değerleri önemli derecede azalma göstermiştir.



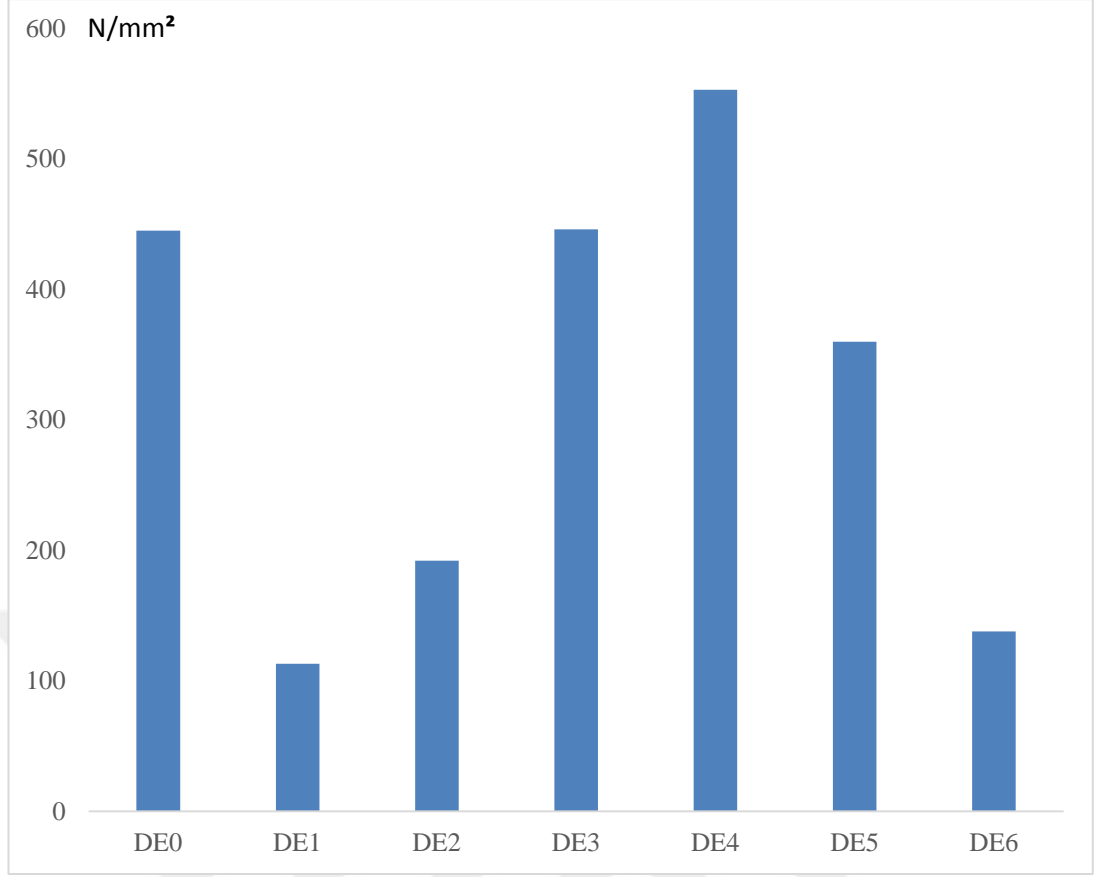
Şekil 18. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı esaslı deneme levhalarının eğilme direnç (MOR) özellikleri.

Yine Çizelge 11'deki verilerden faydalanılarak, aynı üretim şartlarında farklı lignoselülozik madde ilavesiyle üretilen levhaların elastik modül değerleri (MOE) karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 19 dikkatlice incelendiğinde belirgin olarak, sekonder lif/alçı karışımından üretilen levhaların MOE değerleri, diğer atık kâğıt ve oluklu mukavva ilavesiyle üretilenlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer A ve B tipi levhaların MOE değerleri sadece (A3, A5 ve A6) ile (B6) hariç, kontrol örneğinden daha yüksek olarak ölçülmüştür. Bu durum her üç lignoselülozik kaynağında alçı ile uyumlu olduğunu göstermesi bakımından önemlidir.



Şekil 19. Alçı esaslı deneme levhalarının elastik modül (MOE) özellikleri.

Alçı/odun yonası karışımına pirinç sapı ilave edilmesiyle üretilmiş levhaların elastik modül özellikleri Şekil 14’te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Çizelge 11 ve Şekil 20 dikkatlice incelendiğinde, odun yongası (DE0) ve pirinç sapı/odun yongası ilavesiyle üretilmiş tüm levhaların elastik modül değerleri, diğer A,B ve C tipi levhaların tümünden belirgin şekilde daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Benzer durum diğer Yüzeye dik çekme direnci (IB) ve Eğilme direnç (MOR) özelliklerinde de gözlemlendiğinden, buradan net olarak hem odun yongasının hem de çeltiğin alçı ile uyumunun diğer üç ham maddeye göre sınırlı ve düşük olduğu sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 20. Odun yongası ve pirinç sapı ilave edilmiş alçı esaslı deneme levhalarının elastik modül (MOE) özellikleri.

Çalışmada seçilen lignoselülozik kaynakların alçı ile birlikte değişik oranlarda ilave edilmesiyle üretilmiş levhaların sertlik (Shore D) değerleri ve aynı levhaların 60 gün süreyle dış atmosferik şartlarda bekletilmesiyle ölçülen sertlik değerleri de karşılaştırmalı olarak Çizelge 12’de verilmiştir.

Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş A tipi levhalarda en yüksek sertlik değeri 53 olarak A4 tipi levhada en düşük ise 31 olarak kontrol (A1) levhasında ölçülmüştür. Genel olarak alçı yapısında atık kâğıt oranının artması levhaların sertlik özelliklerini olumlu olarak etkilemiş yani artış belirlenmiştir. Ayrıca dış atmosferik şartlarda bekletildikten sonra ölçülen aynı levhalarda da en düşük sertlik azalma yine A4 tipi levhada hesaplanmıştır.

Atık mukavva-alçı karışımından üretilmiş tüm B tipi levhalarda da kontrol örneğinden daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. En yüksek sertlik değeri B3

tipi levhada 58 olarak ve B2 tipi levhada 56 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, kontrol örneğinden sırasıyla %87,1 ve %80,6 daha yüksek Shore D sertlik değerini ifade etmektedir. Ayrıca, atmosferik şartlarda bekletilmiş levhalarda da, kontrol örneğine göre daha düşük sertlik değeri azalması belirlenmiştir. Dış şartlarda bekletilmiş levhalarda en yüksek sertlik değeri azalışı yine kontrol örneğinde %12,9 olarak ölçülmüş, en düşük ise B4 tipi levhada %2,3 olarak belirlenmiştir. Tüm atık mukavva ilavesiyle üretilmiş levha tiplerinde, kontrol örneğinden daha yüksek sertlik değeri gözlemlenmesi ve bu özelliğin dış şartlarda bekletilmiş levhalarda daha az seviyede azalması, alçı yapısına atık mukavva ilavesinin levhaların sertlik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılabilir.

Sekonder lif-alçı karışımından üretilen C tipi levhalar da A ve B tipi levhalara hemen hemen benzer sonuçlar belirlenmiştir. Genel olarak levha karışımında sekonder lif oranının artması sertlik değerlerini olumlu olarak etkilemiştir. En yüksek sertlik değeri 57 olarak C3 tipi levhada en düşük ise kontrol örneğinde (C1) belirlenmiştir. Fakat ilginç olarak sekonder lif oranının belli seviyenin üzerinde olması durumunda (>%30) ise kontrol ve diğer levha tiplerine göre dış şartlarda bekletilmiş levhaların sertlik değerlerinde daha az azalmalar belirlenmiştir. En düşük sertlik azalması C4 tipi levhada %1,9 ve daha sonra C6 tipi levhada %7,8 olarak ölçülmüştür. Bu durum, alçı ile birlikte kullanılan sekonder liflerin, levhaların sertlik değerlerini artırması yanında, dış şartlarda bekletilmesi durumunda azalmaları kabul edilebilir ve düşük sınırlar içinde kalmasını sağlaması bakımından önemlidir.

Pirinç sapı-odun yongası ve alçı karışımından hazırlanmış DE tipi levhalarda da B ve C tipi levhalara benzer bir eğilimin olduğu anlaşılmıştır. Bu levhalarda da en yüksek Shore D sertlik değeri 44 olarak DE0 tipi levhada sadece odun/alçı karışımından üretilen levhalarda (pirinç sapı ilavesiz), en düşük ise 22 olarak 50:50 odun/pirinç sapı karışımından üretilen DE5 tipi levhada hesaplanmıştır. Genel olarak karışımdaki pirinç sapı oranının artışı veya odun oranının azalması (alçı oranı sabit) ile üretilmiş levhaların sertlik değerleri olumsuz etkilendiği anlaşılmaktadır. Fakat burada da ilginç bir durum ile karşılaşmış ve dış atmosferik şartlarda bekletilen levhaların sertlik değerleri, kontrol örneğine göre daha az oranda azalma gösterdiği anlaşılmıştır. Dış atmosferik şartlarda bekletilmiş levhalarda en düşük sertlik değeri azalması DE3 tipi levhada %3,2 ve DE1 tipi levhada %4,3 olarak hesaplanmıştır.

Buradan karışımdaki pirinç sapı oranının artması levhaların sertlik değerlerini olumsuz etkilerken, dış atmosferik şartlara karşı levhaların sertlik değerlerini ise belli seviyede kalmasının sağlanması açısından önemlidir.

Çizelge 12. Alçı esaslı deneme levhalarının sertlik özellikleri.

Levha Kodu	Sertlik (metrik)	Kontrolten fark (A1, B1, C1) (%)	Dış ortam sonrası sertlik (metrik)	Değişim (%)
Kâğıt-Alçı Karışımı				
A1	31	0,0	27	-12,9
A2	39	25,8	35	-10,3
A3	44	41,9	40	-9,1
A4	53	70,9	52	-1,8
A5	46	48,3	38	-17,4
A6	49	58,1	46	-6,1
Oluklu Mukavva-Alçı Karışımı				
B1	31	0,0	27	-12,9
B2	56	48,3	54	-3,5
B3	58	87,1	51	-12,6
B4	44	41,9	43	-2,3
B5	49	58,1	46	-6,1
B6	40	29,1	39	-2,5
Sekonder lif-Alçı Karışımı				
C1	31	0,0	27	-12,9
C2	56	80,6	45	-19,6
C3	57	83,8	37	-35,1
C4	55	77,4	54	-1,9
C5	47	51,6	42	-10,6
C6	51	64,5	47	-7,8
C7	48	87,1	44	-8,3
C8	52	67,8	47	-9,6
Odun/Pirinç Sapı-Alçı Karışımı				
DE0	44	0,0	33	-25
DE1	45	2,2	43	-4,4
DE2	32	-27,2	27	-15,6
DE3	31	-29,9	30	-3,2
DE4	23	-47,8	21	-8,7
DE5	22	-50,0	20	-9,1
DE6	26	-40,9	25	-3,8

4.1.1. Deneme Levhaların Mekanik Direnç Değerlerinin İstatistik Analizi

Atık kâğıt-alçı, oluklu mukavva-alçı, sekonder lif-alçı ve kızılçam odunu/pirinç sapı-alçı karışımlarının Anova ve Duncan test sonuçları aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.

Çizelge 13. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	,143	5	,029	1,320 (p=0,270)
Gruplar İçi	1,170	54	,022	
Toplam	1,313	59		

Çizelge 13'te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 1,320 (P=0,270) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 14. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların direnç yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	2,001	5	,400	18,381 (p=0,000)
Gruplar İçi	1,176	54	,022	
Toplam	3,177	59		

Çizelge 14'te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 18,381 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında çekme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 15).

Çizelge 15. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Guruplar	
		1	2
6	10	,1120	
5	10	,1740	
2	10	,1820	
4	10	,2230	
3	10	,2280	
1	10		,6630
Önem Düzeyi		,123	1,000

Duncan testine göre levha karışım oranları 6, 5, 2, 4 ve 3 aynı gruplarda 1 ise aynı grupta yer almıştır. En düşük ortalama ($,1120$) 6' da elde edilirken sırasıyla 5, 2, 4 ve 3 numaralı kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 1 numaralı kodlu karışımda, 6630 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 16. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	3,256	7	,465	44,322 ($p=0,000$)
Gruplar İçi	,756	72	,010	
Toplam	4,012	79		

Çizelge 16'da verilen ANOVA analizi sonucu F değeri $44,322$ ($P=,000$) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında çekme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 17).

Çizelge 17. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Guruplar					
		1	2	3	4	5	6
8	10	,2410					
6	10	,2490					
7	10	,2880	,2880				
5	10		,3560	,3560			
4	10			,4330	,4330		
2	10				,5210	,5210	
3	10					,5910	
1	10						,8760
Önem Düzeyi		,339	,142	,097	,059	,131	1,000

Duncan testine göre levha karışım oranları 8, 6 ve 7 birinci grupta yer alırken 7 ve 5 ise ikinci grupta 5 ve 4 üçüncü grupta 4 ve 2 dördüncü grupta 2 ve 3 beşinci grupta yer alırken 1 numaralı karışım altıncı grupta yer almıştır. En düşük ortalama (,2410) 8' de elde edilirken sırasıyla 6, 7, 5, 4, 2 ve 3 numaralı kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 1 numaralı kodlu karışımında 8760 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 18. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzeye dik çekme direnci (IB) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	,068	6	,011	1,381 (p=0,236)
Gruplar İçi	,513	63	,008	
Toplam	,581	69		

Çizelge 18'de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 1,381 (P=0,236) olarak bulunmuştur. Bu sonuca istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 19. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	2411497361,675	5	482299472,335	3,888 (p=0,004)
Gruplar İçi	6698169187,741	54	124040170,143	
Toplam	9109666549,416	59		

Çizelge 19’da verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 3,888 (P=0,004) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında eğilme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 20).

Çizelge 20. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Guruplar	
		1	2
3	10	756,14	
5	10	864,07	
1	10	1235,02	
6	10	1551,70	
2	10	2121,12	
4	10		1827,42
Önem Düzeyi		,811	1,000

Duncan testine göre levha karışım oranları 3, 5, 1, 6 ve 2 aynı gruplarda 1 ise farklı grupta yer almıştır. En düşük ortalama (756,1436) 3’ te elde edilirken sırasıyla 5, 1, 6 ve 2 numaralı kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 4 numaralı kodlu karışımında 18273,4263olarak elde edilmiştir.

Çizelge 21. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	27757617,928	5	5551523,586	2,795 (p=0,026)
Gruplar İçi	107261953,626	54	1986332,475	
Toplam	135019571,554	59		

Çizelge 21’de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 2,795 (P=0,026) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %95 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında eğilme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 22).

Çizelge 22. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar		
		1	2	3
2	10	349,76		
6	10	587,30	587,30	
4	10	1403,77	1403,77	1403,77
5	10	1617,44	1617,44	1617,44
3	10		1854,97	1854,97
1	10			2279,61
Önem Düzeyi	10	,070	,070	,212

Duncan testine göre levha karışım oranları 2, 6, 4 ve 5 aynı grupta yer alırken 6, 4, 5 ve 3 ise farklı grupta yer almıştır. Buna ek olarak 4, 5, 3 ve 1 diğerlerinden farklı grupta yer almıştır. En düşük ortalama (349,7643) 2’ de elde edilirken sırasıyla 6, 4, 5 ve 3 numaralı kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 1 numaralı kodlu karışımında 2279,6111 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 23. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	1192099120,744	7	170299874,392	2,653 (p=0,017)
Gruplar İçi	4621217920,167	72	64183582,225	
Toplam	5813317040,911	79		

Çizelge 23'te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 2,653 (P=0,017) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %95 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında eğilme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 24).

Çizelge 24. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Guruplar		
		1	2	3
7	10	924,82		
6	10	1139,95		
2	10	2186,26	2186,26	
3	10	3038,82	3038,82	
1	10	3553,87	3553,87	
4	10	5626,44	5626,44	5626,44
5	10		10037,91	10037,91
8	10			11954,90
Önem Düzeyi		,260	,053	,099

Duncan testine göre levha karışım oranları 7, 6, 2, 3, 1 ve 4 aynı grupta yer alırken 2, 3, 1,4 ve 5 ise farklı grupta yer almıştır. Buna ek olarak 4, 5 ve 8 diğerlerinden farklı grupta yer almıştır. En düşük ortalama (924,8281) 7' de elde edilirken sırasıyla 6, 2, 3, 1, 4, 5 ve 8 numaralı kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 8 numaralı kodlu karışımında 11954,9005 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 25. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların elastikiyet modülü (MOE) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	2479103,378	6	413183,896	2,200 (p=0,055)
Gruplar İçi	11642625,766	62	187784,287	
Toplam	14121729,145	68		

Çizelge 25'te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 2,200 (P=0,055) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 26. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	183,433	5	36,687	5,601 (p=0,000)
Gruplar İçi	353,724	54	6,550	
Toplam	537,157	59		

Çizelge 26'da verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 5,601 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında çekme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 27).

Çizelge 27. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar		
		1	2	3
3	10	2,30		
1	10	2,99		
5	10	4,02	4,02	
4	10		5,71	5,71
6	10		5,94	5,9
2	10			7,28
Önem Düzeyi		,164	,118	,203

Duncan testine göre levha karışım oranları 3, 1 ve 5 birinci grupta 5, 4 ve 6 ise ikinci grupta 4, 6 ve 2 üçüncü grupta yer almıştır. En düşük ortalama (2,3069) 3'te elde edilirken sırasıyla 1, 5, 4 ve 6 kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 2'de 7,2824 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 28. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	50,023	5	10,005	3,502 (p=0,008)
Gruplar İçi	154,280	54	2,857	
Toplam	204,303	59		

Çizelge 28'de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 3, 502 (P=0,008) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında çekme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 29).

Çizelge 29. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Guruplar		
		1	2	3
1	10	2,22		
6	10	2,24		
2	10	2,44		
3	10	2,76	2,76	
4	10		4,21	4,21
5	10			4,4
Önem Düzeyi		,522	,061	,781

Duncan testine göre levha karışım oranları 1, 6 ve 2 birinci grupta yer alırken 3 ve 4 ise ikinci grupta buna ek olarak 4 ve 5 numaralı karışımlar ise üçüncü grupta yer almıştır. En düşük ortalama (2,2261) 1' de elde edilirken sırasıyla 6, 2, 3 ve 4 numaralı kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 5 numaralı kodlu karışımında 4,4230 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 30. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	35,97	7	5,139	1,260 (p=0,282)
Gruplar İçi	293,53	72	4,077	
Toplam	329,50	79		

Çizelge 30'da verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 1,260 (P=0,282) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 31. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	32,37	6	5,39	13,390 (p=0,000)
Gruplar İçi	26,19	65	,40	
Toplam	58,56	71		

Çizelge 31’de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 13,390 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında çekme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 32).

Çizelge 32. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların eğilme direnci (MOR) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar	
		1	2
4	10	,88	
2	10	1,18	
6	10	1,20	
3	10	1,35	
5	10	1,42	
7	10		2,43
1	10		2,76
Önem Düzeyi		,092	,24

Duncan testine göre levha karışım oranları 4, 2, 6, 3 ve 5 ayrı gruplarda 7 ile 1 ise aynı grupta yer almıştır. En düşük ortalama (,8867) 4’te elde edilirken sırasıyla 2, 6, 3, 5 ve 7 kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 1’de 2,7641 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 33. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	3805,333	5	761,06	36,75 (p=0,000)
Gruplar İçi	994,000	48	20,70	
Toplam	4799,333	53		

Çizelge 33'te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 36,752 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında çekme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 34).

Çizelge 34. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar				
		1	2	3	4	5
1	9	27,00				
2	9		35,00			
5	9		38,66	38,66		
3	9			40,66		
6	9				46,33	
4	9					53,66
Önem Düzeyi		1,00	,094	,356	1,00	1,00

Duncan testine göre levha karışım oranları 1 birinci grupta 2 ve 5 ikinci grupta 5 ve 3 üçüncü grupta 6 ve 4 ise tek halde sırasıyla 4. ve 5. grupta yer almıştır. En düşük ortalama (27,0000) 1'de elde edilirken sırasıyla 2, 5, 3 ve 6 kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 4 numaralı karışımında 53,6667 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 35. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	1303,33	5	260,66	8,07 (p=0,000)
Gruplar İçi	1550,00	48	32,29	
Toplam	2853,33	53		

Çizelge 35’te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 8,072 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında eğilme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 36).

Çizelge 36. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Guruplar			
		1	2	3	4
6	9	39,66			
4	9	44,33	44,33		
5	9		46,00	46,00	
1	9			51,33	51,33
3	9			51,33	51,33
2	9				54,00
Önem Düzeyi		,088	,537	,065	,354

Duncan testine göre levha karışım oranları 6 ve 4 birinci grupta 4 ve 5 ikinci grupta 5, 1 ve 3 üçüncü grupta 1,3 ve 2 dördüncü grupta yer almıştır. En düşük ortalama (39,6667) 6’da elde edilirken sırasıyla 4, 5, 1, 3 kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 2 numaralı karışımda 54,0000 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 37. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	3082,00	7	440,28	15,90 (p=0,000)
Gruplar İçi	1772,00	64	27,68	
Toplam	4854,00	71		

Çizelge 37’de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 15,902 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında eğilme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 38).

Çizelge 38. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar				
		1	2	3	4	5
3	9	36,66				
7	9		43,66			
2	9		44,66			
8	9		46,66	46,66		
5	9		47,33	47,33		
6	9			51,00	51,00	
4	9				54,66	54,66
1	9					59,33
Önem Düzey		1,000	,184	,103	,144	,064

Duncan testine göre levha karışım oranları 3, birinci grupta; 7, 2, 8 ve 5 ikinci grupta 8, 5 ve 6 üçüncü grupta 6 ve 4 dördüncü grupta 4 ve 1 beşinci grupta yer almışlardır. En düşük ortalama (36,6667) 3’te elde edilirken sırasıyla 7, 2, 8, 5, 6 ve 4 kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 1 numaralı karışımda 59,3333 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 39. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	3310,85	6	551,81	24,80 (p=0,000)
Gruplar İçi	1246,00	56	22,25	
Toplam	4556,85	62		

Çizelge 39’da verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 24,800 (P=0,000) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre %99,9 güven düzeyi ile levha karışım oranları arasında eğilme direnci bakımından anlamlı fark bulunmuştur. Analiz sonucu elde edilen farklı grupların belirlenmesi için Duncan Testi yapılmıştır (Çizelge 40).

Çizelge 40. Pirinç sapı/odun-alçı karışımından üretilmiş levhaların yüzey sertlik (Shore D) Duncan testi.

Levha Kodu	Örnek Sayısı	Homojen Gruplar				
		1	2	3	4	5
6	9	20,33				
5	9	21,33				
7	9	24,66	24,66			
3	9		27,33	27,33		
4	9			31,00	31,00	
1	9				32,66	
2	9					43,00
Önem Düzeyi		,070	,235	,105	,457	1,0

Duncan testine göre levha karışım oranları 6, 5 ve 7 birinci grupta 7, 3 ikinci grupta 3 ve 4 üçüncü grupta 4 ve 1 dördüncü grupta ve 2 beşinci grupta yer almıştır. En düşük ortalama (20,3333) 6’da elde edilirken sırasıyla 5, 7 3, 4 ve 1 kodlu karışımların ortalamaları sıralanmıştır. En yüksek ortalama 2 numaralı karışımda 43,0000olarak elde edilmiştir.

Çizelge 41. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	269,30	5	53,86	1,01 (p=0,419)
Gruplar İçi	2869,01	54	53,13	
Toplam	3138,32	59		

Çizelge 41’de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 1,014 (P=0,419) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 42. Oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	122,181	5	24,436	0,536 (p=0,748)
Gruplar İçi	2462,690	54	45,605	
Toplam	2584,872	59		

Çizelge 42’de verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 1,014 (P=0,419) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 43. Sekonder lif-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	123,54	7	17,64	0,365 (p=0,919)
Gruplar İçi	3477,11	72	48,29	
Toplam	3600,65	79		

Çizelge 43’te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 0,365 (P=0,919) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

Çizelge 44. Kızılçam odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilmiş levhaların su içinde şişme için Anova testi.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Gruplar Arası	230,638	6	38,440	0,466 (p=0,831)
Gruplar İçi	5194,927	63	82,459	
Toplam	5425,565	69		

Çizelge 44'te verilen ANOVA analizi sonucu F değeri 0,466 (P=0,831) olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre istatistiksel olarak anlamsız sonucu çıkarılabilir (ns).

4.2. Deneme Levhaların Optik (Renk) Özellikleri

Deneme levhalarının dış atmosferik şartlarda 60 gün süre ile bekletilmesiyle oluşan temel renk farklılıkları CIE L* a* b* (1976) standardına göre ölçülmüş ve Çizelge 13'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tüm renk parametrelerin aynı anda açıklanması ve bir ilişki kurulması zordur. Fakat bu temel renk değerlerinin (L: parlaklık/koyuluk, a*: kırmızılık (+)/yeşillik (-), b*: sarılık (+)/mavilik (-)) bir korelasyonu olan toplam renk farkı ($\Delta E: [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$) literatürde en fazla kullanılan yöntemdir ve bu çalışmada da deneme levhalarının toplam renk farkında kaydedilme değişimler açıklanmaya çalışılmıştır.

Atık kâğıt-alçı (A tipi levhalar) ve oluklu mukavva-alçı (B tipi levhalar) karışımından üretilmiş deneme levhaları hemen hemen benzer renk farklılığı (ΔE : toplam renk farkı) gösterdiği anlaşılmıştır. İlginç olarak her iki levha tipinde de karışımdaki atık kâğıt ve oluklu mukavva oranının artışına bağlı olarak renk değişiminin yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca olarak bu iki levha tipinden de aynı oranda oluklu mukavva-alçı ve atık kâğıt-alçı karışımı ile üretilen örneklerde en yüksek ve düşük renk farklılıkları hesaplanmıştır. Atık kâğıt-alçı karışımından üretilen levhalarda en yüksek renk farkı A4 tipi levhada 6,09 ile en düşük ise A2 tipi levhada 0,61 olarak ölçülmüştür. Bu levha tipi aynı zamanda en yüksek beyazlık azalmasının (CIE Beyazlık: -33,19) ve sarılık oranının artmasının (E313 Sarılık: 8,99) sağlandığı levhadır.

Atık oluklu mukavva-alçı karışımından üretilmiş deneme levhalarında da atık kâğıt ile üretilenlere benzer sonuçlar elde edilmiş ve en yüksek renk farkı B4 tipi levhada 5,79 ile en düşük ise 0,67 ile (B2) tipi deneme levhasında hesaplanmıştır. Fakat en yüksek beyazlık azalması ve sarılık değerinde artış B5 tipi levhada sırasıyla -28,44 ve 6,46 olarak ölçülmüştür.

Sekonder lif-alçı karışımından üretilen levhalarda (C tipi levhalar) C7 tipi levhada 4,37 olarak ve daha sonra 4,03 olarak C4 tipi levhada hesaplanmıştır. En yüksek beyazlık değerindeki azalma ve sarılık değerindeki yükselme ise yine C7 tipi levhada sırasıyla -20,92 ve 4,77 olarak belirlenmiştir.

Odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilen levhalarda ise (DE tipi levhalar) en yüksek renk farkı kontrol örneğinde (DE0) gözlemlenmiş ve diğer tüm üretim şartlarında ise kontrol örneğinden daha düşük renk değişimleri ölçülmüştür. En yüksek toplam renk farkı yine kontrol örneğinde 8,15 olarak ve en düşük ise DE6 tipi levhalarda 0,63 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca aynı levhada en yüksek beyazlık renk değerindeki azalma (-35,48) ve bununla ilişkili olarak sarılık renk değerinde artış (7,03) olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 45. Açık havada bekletilmiş deneme levhalarının yüzeylerinde oluşan renk değişimleri.

Levha Kodu	ΔL	Δa	Δb	ΔE	CIE Beyazlık	E313 Sarılık
Kâğıt-Alçı Karışımı						
A1	-1,2	-0,65	-2,18	2,57	7,85	-3,31
A2	-0,52	-0,12	0,29	0,61	-2,73	0,51
A3	-3,17	0,56	3,65	4,87	-25,81	6,03
A4	-2,44	0,81	5,52	6,09	-33,19	8,99
A5	-3,39	0,91	4,12	5,41	-28,83	6,94
A6	-0,67	0,44	2,97	3,08	-16,4	4,7
Oluklu Mukavva-Alçı Karışımı						
B1	-1,2	-0,65	-2,18	2,57	7,85	-3,31
B2	0,59	-0,22	-0,23	0,67	2,51	-0,44
B3	1,5	-0,76	2,98	3,42	18,42	-4,93
B4	-5,48	-0,22	1,87	5,79	-22,09	3,81
B5	-4,3	-0,11	3,68	5,66	-28,44	6,46
B6	-3,57	-0,63	3,5	5,04	-26,06	6,01
Sekonder Lif-Alçı Karışımı						
C1	-1,2	-0,65	-2,18	2,57	7,85	-3,31
C2	0,14	-0,59	-1,18	1,33	6,23	-1,91
C3	-1,62	-0,59	1,27	2,14	-10,29	2,28
C4	-3,86	-0,82	-0,82	4,03	-3,87	-0,91
C5	-1,82	-0,42	0,14	1,87	-3,15	0,3
C6	-3,14	-0,39	1,26	3,41	-13,58	2,67
C7	-3,69	-0,64	2,25	4,37	-20,92	4,77
C8	-0,25	-1,05	-0,17	1,09	0,33	-0,24
Odun/Prinç Sapı-Alçı Karışımı						
DE0	-7,19	1,55	3,51	8,15	-35,48	7,03
DE1	-2,78	0,48	0,3	2,84	-8,09	1,01
DE2	1,26	-0,35	1,17	1,75	-3,48	1,56
DE3	-1,12	-0,16	0,8	1,39	-6,9	1,48
DE4	0,17	1,81	-1,46	2,33	8,79	-2,42
DE5	0,98	-0,44	1,27	1,67	-5,13	1,85
DE6	0,47	-0,39	-0,15	0,63	1,91	-0,38

4.3. Deneme Levhaların Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri

4.3.1. Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi

Çalışma atık kâğıt-alçı (A tipi levhalar), oluklu mukavva-alçı (B tipi levhalar) sekonder lif-alçı (C tipi levhalar) ve odun/pirinç sapı-alçı karışımından üretilen levhaların (DE tipi levhalar) FTIR spektrumları Şekil 21’de gösterilmiştir.

Bilindiği gibi FTIR tekniği katı malzeme yüzey fonksiyonel gruplarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottür. Bu çalışmada da mineral esaslı yapıştırıcı olarak kullanılan alçının yapısına değişik oranlarda lignoselülozik esaslı hammaddelerin katılmasıyla üretilen levhaların yüzeylerinde fonksiyonel grupların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Söz konusu bandların absorbans değerleri 2900 cm^{-1} ’deki bandın değerine bölünerek spektrumlar karşılaştırılabilir hale getirilmiştir (Sinha ve Rout 2009; Mahato ve ark., 2014; Beram ve Yaşar 2018). 2900 cm^{-1} ’deki band metil ve metilen grupları içerisinde C-H gerilmesini temsil etmektedir (Tsuboi, 1957; Popescu ve ark., 2006; Beram ve Yaşar 2018). 3600 cm^{-1} ’deki band H- bağlı H-O gerilmesi ile ilgilidir (Tsuboi, 1957; Pandey 1999 ve 2005; Beram ve Yaşar 2018).

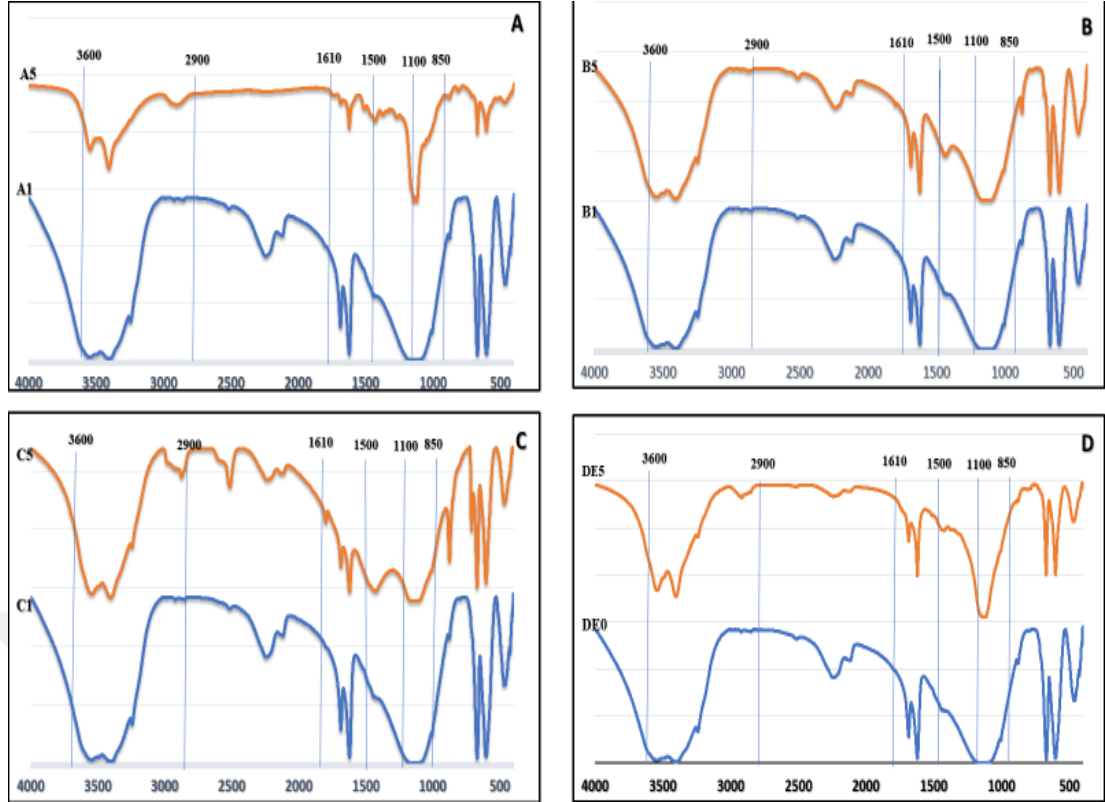
Genel olarak $1500\text{-}1610\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bandlar lignin yapısındaki aromatik halkalardaki C=O ve COO- simetrik olmayan gerilim titreşimlerinden oluştuğu ve lignin bileşenleri için karakteristik bir pik olarak değerlendirilmektedir (Pandey 2005; Temiz 2005; Kartal vd., 2013). Tüm deneme levhalarında ise (A,B,C ve DE) bu bölgedeki piklerin varlığı belirlenmiştir (Şekil 21).

$1360\text{-}1380\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bandlar ise çoğunlukla polisakkaritlerdeki (hemiselüloz ve selülozda) C-H degradasyonunu gösterdiği değerlendirilmiştir. Bu pik değerlerindeki değişim (azalma), odunda hidrofilik özelliğin değişimini belirttiği üzerine literatürde bilgiler mevcuttur (Can ve Sivrikaya 2017). Deneme levhalarında da bu aralıktaki piklerde bazı değişimler (azalma veya artış) gözlenmiştir.

1230-1270 cm^{-1} aralığındaki bandlardaki değişim ise lignin ve hemiselülozdaki CO gerilimi ile guayasil halkasındaki titreşimi açıkladığı belirtilmiştir. Çalışmada deneme levhalarının hazırlanması su/alçı karışım ortamında bazı bileşenlerin (özellikle lignin ve hemiselüloz) yapısı belli derecede bozunabilir. Elde edilen sonuçlara göre levha numunelerinde bu pik değerinde belli derecelerde modifiye olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kağıt-karton üretimi esnasında veya sekonder liflerin geri kazanılması işlemlerinde de bu kimyasal bileşiklerin modifiye olması mümkündür. Bu bant aralığındaki pikin kaybolması aromatik halkaların bozunmasının bir göstergesi olması bakımından önemlidir (Can ve Sivrikaya 2017).

900-1050 cm^{-1} arasındaki bandlar ise selülozdaki C-O, O-H, C-H ve C-O-C bağlarını belirtmektedir. Deneme levhalarının FTIR spektrumlarında bu band değerlerinde bazı modifikasyonlar gözlenmiştir.

Özet olarak düşük veya yüksek oranda lignoselülozik karışımı ile üretilmiş tüm levhaların FTIR spektrumlarında benzer fonksiyonel gruplar belirlenmiştir. Bu bakımdan FTIR yardımıyla levha matris yapısındaki kimyasal değişimlerin tam olarak açıklanması zordur ve diğer yardımcı metotlarla fonksiyonel grupların açıklanması mümkün olabilir.



Şekil 21. Alçı esaslı deneme levhalarının Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Spektrumları (A: Atık kâğıt-alçı levhaları; B: Atık oluklu mukavva-alçı levhaları; C: Sekonder lif-alçı levhaları; DE: Odun/pirinç sapı-alçı levhaları).

4.3.2. TGA analizi

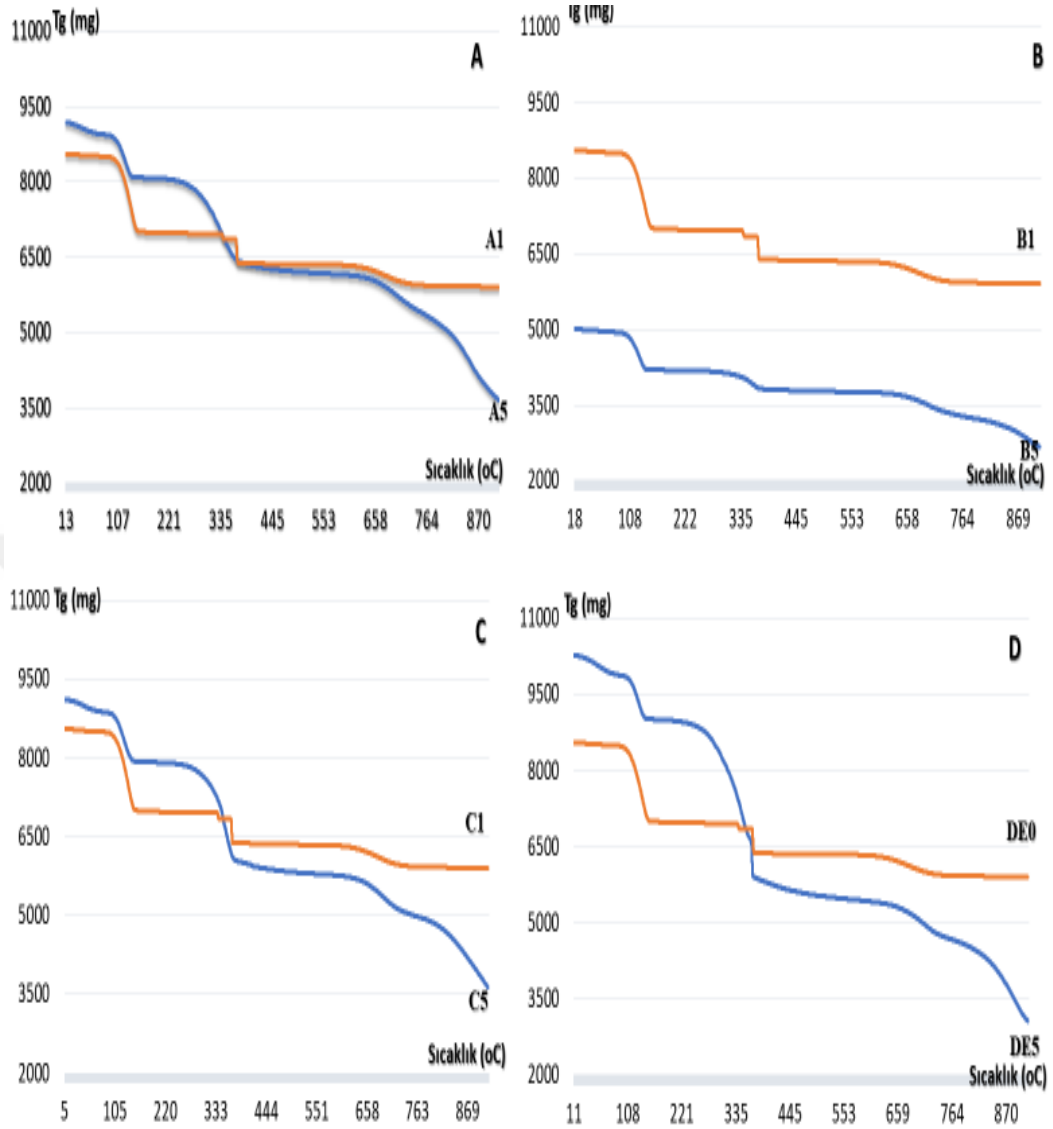
Bilindiği gibi bir maddenin sıcaklık değişim aralıklarında ağırlığında meydana gelen değişimi kantitatif olarak TGA/DTA/DSC analizi ile hesaplanabilir. Zira böylece kompozit malzemelerin yapısını oluşturan bileşenlerin dehidrasyonunu ve bozulmasını sıcaklık-zaman değişkenlere bağlı olarak TGA (Termal Gravimetric Analyzer) analizi yardımıyla en yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan birisidir.

Değişik oranlarda selülozik madde ilave edilmiş alçı esaslı levhaların Termal Gravimetrik Analiz (TGA) yönteminde 25-900 °C sıcaklık aralığında sıcaklığa bağlı kütle değişim grafiği Şekil 22’de görülmektedir. Grafikte elde edilen değerler Çizelge 14’te açıklanmıştır.

Şekil 22'deki grafikler dört farklı sıcaklık bölgesinde incelenebilir.

1. Bölge: Genellikle bu bölge ısınma bölgesi olarak varsayılmakta ve 100-110 °C dereceye kadar malzemenin içerisindeki nemden kaynaklanan kuruma sonucu % 7-10 kütle kaybı olduğu varsayılmıştır.
2. Bölge: Bu bölge, 110-250 °C arasında ise selülozik liflerdeki hücre çeperinde suyun tamamen uzaklaştığı bölge olarak değerlendirilmiştir. Bu sıcaklık değerinden üstünde ise selülozik maddelerde ısınmanın başladığı değerlendirilmiştir.
3. Bölge: Selülozik maddelerin 300-360 °C aralığında hızlı bir eğimle bozulduğu ve ortalama %75-80 aralığında kütle kaybının olduğu bölgedir. Bu sıcaklık seviyelerinde gaz haline geçiş hızlanmakta ve hücre yapısında önemli derecede bozulduğu belirlenmiştir.
4. Bölge: 400-900 °C aralığında ve diğerine göre daha az bir eğimle gerçekleşen ve örneklerdeki kütle kaybının % 90 ve üzerine ulaştığı anlaşılmıştır.

Ayrıca Şekil 22'den de anlaşıldığı üzere, Atık kâğıt-alçı (Fig. A) ve sekonder lif -alçı (Fig. C) ve odun/pirinç sapı/alçı karışımından üretilen levhaları (Fig. D) TGA eğrileri ve sıcaklık bozunma dereceleri birbirine yakın şekilde bir grafik özelliği gösterirken, atık mukavva-alçı karışımından üretilen levha tipinde (Fig. B) ise daha başlangıç sıcaklık derecelerinde dahi yüksek bir kütle kaybı olduğu anlaşılmıştır.



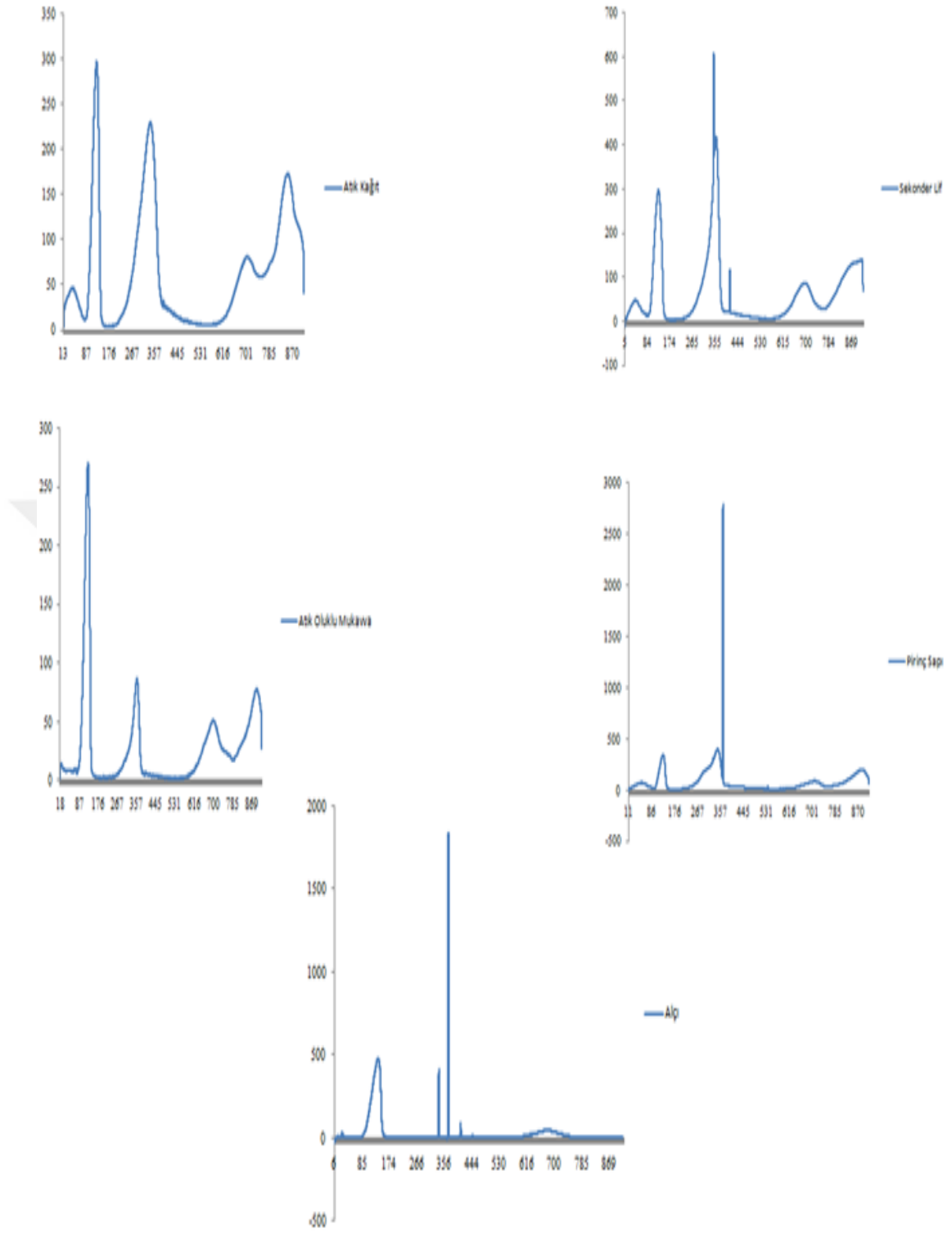
Şekil 22. Alçı esaslı deneme levhalarının termal bozulma (TGA) davranışları (A: Atık kâğıt alçı levhaları; B: Atık Mukavva-alçı levhaları; C: Sekonder lif-alçı levhaları; DE: Odun/pirinç sapı-alçı levhaları)

Deneme levhaların TGA analizleri esansında dört farklı sıcaklık derecelerindeki bozulma ve kütle kayıp özellikleri Çizelge 20’de verilmiştir. Sadece alçıdan üretilmiş levhanın (A1-B1-C1) TGA eğrisine göre başlangıç sıcaklığı (T_b) 122 °C, ilk maksimum sıcaklık (T_{m1}) 406 °C, ikinci maksimum sıcaklık (T_{m2}) 650 °C ve son sıcaklık (T_s) 692 °C olarak belirlenmiştir. Bu veriler; başlangıç ve ilk maksimum sıcaklık değerinin diğer levha tiplerinden daha düşük fakat ikinci ve son sıcaklık

bozunma deęerinin ise daha dūřuk olduęunu açıklamaktadır. Aynı ūretim ūartlarında ve aynı oranda fakat farklı cins hammaddenin kullanıldıęı A5, B5 ve C5 tipi levhaların termal bozulma ūzellikleri incelendięinde ise; tūm bozunma aralıklarında en dūřuk kūtle kaybının atık mukavva-alçı (B5) karıřımından ūretilen levhada olduęu anlařılmıřtır. Sekonder lif-alçı (C5) ve atık kâęit-alçı (A5) karıřımında ūretilmiř levhaların bozulma sıcaklıkları ve bu sıcaklıklardaki kūtle kayıpları benzerlik gūsterdięi anlařılmıřtır. Odun/pirinç sapı-alçı karıřımında ūretilmiř levhada ise bařlangıçta en dūřuk kūtle kaybı (%2,5) gūzlemlenmekle birlikte, daha sonraki bozulma sıcaklıklarında en yūksek kūtle kaybı da bu levha tipinde hesaplanmıřtır.

Çizelge 46. Alçı esaslı deneme levhalarının termal bozulma sonucu (TGA) kūtle kayıp ūzellikleri.

Levha Kodu	T_b (°C)	Kūtle kaybı (%)	T_{m1} (°C)	Kūtle kaybı (%)	T_{m2} (°C)	Kūtle kaybı (%)	T_s (°C)	Kūtle kaybı (%)
A1-B1-C1	122	7,0	406	8,0	-	-	692	12,7
A5	119	5,0	329	11,0	700	36	850	45
B5	115	4,75	348	4,84	690	24	883	31
C5	117	4,0	347	12	676	35	891	49
DE5	119	2,5	367	27,7	699	49	875	55



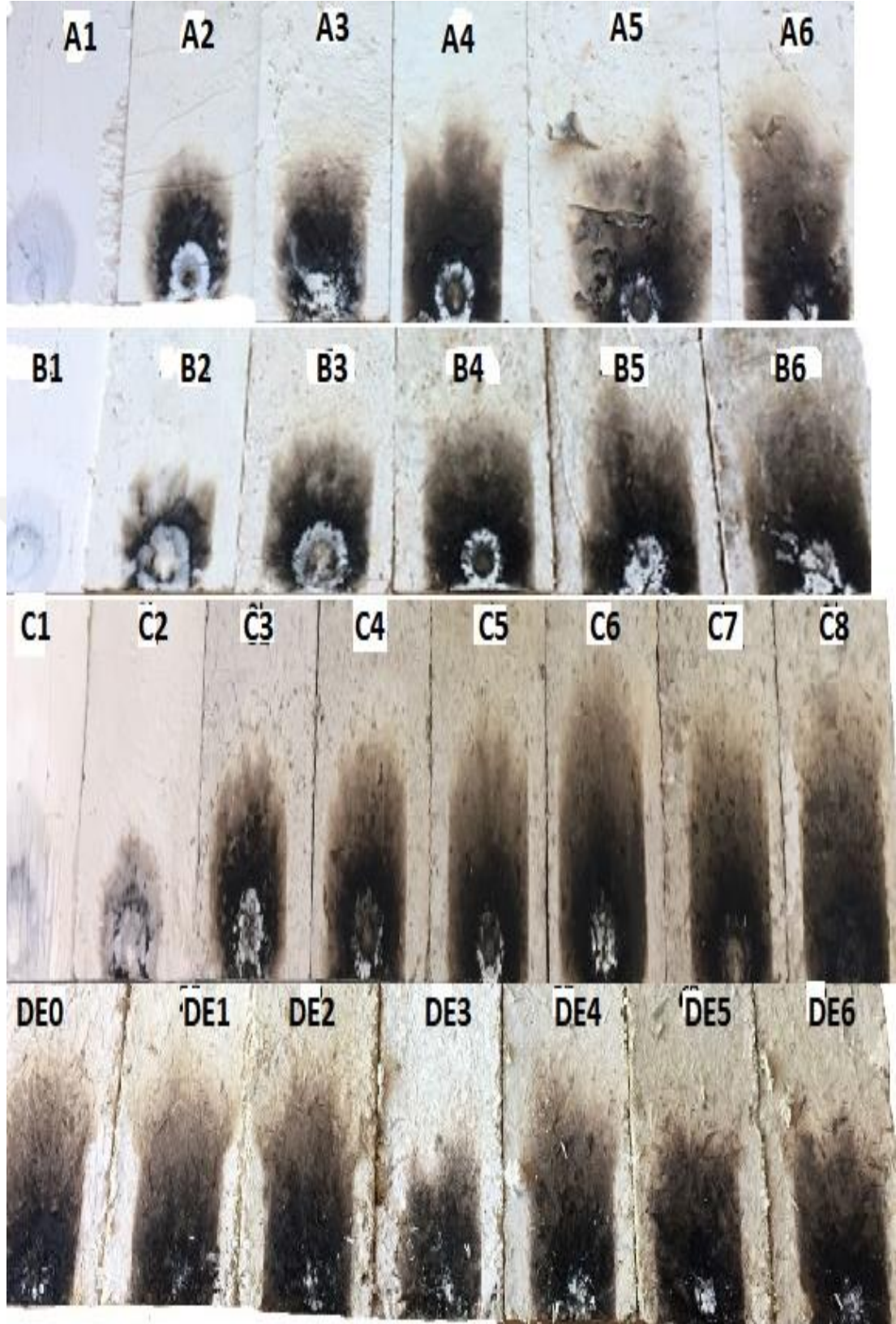
Şekil 23.Alçı esaslı deneme levhalarının DTG termogramları

Alçı esaslı deneme levhalarındaki asıl bozunma 115-122°C sıcaklık aralıklarında başlamıştır. Bu sıcaklığa kadar deneme levhaların içindeki suyun ve ekstraktif

(Thurner ve Mann, 1981; Beram ve Yaşar 2018) maddeler uzaklaşmıştır. Deneme levhalarının bozunmaya başladığı 115-122°C'den kontrol levhası (A1-B1-C1) 692°C, A5 (Atık Kağıt) levhasında 850 °C, B5 (Oluklu Mukavva) levhasında 883 °C, C5 (Sekonder Lif) levhasında 891 °C ve DE5 (Pirinç Sapı) levhasında 875 °C'ye kadar bozunmaya devam etmiştir. Alçı esaslı deneme levhalarında 115 °C ile 891 °C arasında hemiselülozlar, ekstraktiflerin kalanı, lignin ve selüloz (Thurner ve Mann, 1981; Meszaros ve ark., 2007; Beram ve Yaşar 2018) bozunmaya uğramıştır.

4.3.3. Yangın Yalıtım ve Yanma Davranış Analizi

TS EN-ISO 11925-2 standardına göre, tek alev kaynağıyla yapılan yanma deneyleri sonucunda levhaların yüzeylerinde oluşan şeklin (alev yayılma özelliği) karşılaştırmalı olarak Şekil 23'de gösterilmiştir. Burada dikkatlice incelendiğinde, her dört farklı lignoselülozik hammadde kaynağının alçı yapısına eklenmesiyle üretilen tüm deneme levhalarının yüzeyindeki yanma şeklinin, 150 mm eşik sınırına ulaşmadığı belirlenmiştir. Bu eşik sınıra en yakın davranış gösteren deneme levhalarının ise daha çok sekonder kâğıt lifi ilave etmiş alçı levhalar ile (C6,C7 ve C8), odun yongası ve pirinç sapı karışımında üretilmiş levhalarda belirlenmiştir (DE0, DE1 ve DE2). Bu beklenen bir durumdur. Zaten alçı yanmazlık sınıfı olarak A1 sınıf bir malzeme olarak kabul edilmektedir (Çizelge 6). Genel olarak, Yanmazlık sınıfında A kategorisi “Alev Almaz” olarak değerlendirilmektedir. Yani bu alev almaz malzemeler ateş kaynağı uzaklaştırılmasa dahi hiçbir şekilde alevi üzerinde yürütmemektedir. Elde edilen bulgular ve Şekil 23'teki görünüm bu hipotezi desteklemektedir.



Şekil 24. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzyelerinin, tek kaynaklı alev testindeki yanma davranışları (60 saniye).

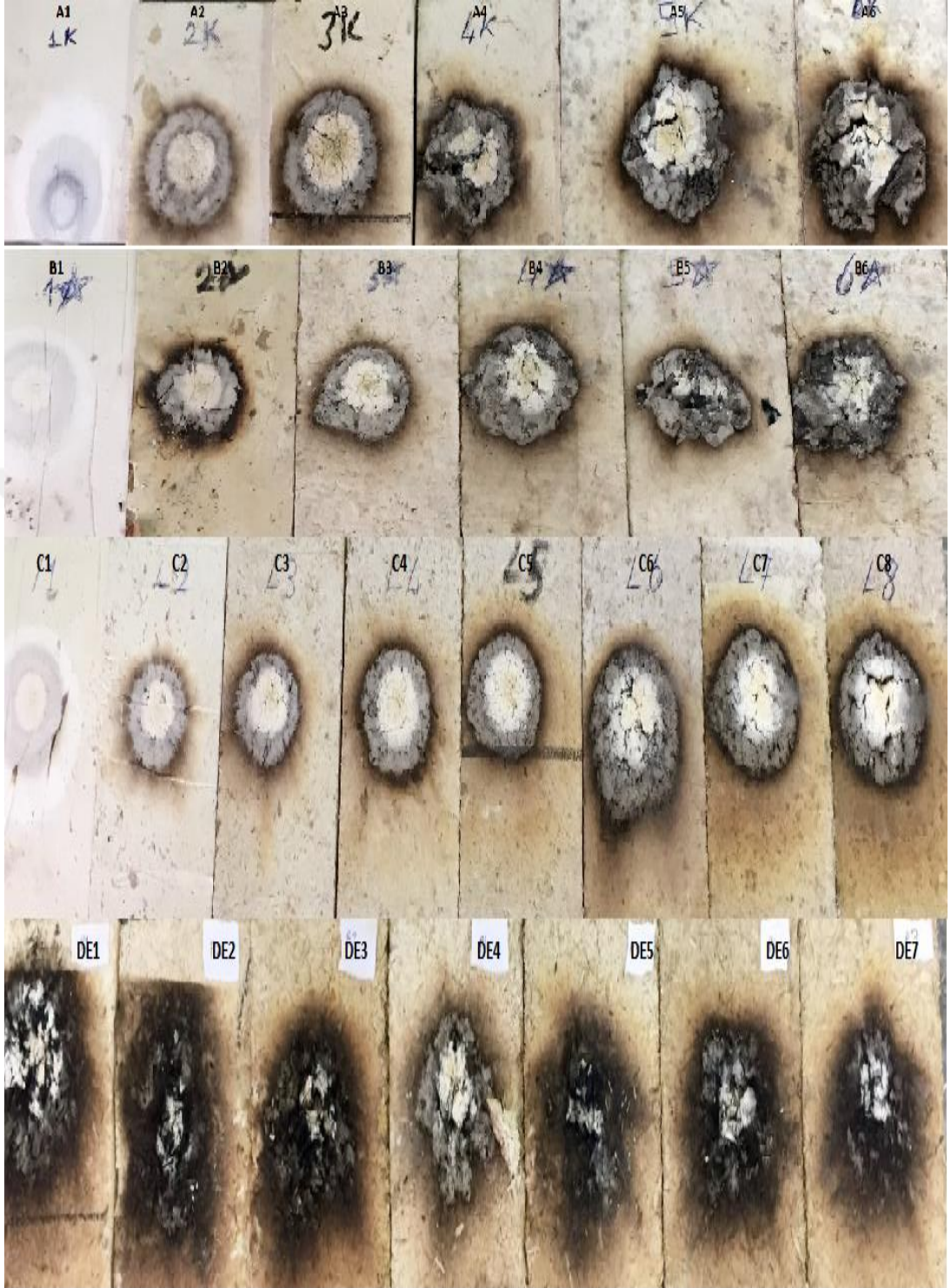
Tek alev kaynağıyla levha yüzeylerine sıcaklık uygulaması sonucunda, arka yüzeylerine geçen sıcaklık değerleri DIN 4102 standardına göre, 30 saniye aralıklarla ve toplam 300 saniye süreyle ölçülmüş ve elde edilen değerler, ısı yalıtım değeri olarak ve toplam kütle kaybı olarak Çizelge 15'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Genel olarak, tüm levha tiplerinde ve üretim şartlarında (A1-6; B1-6; C1-8; DE0-6), alçı yapısına lignoselülozik madde ilavesi, deneme levhalarının ısı geçirme (yalıtım) özellikleri üzerine olumlu etki yaptığı belirlenmiştir. Her dört tip levhada en yüksek yalıtım özelliği (ısı geçirme oranı en düşük) sırasıyla A6 levhasında 68,2 °C olarak, B6 levhasında 76,2 °C olarak, C8 levhasında 79,4 °C olarak ve DE6 levhasında 39,1 °C olarak ölçülmüştür. Çizelge 15 dikkatlice incelendiğinde, genel olarak odun/alçı/pirinç sapı karışımından üretilen levhaların yalıtım özelliklerinin, diğer üç tip levhalardan daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Levhaların tek alev kaynağıyla 5 dakika (300 saniye) süreyle işlem sonucunda meydana gelen kütle kaybı değerleri (yanma davranış özellikleri), de ısı yalıtım özelliklerinin A,B ve C tipi levhalar için tam tersi olduğu anlaşılmıştır. Genel olarak bu üç levha tipinde de, karışımda bulunan lignoselülozik ilave maddesi oranının artışı kütle kaybını da artırdığı anlaşılmıştır. A, B ve C tipi levhalarda en yüksek kütle kaybı aynı zamanda en iyi yalıtım özelliğine sahip levhalarda sırasıyla A6 levhasında %3.52, B6 levhasında %3.46, C8 levhasında %3.28 olarak ölçülmüştür.

DE tipi levhalarda ise en düşük kütle kaybı aynı zamanda en yüksek pirinç sapı oranının olduğu (60:40 pirinç sapı/odun yongası) DE6 deneme levhasında %2,01 olarak ölçülmüştür. Bu levha aynı zamanda DE tipi levhalar içinde en iyi yalıtım özelliği gösteren levhadır.

Çizelge 47. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeylerinin, ısı geçirgenlik ve toplam kütle kayıp özellikleri.

Süre (Saniye)	0	60	120	180	240	300	Kütle Kaybı (%)
Kâğıt-Alçı Karışımı							
A1	16,9	64,9	93	124,9	133,7	135,4	1,64
A2	14,4	51,9	78,3	100,9	105,2	148,3	1,85
A3	12,2	20,2	51,7	60,8	67,2	68,7	2,35
A4	12,6	22,2	61	73	78,2	78,3	2,37
A5	13,6	16,9	41,4	66,6	72,7	74,6	2,48
A6	10,4	15,6	30,4	57,8	67,6	68,2	3,52
Oluklu Mukavva-Alçı Karışımı							
B1	18,1	93,3	127,1	137,9	160,8	161	1,51
B2	15,7	51	83,8	96,1	100,5	125,1	1,35
B3	14,1	24,6	61,5	66,7	75,9	90,8	1,49
B4	12,4	30,4	62,7	72,4	72,8	80,4	2,75
B5	11,7	26,4	58,3	66,4	75,9	98	2,9
B6	9,4	26,1	39,6	73,2	85,1	76,2	3,46
Sekonder lif-Alçı Karışımı							
C1	17,2	52,8	78,2	86,6	112,3	123,8	1,32
C2	15,5	22,3	50,4	71,2	78,6	84,9	1,61
C3	15,1	26,5	48,7	73,8	82,5	104	1,56
C4	13,9	24,5	69,7	86,7	89,9	107,4	2,2
C5	13,5	30,8	60,7	80,6	86,9	98,1	2,15
C6	28,3	45,3	76,4	84,2	86,6	87,6	3,09
C7	13,2	17	38,1	61,8	67,9	84,7	3,13
C8	12,2	17,7	53,6	70,6	79,9	79,4	3,28
Odun/Pirinç Sapı-Alçı Karışımı							
DE0	20,2	20,2	24,3	41,9	58,8	66	4,15
DE1	20	22,7	32,4	45,1	52	62,9	3,9
DE2	12,9	15,2	16,3	20,5	30,4	40,9	3,04
DE3	14,2	15,3	23,1	35	45,3	56,1	6,21
DE4	10,8	12,9	14,6	19,3	28,7	40,3	2,66
DE5	13,8	14,4	16	25,6	32,5	45,3	2,65
DE6	11,8	12,1	15,4	25,1	34,6	39,1	2,01



Şekil 25. Alçı esaslı deneme levhalarının yüzeylerinin, tek kaynaklı aleve maruz kalması sonucu (5 dakika) yanma davranışları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek lisans tez çalışmasında, Ülkemiz ve Dünya genelinde gittikçe önemi artan atıl durumdaki dört farklı selülozik hammadde kaynağından, mineral esaslı yapıştırıcı (alçı) yardımıyla kompozit panel levhaları üretilmiştir. Bu amaçla atık haldeki yazı kâğıtları, oluklu mukavva karton artıkları, yazı kâğıtlarının geri dönüşüm işleminden geri kazanılmış selüloz lifleri (sekonder lif) ile birlikte, Marmara bölgesinin önemli bir tarımsal üretim kaynağı olan pirinç sapları ile birlikte kızılçam odun yongaları da alçı esaslı deneme panel levhaları üretilmiştir.

Çalışma konusunun belli seviyede sınırlandırılması ve değişken olarak lignoselülozik kaynakların mineral maddelerle karışım olarak daha yakından incelenmesi amacıyla, ticari olarak kullanıma hazır durumdaki standart alçıdan faydalanılmıştır. Laboratuvar şartlarında her üretim aşamasında %10 oranında lignoselülozik hammaddeler (atık kâğıt/mukavva, sekonder lif, pirinç sapı ve kızılçam odun) ilave edilerek (veya alçı oranı %10 azaltılarak), panel levhalar üretilmiştir. Böylece karışım oranı ve yapıştırıcı oranı bilinen levhaların karışımındaki lignoselülozik madde ilavesiyle birlikte kızılçam odun ve pirinç sapı artıklarının oranının etkisinin daha yakından araştırılması mümkün olmuştur. Literatürdeki benzer konularda çalışmalarda da hammadde tür ve miktarının etkisinin araştırıldığı çalışmalarda bu karışım oranının önemli olduğu üzerine bilgi ve öneriler mevcuttur.

Genel olarak her üç levha tipinde de (A, B ve C tipi levhalar) benzer su içinde kalınlık artım değerleri bulunmuştur. A ve B tipi levhalarda en yüksek kalınlık artım değeri 50:50 atık kâğıt/oluklu mukavva-alçı karışımından üretilen levhalarda (A6 ve B6) sırasıyla %23,32 ve %12,76 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak karışımında atık kâğıt veya oluklu mukavva miktarının artmasının levhaların kalınlık artımlarını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Sekonder lif-alçı karışımından üretilen levhalarda da hemen hemen aynı durum belirlenmiştir. Odun/ pirinç sapı ve alçı karışımından üretilen deneme levhalarında (DE tipi) ise diğer üç tip (A, B ve C) levhalardan çok daha yüksek kalınlık artım değerleri bulunmuştur. DE tipi levhalarda en yüksek kalınlık artım değeri %47,66 olarak, 60:40 odun/ pirinç sapı karışımından üretilen levhada (DE4) olarak ölçülmüştür. Alçı yapısına lignoselülozik esaslı hammaddelerin katılmasıyla üretilen levhaların daha yüksek kalınlık artım değerleri

göstermesi beklenen bir sonuçtur. Zira selüloz ve diğer odun bileşiklerinin, alçıya göre daha yüksek hidrofilik özellik gösterdiği net olarak bilinmekte ve bunların alçı yapısında bulunması kaçınılmaz olarak sadece alçıdan üretilen levhalara göre hidrofilik özelliği artırdığı olağandır. Fakat laboratuvar şartlarında üretilen bu levhaların yapısına, ticari olarak özellikle odun esaslı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan hidrofobik özellikte bazı kimyasalların eklenmesiyle (mum, vaks vb.) kalınlıkta artım değerlerinde düzenlemelerin olması beklenebilir.

Levhaların yüzeye dik çekme dirençleri (IB) incelendiğinde; A-, B- ve DE tipi levhalarda genel olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir. A ve B tipi deneme levhalarında en yüksek dik çekme direnci sadece alçıdan üretilmiş levhalarda (A1 ve B1) $0,27 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuş en düşük ise $0,14 \text{ N/mm}^2$ olarak 70:30 alçı/atık kağıt karışımından üretilmiş (A4) deneme levhasında, $0,11 \text{ N/mm}^2$ olarak ise en yüksek atık mukavva ilave edilmiş (50:50 alçı/mukavva karışımı) B6 tip deneme levhasında hesaplanmıştır. Genel eğilim olarak atık kâğıt ve oluklu mukavva oranının artması levhaların yüzeye dik çekme direnç özelliklerini belli derecede azaltmaktadır. A ve B tipi levhalardan farklı olarak ise, sekonder kâğıt lifi-alçı karışımından üretilen tüm C tipi levhalarının yüzeye dik çekme direnç özellikleri, kontrol (C1) deneme levhasından tüm üretim şartlarında daha yüksek bulunmuştur. En yüksek yüzeye dik çekme direnci 20:80 sekonder lif/alçı karışımından üretilen levhada $0,60 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Karışımındaki sekonder kâğıt oranının %20'den daha fazla olması direnç değerlerini belli seviyede düşürmekle birlikte, kontrol örneğinden daha yüksek yüzeye dik çekme direnç değerleri bulunmuştur. DE tipi deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnç özellikleri ise diğer üç levha tipinden de daha düşüktür. Fakat odun/alçı karışımına pirinç sapı ilave edilmesi levhaların yüzeye dik çekme direnç özelliklerini daha fazla düşmesine etki etmiştir. En yüksek yüzeye dik çekme direnci $0,06 \text{ N/mm}^2$ olarak sadece odun/alçı karışımından (10:90) üretilen DE0 tipi levhalarda hesaplanmıştır. Dört levha tipi içinde sadece sekonder lif-alçı karışımıyla üretilen levhaların yüzeye dik çekme direnç özellikleri göstermesi, alçı matris yapı içerisinde küçük boyutlu selüloz liflerinin daha iyi düzenlenmiş ve bağlanma yapısı oluşturmasından kaynaklanabilir. Zira bilindiği gibi odun esaslı kompozit malzemeler içerisinde de, aynı yoğunluktaki liflerden üretilen levhalar (lif levhalar), yongadan üretilenlere göre (Yonga levhalar) daha yüksektir. Bu çalışmada gözlemlenen bu durum C tipi levhalar içinde olduğu

varsayılmıştır. Çünkü alçı yapısında sadece C tipi levhalarda en küçük boyutlu selüloz lifleri kullanılmıştır.

Levhaların eğilme direnç (MOR) özellikleri incelendiğinde; genel olarak üç levha tipinde de (A-, B- ve C-) atık kâğıt, oluklu mukavva ve sekonder lif ilave edilmesiyle üretilen levhaların eğilme direnç değerleri, sadece alçıdan üretilen kontrol örneğine göre (A1-B1-C1: 2,22 N/mm²) daha yüksektir. A tipi levhalarda en yüksek eğilme direnç değeri 6,59 N/mm² olarak 10:90 (ağırlık/ağırlık) A2 tip levhada, B tipi levhalarda 4,92 N/mm² olarak 60:40 alçı/atık kağıt karışımından üretilmiş B5 levhasında, C tipi levhalarda ise 6,98 N/mm² olarak C3 levhasında belirlenmiştir. DE tipi deneme levhalarının ise diğer levha tiplerinden farklı olarak tüm üretim şartlarında, sadece odun/alçı karışımından üretilen levhadan (DE0) daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Bu durum odun/alçı karışımına pirinç sapı katılmasının levhaların eğilme direnç özelliklerini olumsuz etkilediği sonucu çıkarılmıştır. En düşük direnç değeri, DE3 levhasında (70:30); odun yongası/ pirinç sapı karışımı) 0,97 N/mm² olarak bulunmuştur. Burada açık olarak alçı yapısına herhangi bir selüloz esaslı atık kâğıt ve karton parçacıklarının eklenmesinin, eğilme direnç özelliğini olumlu etkilediği anlaşılmaktadır. Bu durumun oluşmasında alçının sert ve kırılğan (rijit) yapısına, özgül ağırlığı düşük ama birim özgül ağırlık/direnç özelliği yüksek kâğıt parçacıklarının eklenmesiyle matris yapıda daha dirençli bir matris yapı oluşması olarak önerilebilir. Fakat ilginç olarak kâğıt-karton parçacıklarıyla gözlemlenen bu durum odun ve pirinç sapı atıklarının alçının yapısına katılmasıyla oluşmamıştır. Bunun başlıca nedeninin ise, pirinç saplarının kâğıt-karton parçalarına göre çok daha yüksek boyutta ve kalınlıkta olması sonucu alçı/matris yapısının uyumunun yüksek olmadığı sonucuna varılmıştır. Zira DE tipi levhaların sertleşmesi de, Diğer üç levha tipine göre (A, B ve C tipi levhalarda alçı sertleşme süresi yaklaşık 3 gün) çok daha uzun sürmüştür (yaklaşık 2 hafta). Buda alçı ile eklenen maddelerin uyumunu açıklaması bakımından önemlidir. Alçının sertleşme süresinin kısaltılması için bazı kimyasallar kullanılabilir fakat bu çalışmamızda sadece alçı/eklenen lignoselülozik madde uyumu ve kompozit yapısına etkisi incelendiğinden, dışarıdan başka bir madde katılması düşünülmemiştir.

Levhaların eğilmede elastik modül (MOE) özellikleri incelendiğinde, MOR özelliklerine benzer durumlara burada da az çok belirlenmiştir. A tipi levhalarda en

yüksek MOE değeri, A2 tip levhada 2274 N/mm² olarak, B tipi levhalarda yüksek MOE değeri, 80:20 alçı/atık kağıt karışımından üretilmiş levhalarda 1603 N/mm² olarak, C tipi levhalarda 6117 N/mm² olarak C3 levhasında hesaplanmıştır. DE tipi levhalarda da, MOR özelliklerine benzer bir eğilim oluşmuş ve Odun/alçı karışımına %40 pirinç sapı ilavesiyle üretilmiş sadece DE4 levhasında, en yüksek MOE değeri olan 553 N/mm² hesaplanmış, pirinç sapı ilavesiyle üretilmiş diğer tüm MOE değerleri ise düşük bulunmuştur. Yukarıda MOR için açıklanan durumlar levhaların MOE özellikleri içinde geçerlidir.

Levhaların sertlik direnç (Shore D) özellikleri incelendiğinde, tüm dört levha tipinde de dış atmosferik şartlarda 60 gün süreyle bekletilen levhaların yüzey sertlik değerlerinin, kontrol örneğinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. A tipi levhalarda alçı yapısında atık kâğıt oranının artması levhaların sertlik özelliklerini olumlu etkilediği anlaşılmıştır. En yüksek sertlik değeri 53 olarak A4 tipi levhada en düşük ise 31 olarak kontrol (A1) levhasında ölçülmüştür. Ayrıca dış atmosferik şartlarda bekletildikten sonra ölçülen aynı levhalarda da en düşük sertlik azalma yine A4 tipi levhada hesaplanmıştır. B tipi levhalarda da kontrol örneğinden daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. En yüksek sertlik değeri B3 tipi levhada 58 olarak ölçülmüştür. Dış şartlarda bekletilmiş levhalarda en yüksek sertlik değeri azalışı yine kontrol örneğinde %12,9 olarak ölçülmüş, en düşük ise B2 tipi levhada %3,5 olarak hesaplanmıştır. C tipi levhalar da A ve B tipi levhalara benzer sonuçlar belirlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 57 olarak C3 tipi levhada en düşük ise kontrol örneğinde (C1) belirlenmiştir. Tüm atık kâğıt ve mukavva ilavesiyle üretilmiş levha tiplerinde, kontrol örneğinden daha yüksek sertlik değeri gözlemlenmesi ve bu özelliğin dış şartlarda bekletilmiş levhalarda daha az seviyede azalması, alçı yapısına atık kâğıt, karton ve sekonder lif ilavesinin levhaların sertlik özelliklerini iyileştirdiği anlaşılmıştır. Diğer direnç özelliklerinden (IB, MOR ve MOE) farklı olarak DE tipi levhalarda da B ve C tipi levhalara benzer bir eğilim bulunmuştur. DE tipi levhalarda en yüksek Shore D sertlik değeri 44 olarak sadece odun/alçı karışımından üretilen levhalarda (pirinç sapı ilavesiz), en düşük ise 22 olarak 50:50 odun/ pirinç sapı karışımından üretilen DE5 tipi levhada belirlenmiştir. Genel olarak karışımdaki pirinç sapı oranının artışı veya odun oranının azalması (alçı oranı sabit) ile üretilmiş levhaların sertlik değerleri azalış göstermektedir. Fakat dış atmosferik şartlarda bekletilen levhaların sertlik değerleri, kontrol örneğine göre daha az oranda azalma

göstermektedir. Levha yapısında pirinç sapı oranının artması levhaların sertlik değerlerini olumsuz etkilemiş fakat dış atmosferik şartlarda sertlik değerlerini belli seviyede kalmasının sağladığı anlaşılmıştır.

Levhaların Optik (renk) özellikleri incelendiğinde, dış atmosferik şartlarda 60 gün süreyle bekletilen A, B ve C tipi levhalarda, çoğunlukla kontrol örneğinden daha yüksek ΔE (Toplam renk farkı), Beyazlık (CIE) ve Sarılık (E313) değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. İlginç olarak DE tipi levhalarda ise odun-alçı yapısına pirinç sapı ilavesiyle kontrol örneğinden daha düşük renk değişimleri belirlenmiştir. En yüksek toplam renk farklı kontrol örneğinde (DE0) 8,15 olarak ve en düşük ise DE6 tipi levhalarda 0,63 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca aynı levhada en yüksek beyazlık renk değerindeki azalma (-35,48) ve bununla ilişkili olarak sarılık renk değerinde artış (7,03) olduğu anlaşılmıştır. A ve B tipi levhalarda sadece %10 atık kâğıt ve oluklu mukavva karışımı ile üretilmiş alçı esaslı levhalarda kontrol örneğinden daha düşük renk değişiminin gözlemlenmesi ve diğer karışım şartlarında yüksek olması bize kâğıt ve mukavva parçalarının atmosferik olaylardan etkilendiğini açıklaması ve fotokimyasal reaksiyonlara girmesinin oluştuğunu belirtmesi bakımından önemlidir. Fakat sekonder lif-alçı karışımı ve odun/pirinç sapı-alçı karışımında üretilen levhalarda ise karışımdaki lignoselülozik esaslı madde artışının renk farkını azaltması ise önemlidir. Buradan da küçük boyutlu olan sekonder lif ve pirinç sapı parçacıklarının atmosferik şartlarda alçı ile matris yapıda daha sınırlı renk değişimini sağladığı sonucuna varılabilir.

Levhaların Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) spektrumları incelendiğinde, genel olarak lignoselülozik esaslı maddelerde gözlemlenen (odun, kâğıt, selüloz vb.) pikler belirlenmiştir. Levhaların yüzeylerinde bulunan fonksiyonel gruplar olarak; lignin ve diğer hemiselülozların yapısındaki C=O ve COO- pikleri (1500-1610 cm^{-1} ve 1230-1270 cm^{-1} aralığında), polisakkaritlerdeki C-H pikleri (1360-1380 cm^{-1} aralığında), selülozdaki C-O, O-H, C-H ve C-O-C pikleri (900-1050 cm^{-1} aralığında) belirlenmiştir. Her bir pik grubunun ve oluşan modifikasyonun açıklanması zor olmakla birlikte bu piklerin varlığı ve FTIR spektrumlarında gözlemlenmesiyle, alçı matris yapısı içinde çalışmada kullanılan lignoselülozik esaslı katkı maddelerinin bir matris yapı içinde bulunduğunu açıklaması bakımından önemlidir.

Levhaların termal (TGA) özellikleri incelendiğinde, genel olarak TGA grafikleri dört farklı sıcaklık bölgesinde araştırılmıştır. A ve C tipi levhaların TGA sıcaklık bozunma dereceleri birbirine yakındır. Fakat B tipi levhalarda özellikle başlangıç sıcaklık derecelerinde (100-120 °C) yüksek bir kütle kaybı olduğu anlaşılmıştır. Bunun is muhtemelen oluklu mukavvaların yapısında bulunan bazı selüloz dışı maddelerin varlığından ve lignin oranının yüksek olmasından olduğu varsayılmıştır. Zira A tipi levhalarda tam kimyasal ağartılmış yazı kâğıtları, C tipi sekonder lif-alçı levhalarında ise tam kimyasal ağartılmış kâğıtların geri dönüşümlerinden elde edilen kâğıtlar kullanılmıştır. Bu her iki hammadde tipinde de selüloz oranı %90'ın üzerindedir. Oluklu mukavvalar ise yapısı gereği ağartılmamış yüksek verimli kimyasal metotlar veya yarı kimyasal yaklaşımlarla elde edilen kâğıtlardan üretilmektedir ve lignin oranı, diğer kağıt tiplerinden daha yüksektir.

Levhaların yangın yalıtım ve yanma davranış özellikleri incelendiğinde, her dört farklı levha tipinde ve tüm üretim şartlarında üretilmiş deneme levhaların yüzeyindeki yanma şeklinin, standart değerde belirtilen 150 mm eşik sınırına ulaşmadığı anlaşılmıştır. Fakat bazı C- (C6,C7 ve C8), ve DE tipi (DE0, DE1 ve DE2) levhalarda, diğer levha tiplerine göre eşik değere daha yakın bir alev yayılması bulunmuştur. Standartta belirtildiği şekilde yanmazlık sınıfında A kategorisi “Alev Almaz” olarak değerlendirilmektedir. Bu A sınıfı malzemeler ateş kaynağı uzaklaştırılmasa dahi alevi üzerinde yürütmemektedir. Çalışmamızda üretilen her dört levha tipinde de A sınıfı malzeme üretildiği anlaşılmıştır. Bu durumun özellikle alçının yanmaz sınıfında bir malzeme olduğundan ileri geldiği düşünülmektedir.

Genel olarak odun/alçı/pirinç sapı karışımından üretilen levhaların yalıtım özelliklerinin, diğer üç tip levhalardan daha iyi olduğu belirlenmiştir. Fakat tek alev kaynağıyla 5 dakika (300 saniye) süreyle işlem sonucu kütle kaybı değerleri (yanma davranış özellikleri), A,B ve C tipi levhalar için ısı yalıtım özelliklerinin tersi yönünde olduğu anlaşılmıştır. Bu üç levha tipinde de, karışımda bulunan atık kâğıt, mukavva ve sekonder lif ilave oranının artışı kütle kaybını da arttırmaktadır. En yüksek kütle kaybı aynı zamanda en iyi yalıtım özelliğine sahip levhalarda sırasıyla A6 levhasında %3.52, B6 levhasında %3.46, C8 levhasında ise %3.28 olarak hesaplanmıştır. Buradan, alçı esaslı levhaların yapısında atık kâğıt, oluklu mukavva

veya sekonder kâğıt lifi ilavesinin levhaların yalıtım özelliklerini iyileştirdiği fakat kütle kaybı oranının ise artırdığı sonucuna varılabilir. Odun/pirinç sapı-alçı karışımında üretilen levhada (DE tipi) en iyi yalıtım özelliği gösteren DE6 deneme levhasında yani en yüksek pirinç sapı oranının olduğu (60:40 pirinç sapı/odun yongası) DE6 deneme levhasında en düşük (%2,01) ölçülmüştür.



KAYNAKÇALAR

- Acar, H., Salan, T., Altuntaş, E., Hakkı Alma, M.H., 2014. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Atık Pirinç Saplarından Üretilen Kompozitlerin Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Isparta-Türkiye, 808-818.
- Ajiwe, V. I. E., Okeke, C. A., Ekwuozor, S. C., ve Uba, I. C., 1998. A Pilot Plant For Production Of Ceiling Boards From Rice Husks. *Bioresource Technology*, 66(1), 41-43.
- Anonim, 1998. Zirai ve İktisadi Rapor. Türkiye Ziraat Odaları Birliği, Ankara.
- Anonim, 2011. Selüloz ve Kâğıt Sanayii Vakfı (SKSV), (Erişim Tarihi: 21.12.2018)
- Aral, N., 2009. Tekstil Atıklarından Oluşturulan Kompozitlerin Performans Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Atalla, R.H. 1992. Structural Change in Cellulose During Papermaking And Recycling. in: Rowell, Et. Al. Eds. Material Interaction Relevant To Recycling Of Wood-Based Material: Proceeding of Materials Research Society Symposium; 1992 April 27-29, San Francisco, CA.
- Avcıoğlu M., 2011. Yapı Teknolojisi 3, Birsen Yayınevi, ISBN: 978975511672, 680s, İstanbul,
- Avdan, H.B., 1997. Alçıtaşının Mineralojisi, Alçı Çeşitleri, Fazların Oluşumu ve Analizi. II. Ulusal Alçı Kongresi, 02-03 Mayıs, İstanbul.
- Batar, T., Köksal, N.S., Yersel, Ş.E., 2009. Atık Bor, Atık Kâğıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Ekoloji* 18, 72, 45-53.
- Bektaş, İ., Guler, C., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F., Nacar, M., 2005. The Manufacture Of Particleboards Using Sunflower Stalks And Poplar Wood. *Journal of Composite Materials*, 39(5), 467-473.
- Beram, A., ve Yaşar., S., 2018. Naoh ile Modifiye Edilmiş Kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) Yongalarının Levha Üretimindeki Performansı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(2): 187-196.
- Biermann, C. J., 1993. Essentials Of Pulping And Papermaking. Academic Press, New York, 472s.

- Binici, H., Küçükönder, A., Sevinç, A. H., Mustafa, E. K. E. N., ve Tüfenk, N., 2013. Atık Kâğıt ve Mukavvaların Yalıtım Malzemesi ve Radyasyon Tutucu Materyal Olarak Üretiminde Kullanılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 21-30.
- Bozkurt, A., Y., Göker, Y., 1990. Yonga Levha Endüstrisi Ders Kitabı. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 3311(372), 263s. İstanbul.
- Bozkurt, A.Y. ve Göker, Y., 1990. Yonga Levha Endüstrisi. Orman Fakültesi Yayın No:3614/413, İstanbul (İkinci baskı).
- Bozkurt, C., 2012. Atık Kağıt Geri Dönüşüm Liflerinden Üretilen Kağıtların Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67 sayfa, Isparta
- Brancato, A. A., 2008. Effect Of Progressive Recycling On Cellulose Fiber Surface Properties (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- Can, A., ve Sivrikaya, H., 2017. Combined Effects Of Copper And Oil Treatment On The Properties Of Scots Pine Wood. Drewno: Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty, 60.
- Cooper, P. A., Balatinecz, J. J., ve Flannery, S. J., 1999. Agricultural Waste Materials For Composites: A Canadian reality. In Centre for Management Technology Global panel-based conference, Nikko Hotel, 18-19s.
- Çöpür, Y., Güler, C., Akgül, M., Taşcıoğlu, C., 2007. Some Chemical Properties Of Hazelnut Husk And Its Suitability For Particleboard Production. Building And Environment, 42, 2568-2572.
- Ellis, R. L., Sedlachek, K., 1993. Recycled Vs. Virgin Fiber Characteristics: A Comparison. Tappi Journal, 76(2), 143-146.
- Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000. Lif Levha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Fengel, D., Wegener, G., 1984. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter De Gruyter, 613, 1960-1982.
- Filiz, M., Usta, P., Ergün, S., 2012. Çay Ve Kızılçam Atıkları Kullanarak Elde Edilen Yonga Levhanın Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Bulanık Mantık Yöntemiyle Değerlendirilmesi, SDU International Journal of Technological Science, 4(1), 73-88.
- Garg, M., Singh, S. P., 2006. Reasons Of Strength Loss In Recycled Pulp. Appita Journal: Journal of the Technical Association of the

- Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry, 59(4), 274.
- Grigoriou, A. H., 2003. Waste Paper–Wood Composites Bonded With Isocyanate. *Wood Science and Technology*, 37(1), 79-90.
- Grigoriou, A., Passialis, C., Voulgaridis, E., 2000. Experimental Particleboards From Kenaf Plantations Grown In Greece. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 58(5), 309-314.
- Gül, U., 2003. Çeltik Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Ankara, sayı 3, nüsha 15.
- Güler, C., 2001. Pamuk Saplarından Yonga Levha Üretimi Olanaklarının Araştırılması. Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 150s, Bartın.
- Güler, C., Ozen, R., 2004. Some Properties Of Particleboards Made From Cotton Stalks (*Gossypium Hirsitum L.*), *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 62:40-43.
- Han, J. S., 1998. Properties Of Nonwood Fibers. In Proceedings of the Korean Society Of Wood Science And Technology Annual Meeting, 3-12. Seoul, Korea. Online olarak mevcut: https://www.omya.com/printing_writing (Erişim tarihi:4 Ocak 2019).
- Hubbe, M. A., Venditti, R. A., Rojas, O. J., 2007. What Happens To Cellulosic Fibers During Papermaking And Recycling? A Review. *Bioresources*, 2(4), 739-788.
- Hugener, P., 2014. Omya AG, Technical Service Paper Roaming & Printing, Switzerland.
- Hurter, R.W., 2001. “Nonwood Plant Fiber Uses in Papermaking” Extracted From "Agricultural Residues", TAPPI 1997 Nonwood Fibers Short Course Notes, Updated And Expanded, September 2001. Online olarak mevcut: http://www.hurterconsult.com/nonwood_uses.htm (Erişim tarihi:4 Ocak 2019).
- Huş, S., 1961. Asırlar Boyunca Kâğıt, Ainsworth H.J.’ den Çeviri, I.Ü. Orman Fak. Yayın No: 86, Çeltüt Matbaası, İstanbul.
- Hwang, C.Y., Hse C.Y., Shupe, T.F., 2005. Effects Of Recycled Fiber On The Properties Of Fiberboard Panels. *Forest Products Journal* 55 (11), 61-64.
- Isogai, A., Atalla, R., 1992. Preparation Of Cellulose-Chitosan Polymer Blends. *Carbohydrate Polymers*, 19(1), 25-28.
- İmamoğlu, S., 2002. Atık Kağıt Hamurlarının Formamidin Sülfirik Asit ile Ağartılması. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, İstanbul, 158s.

İmamoğlu, S., Atik, C., ve Karademir, A., 2005. Atık Kâğıt Kullanan Kâğıt-Karton Fabrikalarında Ortaya Çıkan Mikrobiyolojik Sorunlar. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 6(1), 179-190.

Juliano, B. O. 1985. Polysaccharides, Proteins, And Lipids Of Rice. Rice: Chemistry And Technology, 59-174.

Kalaycıoğlu H., 2009. Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 89. Trabzon

Kalaycıoğlu, H. 1992. Bitkisel Atıkların Yonga Levha Endüstrisinde Değerlendirilmesi. Orenko, 92(1), 288-292.

Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P., ve Diamadopoulos, E., 2008. Production Of Activated Carbon From Bagasse And Rice Husk By A Single-Stage Chemical Activation Method At Low Retention Times. Bioresource technology, 99(15), 6809-6816.

Kartal, S. N., Aysal, S., Terzi, E., Yılıgör, N., Yoshimura, T., ve Tsunoda, K., 2013. Wood And Bamboo-PP Composites: Fungal And Termite Resistance, Water Absorption, And FT-IR Analyses. BioResources, 8(1), 1222-1244.

Kaya, A.İ., 2015. Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 239 Sayfa, Isparta

Kim, S., 2009. Incombustibility, Physico-Mechanical Properties And TVOC Emission Behavior Of The Gypsum-Rice Husk Boards For Wall And Ceiling Materials For Construction. Department of Architecture, College of Engineering, Soongsil University, Seoul, 29(2-3), 381-387.

Kleinau, J., 1987. Secondary Fibers And Recycling. Pulp And Paper Manufacture. Eds. Hamilton.

Koyuncu, M., Sağbaş, A., ve Kahraman, F., 2009. Keten Lifleri İle Takviye Edilmiş Polyester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(1-2), 185-191.

Le Fur, X., Galhac, M., Zanetti, M., ve Pizzi, A., 2004. Recycling Melamine-Impregnated Paper Waste As Board Adhesives. Holz als Roh-und Werkstoff, 62(6), 419-423.

Mahato, K., Goswami, S., Ambarkar, A., 2014. Morphology And Mechanical Properties Of Sisal Fibre/Vinyl Ester Com-Posites. Fibers and Polymers. 15(6): 1310-1320.

- Maloney, T. M., 1977. Modem Particleboard And Dry-Process Fiberboard Manufacturing. Miller-freeman publication, San Fransisco.
- Maloney, T. M., 1996. The Family Of Wood Composite Materials. Forest Products Journal, 46(2), 19-26.
- Mantanis, G. E. O. R. G. E., Nakos, P. A. N. A. G. I. O. T. I. S., Berns, J. O. C. H. E. M., ve Rigal, L., 2000. Turning Agricultural Straw Residues Into Value-Added Composite Products: A New Environmentally Friendly Technology. In Proceedings of the 5th international conference on environmental pollution, pp. 840-848.
- Mehta, P. K., 1977. Properties Of Blended Cements Made From Rice Husk Ash. In Journal Proceedings, 74 (9), 440-442.
- Mehta, P. K., ve Pitt, N., 1976. Energy And Industrial Materials From Crop Residues. Resource Recovery and Conservation, 2(1), 23-38.
- Meszaros, E., Jakab, E., Varhegyi, G., 2007. TG/MS, Py-GC/MS And THMGC/MS Study Of The Composition And Thermal Behavior Of Extractive Components Of Robinia Pseudoacacia. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 79(1): 61-70.
- Minor, J. L., 1994. Hornification-Its Origin And Meaning. Progress in Paper Recycling, 3(2), 93-95.
- Ndazi, B., Tesha, J. V., ve Bisanda, E. T., 2006. Some Opportunities And Challenges Of Producing Bio-Composites From Non-Wood Residues. Journal of materials science, 41(21), 6984.
- Ntalos, G. A. ve Giorgio, A. H., 2002. Characterization And Utilisation Of Vine Prunings As A Wood Substitute For Particleboard Production. Industrial Crops and Products, 16(1), 59-68.
- Önem, Y., 1996. Sanayi Madenleri: Tanımlar, Doğada Bulunuşları, Dünya ve Türkiye Rezervleri, Yıllık Üretimleri, İhraç Ve İthal Miktarları. Kozan Ofset, Ankara, 368s.
- Öner, N., Aslan, S., 2002. Titrek Kavak Odununun Teknoloji Özellikleri ve Kullanım Yerleri. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 1, 135-146.
- Özbayoğlu, F., Gürel, A., 1997. Çayırhan Termik Santrali Desülfojipslerinin Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılması. II. Ulusal Alçı Kongresi, 02-03 Mayıs, İstanbul.
- Özden, Ö., 1993. Özel Sektöre Ait Karton ve Oluklu Mukavva Üretiminin Türkiye'deki Durumu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 43(1), 161-172.

- Pandey, K.K., 1999. Study Of Chemical Structure Of Soft And Hardwood And Wood Polymers By FTIR Spectroscopy. Journal of Applied Polymer Science. 71(12): 1969- 1975.
- Pandey, K. K., 2005. A Note On The Influence Of Extractives On The Photo-Discoloration And Photo-Degradation Of Wood. Polymer degradation and stability, 87(2), 375-379.
- Pellen, V., 1975. Papier Cannelure, ATIP, 29(6), Ambalaj 1988, Sayı 5.
- Popescu, C.M., Vasile, C., Popescu, M.C., Singurel, G., 2006. Degradation of Lime Wood Painting Supports II – Spectral Characterisation. Cellulose Chemistry and Technology. 40(8): 649–658.
- Rodríguez, A. Moral, A. Serrano, L. Labidi, J. ve Çimemez, L., 2008. Rice Straw Pulp Obtained By Using Various Methods. Bioresource technology, 99(8), 2881-2886.
- Roth, L., and Wybenga, G.L., 1991. The Packaging Designer's Book of Patterns, New York.
- Sahin, H.T., Arslan, M.B., 2008. A Study On Physical And Chemical Properties Of Cellulose Paper Immersed In Various Solvent Mixtures. International Journal Of Molecular Sciences, 9 (1), 78-88.
- Sarıöz, K., Nuhoglu, İ., 1992. Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciligi. Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 636.
- Sinha, E., Rout, S.K., 2009. Influence Of Fibre-Surface Treatment On Structural, Thermal And Mechanical Properties Of Jute Fibre And Its Composite. Bulletin of Materials Science. 32(1), 65-76.
- Scott, G. M., 2011. Recovered Paper. Waste: A Handbook Of Waste Management And Recycling. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 137-149.
- Seller, T., Miller, G., D., Fuller, M., J., Broder, J., G., Loper, R., R., 2005. Lignocellulosic-Based Composites Made Of Core From Kenaf An Annual Agricultural Crop.
- Sjostrom, E., 1993. Wood Chemistry: Fundamentals And Applications. Gulf Professional Publishing.
- Smook, G.A., 1994. Handbook For Pulp And Paper Technologists. Angus Wilde Publications, Canada, 419s.
- Suchland, O., Woodson, G.E., 1986. Fiberboard Manufacturing Practices in the United States, Agriculture Handbook 640s .Madison, WI. USA.
- Süreç H., 1994. Çeltik Tarımı, Yaygeç Kitabı, Sıcak İklim Tahılları, 173-184.

- Şahin, H.T., 2013. Kağıt Geri Dönüşüm İşlemlerinin Selülozun Yapısında Meydana Getirdiği Değişimler Üzerine Bir İnceleme. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 14 (1), 74-80.
- Şahin, H.T., 2010. Selüloz ve Türevleri Endüstrisi. Yüksek Lisans Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, (Basılmamıştır), 100s, Isparta.
- Şahin, H.T., 2013. Suyun Kâğıt Sayfa Yapısının Oluşumu Etkisi Üzerine Bir İnceleme. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15 (2), 152-155.
- Şahin, H.T., 2014. Geri Kazanılmış Sekonder Liflerin Yeniden Kullanılması Üzerine Bir İnceleme. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15 (1), 83-88.
- Şahin, H.T., 2015. Atık Kâğıt Geri Dönüşüm Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, (Basılmamıştır), 110s, Isparta.
- Taramian, A., Doosthoseini, K., Mirshokraii, S.A., Faezipour, M., 2007. Particleboard Manufacturing: An Innovative Way To Recycle Paper Sludge. Waste Management, 27(12), 1739-1746.
- Temiz, A., 2005. Dış Hava Koşullarının Emprenyeli Ağaç Malzemeye Etkileri. Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Thompson, C. G., 1992. Recycled Papers: The Essential Guide: MIT Press.
- Turner, F., Mann, U., 1981. Kinetic Investigation Of Wood Pyrolysis. Industrial & Engineering Chemistry Process De-sign and Development. 20(3): 482-488.
- TS-EN 309, 1999. Ahşap Yonga Levhalar Tarif Ve Sınıflandırma, TSE, Ankara.
- TS-EN 316, 2005. Odundan Mamul Levhalar-Tarifler. Sınıflandırma ve Semboller, TSE, Ankara.
- Tsuboi, M., 1957. Infrared Spectrum And Crystal Structure Of Cellulose. Journal of Polymer Science. 25(109): 159-171.
- Tuncer, T., 2010. Karton Ambalaj ve Oluklu Mukavva Üretiminde Kullanılan Kraft Liner Ve Saman Fluting Malzemelerinin Seçim Kriterlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 77s.
- Üner, B. ve Şahin, H.T., 2004. Geri Dönüşümde Yaş Pres ve Kurutmanın Lif Özelliklerine Etkisi. Turkish Journal Of Forestry, 1, 145-158.

- Wistara, N., Young, R. A., 1999. Properties And Treatments Of Pulps From Recycled Paper. Part I. Physical And Chemical Properties of Pulps. *Cellulose*, 6(4): 291-324.
- Wu, Q., 2001. Comparative Properties Of Bagasse Particleboard. In: International Symposium on Utilization of Agricultural and Forest Residue. Nanjing, China, 1, 8s. www.Ersac.Emn.Edu
- Xu, J., Sugawara, R., Widyorini, R., Han, G., Kawai, S., 2004. Manufacture And Properties Of Low-Density Binderless Particleboard From Kenaf Core. *Journal of Wood Science*, 50 (1), 62-57.
- Yang, H.S., Kim, D.J., Kim, H.J., 2002 Combustion And Mechanical Properties Of Fire Retardant Treated Waste Paper Board For Interior Finishing Material. *Journal of fire sciences*, 20(6), 505-517.
- Yang, H.S., Kim, D.J., Kim, H.J., 2003. Rice Straw-Wood Particle Composite For Sound Absorbing Wooden Construction Materials. *Bioresource Technology*, 86(2), 117-121.
- Yang, H.S., Kim, D.J., Lee, Y.K., Kim, H.J., Jeon, J.Y., Kang, C.W., 2004. Possibility Of Using Waste Tire Composites Reinforced With Rice Straw As Construction Materials. *Bioresource Technology*, 95(1), 61-65.
- Yao, F., Wu, Q., Lei, Y., ve Xu, Y., 2008. Rice Straw Fiber-Reinforced High-Density Polyethylene Composite: Effect of fiber type and loading. *Industrial Crops and Products*, 28(1), 63-72.
- Yavilioğlu, İ., 2017. Pamuk Telefi ve Kızılçam Odun Karışımından Üretilen Kompozit Panel Levhaların Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Isparta.
- Yıldız, S., Balaydın, İ., Ulucan, Z., 2007. Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19(1), 85-91.
- Yılmaz, M., 2017. Borik Asit ve Sodyum Borhidrür'ün Geri Kazanılmış Selüloz Lifleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69 s, Isparta.
- Yoshida, T., Oshima, Y., Matsumura, Y., 2004. Gasification Of Biomass Model Compounds and Real Biomass in Supercritical Water Biomass and Bioenergy, 26 (1),71-78.

- Youngquist, J. A., English, B. E., Scharmer, R. C., Chow, P., ve Shook, S. R., 1994. Literature Review On Use Of Nonwood Plant Fibers For Building Materials And Panels. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-80. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 146s, 80.
- Zhang, F., Wang, K. X., Li, G. D., ve Chen, J. S., 2009. Hierarchical Porous Carbon Derived From Rice Straw For Lithium Ion Batteries With High-Rate Performance. *Electrochemistry Communications*, 11(1), 130-133.
- Zhang, M. H., ve Malhotra, V. M., 1996. High-Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash As A Supplementary Cementing Material. *ACI Materials Journal*, 93, 629-636.
- Zhang, R., Li, X., ve Fadel, J. G., 2002. Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. *Bioresource Technology*, 82(3), 277-284.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: İlkhan DEMİR

Doğum Yeri ve Yılı: Biga/ÇANAKKALE, 1993

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce

E-posta : ilkhann.demir@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise: Çan Anadolu Teknik Lisesi (2007-2011)

Lisans: SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği (2011-2016)

Yüksek Lisans: SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı (2016-2019)

Mesleki Deneyim

32 CMS Modüler Reni Mobilya ve Orman Ürünleri Tic. Ltd. Şti (15.01.2016 – halen...)