



**BİTKİSEL ATIK BAZLI MALZEMELERİN KOMPOZİT PANEL
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ VE ÖZELLİKLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Melih ŞAHİNÖZ

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Melih ŞAHİNÖZ

20/07/2022

BİTKİSEL ATIK BAZLI MALZEMELERİN KOMPOZİT PANEL ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ VE ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Melih ŞAHİNÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2022

ÖZET

Ahşap esaslı malzemelerin en önemli dezavantajları; su emme, yanma ve böceklenmedir. Bu dezavantajlar, ahşap esaslı malzemelerin kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bu deneysel çalışmada, çam kozalağı esaslı polimer bağlayıcılı ve melas katkılı kompozit malzeme üretilmesi ve üretilen bu malzemenin yanmazlık, böceklenme ve suya dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, kompozit malzeme üretiminde; çam kozalağı, polivinil asetat (PVAc), fenol formaldehit (FF), pancar melası, kenevir lifi ve atık kolemanit kullanılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin su emme oranını azaltmak ve mekanik dayanımını arttırmak için FF ve kenevir lifi, yanmazlık özelliğini geliştirmek için ise atık kolemanit katılmış ve böylece ahşap esaslı kompozit malzemelerin dezavantajlarının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra çalışmada, kompozit malzeme üretiminde melasın, PVAc yerine belirli oranlarda ikame bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu maksatla araştırmada kompozit malzemelerin eğilme dayanımı esas alınmıştır. Eğilme dayanımı deney sonuçlarına göre en uygun kompozit malzeme üretim parametrelerinin dolgu/bağlayıcı oranı 0,25, melas oranı %35, kalıplama basıncı sıcaklığı 100 °C, kalıplama basıncı 49 kg/cm², ortalama tane boyutu 240 µm, kalıplama basıncı süresi 20 dakika, FF oranı 0,20 ve kenevir lif oranının %0,5 olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde melasın %35 oranında bağlayıcı malzeme olarak kullanılabileceği, FF ve kenevir lifinin numunelerin istenilen suya karşı direncini sağladığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, çalışmada kullanılan kolemanit atığı ise kompozit malzemeye yanmazlık özelliği kazandırmakta ancak eğilme dayanımı ile vida tutma mukavemetini azaltmaktadır. Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarına göre; çam kozalağı, melas, atık kenevir lifi ve atık kolemanitten çevre dostu polimer kompozit malzemeler üretilebileceği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91127

Anahtar Kelimeler : Polimer kompozit malzeme, melas, kozalak, atık kolemanit, yanmazlık, eğilme dayanımı

Sayfa Adedi : 134

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ

İkinci Danışman : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

USABILITY OF PLANT WASTE BASED MATERIALS IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE BOARD AND IMPROVEMENT OF ITS PROPERTIES

(Ph. D. Thesis)

Melih ŞAHİNÖZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2022

ABSTRACT

The most essential disadvantages of wood based materials are water absorption, flammability, and insect attack. These disadvantages limit the areas of use of wood based materials. The production of pine cone based polymer binding and molasses added composite material, and the development of the nonflammability, insect attack and water resistance properties of this material have been investigated in this experimental study. For this purpose, pine cone, polyvinyl acetate (PVAc), phenol formaldehyde (PF), sugar beet molasses, hemp fiber and waste colemanite have been used in the production of composite materials. PF and hemp fiber have been added to the composite materials to increase their water resistance and mechanical strength, and waste colemanite has been added to improve their nonflammability properties, thus eliminating the disadvantages of wood-based composite materials. Besides them, the use of molasses as a substitute binder material in certain proportions instead of PVAc in the production of composite materials has been investigated. For this purpose, the flexural strength of composite materials has been taken as a based in this study. According to the results of the flexural strength test, the most suitable composite material producing parameters have been detected as 0,25 filler/binder (f/b) ratio, 35% molasses ratio, 100 °C molding pressure temperature, 49 kg/cm² molding pressure, 240 µm mean particle size, 20 minutes for molding pressure time, 0,20 PF ratio and 0,5% hemp fiber ratio. It has been determined that molasses could be used at a ratio of 35% for producing composite materials and, PF resin and hemp fiber samples provide the necessary water resistance. It has been observed that the colemanite waste used in the mixture adds the nonflammability property to the composite material and decreases flexural strength and screw withdrawal strength. According to the experimental results obtained in this study; it has been determined that environmental friendly polymer composite materials can be produced from pine cone, molasses, waste hemp fiber and waste colemanite.

Science Code : 91127

Key Words : Polymer composite material, molasses, pine cone, waste colemanite, inflammability, flexural strength

Page Number : 134

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ

Co-Supervisor : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, çalışma sürecinde ilgi, sabır ve hoşgörü ile desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, insani ve ahlaki değerlerini örnek aldığım, birlikte çalışmaktan onur duyduğum tez danışmanlarım kıymetli hocam Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ ve kıymetli hocam Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Engin bilgilerinden faydalandığım, görüş ve önerileri ile çalışmama katkıda bulunan ve yardımlarıyla süreci kolaylaştıran tez izleme komitesi üyeleri değerli hocam Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU ve değerli hocam Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN'a çok teşekkür ederim.

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği ve Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği bölümü öğretim elemanları ve idari personeline çok teşekkür ederim.

Deneyisel çalışma sürecinde, malzeme temininde desteğini esirgemeyen Kocaeli Polisan Tutkal Fabrikasına, Eskişehir Şeker Fabrikasına ve Emet Eti Bor Fabrikasına çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım ve tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi yanımda olan canım babam Muhterem ŞAHİNÖZ'e, canım annem Necla ŞAHİNÖZ'e ve biricik kardeşim Ömer ŞAHİNÖZ'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1. Kompozit Malzeme Tanımı	5
2.1.1. Kompozit Malzeme Tarihçesi.....	5
2.1.2. Takviye ve matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	6
2.1.3. Ahşap esaslı kompozit malzeme tanımı ve sınıflandırılması	7
2.1.4. Dünyada ve Türkiye’de ahşap esaslı levhaların üretim miktarı.....	8
2.1.5. Ahşap esaslı levhaların üretim aşamaları	10
2.1.6. Ahşap esaslı ürün piyasası	12
2.1.7. Kompozit malzeme üretiminde bitkisel atık kullanılmasının avantaj ve dezavantajları	12
2.1.8. Ahşap esaslı kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	14
2.2. Melas	14
2.2.1. Melasın tanımı	14
2.2.2. Dünyada ve Türkiye’de melas üretimi.....	15

	Sayfa
2.2.3. Melasın kullanım alanları	17
2.3. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Tarımsal Atıklar	18
2.3.1. Kozalak.....	18
2.3.2. Çam ağacı ve çam kozalağı kullanım alanları	19
2.3.3. Dünya orman varlığı ve Türkiye çam ormanı alanı	19
2.4. Endüstriyel Kenevir (<i>Cannabis sativa</i>).....	20
2.4.1. Dünyada ve Türkiye’de endüstriyel kenevir üretim yerleri ve üretim miktarı	21
2.4.2. Endüstriyel kenevirin kullanım alanları.....	23
2.5. Formaldehit ve Polimer Ahşap Esaslı Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Tutkal Çeşitleri	24
2.5.1. Formaldehit tanımı ve tarihçesi	24
2.5.2. Dünyada formaldehit üretimi ve ülkelere göre dağılımı	24
2.5.3. Formaldehit kullanım alanları.....	25
2.5.4. Formaldehit malzemesinin insan sağlığına etkisi	25
2.5.5. Formaldehit malzemesi kullanımının sınırlandırılması	27
2.5.6. Formaldehit malzemesinin ahşap esaslı ürünlerde kullanımı	27
2.5.7. Formaldehit salınımının azaltılması.....	28
2.6. PVAc Tutkalı.....	29
2.6.1. PVAc tutkalı tanımı ve tarihçesi.....	29
2.6.2. PVAc tutkalının avantaj ve dezavantajları.....	30
2.6.3. PVAc tutkalının kullanım alanları	30
2.7. FF Tutkalı Tanımı ve Tarihçesi	31
2.7.1. FF genel özellikleri.....	32

	Sayfa
2.7.2. FF kullanım alanları	32
2.7.3. Novolak fenol formaldehit.....	33
2.7.4. Resol fenol formaldehit	33
2.8. Kolemanit ve Bor Bileşenleri	35
2.8.1. Dünyada ve Türkiye’de bulunan bor rezervleri	35
2.8.2. Kolemanitin genel özellikleri	37
2.8.3. Atık kolemanit oluşumu ve atık barajında depolanması.....	37
2.8.4. Bor kullanım alanları	38
2.9. Kompozit Malzeme Üretiminde Bitkisel Atıkların Kullanılması İle İlgili Önceki Çalışmalar	39
3. MALZEME VE YÖNTEM	55
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	55
3.1.1. Melas.....	55
3.1.2. Fenol formaldehit.....	56
3.1.3. Polivinil asetat (PVAc) tutkalı	57
3.1.4. Kozalak.....	58
3.1.5. Endüstriyel kenevir lifi	58
3.1.6. Atık kolemanit.....	59
3.2. Yöntem.....	60
3.2.1. Numunelerin hazırlanması ve kullanılan cihazlar.....	60
3.2.2. Kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı deneyi.....	64
3.2.3. Kompozit numunelerin su içerisine daldırma işleminden 24 saat sonra kalınlığına şişme deneyi.....	66
3.2.4. Kompozit numunelerin su emme deneyi.....	68

	Sayfa
3.2.5. Kompozit numunelerin limit oksijen indeksi (LOI) deneyi.....	69
3.2.6. Kompozit numunelerin vida tutma mukavemeti deneyi	71
3.3. Kompozit Malzeme Bağımsız Üretim Parametreleri	73
3.3.1. En uygun d/b oranının belirlenmesi.....	73
3.3.2. En uygun melas oranının belirlenmesi	74
3.3.3. En uygun kalıplama basıncı sıcaklığının belirlenmesi	75
3.3.4. En uygun kalıplama basıncının belirlenmesi	75
3.3.5. En uygun ortalama tane boyutunun belirlenmesi.....	76
3.3.6. En uygun kalıplama basıncı süresinin belirlenmesi.....	77
3.3.7. En uygun FF oranının belirlenmesi	78
3.3.8. En uygun kenevir lifi oranının belirlenmesi.....	79
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	81
4.1. Bağımsız Üretim Parametrelerinin Değerlendirilmesi.....	81
4.1.1. En uygun d/b oranı.....	81
4.1.2. En uygun melas oranı	83
4.1.3. En uygun kalıplama basıncı sıcaklığı	86
4.1.4. En uygun kalıplama basıncı	88
4.1.5. En uygun ortalama tane boyutu.....	90
4.1.6. En uygun kalıplama basıncı süresi.....	92
4.1.7. En uygun FF oranı	94
4.1.8. En uygun kenevir lifi oranı.....	97
4.1.9. En uygun kompozit numune üretim parametreleri genel sonuçları	99
4.2. Bağımlı Üretim Parametrelerinin Değerlendirilmesi	101

	Sayfa
4.2.1. Suyu daldırma işleminden 24 saat sonra kalınlığına şişme deney sonuçları	101
4.2.2. 24 saat sonra su emme deney sonuçları	103
4.2.3. Limit oksijen indeksi (LOI) deney sonuçları	105
4.2.4. Atık kolemanitin eğilme dayanımına etkisi.....	107
4.2.5. Vida tutma mukavemeti deney sonuçları	109
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
5.1. Sonuçlar.....	113
5.2. Öneriler	115
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ülke/bölgelere göre yıllık melas üretim miktarları (Milyon ton).....	16
Çizelge 2.2. Türkiye’de yıllara göre melas üretim miktarı (Bin ton).....	17
Çizelge 2.3. 2018 yılı kenevir üretici ülkelerin ürettikleri kenevir lifi ve tohum miktarları	22
Çizelge 2.4. Türkiye farklı yıllara ait kenevir lifi ve tohum üretim miktarları.....	22
Çizelge 2.5. Endüstriyel kenevir kullanım alanları	23
Çizelge 2.6. En düşük ve en yüksek formaldehit miktarının insan vücuduna etkisi	26
Çizelge 2.7. Ticari öneme sahip bor bileşenleri ve B ₂ O ₃ içeriği.....	35
Çizelge 2.8. Türkiye il ve ilçelerinde en fazla işlenen bor bileşenleri ile rezerv miktarları.....	36
Çizelge 2.9. 2020 yılı itibariyle ülke bor rezervleri.....	37
Çizelge 2.10. Bor bileşenleri kullanım alanı ve kullanım yerleri	39
Çizelge 3.1. Melas malzemesi fiziksel ve kimyasal özellikleri (% ağırlıkça)	55
Çizelge 3.2. FF reçinesi (Polifen 47) fiziksel ve teknik özellikleri	56
Çizelge 3.3. Polivinil asetat reçinesi fiziksel ve mekanik özellikleri	57
Çizelge 3.4. Atık kolemanitin kimyasal analiz sonuçları.....	59
Çizelge 3.5. Yonga levhaların sınıflandırılması (TS EN 312).....	66
Çizelge 3.6. Levhaların 24 saat kalınlığına şişme sınır değerleri (TS EN 312).....	68
Çizelge 3.7. Kozalak dolgu malzemesi tane dağılımı	77
Çizelge 4.1. Farklı d/b oranlarında üretilen kompozit numunelerin ağırlıkça karışım oranları	81
Çizelge 4.2. Farklı d/b oranlarında üretilen numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri	82
Çizelge 4.3. Farklı melas oranlarında üretilen kompozit numunelerin karışım oranları.....	84

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.4. Farklı melas oranlarındaki kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri	84
Çizelge 4.5. Üretilen numunelerin karışım oranları	86
Çizelge 4.6. Farklı basınç sıcaklıklarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri.....	86
Çizelge 4.7. Farklı kalıplama basıncı ile üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri.....	89
Çizelge 4.8. Farklı ortalama tane boyutu ile üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri.....	91
Çizelge 4.9. Farklı kalıplama basıncı sürelerinde üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri.....	93
Çizelge 4.10. Farklı oranlarda FF içeren bağlayıcı karışımı oranları	95
Çizelge 4.11. Farklı FF oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri	95
Çizelge 4.12. Kenevir lifi kullanılan kompozit numunelerin karışım oranları	97
Çizelge 4.13. Farklı kenevir lifi oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri	98
Çizelge 4.14. Kompozit deney numunelerinde en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği bağımsız üretim parametre sonuçları.....	99
Çizelge 4.15. TS EN 312 standardına göre yonga levhaların sınıflandırılması.....	100
Çizelge 4.16. Kalınlığa şişme deneyi için hazırlanan kenevir lifli kompozit numunelerin karışım oranları.....	101
Çizelge 4.17. Kenevir lifli kompozit numunelerin kalınlığına şişme değerleri.....	101
Çizelge 4.18. TS EN 312'ye göre levhaların kalınlığına şişme sınır değerleri.....	103
Çizelge 4.19. Su emme deneyi için hazırlanan kenevir lifli numunelerin numunelerin karışım oranları	103
Çizelge 4.20. Kenevir lifli kompozit numunelerin su emme değerleri	104
Çizelge 4.21. Farklı oranlarda atık kolemanit katılarak üretilen kompozit numunelerin karışım oranları.....	105

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.22. Farklı atık kolemanit oranlarında üretilen kompozit numunelerin LOI seviyesi değerleri.....	106
Çizelge 4.23. Farklı atık kolemanit oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri	107
Çizelge 4.24. Atık kolemanit kullanılan kompozit numunelerin sınıflandırılması	109
Çizelge 4.25. Farklı oranlarda atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit numunelerin vida tutma mukavemeti değerleri	110

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	7
Şekil 2.3. Ahşap esaslı kompozit levhaların sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.4. 2014~2018 yıllarına ait küresel ölçekte ahşap esaslı levha üretimi miktarı...	9
Şekil 2.5. Türkiye’de 2015~2020 yıllarına ait ahşap esaslı levha üretimi miktarı	9
Şekil 2.6. Türkiye 2015~2020 yıllarına ait ahşap esaslı levha ithalat ve ihracat miktarı.....	10
Şekil 2.7. Yonga levha üretim aşamaları	11
Şekil 2.8. Küresel ölçekte hektar bakımından en fazla ormanlık alana sahip olan ülkelerin payları (%).....	19
Şekil 2.9. Dünya çapında bazı ülkelerin formaldehit üretim oranları (%).....	25
Şekil 2.10. 1978~2006 yılları arasında ahşap esaslı levha üretiminde kullanılan reçinelerin formaldehit salınım değerlerinin azalması.....	28
Şekil 2.11. PVAc moleküler gösterimi	29
Şekil 2.12. FF polimerine ait moleküler gösterim	32
Şekil 4.1. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-d/b oranı ilişkisi	82
Şekil 4.2. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı- melas oranı ilişkisi	85
Şekil 4.3. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı- kalıplama basıncı sıcaklığı ilişkisi	87
Şekil 4.4. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kalıplama basıncı ilişkisi	89
Şekil 4.5. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-ortalama tane boyutu ilişkisi	91

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kalıplama basıncı süresi ilişkisi	93
Şekil 4.7. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-FF oranı ilişkisi	96
Şekil 4.8. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kenevir lifi oranı ilişkisi	98
Şekil 4.9. Kenevir lifli kompozit numunelerde kalınlığı şişme-kenevir lifi oranı ilişkisi	102
Şekil 4.10. Kenevir lifli kompozit numunelerde su emme- kenevir lifi oranı ilişkisi	104
Şekil 4.11. Atık kolemanit esaslı kompozit numunelerde O ₂ yoğunluğu-atık kolemanit oranı ilişkisi.....	106
Şekil 4.12. Atık kolemanit kullanılan kompozit numunelerde üç nokta eğilme dayanımı-atık kolemanit oranı ilişkisi.....	108
Şekil 4.13. Atık kolemanit kullanılan kompozit numunelerde vida tutma mukavemeti-atık kolemanit oranı ilişkisi.....	111

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Şekerin kristalleştirilmesi aşamasında ortaya çıkan melasın görüntüsü	15
Resim 2.2. Eskişehir Şeker Fabrikasına ait melas depolanmış siloların görüntüsü	16
Resim 2.3. Endüstriyel kenevir lifi görünümü	20
Resim 2.4. Kütahya-Emet bor madeninin görünümü	36
Resim 2.5. Kütahya Emet Bor Tesisi atık barajının görünümü	38
Resim 3.1. Melas numunesine ait görünüm	56
Resim 3.2. Kullanılan FF numunesi	57
Resim 3.3. Polivinil asetat (PVAc) numunesine ait görünüm	58
Resim 3.4. Kozalak numuneleri	58
Resim 3.5. Deneylerde kullanılan kenevir lifleri	59
Resim 3.6. Atık kolemanit numune bidonu ve atık kolemanit görünümü	60
Resim 3.7. Retsch marka öğütücü cihaz ve öğütme haznesi iç görünümü	61
Resim 3.8. Parçalanmış ve öğütülmüş haldeki çam kozalağı görünümü	61
Resim 3.9. Kompozit numune üretiminde kullanılan çelik kalıp	62
Resim 3.10. Carver marka sıcak kalıplama cihazı	62
Resim 3.11. Kalıplama cihazına yerleştirilen a) çelik kalıp ve b) hazırlanan kompozit numunenin görünümü	63
Resim 3.12. Kompozit numune üretim süreci gösterimi	63
Resim 3.13. Shimadzu marka AG-I model test cihazı	64
Resim 3.14. Üç nokta eğilme dayanımı deneyi	65
Resim 3.15. Kalınlığına şişme deneyi için suda tutulan bazı numuneler	67
Resim 3.16. Kompozit numune ağırlığının tartılması	68
Resim 3.17. LOI deney düzeneği gösterimi	70

Resim	Sayfa
Resim 3.18. LOI deney uygulamasında uç kısmı yanmış olan kompozit deney numuneleri	71
Resim 3.19. Vidalı haldeki kompozit deney numuneleri	72
Resim 3.20. Vida tutma deneyi uygulaması	72
Resim 3.21. Farklı d/b oranlarında üretilen kompozit numunelerin görünümü	74
Resim 3.22. Farklı oranlarda melas kullanılarak üretilen kompozit deney numuneleri	74
Resim 3.23. Farklı kalıplama basıncı sıcaklıklarında üretilen bazı kompozit deney numuneleri	75
Resim 3.24. Farklı kalıplama basıncı ile üretilen kompozit numuneleri	76
Resim 3.25. Kozalak malzemesinin elenmesinde kullanılan elek seti	77
Resim 3.26. Farklı kalıplama sürelerinde üretilen kompozit deney numuneleri	78
Resim 3.27. Farklı oranlarda FF kullanılarak hazırlanan kompozit deney numuneleri	79
Resim 3.28. Farklı oranlarda kenevir lifli hazırlanan bazı kompozit deney numuneleri	79
Resim 4.1. Farklı oranlarda atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit deney numuneleri	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

mm

°C

ml

N

Açıklamalar

milimetre

Derece

milimetre

Newton

Kısaltmalar

AB

ABD

d/b

DSÖ

FAO

FF

LOI

M.Ö.

MDF

MPa

MTA

OSHA

Ort.

PVAc

REACH

TOBB

ÜF

VK

Açıklamalar

Avrupa Birliği

Amerika Birleşik Devletleri

dolgu/bağlayıcı

Dünya Sağlık Örgütü

Food and Agriculture Organization

Fenol formaldehit

Limit oksijen indeksi

Milattan önce

Orta yoğunlukta lifli levha

Megapaskal

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Amerikan İş Sağlığı ve Güvenliği Dairesi

Ortalama

Polivinil asetat

Kimyasal malzeme kullanım yönetmeliği

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği

Üre formaldehit

Varyasyon katsayısı

1. GİRİŞ

Ahşap esaslı kompozit malzeme terimi, bir yapıştırıcı ile birbirine bağlanan ahşap malzemeleri tanımlamaktadır. Ahşap esaslı kompozitlerin üretiminde lif, talaş, rende talaşı, kaba tane, şerit veya kaplama gibi çok çeşitli boyut ve geometriye sahip ahşap malzemeler kullanılmaktadır. Bu ahşap malzemeler, tek başlarına veya farklı kombinasyonlar halinde kullanılarak da ahşap esaslı kompozit üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Cai, 2012). Genel olarak ahşap esaslı kompozit malzemeler, sentetik veya başka bağlayıcı malzemelerin ahşap parçaları veya lignoselülozik malzemeleri birleştirmesi, ısı ve basınç altında birbirini tutması ile üretilmektedir (Islam ve diğerleri, 2012).

Ahşap esaslı kompozit malzemeler genellikle; yapı inşaatı, mobilya üretimi ve paketlemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Baskaran ve diğerleri, 2015). Ancak ahşap esaslı ürünlere talebin artması, ahşap hammadde kaynaklarının sınırlı olması ve tedarik zincirinde yaşanan sıkıntılar, ormansızlaşma ve ormanların bozulması, kompozit malzeme üretiminde alternatif hammaddelerin kullanılmasını ön plana çıkarmıştır (Ayrılmış ve diğerleri, 2012; Baskaran ve diğerleri, 2015). Ahşap esaslı kompozit malzeme üretiminde; tarımsal atıklar, bitki lifleri ve ahşap olmayan lignoselülozik malzemeler alternatif hammadde kaynaklarıdır (Guntekin ve Karakuş, 2008). Özellikle tarım atıkları ucuz, bol, yenilenebilir, kolay işlenebilir ve çevre dostu olmasından dolayı ahşaba en uygun alternatif malzemelerdir (Ndazi ve diğerleri, 2006; Pirayesh ve diğerleri, 2012). Kompozit malzeme üretimi için farklı hammadde kaynaklarının bulunmasıyla ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir.

Farklı araştırmalarda geçen kompozit malzeme üretiminde hammadde olarak kullanılan tarımsal atık malzemelere; atık çay yaprakları (Batiancela ve diğerleri, 2014), atık tütün bitki sapları (Acda ve Cabangon, 2013), pamuk bitki sapları (Khanjanzadeh ve diğerleri, 2012), kahve çekirdeği kabuğu ve kahve yaprağı lifi (Bekalo ve Reinhardt, 2010), mısır koçanı (Akinyemi ve diğerleri, 2016), ayçiçeği bitki sapları (Bektas ve diğerleri, 2005), küspe (Tabarsa ve diğerleri, 2011), Hindistan cevizi lifi (Fiorelli ve diğerleri, 2012), buğday sapları ve mısır koçanı (Wang ve Sun, 2002), ceviz kabuğu (Pirayesh ve diğerleri, 2012), pirinç samanı (Li ve diğerleri, 2010), atık keten (Papadopoulos ve Hague, 2003),

domates sapları (Taha ve diğ erleri, 2018), haşhaş kabuğu (Keskin ve diğ erleri, 2015) ve fındık kabuğu (G r  ve diğ erleri, 2009)  rnek verilebilir.

Ahşap esaslı kompozit malzeme üretiminde bağlayıcı malzeme olarak; fenol formaldehit (FF),  re formaldehit ( F), izosiyanat ve polivinil asetat (PVAc) gibi polimer reçineler yaygın olarak kullanılmaktadır (Conner, 2001). Bu polimer reçinelerin bazılarının içeriğinde bulunan formaldehit maddesi oldukça toksik ve kanserojendir. Formaldehit maddesi, insan sağlığına zararlı olduğundan endüstriyel ürün üretiminde kullanılması sınırlandırılmıştır (Nielsen ve diğ erleri, 2017).

Ahşap esaslı malzemelerin    önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlar; sırasıyla su emme, böceklenme ve yanmadır. Bu dezavantajlar ahşap esaslı malzemelerin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (G r  ve diğ erleri, 2008).

Bu çalışmanın amacı, ahşap esaslı kompozit malzemelerin yukarıda belirtilen dezavantajlarının ortadan kaldırılmasıdır. Bu amaçla kompozit malzeme üretiminde malzemenin su emme ve b ceklenmeye karşı dayanımını arttırmak için FF ve endüstriyel kenevir lifi kullanılmıştır. Bunun yanı sıra kompozit malzemelere yanmazlık özelliği kazandırmak için atık kolemanit katılmıştır. Öte yandan, kompozit malzeme üretiminde bağlayıcı olarak atık melas ilk kez kullanılmıştır. Kompozit malzeme üretiminde melasın kullanılması sayesinde üretilen kompozit malzemenin formaldehit salınımının daha düşük olacağı değerlendirilmektedir. Böylece üretilen kompozit malzeme, özellikle i  mek nlerde insan sağlığına daha az zararlı bir yapı malzemesi olarak kullanılabilecektir. Ayrıca melasın bağlayıcı olarak kullanılması ile kompozit malzeme üretiminde daha az kimyasal malzemenin kullanılması öngörülmektedir.

Diğ er taraftan bu çalışmanın hedefi;  evre dostu, b ceklenmeyen, sudan etkilenmeyen ve yanmazlık özelliğine sahip yeni bir kompozit malzemenin üretilmesidir. Bu sayede, bitkisel atık olan ve ekonomik olarak herhangi bir değeri olmayan malzemelerin ekonomiye kazandırılması sağlanacaktır. Buna ek olarak, ahşap kullanımının azaltılması ile hem ormanların korunması hem de atık malzemelerin yeniden kullanımı ile  evre kirliliğinin azaltılması da hedeflenmektedir.

Bunun yanı sıra bu çalışmada, deneysel çalışmalarla kompozit malzeme üretiminde en uygun üretim parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerin kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ahşap malzemeler ve yapı malzemeleri için en önemli özelliklerden birinin eğilme dayanımı olması sebebiyle en yüksek üç nokta eğilme dayanımına göre d/b oranı, melas oranı, kalıplama basıncı, sıcaklığı ve süresi, ortalama tane boyutu, FF oranı ve kenevir lifi oranı üretim parametrelerinin değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca üretilen kompozit numuneler üzerinden 24 saat kalınlığa şişme ve su emme, vida tutma mukavemeti ve limit oksijen indeksi (LOI) değerleri belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Kompozit Malzeme Tanımı

Kompozit malzemeler; kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı olan en az iki malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak tanımlanabilir. Böylece kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin hiç birinin tek başına ulaşamadığı daha kullanışlı yapısal ve fonksiyonel özelliklere sahip yeni bir malzeme üretilmektedir. Genel olarak günümüz malzemeleri içerisinde kompozitler; hafifliği, yüksek yorulma dayanımı, korozyon direnci ve hızlı montajlanabilme avantajları sayesinde daha çok kullanılmaktadır (Jose ve diğerleri, 2012; Vasiliev ve Morozov, 2013).

2.1.1. Kompozit malzeme tarihçesi

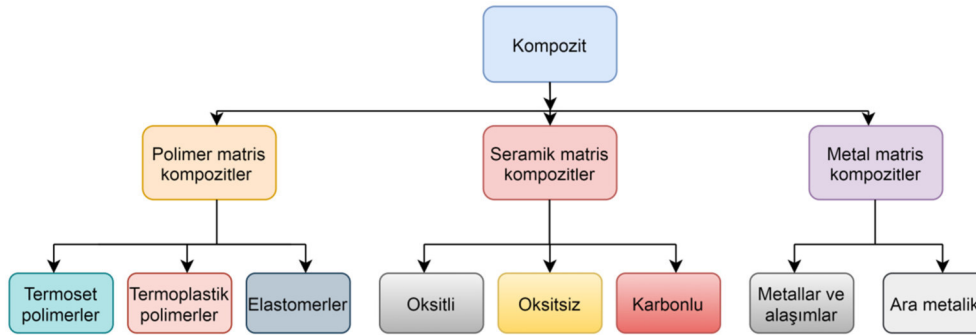
Kompozit malzemelerin ilk kez kullanımı M.Ö. 1500'lü yıllara dayanmaktadır. Eski Mısırlılar ve Mezopotamyalılar, çamur ve saman karışımı günümüzde kerpiç olarak isimlendirilen malzemeyi kullanarak daha güçlü ve dayanıklı yapılar oluşturmuşlardır. Saman; çanak, çömlek ve hatta tekne gibi birçok üründe takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. M.S. 1200'lü yıllarda Moğollar ilk kez kompozit yayı icat etmişlerdir. Ahşap ve kemik ile hayvansal yapıştırıcı malzemeleri presleyerek ve huş ağacı kabuğu ile sararak kompozit yay üretimini gerçekleştirmişlerdir. Son derece sağlam ve hassas olan bu yaylar, Moğollara büyük bir askeri üstünlük sağlamış olup barutun icadına kadar en güçlü silah olarak kullanılmıştır. Modern kompozit malzeme üretimi ise bilim adamlarının plastik malzemesini geliştirmesi ile başlamıştır. 1900'lü yılların başlarında ise vinil, polistiren, fenolik ve polyester gibi plastikler geliştirilmiştir. Ancak plastiklerin tek başına yeterli mukavemeti sağlayamadığı görülmüştür (Nagavally, 2017).

1935 yılında Owens Corning şirketi tarafından dayanıklılığı arttırmak için plastik ve cam elyafı birleştirilmiştir (Nagavally, 2017). Havacılık ve uzay endüstrisi tarafından II. Dünya Savaşı'nda (1939~1945) yorulma ve korozyona daha dayanıklı organik matrisli kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir (Varvani-Farahani, 2010).

1970’li yıllarda daha gelişmiş reçine ve takviye lifler sayesinde kompozit endüstrisi olgunlaşmaya başlamıştır. 1980’li yılların başlarında Asya ve Avrupa’da ilk kez kompozit malzemeler altyapı uygulamalarında kullanılmıştır. 2000’li yılların başlarında nano malzemeler, reçine ve liflere katılarak yeni kompozit malzemeler üretilmiştir. Günümüzde, kompozit malzeme endüstrisi hala gelişmekte ve büyümesi yenilenebilir enerji sektörüne odaklı haldedir. Örneğin özellikle rüzgâr türbini kanatları sürekli olarak boyutsal sınırları zorlamakta ve gelişmiş kompozit malzeme gerektirmektedir (Ngo, 2020).

2.1.2. Takviye ve matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler; matris ve takviye bileşenlerinden oluşmakta ve genel olarak bu bileşenlere göre sınıflandırılmaktadır. Matris malzemesine göre başlıca kompozit malzeme sınıfları; organik matris kompozitleri, metal matris kompozitleri ve seramik matris kompozitleridir. Organik matris kompozitleri sınıfı polimer kompozit sınıfını ve karbon kompozit sınıfını da kapsamaktadır (Nagavally, 2017). Şekil 2.1’de matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



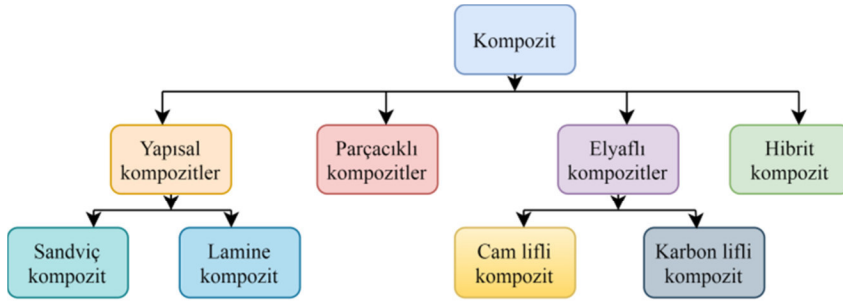
Şekil 2.1. Matris malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Balasubramanian, 2014)

Kompozit malzeme içerisinde matris malzemesinin işlevi şu şekilde sıralanabilir;

- Matris malzemesi lifleri birbirine bağlamaktadır.
- Malzemeye uygulanan yükü taşıyıcı bileşene veya liflere aktararak malzemenin eğilme, kesme ve basınç gibi kuvvetlere karşı dayanmasını sağlamaktadır.
- Matris malzemesi lif tanelerinin birbirinden izole edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede çatlak, lif tanesini aşmadığı için malzemenin daha gevrek hale gelmesini sağlar.

- Matris malzemesi takviye malzemesini mekanik hasar (aşınma) ve çevresel saldırılardan korumalıdır.
- Metaller, tek başlarına yapısal malzeme olmasından dolayı metal esaslı kompozit malzemelerin sertlik, kesme ve basınç dayanımına doğrudan etki etmektedir (Harris, 1999).

Şekil 2.2’de, takviye malzemesine göre kompozit numunelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.



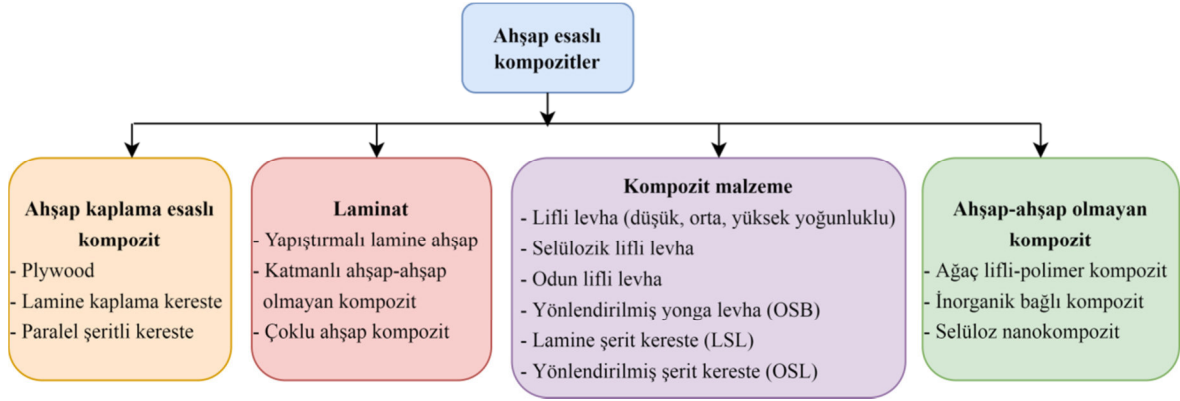
Şekil 2.2. Takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması (Balasubramanian, 2014; Yang ve diğerleri, 2012)

Lifli kompozit malzemeler tek katmanlı veya çok katmanlı olarak üretilebilmektedir. Çok katmanlı bir kompozitteki katmanlar aynı tip lifler ile takviye edilmesi durumunda “laminat” olarak adlandırılmaktadır. Tek katmanlı kompozitlerde, tüm kompozit malzeme tek katmanlı olup uzun ve kısa lifler kullanılarak üretilmektedir. Hibrit kompozit malzemeler iki veya ikiden fazla türden takviye malzeme ile üretilen kompozit malzemelerdir ve genellikle cam/karbon, cam/aramid ve aramid/karbon liflerinden üretilmektedirler. Hibrit kompozit malzemelerin en büyük avantajı her bir takviye malzemesinin özelliklerinden faydalanılmasıdır (Balasubramanian, 2014). Parçacıklı kompozitler, bir matris içerisinde dağılmış veya gömülü haldeki parçacıklardan oluşmaktadır ve parçacıklar, taneli veya toz şeklinde olabilir. Beton ve ahşap yonga levhalar, parçacıklı kompozit malzemelere örnek gösterilebilir (Nagavally, 2017).

2.1.3 Ahşap esaslı kompozit malzeme tanımı ve sınıflandırılması

Ahşap esaslı kompozit malzemeler; bir bağlayıcı ile lifler, parçacıklar ve iri tanelerin birbirine bağlanması ile üretilen malzemelerdir. Bu malzemelere ahşap kaplama ve laminatlar örnek olarak verilebilir. Ahşap esaslı kompozit malzemelerin özellikleri, bu

elemanların birleştirilmesi, yeniden düzenlenmesi veya katmanlaştırılmasıyla değiştirilebilir (Stark ve Cai, 2021). Şekil 2.3'te ahşap esaslı kompozit malzemelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.

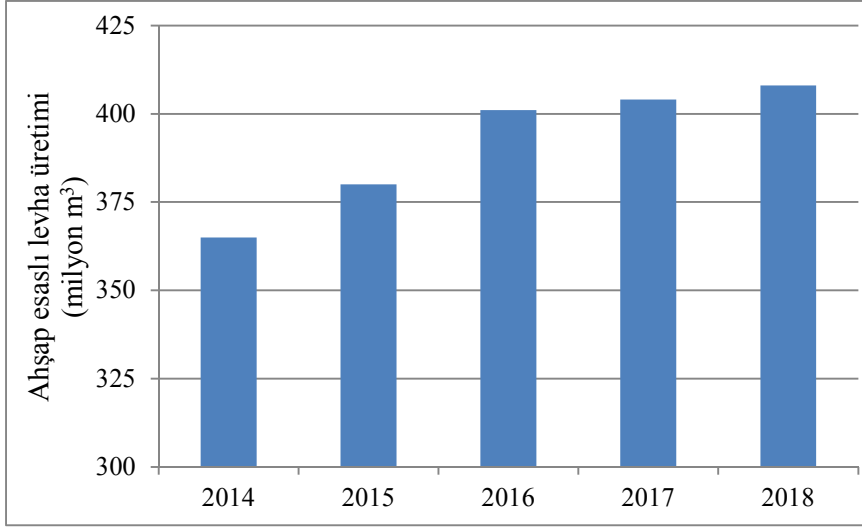


Şekil 2.3. Ahşap esaslı kompozit levhaların sınıflandırılması (Stark ve Cai, 2021).

2.1.4. Dünyada ve Türkiye’de ahşap esaslı levhaların üretim miktarı

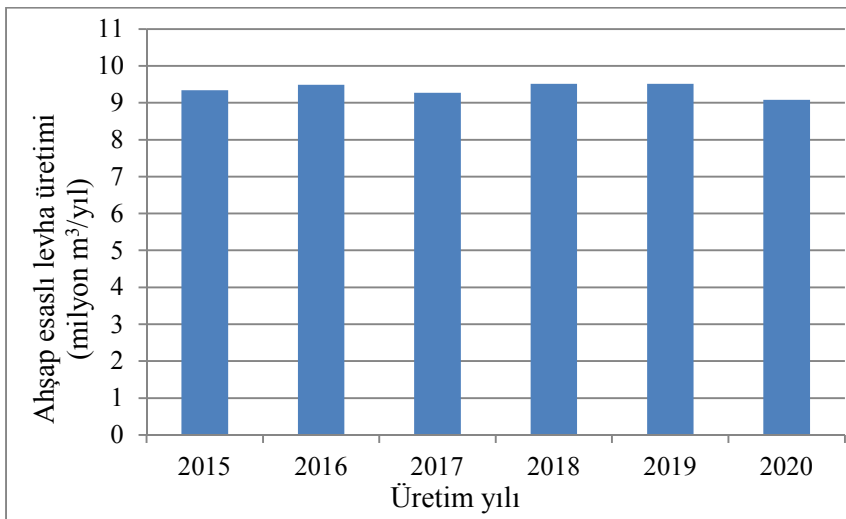
Dünyanın en büyük ahşap esaslı levha üretici ülkeleri; Çin, ABD, Rusya, Almanya ve Kanada’dır. 2018 yılı verilerine göre bu beş ülke küresel üretimin %69’unu yani ~282 milyon m³’lük kısmını gerçekleştirmişlerdir. Yine 2018 yılı verilerine göre küresel üretimin ~%50’si Çin’de gerçekleştirilmiştir (FAO, 2018). Şekil 2.4’te 2014~2018 yıllarına ait küresel ölçekte ahşap esaslı levha üretimi miktarları gösterilmektedir. Şekil 2.4 incelendiğinde, küresel ölçekte 2016 yılına kadar ahşap esaslı levha üretiminin arttığı ancak 2016~2018 yılları arasında ise üretim miktarında artış olmakla birlikte önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir.

Ahşap esaslı levha türlerinden plywood, 2018 yılında 163 milyon m³ ile en çok üretimi yapılan levha çeşidi olmuştur. Öte yandan, OSB ve yonga levhalar, 2014~2018 yılları arasında ~%25 üretim miktarı artışı ile diğer levha çeşitleri arasında üretim miktarı en çok artan levha çeşitleri olarak tespit edilmişlerdir (FAO, 2018).



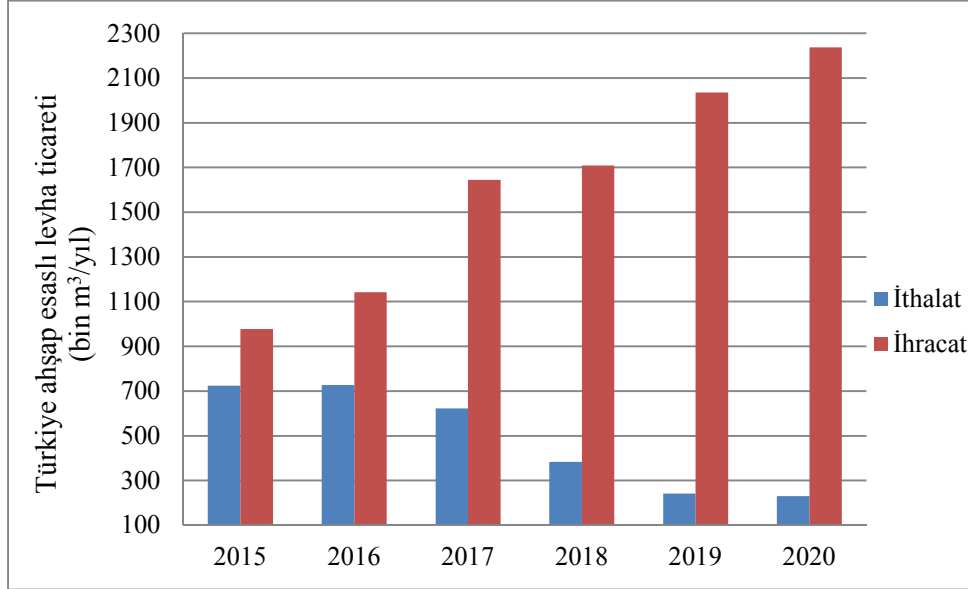
Şekil 2.4. 2014~2018 yıllarına ait küresel ölçekte ahşap esaslı levha üretimi miktarı (FAO, 2018).

Türkiye’de de yüksek üretim kapasitesine sahip olan ve yüksek kaliteli ahşap esaslı levha üretimini gerçekleştiren çok sayıda tesis bulunmaktadır (İstek ve diğerleri, 2017). Şekil 2.5’te, 2015~2020 yıllarına ait Türkiye’de üretilen; yonga levha, OSB, MDF/HDF, plywood ve diğer lifli ahşap esaslı levhaların toplam üretim miktarları gösterilmektedir. Türkiye’de 2020 yılında toplam ~9,08 milyon m³ ahşap esaslı levha üretimi gerçekleşmiştir (Faostat, 2022). Şekil 2.5 incelendiğinde, Türkiye’de 2015~2020 yıllarında ahşap esaslı levha üretim miktarının göreceli olarak değişmediği anlaşılmaktadır.



Şekil 2.5. Türkiye’de 2015~2020 yıllarına ait ahşap esaslı levha üretimi miktarı (Faostat,2022)

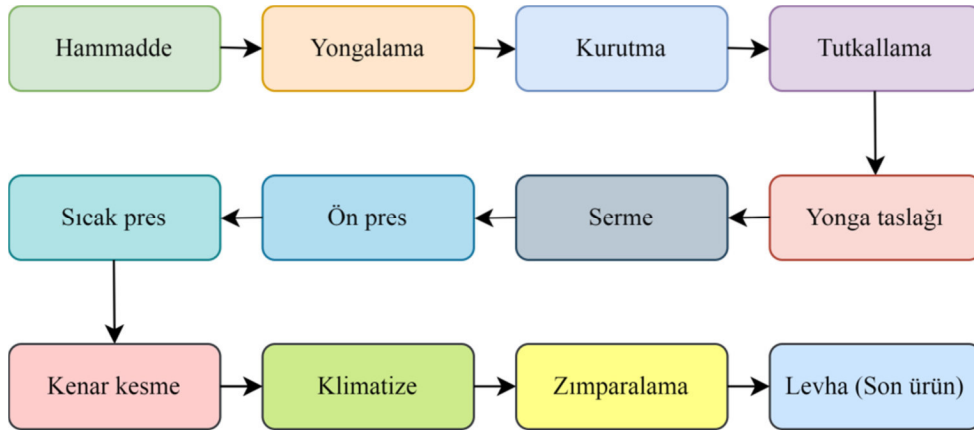
Şekil 2.6’da, Türkiye’nin 2015~2020 yıllarına ait ahşap esaslı levhaların (yonga levha+OSB+MDF/HDF+plywood+diğer lifli ahşap esaslı levha) ithalat ve ihracat verileri gösterilmektedir. Şekil 2.6’ya göre, 2015~2020 yılları arasında Türkiye, ahşap esaslı levha ithalatını azaltırken ihracat miktarını oldukça arttırdığı görülmektedir.



Şekil 2.6. Türkiye 2015~2020 yıllarına ait ahşap esaslı levha ithalat ve ihracat miktarı (Faostat, 2022)

2.1.5. Ahşap esaslı levhaların üretim aşamaları

Çeşitli ahşap esaslı kompozit levhaların farklı üretim aşamaları vardır. Yonga levha, ahşap taneciklerine sentetik bir yapıştırıcının eklenmesi ve yüksek sıcaklık ile basınç altında birbirine yapıştırılması yöntemi ile üretilmektedir. Yonga levha üretiminde yapıştırıcı, basınç ve basınç sıcaklığının levha özelliklerine belirgin bir etkisi bulunmaktadır (İrle ve diğerleri, 2010). Şekil 2.7’de, genel olarak yonga levha üretim aşamaları sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Yonga levha üretim aşamaları (Güler ve Sancar, 2016)

Hammmadde üretilmesinde ilk işlem odunun kabuğunun elle veya makine kullanılarak soyulmasıdır. Hammaddeler; liflere paralel yönde bıçaklı kesicili makine ile parçalanarak ince yonga, liflere dik halde çekiçli değirmende parçalanarak ise kaba yonga elde edilmektedir. Yonga levhaların kalitesinin yüksek olması için yongaların ince ve dağılımının homojen olması gerekmektedir. Orta tabakada kullanılacak yongalar daha iri boyutta olabilmektedir (Güler ve Sancar, 2016). Yonga levha üretiminde, yongalar yapıştırıcı türüne de bağlı olarak nem içeriği %2~8 arasında olacak şekilde kurutulmalıdır. Çünkü yüksek nemli yongalar sıcak presleme aşamasında nemin buharlaşması sebebiyle pres açılması anında levhanın boyutsal bütünlüğünün bozulmasına sebep olmaktadır. Kurutma işlemi uygulanmış yonga levhalar daha sonra sınıflandırılmaktadır. Kurutulmuş malzeme üzerine daha önceden denenmiş ve uygunluğu kanıtlanmış oranlara göre yapıştırıcı, su, sertleştirici, renklendirici katkı ve alev geciktirici gibi katkıları ile karıştırılarak hazırlanan solüsyon uygulanmaktadır. Yonga levha, genel olarak kullanılan yapıştırıcılar ısı ile sertleşen termoset yapıştırıcılardır. Yapıştırıcı solüsyon kuru haldeki ahşap miktarına göre hesaplanmaktadır. Sertleştirici malzeme bağlayıcı yüzdesine göre üretim hattında hızlı sertleşmeyi önlemek için mümkün olduğunca en son katılmaktadır (İrle ve diğerleri, 2010). Tutkallanmış haldeki yongalar, konveyör hattı ile serme bölümüne aktarılmaktadır. Serme işleminde dökme, rüzgârlama veya savurma yöntemlerinden biri uygulanarak üretilmesi istenilen levha kalınlığının 3~20 katı kalınlığında gevşek halde bir tabaka oluşturulmaktadır (Güler ve Sancar, 2016). Gevşek haldeki tabakaya hammmadde ve istenilen panel kalınlığına da bağlı olarak 200~220 °C’de ve 2~4 MPa basınç kuvveti değerlerinde sıcak pres uygulanmaktadır. Sıcak presin amacı, tanecikleri gerekli mekanik kuvvet ile bir araya getirmek ve yapıştırıcının sertleşmesi için gereken ısı enerjisini

sağlamaktır (Irle ve diğerleri 2010; Kamke, 2001). Gevşek tabakaya sıcak pres uygulanmadan önce tabaka kalınlığını %50~70 oranında sıkıştırarak şekilde ön pres uygulanmaktadır. Ön pres sayesinde daha hızlı presleme işlemi yapılarak presleme döngüsü sayısı azaltılmaktadır (Irle ve diğerleri, 2010). Sıcak haldeki levhalar soğutma kanalları ile soğutulmaktadır. Üretilen levhalar istenilen ebatlarda kesilerek yonga levhalar üretilmekte ve bu levhaların yüzey kalitesini arttırmak için yüzey zımparalaması işlemi gerçekleştirilmektedir (Güler ve Sancar, 2016).

2.1.6. Ahşap esaslı ürün piyasası

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB)'ye ait 2012 yılı Türkiye Orman Ürünleri raporunda; kereste, parke, kaplama, kontrplak ve levha üretimi işletmelerinin yer aldığı orman ürünleri sektörünün bazı zayıf yönleri tespit edilmiştir. Bu raporda;

- Hammadde temininde zorlukların yaşanması
- İthal hammadde temininde zorlukların yaşanması
- Enerji maliyetlerinin yüksek olması orman ürünleri üretimi ile ilgili sektörün bazı zayıf yönleri olarak belirtilmektedir (TOBB, 2012).

Ahşap esaslı ürünlere talebin artması, hammadde kaynaklarının sınırlı olması ve ormanların gün geçtikçe azalması ahşap esaslı kompozit malzeme üretiminde ahşaba alternatif hammaddelerin kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır (Ayrılmis ve diğerleri 2012; Baskaran ve diğerleri 2015; Arslan ve diğerleri, 2007).

2.1.7. Kompozit malzeme üretiminde bitkisel atık kullanılmasının avantaj ve dezavantajları

Tarımsal atıkların, kompozit ve yapı malzemeleri üretiminde kullanılmasının bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Malzeme üretimi veya geliştirilmesinde tarımsal atık malzeme kullanımının sağladığı bazı avantajlar aşağıda belirtilmektedir. Tarımsal atık malzemeler (Bardak ve Bardak, 2018; Tufan ve Mengeloğlu 2010; Mengeloğlu ve Alma, 2002; Maraveas, 2020);

- Üretim alanında sağlık problemleri oluşturmamaktadır. Cilt ve solunum yolu tahrişi daha az görülmektedir,
- Karıştırma ve kalıplama ekipmanlarını daha az aşındırmaktadır,

- Düşük özgül ağırlığa sahiptirler,
- Yüksek ses ve elektrik yalıtımı sağlamaktadırlar,
- Yakıldıklarında veya kompost edildiklerinde çevreye daha az karbondioksit yayılmaktadır,
- Düşük maliyetli ve yenilenebilir hammadde kaynağı olmasından dolayı üretim maliyetleri daha azdır,
- Termoset ve termoplastik malzemelerle birlikte kullanılabilirler,
- Kompozit malzeme üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler,
- Standartlara uygun yapı malzemesi üretimi için büyük potansiyele sahiptirler.

Diğer taraftan, malzeme üretimi veya geliştirilmesinde tarımsal atık malzeme kullanılmasının sebep olduğu bazı dezavantajlar aşağıda belirtilmektedir. Tarımsal atık malzemeler; (John ve Thomas, 2008; Obakin, 2020; Mengeloğlu ve Alma, 2002; Gürü ve diğerleri, 2008);

- Çürümeye karşı duyarlı olmalarından dolayı nakliye ve depolamada bazı zorluklar yaşanmaktadır. Özellikle depolama esnasında biyolojik bozulma ve yangına karşı önlem alınması gerekmektedir,
- Üretim aşamasında yüksek sıcaklıklarda bozulma yaşanmaktadır. Örneğin bitkisel lifler $\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bozulmaya uğramaktadır. Bu durum bağlayıcı (matris) malzemesi seçimini de sınırlandırmaktadır,
- Lifli bitkisel malzemelerde kompozit malzeme içerisinde boşluk miktarı fazla olmaktadır. Bu durum üretilen malzemenin boyutsal bütünlüğünü bozmakta ve dayanımını düşürmektedir,
- Düşük mukavemet özelliklerine sahiptirler,
- Hava durumu gibi etkiler sebebiyle değişken kaliteye sahip olabilmektedirler,
- Tarım politikaları ve hasat durumuna göre üretim miktarı ve fiyatlarda dalgalanmalar yaşanmaktadır,
- Ayrıca odun ve bitkisel esaslı üretilen malzemelerde yanma, su emme ve kalınlığına şişme ile böceklenme en önemli dezavantajlardan bazılarıdır.

2.1.8. Ahşap esaslı kompozit malzemelerin kullanım alanları

Ahşap esaslı kompozit malzemeler; mobilya üretimi, konut inşaatı ve paketlemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Baskaran ve diğerleri, 2015). Bunun yanı sıra ahşap esaslı levhalar; duvar paneli, kapı, sandalye, mutfak mobilyası, bazı müzik aletleri üretimi, ince duvar kaplaması, beton kalıbı, sandık, tezgâh, raf, zemin döşemesi, ahşap prefabrik konut inşası, konteyner üretimi, ofis bölme elemanı, mağaza donanımı, trafik işaret ve levhaları, depolama tankları, reklam panosu, gemi ve yat güvertelerinde, otobüs, kamyon, tır gibi araçların taban döşemelerinde ve soğutma vagonlarında kullanılmaktadır (Bardak ve Bardak, 2018; Wang ve Sun, 2002). Ayrıca ahşap lif ile üretilen levhaların arsa çiti, koruyucu panel ve çatılarda kullanılan rüzgârlık üretiminde kullanıldığı bilinmektedir (Obakin, 2020). Buna ek olarak ahşap esaslı levhalar, yalıtım ve gürültü yalıtımı amacıyla mantolama uygulamalarında ve çatı döşemesi, tavan karosu ve ses yalıtım levhası olarak kullanılmaktadır (Youngquist, 1999).

Talaş, bitkisel lif ve plastik parçaları kullanılarak üretilen kompozit malzemeler, inşaat sektöründe pencere ve çerçeve, çatı, merdiven, kapı, dekoratif profiller, yer kaplama, tirabzan ve raf üretiminde, ayrıca park ve bahçelerde çit, kamelya, yürüyüş parkurları ve bank imalatında kullanılmaktadır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

2.2. Melas

2.2.1. Melasın tanımı

Melas, şeker fabrikalarının şeker pancarını işleme sürecinde şekerin kristalleştirilme aşamasında ortaya çıkan, yapışkan ve viskoz halde olan atık bir üründür. Genel olarak, beyaz şeker fabrikalarında işlenen pancar miktarının yaklaşık %4'ü kadarı melas olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca şeker üretiminde hammadde olarak kullanılan üzüm ve şeker kamışının da işleme sürecinde melas oluşmaktadır (Hubert, 2006). Pancar melası; koyu kahverengi renkte, çok ağdalı ve pekmez görünümünde olup yaklaşık olarak %50 şeker, %30 şeker dışı madde ve %20 su bileşenlerini içermektedir (Amasya şeker, 2022). Bu bileşenler, şeker fabrikasının üretim koşullarına ve şekerli hammaddenin şeker içeriğine göre değişmektedir (Weifeng ve diğerleri, 2014). Resim 2.1'de şeker pancarı hammaddesi

ile şeker üretim sürecinde, şekerin kristalleştirme aşamasında ortaya çıkan melasın görüntüsü gösterilmektedir.



Resim 2.1. Şekerin kristalleştirilmesi aşamasında ortaya çıkan melasın görüntüsü

2.2.2. Dünyada ve Türkiye’de melas üretimi

Dünya genelinde sorgum şurubu olarak da adlandırılan melasın yaklaşık %75’i tropik iklime sahip Asya ve Güney Amerika kıtasında yetişen şeker kamışından elde edilmektedir. Geri kalan yaklaşık %25’lik melas üretimi ise daha ılıman iklime sahip Avrupa ve Kuzey Amerika kıtasında yetişen şeker pancarından elde edilmektedir (Matei, 2006; Piggot, 2003).

Şeker üretimi ile melas elde edilmesi arasında oldukça yüksek bir paralellik bulunmaktadır (Nikodinovic-Runic ve diğerleri, 2013). Avrupa ve Kuzey Amerika bölgesinde en büyük şeker üretim payına sahip ülkeler; Rusya, Fransa, Almanya, ABD, Ukrayna ve Türkiye’dir. Bu ülkeler 2011 yılında küresel şeker üretiminin yaklaşık %60’ını gerçekleştirmişlerdir. Asya ve Latin Amerika’da ise Brezilya, Hindistan, Çin ve Tayland şeker kamışı hammaddesini kullanarak küresel şeker üretiminin yaklaşık %51’ini üretmişlerdir (Svatoš ve diğerleri, 2013). Çin’de 2011 yılında 12 milyon ton şeker üretimi gerçekleştirilmiştir (Li ve diğerleri, 2015). Melas üretim kapasitesi ise 1960’lı yıllarda yaklaşık 15 milyon ton iken 2000’li yıllarda hızlı bir şekilde artarak 45 milyon tona ulaşmıştır (Abubaker ve diğerleri, 2012).

Küresel şeker üretiminin büyük bir kısmını gerçekleştiren ülke/bölgelerin yıllık melas üretim miktarları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Çizelge 2.1’e göre 2000 ile 2006 yılları arasında küresel melas üretimi yıllık 50 milyon ton civarındadır (Rosillo-Calle ve Johnson, 2007).

Çizelge 2.1. Ülke/bölgelere göre yıllık melas üretim miktarları (Milyon ton) (Rosillo-Calle ve Johnson, 2007).

Ülke/Bölge Adı	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
A.B.D.	2,4	2,1	2,2	2,3	2,0	2,0
Brezilya	7,9	9,3	10,8	11,6	12,4	12,0
Diğer Amerika ülkeleri	6,6	6,7	6,5	6,7	6,4	6,2
Rusya ve bağlı cumhuriyetler	2,2	2,1	2,2	2,3	2,5	2,5
AB	4,7	4,5	4,8	4,3	4,4	4,7
Çin	2,0	2,6	3,3	2,7	2,4	2,3
Afrika	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5
Hindistan	7,8	8,1	8,9	5,9	5,5	8,6
Pasifik ve Okyanusya	7,9	9,1	10,8	9,8	8,6	8,5
Dünya	44,9	47,8	52,7	48,9	47,6	50,2

Melas, oldukça akışkan bir malzemedir. Kolayca pompalanabilmesi sayesinde tank ve silolara aktararak depolanabilir. Şeker üretiminin olmadığı ancak etanol veya fermantasyon için melasın hammadde olarak kullanılması gereken bölgelere tanker gemiler aracılığıyla taşınabilmektedir. Melas yüksek ozmotik basınca sahip olması nedeniyle mikrobiyal bozulmalardan korunmaktadır (Hamat, 2012). Resim 2.2’de Eskişehir Şeker Fabrikasına ait melas malzemesinin depolandığı silolar gösterilmektedir.



Resim 2.2. Eskişehir Şeker Fabrikasına ait melas depolanmış siloların görüntüsü

Türkiye’de şeker üretimi iklim koşulları nedeniyle sadece şeker pancarı kullanılarak yapılmaktadır. Türkiye, dünyada şeker pancarı üreten ülkeler arasında Rusya, ABD, Fransa ve Almanya’dan sonra 5. sırada yer almaktadır. 2014 yılında Türkiye, 17 milyon ton şeker pancarı üreterek dünya şeker pancarı üretiminin %6,2’sini gerçekleştirmiştir. Ayrıca, Türkiye 2016/2017 yılları arasında dünya şeker üretiminin %1,2’sini gerçekleştirerek en fazla şeker üreten ülkeler arasında 17. sırada yer almıştır. İşlenen pancar miktarı ile melas üretim miktarı paralellik göstermektedir (TEPGE, 2017). Şeker fabrikalarında işlenen pancar miktarının yaklaşık %30’u kadar melas üretilmektedir.

Çizelge 2.2’de, Türkiye’de bulunan şeker fabrikaları ve sadece kamuya ait şeker fabrikaları (Türkşeker) tarafından üretilen melas miktarları gösterilmektedir. Buna göre melas üretim miktarlarının yıllara göre farklılıklar gösterdiği görülmektedir. 2020 yılında Türkiye’de ~382 bin ton melas üretimi gerçekleşmiştir (Türk Şeker, 2020).

Çizelge 2.2. Türkiye’de yıllara göre melas üretim miktarı (Bin ton) (Türk Şeker, 2020)

Üretim yılı	Şeker sanayi (Bin ton)	Türkşeker (Bin ton)
2011	601	350
2012	555	322
2013	631	370
2014	666	387
2015	656	369
2016	843	503
2017	858	490
2018	750	247
2019	726	283
2020	1007	382

2.2.3. Melasın kullanım alanları

Melas, mevcut şeker üretim sürecinde tekrardan şekerin kristalleştirilmesinde kullanılamamaktadır. Ayrıca, renk ve kimyasal bileşenleri sebebiyle doğrudan tüketim ürünü olarak insanlar tarafından da tüketilememektedir. Ancak, özellikle şeker üretiminde öncü olan Brezilya, Küba, Tayvan, Güney Afrika, Çin ve Hindistan gibi ülkelerde melasın ekonomiye kazandırılması durumuna daha fazla odaklanılmıştır.

Melas, çeşitli sektörlerde farklı amaçlarla kullanılabilir. Özellikle melas fermante edilerek; etil alkol, karbondioksit, sitrik asit, ekmek mayası, monosodyum glutamat, itakonik asit, aseton ve butil alkol gibi ürünlerin üretilmesinde doğrudan değerlendirilmektedir. Buna ek olarak yenilebilir şurup, potasyum tuzu ve yanıcı gaz üretimi ile yol üst kaplamalarında kullanılan katran için katkı maddesi olarak, kireç ile karıştırılarak çimentolu harçlarda ve mineral arıtma işlemlerinde dehidrasyon maddesi olarak kullanılmaktadır (Solomon, 2011).

Ayrıca %50 şeker içeriğine sahip melas; doğrudan hayvan yemi, alkol üretimi, briket üretimi, sirke ve yemlik maya üretimi ile ilaç ve kozmetik sanayinde değerlendirilmektedir (Türk Şeker, 2020). Genel olarak melas, beton ve çimento teknolojisinde de su azaltıcı ve geciktirici katkı olarak kullanılmaktadır (Jumadurdiyev ve diğerleri, 2004).

2.3. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Tarımsal Atıklar

Ahşap esaslı kompozit levha veya malzeme üretiminde tarımsal atıklar, bitki lifleri ve ahşap olmayan lignoselülozik malzemeler alternatif hammadde kaynaklarıdır (Guntekin ve Karakuş, 2008). Lignoselülozik tarımsal hammadde kaynakları arasında; keten, kenevir, jüt, küspe, kozalak, saman ve tahıl sapları, kenaf, pamuk sapları, pirinç kabuğu, mısır koçanı, ayçiçeği, fındık ve fıstık kabuğu, hindistan cevizi ağacı ve kabukları, muz ağacı yaprak ve lifleri, çay yaprakları, kanola sapları, bambu parçaları ve lifleri, kahve kabukları, kivi sapları, palmye ve hurma ağacı yaprakları sayılabilir (Barbu ve diğerleri, 2014; Owodunni ve diğerleri, 2020). Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak kozalak ve takviye malzemesi olarak kenevir lifi kullanıldığından dolayı kozalak ve endüstriyel kenevir lifi hakkında bilgiler verilmiştir.

2.3.1. Kozalak

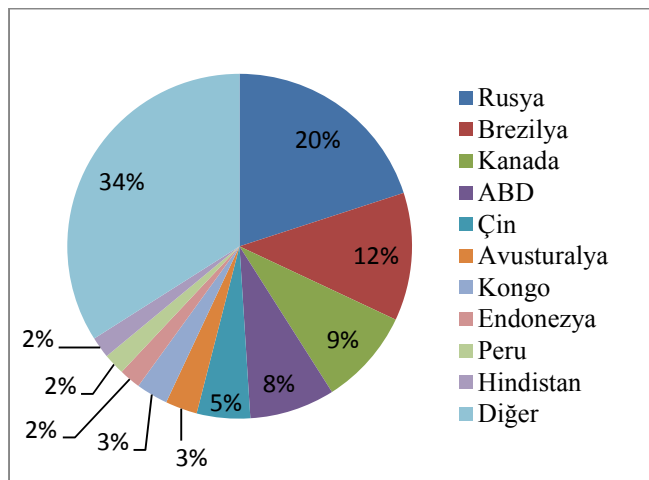
Kozalak, iğne yapraklı ağaçların tohumlarını bulundurduğu bir bitkisel organ olarak tanımlanmaktadır. Kozalaklar, farklı iğne yapraklı ağaç türlerine göre şekilleri ve büyüklükleri farklılıklar gösterse bile kimyasal bileşenleri ve içyapıları hemen hemen aynıdır (Öztürk ve diğerleri, 2017). Çam kozalakları yüksek miktarda selüloz, lignin ve hemiselüloz bileşenlerini içermektedir (Altundoğan ve diğerleri, 2016).

2.3.2. Çam ağacı ve çam kozalağı kullanım alanları

Çam ağacı, özellikle kuzey yarım kürede, Avrupa, Asya, Kuzey Afrika, Kuzey Amerika ve Orta Amerika ormanlarında çok yaygın görülen bir ağaç türüdür (Keeley, 2012). Genellikle çam ağaçları, türüne göre 10 m ile 30 m boyları arasında olup, yaprak dökmeyen, sert hava koşullarına dayanıklı, iğne yapraklı, reçineli ve kozalaklı ağaç türüdür (INC, 2019). Çam ağaçlarının birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle çam ağaçları, İspanya, Portekiz ve İtalya’da çam fıstığı üretimi için yetiştirilmektedir. Ayrıca, dünya genelinde kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi için yetiştirilen çam ağacı fidanlık ekim alanları bulunmaktadır. Ancak, çam ağaçlarının birçok kullanım alanı olmasına karşın bu ağaçlardan elde edilen kozalağın potansiyel olarak yenilenebilir bir kaynak olarak değerlendirilmediği görülmektedir. Özellikle kağıt üretimi için yetiştirilen çam ağaçlarından çok miktarda kozalak üretilmekte ve bu kozalaklar kurutularak kışın yakacak olarak kullanılmaktadır (Ayrılmış ve diğerleri, 2009).

2.3.3. Dünya orman varlığı ve Türkiye çam ormanı alanı

2020 yılı verilerine göre yeryüzünün %30,8’i ormanlar ile kaplı olup dünyadaki toplam orman alanı 4,06 milyar hektardır. Dünyadaki ormanlık alanların yarısından fazlası Rusya, Brezilya, ABD, Kanada ve Çin’de yer alırken yine bu ormanlık alanların ~%66’sı on ülkede bulunmaktadır (FAO, 2020). Şekil 2.8’de küresel ölçekte hektar bakımından en fazla ormanlık alana sahip olan on ülkenin payları gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Küresel ölçekte hektar bakımından en fazla ormanlık alana sahip olan ülkelerin payları (%) (FAO, 2020)

Türkiye Ormancılar Derneği çalışma raporunda yer alan 2015 yılı verilerine göre, Türkiye'nin orman alanı yaklaşık 22 milyon hektardır. Ülkemiz, yaklaşık 78 milyon ha yüzey alanına sahip olup bu yüzey alanının ~%29'u ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, Türkiye ormanlarının kapladığı alan bakımından; %25,11'ini kızılçam, %19'unu karaçam, %6,80'ini sarıçam ve %0,72'sini fıstık çamı iğne yapraklı ağaç türleri oluşturmaktadır (TOD, 2019).

2.4. Endüstriyel Kenevir (*Cannabis sativa*)

Endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa*); lifi, tohumu, yağı ile biyoyakıt veya tıbbi ilaç üretimi için yetiştirilen bir bitkidir (Kaiser ve diğerleri, 2015; Anderson ve diğerleri, 2019). Yasalara göre endüstriyel kenevir, esrar etken maddesi olan tetrahidrokanabinol (THC)'ü %0,3'den az oranda içeren kenevir olarak tanımlanmaktadır (Anderson ve diğerleri, 2019). Literatürde kenevir familyasının 3 alt türü bulunmaktadır. Bunlar;

- *Cannabis sativa*,
- *Cannabis ruderalis*,
- *Cannabis indica*'dır (Schilling ve diğerleri, 2020).

Cannabis sativa, en çok yetiştirilen ve lif üretiminde kullanılan kenevir türüdür (Anderson ve diğerleri, 2019). Yetiştirme koşullarına bağlı olarak hektar başına 4~12 ton arası kenevir bitkisi üretilmektedir. Öte yandan üretilen kenevirin ~%35'i kadarından veya hektar başına düşen endüstriyel kenevirden 1,4~4,2 ton kenevir lifi elde edilmektedir (BCMAF, 1999). Resim 2.3'te demetler halinde sargılanmış endüstriyel kenevir lifi gösterilmektedir.



Resim 2.3. Endüstriyel kenevir lifi görünümü

2.4.1. Dünyada ve Türkiye’de endüstriyel kenevir üretim yerleri ve üretim miktarı

Endüstriyel kenevir, Orta Asya kökenli olup insanlar tarafından bilinen en eski evcilleştirilmiş bitkilerden biridir. M.Ö. 5000~4000 yıllarından itibaren kenevir bitkisinin farklı kısımlarının; eğirme, dokuma, kağıt yapımı, tohum, hayvan yemi, tıbbi ve sağlık amaçlı kullanıldığı görülmektedir (Karche ve Singh, 2019).

Dünyada başlıca kenevir üretim bölgeleri; Çin, Avrupa ve Kanada’dır (Salentijn ve diğerleri, 2015). Endüstriyel kenevir 40’dan fazla ülkede tarım ürünü olarak yetiştirilmektedir. En büyük kenevir üreticisi ülkelerden bazıları; Çin, Kanada, Fransa, Şili, Güney Kore, Ekvador, Hırvatistan, Çek Cumhuriyeti, Moğolistan, Romanya ve Rusya’dır. 2019 yılında küresel çapta kenevir yetiştirme pazar büyüklüğü ~124 milyar dolar olarak belirtilmektedir. 2020~2027 yıllarında ticari kenevir pazarının ~%14 büyüme gerçekleştirmesi beklenmektedir. Bu pazar büyümesinin temel faktörleri, kenevirin tıbbi amaçlı kullanımının artması ve kenevir yetiştiriciliği ile ilgili yasal düzenlemelerin genişlemesi olarak görülmektedir (GVR Raporu, 2021).

2017 yılı verilerine göre küresel ölçekte kenevir lifi üretiminin %28’i Çin, %25’i Kuzey Kore ve %16’sı Hollanda ülkeleri tarafından gerçekleştirilmiştir (ZMO, 2019). Çizelge 2.3’te bazı başlıca kenevir bitkisi üretici ülkelerin 2018 yılına ait kenevir lifi ve tohumu üretim miktarları gösterilmektedir. Çizelge 2.3’e göre, 2018 yılında en yüksek kenevir lifi üretiminin Çin’de, en yüksek kenevir tohumu üretiminin ise Fransa’da gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 2.3. 2018 yılı kenevir üretici ülkelerin ürettikleri kenevir lifi ve tohum miktarları (Zhao ve diğerleri, 2021)

Ülke	Kenevir tohumu (ton)	Kenevir lifi (ton)
Fransa	125 362	1 283
Çin	11 822	12 623
Rusya	2 117	1 256
Şili	1 533	4 146
İspanya	750	20
Ukrayna	596	703
Macaristan	390	290
İran	198	-
Romanya	84	2 872
Polonya	28	51
Çekya	3	628
Güney Kore	-	14 891
İtalya	-	4 631
Japonya	-	1
Hollanda	-	13 851
Kuzey Kore	-	14
Avusturya	-	3 388
Dünya Ort.	142 883	60 657

Türkiye’de kenevir bitkisi üretiminin yapıldığı şehirler; İzmir, Antalya, Kayseri, Malatya, Samsun, Amasya, Bartın, Burdur, Çorum, Karabük, Kastamonu, Kütahya, Ordu, Rize, Sinop, Uşak, Tokat, Yozgat ve Zonguldak’tır (Aydoğan ve diğerleri, 2020). Çizelge 2.4’te Türkiye’de farklı yıllara ait üretilen kenevir lifi ve tohum miktarları gösterilmektedir. Çizelge 2.4 incelendiğinde, Türkiye’nin kenevir tohum ve lif üretiminde dünya ortalamasının altında kaldığı görülmektedir. Buna karşın, Türkiye’de son üç yılda hem kenevir tohumu hem de kenevir lifi üretiminde bir artışın olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.4. Türkiye farklı yıllara ait kenevir lifi ve tohum üretim miktarları (OTB Rapor, 2021)

Yıl	Kenevir tohumu (ton)	Kenevir lifi (ton)
2005	13	55
2010	7	10
2015	1	1
2018	3	7
2019	20	19
2020	273	9

2.4.2. Endüstriyel kenevirin kullanım alanları

Endüstriyel kenevir üreticileri, kenevir bitkisinin 25 000'den daha fazla üründe kullanıldığını iddia etmektedirler. Kenevir bitkisinin lifi, tohumu, yağı, sapı ve bitki dokusundan çok sayıda ürün elde edilmektedir (Anderson ve diğerleri, 2019). Özellikle bazı endüstriyel uygulamalarda sentetik lifler yerine hafif, yüksek mukavemetli ve dayanıklı olması nedeniyle kenevir lifi gibi doğal liflerin kullanımına artan bir ilgi bulunmaktadır (Kaya ve Öner, 2020; Kaiser ve diğerleri, 2015). Araçların tavan döşemeleri ve bazı kompozit parçaları ile bazı inşaat malzemeleri kenevir lifi içermektedir (Kaiser ve diğerleri, 2015). Avrupa Birliği'nde (AB) üretilen kenevir lifleri için en önemli pazarlar kağıt ve kağıt hamuru ile otomotiv endüstrisidir. Buna ek olarak AB'de üretilen kenevir liflerinin ~%5'i inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Karus ve Vogt, 2004). Çizelge 2.5'de endüstriyel kenevirin tohumu, yaprağı ve sapının farklı kullanım alanlarında değerlendirildiği gösterilmektedir. Buna göre endüstriyel kenevir lifinin çok sayıda kullanım alanı olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.5. Endüstriyel kenevir kullanım alanları (Crini ve diğerleri, 2020)

Bitkinin tamamı	Kenevir			
	Tohumu	Yaprağı	Uzun lif	Kısa lif
Kazan yakıtı	Kozmatik ve kişisel bakım ürünleri	Yüksek değerli ürün	Kağıt üretimi	İnşaat malzemeleri üretimi
Piroliz ham madde	Enerji, biyoyakıt	İlaç	Elyaf üretimi	Kağıt üretimi
	Küspe	Deterjan ve sıvılar	Tekstil ürünleri	Hayvancılık
	Yüksek değerli ürün	Zirai kimyasallar	Kompozit, otomotiv ürünleri	Enerji
	Gıda ve içecek ürünleri	Makyaj malzemesi	Yeni ürünler	Biyodizel, biyoyakıt
		Hayvancılık		

2.5. Formaldehit ve Polimer Ahşap Esaslı Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Tutkal Çeşitleri

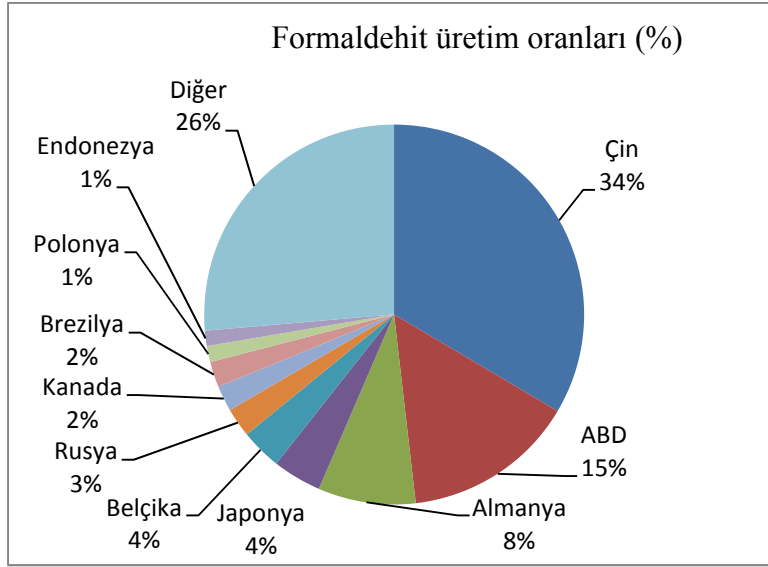
2.5.1. Formaldehit tanımı ve tarihçesi

Formaldehit (CH_2O), bir katalizör katkısı kullanılarak metan veya metanolün oksidasyonu ile üretilen bir maddedir. Formaldehit, oda sıcaklığında oldukça reaktif olan, yanıcı ve renksiz bir gazdır. Ayrıca bu madde; etanol, dietil eter, aseton ve su içinde çözünmektedir. Endüstride formalin olarak da bilinen formaldehit, %10 metanol stabilizatör içermekte ve genellikle %37 sulu çözelti halinde satılmaktadır (Salthammer ve diğerleri, 2010).

Formaldehit maddesi ilk olarak 1859'da Butlerow tarafından keşfedilmiştir. Keşfedilen formaldehitin özellikleri 1868 yılında Van Hoffman tarafından geliştirilmiştir. Ancak endüstriyel olarak formaldehit üretimi 1889 yılında Fransa ve Almanya'da gerçekleşmiştir (Fox ve diğerleri, 1985).

2.5.2. Dünyada formaldehit üretimi ve ülkelere göre dağılımı

2006 yılı verilerine göre, dünya çapında üretilen formaldehitin; %34'ü Çin, %15'i ABD ve %8'i Almanya tarafından üretilmiştir. Özellikle Çin, formaldehit endüstrisi üretim ve tüketiminin üçte birini gerçekleştirmektedir (Tang ve diğerleri, 2009). Diğer ülkelere ait formaldehit üretim oranları Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Dünya çapında bazı ülkelerin formaldehit üretim oranları (%) (Tang ve diğerleri, 2009)

2.5.3. Formaldehit kullanım alanları

Üretilen formaldehitin %50'den fazlası FF, ÜF, MF ve asetal reçinesi üretiminde kullanıldığı görülmektedir. Formaldehit reçineler bağlayıcı malzeme olarak; yonga levha, kontrplak, yalıtım malzemeleri ve dökümhane dekoratif laminat ürünleri, çeşitli cihazlar, duvar kalıp elemanları üretimi, çeşitli panel elemanlar, telefon, yemek takımı ürünlerinin üretimi ile kumaşlarda baskı işlemlerinde kullanılmaktadır. Buna ek olarak formaldehit; kauçuk, patlayıcı, boya, film, kozmetik malzeme üretiminde yer almaktadır. Ayrıca mumyalama ile çeşitli tıbbi ve dişçilik uygulamalarında da kullanıldığına rastlanmaktadır (Nelson ve diğerleri, 1986). Ayrıca genotoksik ve tahriş edici bir malzeme olarak bilinen formaldehit, böcek ve mikroorganizmaları öldürmesinden dolayı dezenfektan üretiminde de kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra benzinli ve dizel araçlarda yanma işlemi sonucunda açığa çıkan egzoz gazı ile sigara dumanında da formaldehit bulunmaktadır (Schlink ve diğerleri, 1999). Buna ek olarak formaldehit; plastik, ilaç, boya, parfüm üretiminde ve hayvan yemi, tohum koruma ajanı, vitamin ve tatlandırıcılarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Roba ve diğerleri, 2011).

2.5.4. Formaldehit malzemesinin insan sağlığına etkisi

Formaldehitin çok farklı endüstriyel ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu endüstriyel ürünler incelendiğinde, formaldehitin vücuda; solunum,

sindirim ve deri yoluyla nüfuz ettiği anlaşılmaktadır (İnci ve diğerleri, 2013). Klinik ve deneysel çalışmalar sonucunda, zehirli ve kanserojen bir madde olan formaldehitin, insan vücudunda alerjik reaksiyonların yanı sıra solunum sistemi, sinir sistemi, sindirim sistemi ve boşaltım sistemini de etkilediği belirlenmiştir (İnci ve diğerleri, 2013; WHO, 2002). Çizelge 2.6’da, formaldehit yoğunluğunun insan vücuduna etkisi açıklanmıştır.

Çizelge 2.6. En düşük ve en yüksek formaldehit miktarının insan vücuduna etkisi (İnci ve diğerleri, 2013).

Formaldehitin zehir etkisi	Formaldehit yoğunluğu (ppm)
Sinir Sistemi	0,05~1,05
Soluma sınır değeri	0,05~1,0
Gözde tahriş	0,05~2,0
Üst solunum yolu tahrişi	0,1~25
Akciğer ve alt solunum yolu tahrişi	5,0~30
Akciğer ödemi	50~100
Ölüm	≥ 100

Amerikan İş Sağlığı ve Güvenliği Dairesi (OSHA), formaldehitin zararlı etkilerine maruz kalan 52 adet riskli iş grubunu belirlemiştir. Buna göre, en çok risk altında olan meslek grupları aşağıda belirtilmiştir. Bunlar özetle;

- Formaldehit ve formaldehit katkılı ürünlerin üretiminde çalışan işçiler,
- Boya, vernik, cila veya kontrplak, MDF, sunta gibi yapıştırıcı imalatında veya formaldehit katkılı ürünlerin üretiminde çalışanlar,
- Tıbbi laboratuvar çalışanları,
- Dökümhane işçileri,
- Geri dönüşüm ve kâğıt ürünü üretimi prosesinde çalışanlardır (Aksakal ve diğerleri, 2005).

Formaldehit, endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılmasına karşın insan sağlığına oldukça zararlı olması nedeniyle kullanım miktarı ile ilgili bazı sınırlamalar bulunmaktadır.

2.5.5. Formaldehit malzemesi kullanımının sınırlandırılması

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından 2010 yılında oluşturulan iç mekân hava kalitesi yönetmeliğinde, 30 dakikalık periyodik ölçümlerde formaldehit etkisi sınır değeri $0,1 \text{ mg/m}^3$ (0,08 ppm) olarak belirtilmiştir. Bu yönetmelik 2010 ile 2013 yılları arasında yapılan bilimsel çalışmalar tarafından da desteklenmiştir. Böylece iç mekân hava kalitesi yönetmeliğinde belirtilen sınır değeri ile iç mekânlarda formaldehit salınımının insan vücudunda gözleri ve üst solunum yollarını tahriş etmesi engellenmiştir (Nielsen ve diğerleri, 2017). Buna ek olarak formaldehit, Avrupa Kimya Ajansı (ECHA) tarafından 2006 yılında yayımlanan 2006R1907/EC sayılı kimyasal elementlerin kayıt altına alınması, değerlendirilmesi ve kullanımının izne bağlanması ile ilgili yönetmeliğinde (REACH), kanserojenik madde kategori B1 olarak belirtilmiştir (REACH, 2006). Avrupa Birliği tarafından oluşturulan REACH yönetmeliğinin genel amaçları; çevre ve insan sağlığını olası kimyasal etkilerden korumak, alternatif deney yöntemlerini desteklemek, serbest olarak tek pazar alanı içerisinde kimyasal maddelerin dolaşımını sağlamak ve rekabeti sağlamaktır (İSO, 2012).

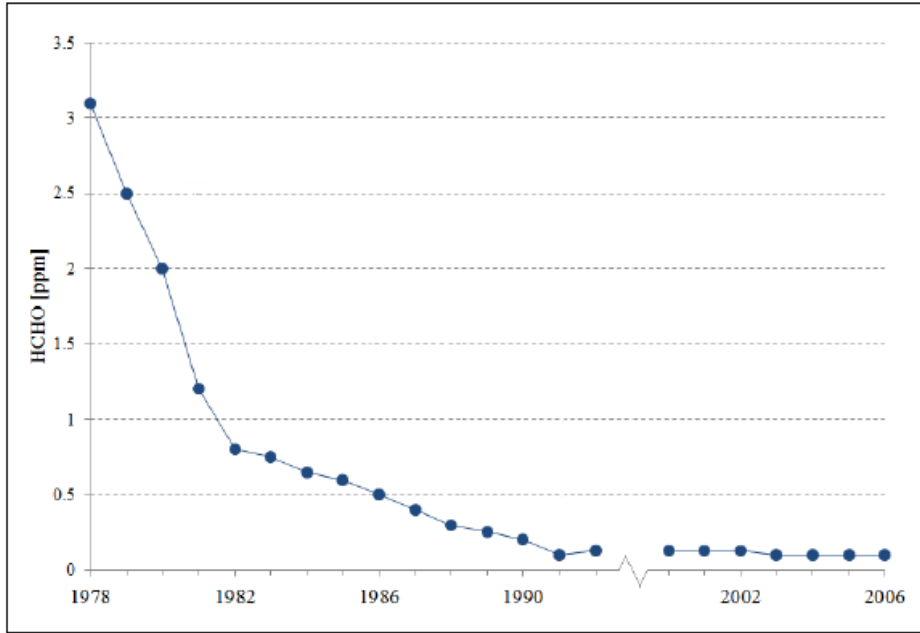
2.5.6. Formaldehit malzemesinin ahşap esaslı ürünlerde kullanımı

Formaldehit, daha çok orta yoğunlukta lifli levha (MDF), kontrplak ve yonga levha gibi ahşap esaslı levhaların üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan tutkalın üretiminde yer almaktadır. En yüksek oranda formaldehit salınımının MDF levhalarda gerçekleştiği görülmektedir. Ahşap esaslı levha veya ürünlerin kullanım alanlarında bir süre formaldehit salınımının devam etmesi nedeniyle bu formaldehit salınımının önceden belirlenmiş sınır değerleri arasında olması gerekmektedir. Bu sebeple de küresel piyasada AB veya Japonya gibi ülkelerde formaldehit katkılı veya formaldehit salınımı olan ürünler, formaldehit salınım miktarına göre kalite sınıflandırmasına tabi tutularak pazara sokulmaktadır (Subaşı ve diğerleri, 2017). Formaldehit salınımı, ahşap esaslı panel veya kereste ürünleri işleme sürecinde artmaktadır. Bu artış; ürünlerin kurutma, presleme ve termal hidroliz işleme süreci ile açıklanabilir. Yüksek ısıya maruz bırakılan ahşap malzemeden üretilen ahşap esaslı kompozit malzemelerde normal kullanım ömrü boyunca önemli derece formaldehit salınımı beklenmemektedir. Ancak ahşap malzemenin hiç ısıtılmamış veya çok az ısıtılmış işleme maruz kalması durumunda formaldehit salınımı tespit edilmektedir. Buna ek olarak, ahşap esaslı panel ve kerestelerde formaldehit emisyon seviyesi ağaç türü, nem, dış

sıcaklık ve depolama süresi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Salem ve Böhm, 2013).

2.5.7. Formaldehit salınımının azaltılması

Ahşap levha üreticileri, formaldehit içeren ahşap esaslı levhaların sınıflandırılması ve yeni salınım standartlarının belirlenmesi sayesinde daha düşük formaldehit salınımına sahip ürün üretimini sağlamaktadırlar (Athanassiadou ve diğerleri, 2009). Şekil 2.10'da, ahşap esaslı levhaların üretiminde kullanılan reçinelere ait formaldehit salınım değerleri gösterilmektedir. Buna göre, 1978~2006 yılları arasında levha üretiminde kullanılan reçinelere ait formaldehit salınımının oldukça azaldığı görülmektedir (Dettmer, 2013).



Şekil 2.10. 1978~2006 yılları arasında ahşap esaslı levha üretiminde kullanılan reçinelerin formaldehit salınım değerlerinin azalması (Dettmer, 2013).

Düşük formaldehit salınlı ahşap esaslı levha üretimi için bazı farklı reçine ve yöntemler kullanılmaktadır. Bu reçine ve yöntemler;

- Reçine karışımında düşük oranda amino plastik reçine kullanılması,
- Reçine karışımlarına formaldehit tutucu katkı katılması,
- Levha üretiminde kullanılacak nemli veya kuru ahşap malzeme üzerine formaldehit tutucu katkı katılması,

- Üretilen levhaların kaplanması, lamine edilmesi veya levhaların tabakalandırılarak bir difüzyon bariyerinin sağlanması,
- FF, difenilmetan diizosiyanat (pMDI), ÜF, düşük formaldehit salımlı ÜF veya bitkisel esaslı yan ürün olan tanen, soy, lignin ile melain veya epoksidize yağ gibi bitkisel yağlardan üretilmiş alternatif reçinelerin kullanılmasıdır (Athanassiadou ve diğerleri, 2009; Dettmer, 2013; Solt ve diğerleri, 2019).

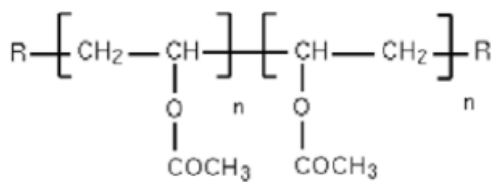
2.6. PVAc Tutkalı

2.6.1. PVAc tutkalının tanımı ve tarihçesi

Polivinil asetat homopolimeri; alkol, ester veya aromatik çözücüler içerisinde organik başlatıcı maddeler kullanılarak vinil asetat (VA) kimyasalının polimerize edilmesiyle üretilen, zehirsiz ve su beyazı renkli termoplastik sentetik bir reçinedir (Toxqui-Lopez ve diğerleri, 2006; Choi ve diğerleri, 2009; Meshram ve diğerleri, 2018).

VA monomeri, 1913 yılında Fritz Klatte tarafından Almanya’da keşfedilmiş ve sentezlenmiştir. Böylece Klatte, günümüz plastik ürünlerinin üretilmesi için önemli bir temel oluşturmuştur. Buna ek olarak Klatte ve diğerleri PVAc’nin selüloz ve tekstil ürünleri için değerli bir yapıştırıcı olduğunu ayrıca diğer polimer ve plastiklerle de uyumlu olduğunu belirtmişlerdir (Toxqui-Lopez ve diğerleri, 2006).

PVAc’nin kimyasal formülü $[C_4H_6O_2]_n$ şeklindedir (Keshavarz ve diğerleri, 2017). Polivinil asetat, ilgili sektör ve çoğu ticari firma tarafından kısaca PVAc olarak bilinmektedir (Ostad Ali Askari ve Shayannejad, 2015). Bununla birlikte PVAc; beyaz tutkal, formika tutkalı, plastik tutkal ve dispersiyon tutkalı gibi çeşitli isimler ile de tanınmaktadır (Can ve Önal, 2007). Şekil 2.11’de PVAc moleküler formülü gösterilmektedir.



Şekil 2.11. PVAc moleküler gösterimi (Ostad Ali Askari ve Shayannejad, 2015).

PVAc maddesi farklı üretim yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir. Bu yöntemler; VA çözeltisinin polimerize edilmesi, VA'dan süspansiyon polimerize işlemi ve VA'nın emülsiyon edilmesi yöntemleridir (MEB, 2012).

2.6.2. PVAc tutkalının avantaj ve dezavantajları

PVAc, özellikle ahşap işleme endüstrisinde kullanılan çeşitli polimerik bağlayıcılar arasında en çok tercih edilen ve geniş bir uygulama alanına sahip olan bir bağlayıcıdır (Gražulevičius ve diğerleri, 2003). Genel olarak PVAc bağlayıcısının avantajları; hızlı sertleşebilmesi, yüksek molekül ağırlığa sahip olması, selülozik bileşenler, seramik, beton ve cam gibi malzemeler ile mükemmel bağlayıcı özellik göstermesi, soğuk halde kolay uygulanabilmesi, kokusuz olması ve özellikle ahşap malzemesi işleme sürecinde kullanılan kesici aletleri köreltmemesidir (Altınok ve Kılıç, 2004; Das ve diğerleri, 2009). Ayrıca çapraz bağlı PVAc; ÜF, MF ve diizosiyanat reçinelere göre daha iyi sertlik, ısı ve nem direnci ve daha iyi bir yapışkanlık gösterebilmektedir (Conner, 2001). Buna karşın PVAc bağlayıcısının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Sıcaklık arttıkça mekanik dayanımı azalır,
- Su ile temasında yumuşar ve erir,
- Yük altında sünme miktarı fazladır (Conner, 2001; Altınok ve Kılıç, 2004; Can ve Önal, 2007).

2.6.3. PVAc tutkalının kullanım alanları

PVAc reçine daha çok bağlayıcı malzeme olarak farklı sektörlerde çeşitli uygulamalar da kullanılmaktadır. Genel olarak PVAc; ahşap, seramik, metal, kağıt ve kağıt kaplama, cam yapıştırıcısı, tekstil ürünleri, asetal ve polivinil alkol üretiminde kullanılmaktadır (MEB, 2012). Buna ek olarak; deri ürünlerde, duvar kağıdı yapıştırıcı ürünlerinde, ahşap kaplama, kağıt kaplama, döşeme bileşimi, harç ve beton katkı maddelerinde, kompozit zemin kaplama malzemelerinde, kompozit lifli elemanların birleşim yerlerinde doğrudan veya katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır (Das ve diğerleri, 2009). Ayrıca PVAc, geçme derzleri, kapı, pencere ve diğer ahşap esaslı ürünleri yapıştırmak için kullanılmaktadır (Gražulevičius ve diğerleri, 2003). Bunun yanı sıra PVAc, tutkal endüstrisinde üretilen tutkalın homojen kalmasını sağlayan katkı maddesi olarak ve latex boya üretiminde oldukça sık kullanılmaktadır (Wang ve diğerleri, 2017). Öte yandan PVAc, iç ve dış kapı

üretimi, kalıp imalatı, mimari ahşap işler, selülozik kaplamalar, plastik laminatlar, genel amaçlı ev ve iş yerlerinde sıkça kullanılmaktadır (Conner, 2001).

Ahşap esaslı levha üretiminde farklı reçinelerde kullanılmaktadır. Örneğin, sadece FF ve sadece izosiyanat reçine ile üretilen levhalarda, ÜF ile üretilen levhalara göre daha üstün özellikte ve daha ihmal edilebilir düzeyde formaldehit salınımı gerçekleşmektedir. Ancak levha üretiminde FF ve izosiyanat reçine kullanılması daha yüksek reçine maliyetine sebep olmuştur. Buna karşın bazı Amerikalı kontrplak üreticileri tarafından, ÜF yerine tamamen çapraz bağlı PVA kullanılması araştırılmıştır. Bu araştırmalarda, en uygun formülasyonda üretilen PVA'nın, üretim aşamalarında ÜF'ye göre hem farklı işleme ve üretim avantajları sağladığı hem de daha düşük formaldehit salınımı gerçekleştiği belirtilmiştir. Ancak reçine maliyetinin yine de bir dezavantaj olduğu da ifade edilmiştir (Myers, 1989).

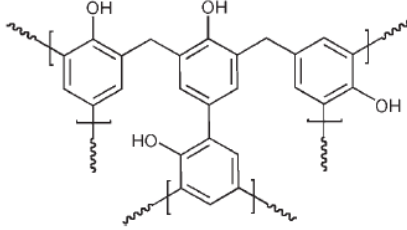
2.7. FF Tutkalı Tanımı ve Tarihçesi

FF, bir fenolün veya fenoller karışımının formaldehit ile reaksiyona girmesiyle elde edilen tarihteki ilk sentetik polimerdir (Saunders, 1973; Pyriadi ve Abdulameer, 2000). İlk kez 1872 yılında A. Bayer tarafından yapılan çalışmada fenol ve aldehitlerin reaksiyona girmesiyle reçineli maddeler elde edilmiştir. Bununla birlikte ilk başarılı FF ürünleri, 1907 yılında Baekeland tarafından ABD'de üretilmiştir. Baekeland, fenol (C_6H_5OH) ve formaldehit ($HCHO$) arasındaki reaksiyonun iki aşamalı gerçekleşebileceğini keşfetmiştir. Bu keşfe göre, fenol ve formaldehit maddeleri basınç altında ve yüksek sıcaklıklarda ($\sim 150^\circ C$) reaksiyona girdiğinde hızla sertleşen, erimeyen ve çözünmeyen FF üretilebilmektedir (Saunders, 1973; Saha ve Suman, 2017).

FF, termoset reçine (sıcakta sertleşen) grubunda olup ticari olarak “bakalit” adı ile bilinmektedir (Saha ve Suman, 2017; Gupta ve Chopra, 2019). FF üretiminde, fenol ve formaldehit maddelerinin reaksiyona girmesi üç aşamada açıklanabilir. Bu aşamalar sırasıyla;

- Fenol maddesine formaldehit katılması,
- Ön-polimer sentezi,
- Ön-polimerlerin çapraz bağ ile bağlanmasıdır.

Ön-polimer yapısı reaksiyonun pH değerine bağlıdır. FF polimerinin tam çapraz bağ oluşumu için ideal olarak 1 mol fenole 1,5 mol formaldehit katılması gerekmektedir (Crespy ve diğerleri, 2008). Şekil 2.12’de, çapraz bağlı FF polimerinin moleküler formülü gösterilmektedir.



Şekil 2.12. FF polimerine ait moleküler gösterim (Crespy ve diğerleri, 2008).

2.7.1. FF genel özellikleri

FF reçinesi genel olarak; neme karşı son derece dayanıklı ve yüksek mukavemetli olup delaminasyonu önler, ısıya karşı stabilitesini oldukça korur ve düşük başlangıç viskozite özelliklerine sahiptir. Bu özellikler kısmi olarak fenol reçinelerin doğal esnek yapısından kaynaklanmaktadır (Moubarik, 2009). FF reçine hemen hemen mükemmel bir bağlayıcı olmasından dolayı özellikle ağaç işleri ve plywood üretiminde kullanılmaktadır. Kür edilmiş FF reçinesi suya karşı oldukça dayanıklıdır ve özellikle dış mekân ürünlerinin dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır (Danielson ve Simonson, 1998). Buna ek olarak FF polimeri, ahşap esaslı ürünlerin termit ve mantara karşı direncini arttırmaktadır (Gusse ve diğerleri, 2006).

ABD’de FF reçine talebinin yaklaşık %60’ı orman ürünleri endüstrisinden gelmektedir. Finlandiya’da ise yaygın olarak FF esaslı yapıştırıcılar (toplam tüketimin %95’i) kullanılmaktadır (Mäkinen ve diğerleri, 1999; Conner, 2001).

2.7.2. FF kullanım alanları

FF, çeşitli endüstriyel sektörler tarafından katkı maddesi veya yapıştırıcı madde olarak farklı uygulamalarda kullanılmaktadır (Gupta ve Chopra, 2019). FF reçinesi, ahşap esaslı kontrplak, yönlendirilmiş yonga levha (OSB), lifli levha ve yonga levha kompozit

üretiminde ve kaplama uygulamalarında yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır (Paju ve diğerleri, 2009). Buna ek olarak, bu reçine tipi çeşitli endüstriyel alanlarda kalıplama karışımlarında, kaplamalarda ve alev geciktiricilerde de kullanılmaktadır (Fan ve diğerleri, 2014). Bunun yanı sıra FF elektrik iletkenliğinin olmaması ve ısıya karşı dayanımının yüksek olması nedeniyle; elektrik yalıtım malzemeleri, radyo ve telefon kılıfları ile mutfak aletleri üretiminde, boru şeklinde sap, çocuk oyuncakları ve çeşitli ateşli silahların üretiminde kullanılmaktadır (Solyman ve diğerleri, 2017). Ayrıca FF, elektrik ve otomotiv izolatörünün yanı sıra bazı ağır endüstriyel ürünler ile radyo ve tost makinesi gibi tüketici cihazları üretiminde de kullanılmaktadır (Zhang, 2018).

FF, fenolün formaldehit ile reaksiyonu ile oluşmaktadır. Ancak bu oluşumda; reaksiyon süresi, reaksiyon sıcaklığı, katalizör tipi ve formaldehitin fenole oranının değiştirilmesiyle de farklı özelliklere sahip yapışkan reçine sistemi üretilebilmektedir (Conner, 2001). FF reçinesi, asidik koşullar altında üretildiğinde novolak reçine, baz katalizörü kullanılarak üretildiğinde ise resol reçine elde edilmektedir (Pilato, 2010; Mindivan ve Gürses 2020).

2.7.3. Novolak fenol formaldehit

Novolak reçine, FF'nin; okzalik asit, sülfürik asit, hidroklorik asit, formik asit, aromatik sülfürik asit ve fosforik asit gibi asidik katalizör ile polimerize edilerek üretilen bir reçinedir (Pyriadi ve Abdulameer, 2000; Pizzi ve Ibeh 2014).

Novolak reçine üretiminde, asidik katalizör çeşitleri içerisinde daha çok sülfürik asit ve okzalik asit katalizör olarak kullanılır. Novolak reçine üretilirken ilk olarak, genellikle “ön-polimerizasyon” işleminde fenol/formaldehit oranı 1/0,8 oranındadır. Novolak reçinesi, polimer sentezi aşamasında karışım 2~4 saat boyunca 160 °C'ye kadar ısıtılarak yüksek sıcaklıkta suyun uzaklaştırılmasıyla elde edilir (Pizzi ve Ibeh, 2014). Son aşamada, üretilen reçineye heksametilen tetramin (HMTA) katılarak, kütleme işlemi esnasında reçinenin çapraz bağlanması kolaylaştırılır (Conner, 2001).

2.7.4. Resol fenol formaldehit

Resoller, fenol/formaldehit mol oranının 1,5'dan büyük olduğu ve bazik koşullar altında reaksiyona giren karışımdan elde edilmektedir. Resoller, daha sonra ~120 °C'ye kadar ısıtılarak çapraz bağ oluşumu sağlanabilir (Crespy ve diğerleri, 2008).

Ağaç işleri endüstrisi için kullanılan resol reçinelerde baz katalizör olarak en çok sodyum hidroksit kullanılır. Ancak sodyum karbonat, alkalin oksitler, hidroksitler, diğer baz katalizörler ve amonyak da kullanılabilir. Tipik resol reçine; %35~50 katı reçine ve fenol:formaldehit:sodyum hidroksit mol oranı ~1:2:0,5 olacak şekilde üretilmektedir (Conner, 2001).

Baekeland ve Lebach tarafından bazik ortamdaki FF üretimi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar; 1) A-aşaması veya resol, 2) B-aşaması veya resitol ve 3) C-aşaması veya resit üretimidir. A-aşaması başlangıç aşaması olup reçine yoğunlaşmakta ve alkol ortaya çıkmaktadır. Bu durumda resol reçine termoplastik haldedir. B-aşamasında ise çapraz bağlanma başlamaktadır. Reçine sıcak halde yumuşak iken soğudukça katılaştığı görülmektedir. C aşamasında da polimerizasyon oranı oldukça yüksek olup erime ve çözünme artık gözlemlenmemektedir (Pizzi ve Ibeh, 2014).

Resol reçinesi, yüksek maliyeti ve kararsızlığı sebebiyle genellikle doğrudan ahşap yapıştırıcısı olarak kullanılmaz. Bu sebeple alternatif olarak resol reçinesinin kürlenmesini arttırmak için resolsinol katılarak daha yoğun reçine elde edilmesi sağlanmaktadır (Li ve diğerleri, 2017). FF reçine üretiminde farklı katalizör kullanılarak üretilen resol ve novolak fenol formaldehit reçineler arasındaki farklar kısaca aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

- Novolak reçineler asidik katalizör ile üretilirken, resol reçineler bazik katalizör maddeler kullanılarak üretilir.
- Resol reçine üç farklı aşama ile üretilirken, novolak reçine ön-polimerizasyon metodu ile üretilir.
- Novolak reçine metilol içermez.
- Resol reçinelerin kullanım ömrü 1 yıldan az iken, novolak reçinelerin kullanım ömrü çok daha fazladır.
- Kürleme aşamasında resol reçineler sertleşirken su, novolak reçineler sertleşirken amonyak ortamdan uzaklaştırılır.
- Novolak reçineler resol reçinelere göre boyutsal olarak yaklaşık iki kat daha kararlı yapıdadır.
- Novolak reçineler kalıplanmış ürün üretiminde de kullanılır.
- Resol reçineler sıvı halde bulunurken novolak reçineler genellikle katı haldedir (Pizzi ve Ibeh, 2014).

2.8. Kolemanit ve Bor Bileşenleri

Bor bileşenleri, içeriğinde farklı miktarlarda bor oksit (B_2O_3) bulunan doğal bileşenlerdir. Dünya bor cevherinin %73,6'sı Türkiye'de olup doğada 230'dan fazla bor bileşeni çeşidi bulunmaktadır (Eti Maden Sektör Rapor, 2021). Bor bileşenleri arasında; tinkal (boraks), kolemanit, üleksit ve kernit ticari önemi olan ve Türkiye'nin de önemli rezervlere sahip olduğu bor bileşenleridir. Türkiye'de çıkartılan bor bileşenleri; sodyum bileşenli tinkal, kalsiyum bileşenli kolemanit ile kalsiyum ve sodyum bileşenli üleksittir (Sevim ve diğerleri, 2017; Eti Maden-a, 2021). Çizelge 2.7'de, ticari öneme sahip olan bor bileşenlerinin kimyasal formülü ve bor oksit (B_2O_3) içeriği gösterilmektedir.

Çizelge 2.7. Ticari öneme sahip bor bileşenleri ve B_2O_3 içeriği (Eti Maden Sektör Raporu, 2021)

Bor bileşeni	Kimyasal formül	B_2O_3 (% ağırlıkça)
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8
Tinkal (Boraks)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5
Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43,0
Kernit	$Na_2B_{14}O_{29}.4H_2O$	51,0
Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50,5
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{21}.7H_2O$	49,8

2.8.1. Dünyada ve Türkiye'de bulunan bor rezervleri

Dünyanın en büyük kolemanit, üleksit ve tinkal bor bileşeni yatakları Türkiye'de bulunmaktadır. Tüm ülkeler, kolemanit üretimi açısından tamamen, üleksit üretimi açısından ise kısmi olarak Türkiye'ye bağımlı haldedir (Helvacı, 2004). Türkiye'de farklı il ve ilçelerde bor bileşenleri çıkarılmakta ve işlenmektedir. Çizelge 2.8'de farklı il ve ilçelerde en fazla işlenmekte olan bor bileşeni çeşidi ve toplam bor bileşeni rezerv miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 2.8. Türkiye il ve ilçelerinde en fazla işlenen bor bileşenleri ile rezerv miktarları (Güyagüler, 2001; Helvacı ve Palmer, 2017; Eti Maden Sektör Raporu, 2021).

İl - İlçe	En fazla işlenen bor bileşeni	Rezerv miktarı (Ton)
Kütahya - Emet	Kolemanit, Üleksit (Yan ürün)	1 804 886 171
Bursa - Kestelek	Kolemanit, Hidroborasit, Pandermit, Üleksit (Yan ürün)	5 254 923
Eskişehir - Kırka	Tinkal, Kernit (Yan ürün)	815 398 134
Balıkesir - Bigadiç	Kolemanit, Üleksit (Yan ürün)	618 761 479
Toplam		3 244 300 707

Resim 2.4'te Kütahya-Emet ilçesinde bulunan açık bor madeni gösterilmektedir.



Resim 2.4. Kütahya-Emet bor madeninin görünümü

Dünyada bor yataklarına genel olarak 3 bölgede rastlanılmaktadır. Bu bölgeler;

- Türkiye'yi de kapsayan Güney-Orta Asya orojeni,
- Güney Amerika And Dağı Bölgesi,
- Amerika, Güney-Batı Kaliforniya-Mojave Çölü bölgesidir (Buluttekin, 2008).

Çizelge 2.9'da, 2020 yılına ait Dünya bor rezervleri verilmiştir. Bor üretim ve ticaretinin büyük bir kısmı Türkiye ve Amerika'ya ait şirketler tarafından yapılmaktadır (Eti Maden Sektör Raporu, 2021).

Çizelge 2.9. 2020 yılı itibariyle ülke bor rezervleri (Eti Maden Sektör Raporu, 2021)

Ülke	Rezerv payı (%)	Toplam rezerv (Bin ton)
Türkiye	73,6	956 000
Rusya	7,7	100 000
ABD	6,2	80 000
Çin	2,8	36 000
Şili	3,2	41 000
Kazakistan	1,2	15 000
Sırbistan	1,6	21 000
Bolivya	1,5	19 000
Peru	1,7	22 000
Arjantin	0,7	9 000
Toplam	100	1 299 000

Bor bileşeni ihracatında, Türkiye daha çok ham haldeki boru ihraç ederken, ABD ise tinkal ve perborat gibi katma değeri yüksek bor bileşenlerini ihraç etmektedir (Buluttekin, 2008).

2.8.2. Kolemanitin genel özellikleri

Kolemanit, monokristal yapıya sahip ve genellikle borik asit üretiminde kullanılan en yaygın bor bileşenlerinden biridir (Gür, 2007). Kolemanit cevherine kurak iklime sahip bölgelerde playa göl kenarı veya tuz göllerinde rastlanılmaktadır. Kolemanit görünüm olarak; camsı, beyaz, renksiz, şeffaf veya yarı şeffaf, şekil olarak eş boyutlu ve kısa prizmatik, kristal formu sayesinde diğer bor minerallerinden daha sert olup genel olarak 4,5 sertliğe ve 2,42 g/cm³ yoğunluğa sahiptir (MTA, 2020).

2.8.3. Atık kolemanit oluşumu ve atık barajında depolanması

Türkiye’de bor bileşeni işleme sürecinde kolemanit öğütüldükten sonra aşındırma ve yıkama+sınıflandırma metodu ile zenginleştirilmektedir. Kolemanit zenginleştirme sürecinde önemli miktarda ince ve iri taneli killi ve kolemanit içeren atıklar oluşmakta ve bu atıklar sulu olarak atık barajlarına iletilerek depolanmaktadır. Bu durum, depolama

sorunlarının yanı sıra çevresel sorunlara ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Uçar ve diğerleri, 2011; Sevim ve diğerleri, 2017).

Kütahya Emet Bor İşletmesinde kolemanit cevheri zenginleştirme sürecinde %38~45 bor oksit içeren konsantreler üretilirken, işletmenin teknoloji seviyesi gereği %17~24 bor oksit içeren atıkları atık barajında depolanmaktadır. Atıklar kamyon vasıtası ile veya sızdırmaz bir drenaj kanalı ile atık barajına gönderilmektedir (Erkan ve diğerleri, 2003). Şekil 2.5'te Kütahya-Emet Bor İşletme tesisi içerisinde yer alan bir atık barajı gösterilmektedir.



Resim 2.5. Kütahya Emet Bor Tesisi atık barajının görünümü

2.8.4. Bor kullanım alanları

Bor bileşenlerinin, ilk olarak 4000 yıl önce değerli metalleri işlemede kullanıldığı görülmektedir (Helvacı ve Palmer, 2017). Bor bileşenleri, antik Mısır ve Roma'da cam üretiminde ve mumyalamada kullanılmıştır. Günümüzde bor bileşenleri; cam ve seramik, tekstil, temizlik ürünleri, tarım ve alev geciktirici gibi çeşitli ürünlerin üretimi için farklı sektörlerde kullanılmaktadır (Tunç ve diğerleri, 2007). Dünyada üretilen bor bileşiklerinin ~%10'u doğrudan, kalan %90'ı ise işlenerek kullanılmaktadır. Bor bileşenlerinin hammadde, işlenmiş veya son ürün olarak 250'den fazla kullanım alanına sahip olduğu ve en az 200 kullanım alanında alternatifsiz olduğu belirtilmektedir (Güyagüler, 2001). Türkiye'de çoğunlukla bor ürünleri; %36 cam, %31 seramik, %9 deterjan ve temizlik

ürünleri, %7 tarım, %4 tutkal ve %14 diğer alanlarda kullanılmaktadır. Türkiye'deki bor talepleri ETİ maden işletmeleri tarafından karşılanmaktadır (Eti Maden-b, 2021). Çizelge 2.10'da bor bileşenlerinin bazı kullanım alanları ve kullanım yerleri açıklanmıştır.

Çizelge 2.10. Bor bileşenleri kullanım alanı ve kullanım yerleri (Eti Maden-b, 2022)

Kullanım alanı	Kullanım yeri
Temizlik	Deterjan üretimi, kişisel bakım ürünleri, ev ve sanayi tipi temizleyici malzeme üretimi
Metalürji	Çelik üretimi, sert ve aşınmaya dayanıklı malzeme ve yüksek ısıya dayanıklı malzeme üretimi
Seramik	Seramik sır ve emaye üretiminde katkı maddesi, seramik karo ve dekorasyon ürün üretimi
Ahşap koruma	Alev geciktirici katkı
Cam	Cam içerikli ürün üretimi, güneş enerji sistemleri, cam yünü üretimi
Yalıtım	Isı, ses ve yangın yalıtım malzemesi üretiminde
Tarım	Verim arttırıcı katkı maddesi
Sağlık	Kanser hastalığı, alerjik ve kemik hastalıkları tedavisinde
Enerji	Yakıt pili üretimi, metal yüzey temizleme işlemleri ve atık sulardan ağır metallerin temizlenmesi işlemleri
Diğer	Çimento, nükleer uygulamalar, otomobil sektörü, füze ve uçuş yakıtı, nanoteknoloji, fiber optik, patlayıcı madde üretimi, kauçuk ve plastik üretimi, fotoğrafçılık, zımpara ve aşındırıcı malzeme üretimi

2.9. Kompozit Malzeme Üretiminde Bitkisel Atıkların Kullanılması İle İlgili Önceki Çalışmalar

Tigabe ve diğerleri (2021), biyo bazlı yonga levha üretiminde talaş, pirinç kabuğu, jüt lifleri ve PVAc reçine kullanılarak hazırlanan kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, kompozit numuneler %5~30 oranlarında jüt lifleri ile üretilmiştir. Kompozit numunelerde en yüksek fiziksel ve mekanik özellikler, %5 PVAc ve %15 jüt lif içeren numunelerde elde edilmiştir. Numunelerde lif miktarı ve bağlayıcı içeriği arttıkça yoğunluk ve eğilme dayanımı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, numunelerde lif miktarı arttıkça su emme oranının arttığı, bağlayıcı konsantrasyonu arttıkça ise numunelerin su emme oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bağlayıcı konsantrasyonun %30'u aşması durumunda ise, PVAc miktarı arttıkça kompozit numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri azalmaktadır. Bu azalma, kompozit malzeme özelliklerinin reçine özelliklerine bağlı olması ile açıklanmıştır.

Jawad ve diğerleri (2022) yaptıkları çalışmada; talaş, hurma yaprağı lifi ve PVAc reçine ile yonga levha üretmişlerdir. Çalışmada, levha numuneler hem ince talaş hem de kaba talaş ile hazırlanmış olup numune karışımlarına talaş ağırlığının iki katı oranında PVAc katılmıştır. Sonuçta, en yüksek su emme oranını kaba talaş ile üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Ayrıca levha numunelerde hurma yaprağı lifi oranı arttıkça numunelerin çekme ve eğilme dayanımlarının da arttığı belirlenmiştir. Üretilen yonga levha numunelerin P1 sınıfında yer aldığı belirtilmiştir.

de Melo Barbosa ve diğerleri (2022) yaptıkları araştırmada; açai tohum atığının polimer kompozit malzeme üretiminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada, açai tohumu atıkları beş farklı tane boyutunda öğütülmüştür. Kompozit numuneler, farklı tane boyutundaki tohum atıkları ve farklı oranlarda poliüretan esaslı bağlayıcı kullanılarak üretmişlerdir. Sonuçta, kompozit numunelerde en iyi mekanik sonuçların en küçük tane boyutu ile hazırlanan numunelerden elde edildiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, kompozit numunelerde bağlayıcı ile dolgu malzemesi arasında yapışma kusurlarının olduğu belirtilmiştir.

Zelege ve Rotich (2021) yaptıkları çalışmada; talaş, muz lifi ve PVAc reçine ile kompozit asma tavan malzemesi üretmişlerdir. Çalışmada, numune üretiminde bilgisayar yazılımı kullanılmış ve %40 talaş, %40 PVAc reçine ve %20 muz lifi en uygun malzeme oranları olarak belirlenmiştir. Bu kompozit numunelerin çekme ve eğilme dayanımları sırasıyla 12,54 MPa ve 5,13 MPa olarak belirlenmiştir. En uygun oranlara kadar karışımdaki talaş, lif ve reçine miktarı arttıkça kompozit numunelerin çekme ve eğilme dayanımı değerleri artış göstermiştir. Ancak numune üretiminde en uygun oranlardan daha fazla talaş, lif ve reçine kullanılması halinde kompozit numunelerin çekme ve eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen kompozit malzemenin çevre dostu olduğu ve asma tavan malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Chaydarreh ve diğerleri (2021) yaptıkları çalışmada, yağ üretimi için yetiştirilen çay yağ kamelya bitkisi kabuklarının yonga levha üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, yonga levha üretimine kabuk/talaş oranı, bağlayıcı oranı, kalıplama basıncı, sıcaklığı ve süresinin etkisini tespit etmişlerdir. Sonuçta, %50 kamelya bitki kabuğu+%50 talaş ile %8 pMDI bağlayıcı kullanılan ve kalıplama basıncının 4 MPa, kalıplama sıcaklık ve süresinin 180 °C ve 5 dakika olduğu üretim şartlarında, EN standartlarına uygun yonga

levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Yonga levha üretiminde yüksek kalıplama sıcaklığı ve süresinin levha özelliklerini negatif yönde etkilediği görülmüştür. Üretilen levhaların, eğilme dayanımı değerinin 13,4 MPa, kalınlığa şişme değerinin ise %14 olması sonucunda EN 312 standardına göre P2 ve P3 levha sınıflarında yer aldıkları belirtilmiştir.

Lim ve diğerleri (2021) yaptıkları araştırmada, atık Hindistan cevizi lifleri, ÜF ve iki farklı tutkal kullanarak yonga levha üretilmesini incelemişler ve üretilen levhaların özelliklerini Japon Standardına (JIS) göre belirlemişlerdir. Çalışmada, %15 oranında bağlayıcı kullanılarak 15 dakika boyunca, 2,1 MPa basınç altında ve 140 °C basınç sıcaklığındaki üretim şartlarında numuneler hazırlanmıştır. Sonuçta, UF bağlayıcılı numunelerde ~%16 kalınlığa şişme, ~%37 su emme ve ~12 MPa eğilme dayanımı değeri elde edildiği ve JIS standardı sınır değerlerinin sağlandığı ifade edilmiştir.

Oktay ve diğerleri (2021), iç mekân için yonga levha üretilmesinde mısır nişastası-mimoza tanen-şeker biyo esaslı bağlayıcı karışımının kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, 7 dakika boyunca 200 °C basınç sıcaklığı altında farklı oranlarda nişasta/tanen/şeker içeren levha numuneler hazırlanmış ve UF kullanmadan çapraz bağ oluşturabilen bir bağlayıcının sentezlendiği ifade edilmiştir. Bu bağlayıcı ile 761 kg/cm³ yoğunlukta ve ~11 MPa eğilme dayanımına sahip EN 312 standardına göre P2 sınıfında yonga levha üretilmiştir.

Tawasil ve diğerleri (2021), hindistan cevizi lifi esaslı yonga levha üretimi için gereken en uygun basınç sıcaklığı, bağlayıcı miktarı ve talaş/Hindistan cevizi lifi oranı üretim koşullarını belirlemişlerdir. Çalışmada, basınç sıcaklığı 140~180 °C, bağlayıcı miktarı ağırlıkça %6~10 ve lif oranı %0~100 olan levhalar üretilmiştir. Sonuçta, BS EN 312 standardına göre levhanın en uygun üretim koşulları; basınç sıcaklığı 160 °C, bağlayıcı miktarı %8 ve Hindistan cevizi lifi oranı %70~100 olup, bu levhaların P3 sınıfında olduğu ifade edilmiştir.

Tasdemir ve diğerleri (2019), kompozit panel üretiminde atık portakal kabuğunun kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak %95 ÜF ve %5 FF kullanılmış ve eğilme, su emme ve LOI deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, polimerik bağlayıcı arttıkça eğilme dayanımı ve LOI arttığı, su emme oranının ise önemli derecede azaldığı belirlenmiştir.

Ercan (2019), atık yer kabuğu fıstığının yonga levha üretiminde kullanılmasını araştırmıştır. Çalışmada, odun talaşı yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer fıstığı kabuğu ve 3 farklı tutkal kullanılarak 72 adet levha numuneler üretilmiştir. Sonuçta, en uygun yer fıstığı kabuğu oranının %25 olduğu, kabuk miktarı arttıkça yanma süresinin kısaldığı, formaldehit emisyonunun ve sertliğin azaldığı, kabuk miktarı azaldıkça ise vida tutma direncinin azaldığı ve elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir.

Sahin ve diğerleri (2017), atık şeftali kabuğu ve cam tozu kullanarak hazırladıkları panellerin mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, üretilen numunelere kalıplama basıncı, sıcaklık ve tane boyutunun etkileri incelenmiştir. Sonuçta, partikül boyutu büyüdükçe eğilme dayanımının azaldığı, panel üretimi için en uygun sıcaklığın 120 °C olduğu ve kalıplama basıncı arttıkça su emme kapasitesinin azaldığı belirtilmiştir.

Keskin ve diğerleri (2015), ahşap esaslı panel üretiminde haşhaş kabuğunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, çam talaşı, haşhaş kabuğu ve ÜF ile panel numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde şişme, eğilme dayanımı, LOI ve formaldehit emisyonu deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, haşhaş kabuğu miktarı azaldıkça formaldehit emisyonu ve eğilme dayanımının arttığı, şişme ile oksijen indeksinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ahşap esaslı panel üretiminde %25 haşhaş kabuğu kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir.

Şahin (2006), Antep fıstığı kabuğunu kullanarak polimer kompozit malzeme üretilmesini araştırmıştır. Çalışmada numuneler; Antep fıstığı kabuğu, ÜF, FF ve yanma geciktirici katkı olarak uçucu kül (UK) malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Sonuçta %50 oranında ÜF kullanımında en yüksek eğilme direncini sağladığı, %10 UK'nin yanma direncini oldukça arttırdığı ve FF kullanımının su emme kapasitesi azalttığı belirtilmiştir.

Nemli ve Aydın (2007), çam ağacı iğne yapraklarından panel üretimini araştırmışlardır. Çalışmada, çam iğne yaprağı, ağaç talaşı, ÜF ve amonyum klorür kullanarak üç katmanlı panel numuneler hazırlanmıştır. Sonuçta, iğne yaprak oranı arttıkça iç bağ dayanımı ile 2 ve 24 saat sonra şişme miktarları ve elastisite modülünün azaldığı tespit edilmiştir.

Nemli ve diğerleri (2003), kivi sap ve budama atıklarının panel üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, endüstriyel ağaç talaşı, kivi sap ve budama

atıkları, ÜF ve %1 oranında amonyum klorür kullanılarak panel numuneler hazırlanmıştır. Sonuçta, numunelerde kivi sap ve budama atık oranı arttıkça; numunelerin şişme miktarının arttığı ve elastisite modülünün azaldığı tespit edilmiş olup levha üretiminde kivi sap ve budama atıklarının kullanımının uygun olmadığı ifade edilmiştir.

Yang ve diğerleri (2003), pirinç samanı (sap ve yaprak) ve talaş kullanarak ahşap esaslı yalıtım paneli üretimini araştırmışlardır. Çalışmada, 10/90, 20/80 ve 30/70 oranında pirinç samanı/talaş yer değiştirmiş ve ÜF bağlayıcılı paneller hazırlanmıştır. Sonuçta; %20 pirinç samanının en düşük eğilme dayanımını verdiği ve pirinç samanı uzunluk ve dağılımının dayanıma etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca 8000Hz lik ses yutucu değerine ulaşılmasından dolayı iç mekânlarda ses yalıtımı için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Ntalos ve Grigoriou (2002), asma budama atıklarının levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numuneler üç tabakalı olarak hazırlanmış olup üst ve alt yüzeyler endüstriyel odun talaşı ve asma budama atıkların karışımından, orta tabaka ise %100 asma budama atıklarından üretilmiştir. Numuneler 5 dakika basınç altında tutularak 180 °C sıcaklıkta hazırlanmıştır. Sonuçta, her bir tabaka ile üç tabakalı levhalarda, asma budama atığı miktarı arttıkça elastisite modülünün düştüğü, şişme kalınlığının ise göreceli olarak çok değişmediği belirtilmiştir.

Fiorelli ve diğerleri (2012), Hindistan cevizi lifinin panel üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, ÜF ve iki farklı yoğunluğa sahip Hindistan cevizi yağlı poliüretan bağlayıcılı panel numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, Hindistan cevizi yağlı poliüretan ile üretilen panellerin su emme miktarı ile şişme kalınlığının azaldığı ve elastisite modülünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna paralel olarak Hindistan cevizi lifi, yüksek yoğunluklu Hindistan cevizi yağlı poliüretan veya ÜF ile daha ekonomik bir panel üretilebileceği ifade edilmiştir.

Guler ve diğerleri (2008), fıstık kabukları ve Avrupa karaçam ağacı talaşı karışımı ile ahşap esaslı levha üretilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, fıstık kabukları ve ağaç talaşı %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirerek numuneler hazırlanmıştır. Sonuçta, numunelerde fıstık kabuğu miktarı azaldıkça elastisite modülünün ve iç yapışmanın arttığı, su emme oranı ve kalınlığa şişmenin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca panel üretimi için %25 fıstık kabuğu kullanılmasının daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Taşdemir ve diğerleri (2019), atık hurma çekirdekleri, nane lifi ve ÜF kullanarak üretilen kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, reçine/dolgu maddesi oranları 1/1, 1/2, 1/3 ve 1/4 olacak şekilde hazırladıkları kompozit levhalar üzerinde; LOI, mekanik dayanımı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, reçine miktarı arttıkça; LOI değeri ve mekanik dayanımın arttığı, su emme miktarının ise göreceli olarak çok değişmediği belirlenmiştir. Ayrıca nane lifinin kompozit levhaların LOI değerini azalttığı ve mekanik dayanımı arttığı tespit edilmiştir.

Gürü ve diğerleri (2015), pirinç kabuğundan üretilen panellerin yüksek ısıya karşı dayanımını ve yanmazlık özelliğinin geliştirilmesini incelemişlerdir. Çalışmada, ağırlıkça d/b oranı 65/50, 75/50, 80/50, 85/50 ve 95/50 olacak şekilde ürettikleri numunelerin eğilme dayanımı, sertlik ve LOI değerleri belirlenmiştir. Sonuçta, 75/50 oranında en yüksek eğilme dayanımının olduğu, pirinç kabuğu arttıkça LOI değerinin arttığı ve yanma sıcaklığının ~500 °C'ye kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Pirayesh ve diğerleri (2012), ceviz kabuklarının ahşap esaslı levha üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, dolgu maddesi olarak ceviz kabuğu ve endüstriyel ağaç talaşı, bağlayıcı olarak ÜF ve sertleştirici olarak %1 amonyum klorür (NH_4Cl) ile sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak numuneler üretilmiştir. Sonuçta, panel numunelerde ceviz kabuğu miktarı arttıkça iç yapışma, eğilme dayanımı ve elastisite modülünün azalırken şişme ve su emme miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Azizi ve diğerleri (2011), buğday saman sapları ve atık talaş tozu ile hazırlanan panellerin özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, buğday saman sapları ile atık talaş tozu %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirerek ve 140 °C ile 170 °C iki farklı pres sıcaklığında numuneler hazırlanmıştır. Sonuçta, buğday sapı miktarı arttıkça iç yapışma, eğilme dayanımı ve elastisite modülü ile şişme ve su emme oranının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca pres sıcaklığı arttıkça numunelerin mekanik özelliklerinin önemli derecede arttığı belirtilmiştir.

Ayrilmis ve diğerleri (2013), ceviz kabuğu tozu ile üretilen polipropilen kompozitlerin termal, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, ceviz kabuğu tozu, polipropilen lif ve polimer esaslı bağlayıcı ajan kullanılmıştır. Numuneler, ağırlıkça ceviz kabuğu tozu/polipropilen lif oranı 40/60, 50/50, 60/40 ve 0/100 olacak şekilde

hazırlanmıştır. Ayrıca, polipropilen lif miktarının %3'ü kadar bağlayıcı ajan katkılı numuneler de üretilmiştir. Sonuçta, ceviz kabuğu tozu miktarı arttıkça numunelerin yoğunluğu ve en yüksek erime sıcaklıklarının göreceli olarak çok değişmediği, su emme ve şişme miktarının arttığı, çekme dayanımının ise azaldığı belirlenmiştir. Bağlayıcı ajan katkısının ise su emme ve şişme miktarını azalttığı, çekme dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.

Klimek ve diğerleri (2018), panel üretiminde Miscanthus bitki saplarının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, Miscanthus bitkisi sapları ve ladin ağaç talaşı ile üretilen panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Numuneler; 200 °C'de ve 3,2 MPa basınç altında 11 ± 1 mm kalınlığında olacak şekilde oluşturulmuştur. Sonuçta, Miscanthus bitkisi sapları ile üretilen panellerin ladin talaşı ile üretilen panellere göre elastisite modülü ve eğilme dayanımı %30, iç yapışma kuvvetinin %60 daha düşük, şişme miktarının ise daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Alabdulkarem ve diğerleri (2018), bazı hibrit doğal yalıtım malzemelerinin akustik, termal ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, palmye ağacı yüzey lifi, sadom ve agave bitki lifleri ile ahşap yapıştırıcı ve beyaz çimento ile panel numuneler üretilmişlerdir. Sonuçta, üretilen panellerin binalarda akustik emici malzeme olarak kullanım potansiyelinin yüksek olduğu ve panellerin ısı iletim katsayılarının 0,04234~0,05291 W/mk arasında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu bitki atıklarının kullanımı ile çevreye daha az zarar veren ve insan için tehlikeli olmayan yalıtım paneli üretildiği ifade edilmiştir.

Papadopoulos ve Hague (2003), panel üretiminde lignoselülozik hammadde kaynağı olarak keten parçacıklarının kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, panel numuneler endüstriyel talaş tozu /keten parçaları oranları 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 ve 0/100 olacak şekilde hazırlanmıştır. Sonuçta, panel numunelerde keten parçacıkları miktarı arttıkça yoğunluğun göreceli olarak değişmediği, eğilme dayanımı ve iç yapışma kuvvetinin azaldığı, şişme miktarının ise oldukça arttığı tespit edilmiştir.

Taha ve diğerleri (2018), panel üretiminde hammadde olarak domates sapının kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, domates sapları, ÜF ve sertleştirici katkı olarak %3 amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. Panel numuneler; 20, 29 ve 35 kg/cm^2 basınç altında ve %12, %14 ve %16 ÜF reçinesi oranlarında hazırlanmıştır. Sonuçta, basınç ve

reçine miktarı arttıkça panel numunelerin yoğunlukları, iç yapışma kuvveti, eğilme dayanımı ve elastisite modülünün arttığı tespit edilmiştir. 20 kg/cm² basınç uygulanan ve %16 ÜF reçinesi içeren numunelerde ise en az şişme miktarı tespit edilmiştir.

Guntekin ve Karakus (2008), patlıcan saplarının panel üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada panel numuneler orta katman ortalama 3 mm, dışlar ise ortalama 1 mm olacak şekilde üç katmanlı oluşturulmuştur. Ayrıca orta katman %6, %8, %10 ÜF ve %10 melamin üre formaldehit, dış katmanlar ise %6, %8, %12 ÜF ve %12 melamin üre formaldehit reçine kullanılarak oluşturulmuştur. Üretilen panellerin mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Sonuçta, her iki reçinede panellerin yoğunluk, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve iç yapışma kuvvetini arttırdığı belirlenmiştir.

Wang ve Sun (2002), buğday samanı ve mısır saplarını kullanarak düşük yoğunluklu levha üretilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numuneler iki farklı tane boyutta olan %70 saman ve %30 mısır sapı ile bağlayıcı olarak metilen difenil diizosiyanat (MDI) ve üç farklı türde modifiye edilmiş protein bazlı sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak oluşturulmuştur. Levha numuneler; 6, 8, 10 ve 12 dakika pres uygulanarak hazırlanmıştır. Sonuçta, levha üretiminde pres süresi arttıkça numunelerin çekme dayanımı ve basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca levha numunelerin yoğunluğu arttıkça çekme ve basınç dayanımlarının da arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra daha iri tane boyutundaki saman ile hazırlanan levhaların çekme ve basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Sulaiman ve diğerleri (2018), levha üretiminde ÜF yerine palm yağı nişastasının kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numuneler; kauçuk ağacı talaşı, %13 palm yağı nişastası, %2 ÜF ve nişasta ağırlığının 1/4'ü kadar epikloridin kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca levha numunelerin 600 kg/m³ ile 800 kg/m³ yoğunlukta olması hedeflenerek 15 ve 20 dakika pres altında tutulmasıyla üretilmiştir. Sonuçta, pres süresi arttıkça formaldehit salınımının azaldığı, yoğunluk arttıkça mekanik özelliklerin geliştiği, en yüksek yoğunlukta kalınlığına şişme değerinin en yüksek olduğu, hedef yoğunlukların ve pres sürelerinin benzer fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Borysiuk ve diğerleri (2019), levha üretiminde şeker pancarı küspesinin kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada şeker endüstriyel ağaç talaşı, pancarı küspesi ile bağlayıcı

olarak ÜF ve sertleştirici olarak %10 sulu amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. 3 tabakalı olarak hazırlanan levha numunelerde çekirdek tabakasında talaş yerine %0, %10, %20, %30, %50 ve %100 şeker pancarı küspesi katılmıştır. Sonuçta, levha numunelerde küspe miktarı arttıkça eğilme dayanımı, elastisite modülü ve vida tutma direncinin azaldığı, yoğunluk, şişme ve su emme miktarının ise arttığı tespit edilmiştir. Levha üretiminde %30'a kadar küspe kullanımının uygun olabileceği ifade edilmiştir.

Ghani ve diğerleri (2018), yonga levhalarda formaldehit tutucu malzeme olarak amin kullanımının formaldehit emisyonunun azaltılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, levha üretiminde amin katkılar olarak; metilamin, etilamin ve propilamin kullanılmıştır. Levha numunelerine ÜF yerine her bir amin katkı ağırlıkça %0,5, %0,7 ve %1 oranlarında katılmıştır. Sonuçta, levha numunelerde her bir amin katkı oranı arttıkça termal stabilite, su emme ve şişme miktarının arttığı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve iç bağ kuvvetinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca ÜF kontrol numunesine göre amin katkılarının formaldehit salınımını oldukça azalttığı belirtilmiştir.

da Rosa Azambuja ve diğerleri (2018), yapım ve yıkıntı atıklarının levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, yapım ve yıkıntı atıklarının depolandığı sahadan atık MDF, plywood, kereste vb. temin edilmiş ve öğütülerek talaş haline getirilmiştir. Levha numuneler, her bir atık ve atık talaş karışımı, çam ağacı talaşı ile %25 ve %50 oranlarında yer değiştirilerek üretilmiştir. Sonuçta, levha üretiminde kontrol numunesine göre %25 atık MDF, plywood, kereste, atık talaş karışımı kullanımının fiziksel ve mekanik özellikleri etkilemediği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra kontrol numunesine göre, 24 saat sonunda kalınlığa şişmenin %25 ve %50 MDF içeren numunelerde daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Li ve diğerleri (2010), farklı geometrideki pirinç samanından üretilen levhaların seçilmiş bazı özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, pirinç samanı 6 farklı tane boyutunda olacak şekilde öğütülerek levha numunelere katılmıştır. Numune üretiminde bağlayıcı olarak ÜF ve difenilmetan diizosiyanat (pMDI) olmak üzere iki farklı bağlayıcı kullanılmıştır. Sonuçta, levhada tane boyutu arttıkça kalınlığına şişme ve su emme miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca pMDI reçine ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı ve iç bağ dayanımının arttığı ancak tane boyutunun artmasıyla eğilme dayanımı ve iç bağ dayanımının azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra ÜF ile hazırlanan levhaların

performansının pMDI reçine ile hazırlanan levhalara göre çok daha düşük performans gösterdiği açıklanmıştır.

Ashori ve Nourbakhsh (2008), düşük kalitedeki hammadde ile üretilen levhalarda pres süresi ve reçine miktarının levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numunelerde düşük kalitedeki hammadde olarak okalıptüs, mesquite, sedir ve hurma ağacı talaşı kullanılmıştır. Levha numuneler sırasıyla %9, %10 ve %11 oranlarında ÜF reçinesi katılarak ve 4, 5 ve 6 dakika pres altında tutularak hazırlanmıştır. Sonuçta, levha numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri reçine içeriği arttıkça ve pres süresi uzadıkça geliştiği belirtilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı, elastisite modülü ve iç bağ kuvveti ile en düşük 2 ve 24 saatlik kalınlığına şişme miktarı %11 ÜF reçine içeren ve 5 dakika pres altında üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre, düşük kaliteli hammadde ile üretilen bu levhaların yüksek kalitede veya kabul edilebilir seviyede iç dekorasyon malzemesi olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Baskaran ve diğerleri (2015), farklı kalınlık seviyelerinde palm yağından üretilen bağlayıcısız levhalar için pres süresi ve pres sıcaklığının optimizasyonunu araştırmışlardır. Çalışmada, 5, 10 ve 15 mm kalınlığında, 20~30 dakika arasında ve pres sıcaklığı 160~200 °C olacak şekilde levha numuneler hazırlanmıştır. Sonuçta, levha kalınlığının azalmasıyla iç bağ dayanımının arttığı, kalınlığına şişme ve su emme oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra pres sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımı ve iç bağ kuvvetinin arttığı, kalınlığına şişmenin ise azaldığı belirtilmiştir. Pres süresi arttıkça eğilme dayanımı ve iç bağ kuvvetinin azaldığı görülmüştür. 5, 10 ve 15 mm kalınlığındaki levha numuneler için en uygun pres sıcaklığı ve pres süresi sırasıyla 191 °C, 196 °C ile 195 °C ve 23, 24 ile 25 dakika olduğu tespit edilmiştir.

Kalaycıoğlu ve Nemli (2006), kenaf saplarından kompozit levha üretilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, üretilen levha numunelerde pres sıcaklığı ve süresi, basınç, yoğunluk ve dolgu oranı parametrelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Sonuçta; levha numune üretiminde pres sıcaklığı, pres süresi ve dolgu oranı arttıkça fiziksel ve mekanik özelliklerin geliştiği tespit edilmiştir. Ayrıca levha yoğunluğu arttıkça eğilme dayanımı ve iç yapışma kuvvetinin arttığı, kalınlığına şişmenin ise azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra basıncın levha özelliklerine önemli bir etkisinin olmadığı

ifade edilmiştir. Buna ek olarak kenaf bitkisinin hammadde olarak levha üretiminde büyük bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir.

Aras ve diğerleri (2015), sertleştirici katkı türü ve formaldehit miktarının levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, iki farklı sertleştirici amonyum klorid (NH_4Cl) ve amonyum nitrat (NH_4NO_3) ile 7,67/100 g, 8,5/100 g ve 8,86/100 g oranlarında ÜF reçinesi kullanılmıştır. Sonuç olarak, levhada amonyum nitrat katkısının levhaların su emme ve kalınlığına şişme miktarını azalttığı, vida tutma direnci ve yüzey sertliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak amonyum nitrat katkısının levhaların eğilme dayanımı ve elastisite direncine önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca levha üretiminde ÜF reçine miktarı azaldıkça iç yapışma direnci, yüzey sertliği ve vida tutma direncinin arttığı açıklanmıştır.

Paridah ve diğerleri (2014), kenaf ve kauçuk ağacı talaşı ile üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numuneler; kauçuk ağacı talaşı yerine %0, %50, %70 ve %100 kenaf bitki sapları ilave edilerek ve bağlayıcı olarak ÜF reçinesi %6, %8 ve %10 oranlarında katılarak üretilmiştir. Sonuçta, eğilme direnci, elastisite modülü ve iç yapışma kuvveti açısından en optimum levha üretimi için %30~50 oranlarında kenaf bitki sapı ile %8~10 oranlarında ÜF reçine kullanımının en uygun olduğu tespit edilmiştir. Levha üretiminde kenaf sapı miktarı arttıkça levhaların yoğunluğunun azaldığı, su emme ve kalınlığına şişme miktarının arttığı, eğilme dayanımı ve elastisite modülünün ise azaldığı belirtilmiştir.

Khazaeian ve diğerleri (2015), sorgum bitki sapı liflerinin levha üretiminde kullanımının uygunluğunu araştırmışlardır. Çalışmada, levha üretiminde tane büyüklüğü, sorgum sapı içeriği, ÜF miktarı, pres süresi ve sıcaklığı parametrelerinin levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, levha numunelerin üretiminde pres süresi, tane boyutu ve reçine içeriği arttıkça fiziksel ve mekanik özelliklerin arttığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra pres sıcaklığının 160 °C 'den 180 °C 'ye artmasıyla mekanik özelliklerin azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca levha numunelerde, sorgum sapının ağırlıkça %10'dan %50'ye kadar artmasıyla tüm fiziksel özelliklerin arttığı ifade edilmiştir.

Bajwa ve diğerleri (2015), su kamışı bitkisinin kompozit levha üretiminde kullanımını incelemişlerdir. Çalışmada, levha numuneler buğday sapı yerine %0, %25, %50, %75 ve

%100 su kamışı bitkisi katılarak hazırlanmıştır. Sonuçta, levha üretiminde %100 buğday sapı içeren kontrol numunesine göre su kamışı bitkisi miktarı arttıkça 2 saatlik su emme ve kalınlığına şişme miktarının azaldığı, elastisite modülü ve eğilme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca %75 su kamışı ile %25 buğday sapı içeren levhaların uygulamalar için en optimum ortalama fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir.

Ayrılmış ve diğerleri (2012), reçine türü ve miktarının pirinç kabuğu ve talaş karışımından üretilen kompozit levhaların özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numuneler %70 talaş ve %30 pirinç kabuğu ile ayrı ayrı %8, %10 ve %12 oranlarında ÜF ve FF reçine kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçta, her iki tür reçine oranı arttıkça su emme miktarının %18~33 azaldığı, iç yapışma kuvvetinin %21~41 arttığı, eğilme dayanımının ise çok değişmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, ÜF içeren levhaların FF içeren levhaların iki katından daha fazla şiştiği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra FF içeren numunelerin mekanik özelliklerinin göreceli olarak ÜF içeren levhalardan daha iyi olduğu açıklanmıştır.

Guler ve diğerleri (2008), Avrupa karaçam talaşı ve yerfıstığı kabuğu karışımının levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, levha numunelere yerfıstığı kabuğu yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 çam talaşı katılmıştır. Sonuçta, numunelerde çam talaşı miktarı arttıkça 2 ve 24 saatlik su emme ve kalınlığına şişme miktarlarının azaldığı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve iç yapışma kuvvetinin ise arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca levha üretiminde yerfıstığı kabuğunun çam ağacı talaşı ile birlikte kullanılabileceği ve bu sayede orman kaynaklarının korunmasına katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Amini ve diğerleri (2013), kauçuk ağaç talaşı ve bağlayıcı olarak modifiye edilmiş nişasta ile üretilen levhaların özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, levha numuneler; ağaç talaşı ile %15 modifiye edilmiş mısır nişasta karıştırılarak ve üç farklı hedef yoğunlukta ($0,60 \text{ g/cm}^3$, $0,70 \text{ g/cm}^3$ ve $0,80 \text{ g/cm}^3$) olacak şekilde hazırlanmıştır. Sonuçta, levha numunelerin yoğunluğu arttıkça eğilme dayanımı, elastisite modülü, iç yapışma kuvveti, kalınlığına şişme ve yüzey sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı yoğunluklardaki levha numunelerin su emme değerlerinde önemli farklar olmadığı belirtilmiştir.

Nemli ve diğerleri (2009), biçilmiş çim atığının levhalarda kullanımının uygunluğunu araştırmışlardır. Çalışmada, levha numunelere ağaç talaşı yerine, %6, %13, %25 ve %100

oranlarında kurutulmuş haldeki çim atıkları katılmıştır. Sonuçta, levha numunelerde atık çim miktarı arttıkça mekanik özelliklerin ve iç yapışma kuvvetinin azaldığı, porozitenin arttığı ve kalınlığına şişme değerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca genel kullanım veya içyapılarda kullanım için üretilen levhalarda %13'e kadar atık çim kullanımının uygun olabileceği belirtilmiştir.

Zheng ve diğerleri (2006), athel çam ağacından orta yoğunlukta üretilen levhaların özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, levha numuneler dolgu maddesi olarak ince, orta ve kaba olacak şekilde 3 farklı tane boyutlarına ayrılmış talaş ile bağlayıcı olarak %7, %10, %13 ve %16 oranlarında ÜF ve polimerik metan difenil diizosiyanat (pMDI) kullanılarak hazırlanmıştır. Sonuçta, levha numunelerde mekanik özelliklerin; ÜF reçine içeriği %7'den %16'ya kadar arttıkça geliştiği ancak dolgu maddesinin %16,2'ye kadar artmasıyla düştüğü tespit edilmiştir. pMDI reçine ile üretilen numunelerin ÜF ile üretilen numunelere göre kalınlığına şişme miktarının %50 daha az olduğu belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek kalitedeki levha numuneler, 20~40 mesh aralığındaki orta taneli talaş ile üretilen levhalardan elde edildiği açıklanmıştır.

Gürü ve diğerleri (2006), badem kabuklarından ÜF esaslı levha üretilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, kompozit levha üretiminde üre/formaldehit oranı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi ile badem kabuğu tane boyutu parametrelerinin levhaların sertlik ve eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiştir. Sonuçta; levhaların sertlik değerinin; 0,97 üre/formaldehit oranına, 25 dakikalık reaksiyon süresine ve 70 °C reaksiyon sıcaklığına kadar arttığı ve daha sonrasında ise azaldığı belirtilmiştir. Buna ek olarak levha numunelerde kabuk tane boyutu arttıkça sertlik değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca herhangi bir ekonomik değeri olmayan badem kabukları ile düşük maliyetli ve çevre dostu levhaların üretilebileceği açıklanmıştır.

Gürü ve diğerleri (2008), ceviz kabuklarından polimer matrisli kompozit levha üretilmesini ve üretilen levhaların özelliklerinin geliştirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, numunelerde FF ve UK kullanılarak yanmaya ve suya karşı dayanıklı ve böceklenme ile mantarlanma yapmayan levha üretilmesi amaçlanmıştır. Sonuçta; levha numunelerde ağırlıkça kabuk/ÜF oranı arttıkça eğilme dayanımının azaldığı, FF/ÜF oranı arttıkça kalınlığına şişme ile su emme miktarının azaldığı ve %15'e kadar UK içeriğinin yanma süresini azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca herhangi bir ekonomik değeri olmayan ceviz

kabukları ve UK kullanılarak daha ekonomik ve çevre dostu üretilen bu levhaların iç ve dış mekânlarda kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Gürü ve diğerleri (2009), fındıkkabuklarından ÜF esaslı kompozit levha üretilmesini ve üretilen levhaların alev ve suya karşı dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, üretilen levhaların su emme, kalınlığına şişme ve yanma gibi dezavantajlarını azaltmak için FF ve UK kullanılmıştır. Sonuçta, levha numunelerin eğilme dayanımının 2,4 kabuk/ÜF oranına kadar arttığı, %16'ya kadar UK katkısının LOI değerini arttırdığı, FF içeriği arttıkça su emme ve kalınlığına şişme miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca atık hammaddeler kullanılarak elde edilen kompozit levhaların yangın riskinin yüksek ve nemin fazla olduğu iç ve dış mekânlarda kullanılabileceğini açıklamışlardır.

Batiancela ve diğerleri (2014), atık çay yaprakları ve talaş parçaları ile levha üretimini araştırmışlardır. Çalışmada, üretilen levha numuneler talaş yerine %0, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %100 oranlarında öğütülmüş haldeki atık çay yaprağı katılarak üretilmiştir. Sonuçta, %100 çay yaprağı ile üretilen levhaların %100 talaş kullanılarak üretilen levhalara göre kalınlığına şişme ve su emme oranı değerlerinin sırasıyla %11~18 ve %23~40 daha az olduğu tespit edilmiştir. Ancak numunelerde çay yaprağı miktarı arttıkça eğilme dayanımı, elastisite modülü ve levha sertliğinin azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca atık çay yapraklarının levha üretiminde kullanılabileceği ve böylece çay endüstrisinde oluşan katı atıkların bertaraf etme sorununa çözüm sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Acda ve Cabangon (2013), atık tütün bitki sapları ve talaş kullanılarak üretilen levhaların termit direnci ile fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, üretilen levha numuneler talaş yerine %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında öğütülmüş haldeki tütün bitki sapları katılarak hazırlanmıştır. Sonuçta, levha numunelerde tütün sapı içeriği %25'den %100'e kadar arttıkça termit direncinin oldukça arttığı ve kütle kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca tütün sapı içeriği arttıkça elastisite modülü, eğilme dayanımı ve iç yapışma kuvvetini azalttığı, kalınlığına şişme ve su emme miktarını ise sırasıyla %112 ve %80 arttırdığı belirtilmiştir. Buna ek olarak talaş ve tütün sapı atıklarının levha üretiminde kullanılabileceği ve böyle tütün endüstrisinde ortaya çıkan atıkların değerlendirilebileceği açıklanmıştır.

Khanjanzadeh ve diğerkleri (2012), ahşap esaslı kompozit levhalarda pamuk bitki sapları ve pavlonya ağacı talaşının kullanılmasını incelemişlerdir. Çalışmada, levha numuneler; talaş yerine öğütölmüş haldeki %0, %30, %50 ve %70 oranlarında pamuk bitkisi sapı ve %0, %30, %50 ve %70 oranlarında pavlonya talaşı katılarak üretilmiştir. Üretilen levha numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, kontrol numunesine göre %50'ye kadar pamuk sapı ve %70'e kadar pavlonya talaşı kullanımı eğilme dayanımı ve elastisite modölü arttırmıştır. Bunun yanı sıra levhalarda pamuk sapı ve pavlonya talaşı içeriğı arttıkça düşük yoğunluk ve yüksek porozite sebebiyle su emme ve kalınlığına şişme değerklerinin oldukça arttığı belirtilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan bütün malzemeler temin edildikten sonra Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarında depolanmıştır.

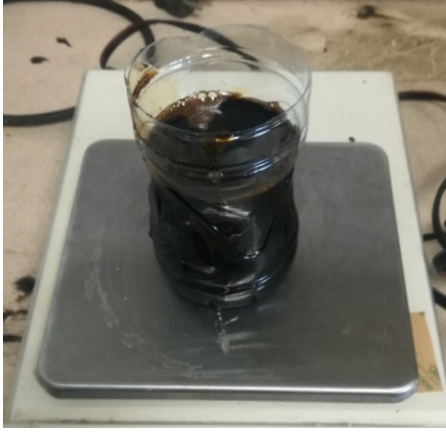
3.1.1. Melas

Melas, Eskişehir Şeker Fabrikasından temin edilmiş olup şeker fabrikası içerisinde yer alan ve sadece melas atığının depolandığı siloların dolum merkezinden alınmıştır. Eskişehir Şeker Fabrikasında şeker üretimi şeker pancarından sağlanmaktadır. Şeker üretim sürecinde ortaya çıkan melas, şeker pancarı ürünü kaynaklıdır. Melasın fiziksel ve kimyasal özellikleri adı geçen fabrikada belirlenmiş olup Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Melasın fiziksel ve kimyasal özellikleri (% ağırlıkça)

Bileşen	%
Kuru madde	86,0
Saflık	59,0
Sakaroza	52,0
İnvert şeker	0,09
Betain	5,00
Rafinoz	1,10
Nitrojen	1,90
Kül	11,90
pH	9
Yoğunluk	1,178 (g/cm ³)

Resim 3.1’de deneysel çalışmalarda kullanılan melas numunesi gösterilmektedir.



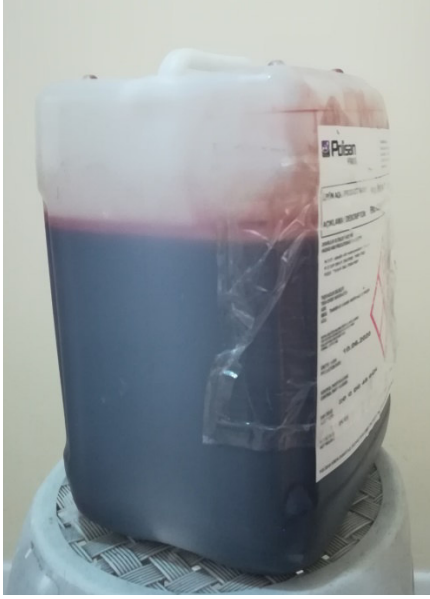
Resim 3.1. Melas numunesine ait görünüm

3.1.2. Fenol Formaldehit

Deneysel çalışmalarda bağlayıcı malzeme olarak, Türkiye-Kocaeli ilinde üretim yapan Polisan Tutkal Fabrikasının ürünü olan dökme Polifen 47 markalı FF malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan FF sıcak pres tutkalı olarak da isimlendirilmekte olup üretim koşullarına bağlı olarak sadece sıcak işlemlerde kullanılmaktadır. FF'ye ait fiziksel ve teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Resim 3.2'de deneysel çalışmalarda kullanılan FF reçinesi gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. FF reçinesi (Polifen 47) fiziksel ve teknik özellikleri

Özellik	Ortam sıcaklığı	Birim	Değer
Görünüş	-	-	Kırmızı kahverengi sıvı
Katı madde	120 °C	(% ağırlıkça)	46 ~ 48
Viskosite	20 °C	(cPs)	300 ~ 700
pH	20 °C	-	10,50 ~ 13,00
Yoğunluk	20 °C	g/cm ³	1,200 ~ 1,215
Serbest formaldehit	-	(%)	< 0,1
Su toleransı	-	-	sonsuz
Akma zamanı	20 °C	saniye, DC4	50 ~ 130
Jel zamanı	105 °C	Dakika	10 ~ 20
Sertleştirici olarak sülfürik asit (H ₂ SO ₄) katılmıştır.			



Resim 3.2. Kullanılan FF numunesi

3.1.3. Polivinil asetat (PVAc) tutkalı

Kompozit malzeme üretiminde bağlayıcı malzeme olarak Eskişehir ilinde bulunan Aydınli Boya Kimya Sanayii firması tarafından üretilen Mikron marka PVAc reçinesi kullanılmıştır. PVAc, kullanıma hazır halde bulunan 3 kg paketler halinde temin edilmiştir. PVAc reçinesinin adı geçen firmanın laboratuvarında belirlenmiş olan fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Resim 3.3'te deneysel çalışmalarda kullanılan PVAc gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Polivinil asetat reçinesi fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	Değer
Görünüm	Süt beyaz
Katı madde	~ % 50
Yoğunluk (g/cm ³)	1,19 ~ 1,21
pH	3,5 ~ 4
Kimyasal formül	(C ₄ H ₆ O ₂) _n



Resim 3.3. Polivinil asetat (PVAc) numunesine ait görünüm

3.1.4. Kozalak

Çalışmada, kompozit malzeme üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılan kozalak, Eskişehir ili Osmangazi Kent Ormanına gidilerek elle toplanmış, çuvallara doldurulmuş ve laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda öğütülmüş kozalağın yoğunluğu $0,43 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Resim 3.4'te toplanan kozalak numuneleri gösterilmektedir.



Resim 3.4. Kozalak numuneleri

3.1.5. Endüstriyel kenevir lifi

Kompozit malzeme üretiminde mekanik dayanımı arttırmak için endüstriyel tipi kenevir lifi kullanılmış olup Kastamonu ilinden kurutulmuş halde temin edilmiştir. Resim 3.5'te deneylerde kullanılan endüstriyel tipi kenevir lifi görülmektedir.



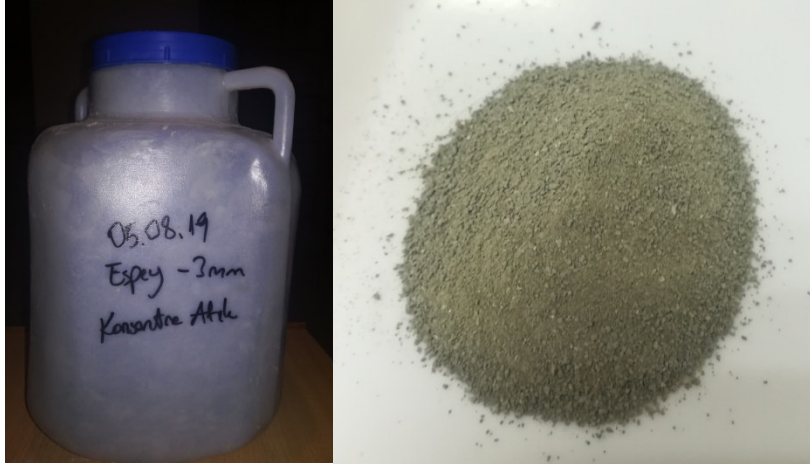
Resim 3.5. Deneylerde kullanılan kenevir lifleri

3.1.6. Atık kolemanit

Kompozit numunelerin yangın dayanımını arttırmak için atık kolemanit kullanılmıştır. Atık kolemanit, Kütahya-Emet ilçesinde bulunan Emet Eti Bor Fabrikasına ait atık barajına bizzat gidilerek sulu halde bidon içinde alınmış ve laboratuvarındaki etüvde kurutularak depo edilmiştir. Atık kolemanitin adı geçen fabrikadan alınan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.4’te, atık kolemanit resmi ise Resim 3.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Atık kolemanitin kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	Ağırlık (%)	Bileşen	Ağırlık (%)	Bileşen	Ağırlık (%)
SiO ₂	16,6	Cl	0,0048	GeO ₂	0,0005
Al ₂ O ₃	3,73	Br	0,0009	As ₂ O ₃	0,1600
MgO	3,98	Na ₂ O	0,1330	Rb ₂ O	0,0268
K ₂ O	1,66	K ₂ O	1,6600	Y ₂ O ₃	0,0035
CaO	18,6	Cr ₂ O ₃	0,0680	SnO ₂	0,0017
Fe ₂ O ₃	1,41	MnO	0,0276	Cs ₂ O	0,0391
B ₂ O ₃	34,5	Co ₂ O ₃	0,0026	BaO	0,0220
V ₂ O ₅	0,0083	NiO	0,0050	Ta ₂ O ₅	0,0005
SO ₄	0,2130	CuO	0,0019	PbO	0,0011
TiO ₂	0,2250	ZnO	0,0055	U ₃ O ₈	0,0029
SrO	1,10	Ga ₂ O ₃	0,0004		
Yoğunluk (g/cm ³) ~2,40					



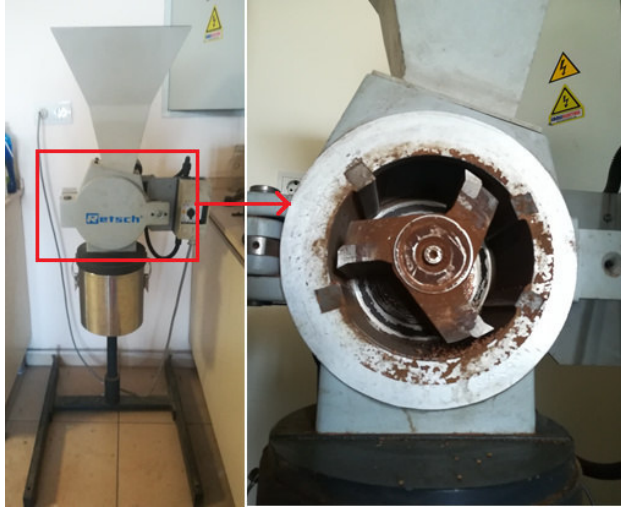
Resim 3.6. Atık kolemanit numune bidonu ve atık kolemanit görünümü

3.2. Yöntem

Kozalakların kurutulması, parçalanması ve öğütülmesi, kompozit numune karışımlarının hazırlanması, kalıplanması, preslenmesi ve kesilmesi ile kompozit numune üzerinde üç nokta eğilme dayanımı, su içerisine daldırma işleminden 24 saat sonra kalınlığına şişme ve su emme ile LOI deneyleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarında yapılmıştır. Kompozit numunelerin vida tutma dayanımı deneyleri ise Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü ahşap atölyesinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Numunelerin hazırlanması ve kullanılan cihazlar

Çalışmada, kompozit numune üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan kozalak, 21 ± 2 °C sıcaklıktaki laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Kozalak, çekiç kullanılarak döşeme üzerinde kabaca parçalanmış ve öğütme cihazının malzeme girişinden geçebilecek boyuta getirilmiştir. Kabaca parçalanmış kozalak, Retsch marka laboratuvar tipi öğütücü cihaz kullanılarak kozalağın maksimum tane çapı (d_{maks}) 1 mm olacak şekilde öğütülmüştür. Öğütülmüş kozalak rutubet almaması için, deneysel çalışma süreci boyunca laboratuvar koşullarında 2 kat naylon torba içinde muhafaza edilmiştir. Resim 3.7’de, Retsch marka laboratuvar tipi öğütücü cihaz ve öğütme haznesinin içi gösterilmektedir.



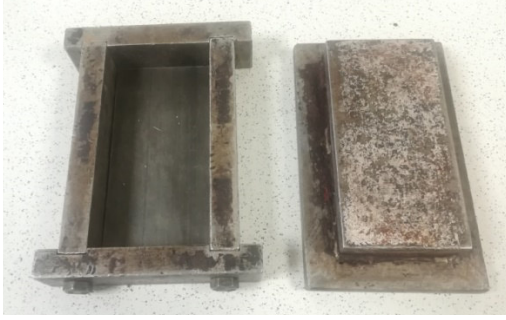
Resim 3.7. Retsch marka öğütücü cihaz ve öğütme haznesi iç görünümü

Resim 3.8’de, çekiçle parçalanmış çam kozalağı kırıkları ve öğütülmüş haldeki kozalak gösterilmektedir.



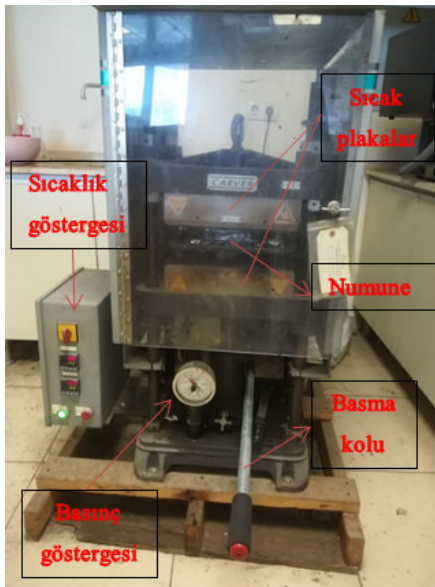
Resim 3.8. Parçalanmış ve öğütülmüş haldeki çam kozalağı görünümü

Kompozit numuneler, iç ölçüleri 120×60 mm olan çelik kalıp kullanılarak üretilmiştir. Çelik kalıp kullanımı sayesinde numunenin her noktasına eşit bir şekilde kalıplama basıncının ve kalıplama sıcaklığının uygulanması sağlanmıştır. Kompozit numunenin kalıplanması aşamasında çelik kalıp, numunenin kalıba yapışmasını önlemek için alüminyum folyo ile sarılmıştır. Resim 3.9’da kompozit numune üretiminde kullanılan içi boş haldeki çelik kalıp gösterilmektedir.



Resim 3.9. Kompozit numune üretiminde kullanılan çelik kalıp

Kompozit numune üretiminde kullanılan tüm malzemeler Ohaus marka hassas tartı ile tartılmıştır. Kompozit numune karışımı, ilk olarak bağlayıcı miktarına göre %47,5 PVAc + %47,5 melas + %5 FF oranlarında hazırlanmıştır. Tüm numune karışımlarına katalizör olarak 0,10 ml miktarında (2 damla) sülfirik asit (H_2SO_4) katılmıştır. Numune üretim sürecinde deneme yanılma yoluyla d/b bağımsız üretim parametresi oranı tespit edildikten sonra tüm numune karışımları sabit 150 g olarak hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, üç nokta eğilme dayanımına göre tespit edilen en uygun bağımsız üretim parametrelerine ait numune karışım oranları, deneysel bulgular ve tartışma bölümünde belirtilmiştir. Kompozit numune karışımı, plastik bir kap içerisinde 5 dakika boyunca el ile karıştırıldıktan sonra çelik kalıp içerisine dökülmüş ve bekletmeden Carver marka sıcak kalıplama cihazına yerleştirilerek belirli bir basınç altında preslenerek prizmatik kompozit numuneler üretilmiştir. Resim 3.10'da Carver marka sıcak kalıplama cihazı gösterilmektedir.



Resim 3.10. Carver marka sıcak kalıplama cihazı

Resim 3.11’de, çelik kalıbın sıcak kalıplama cihazı içerisine yerleştirilmiş hali ile kalıplama işleminden sonra üretilen kompozit numune görülmektedir.



Resim 3.11. Kalıplama cihazına yerleştirilen a) çelik kalıp ve b) hazırlanan kompozit numunenin görünümü

Çelik kalıptan çıkartılan kompozit numuneler, Termal marka etüv içerisinde 70 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca kür edilerek sertleşmesi sağlanmıştır. Üretilen kompozit numuneler deneysel çalışma süreci boyunca laboratuvar ortamında tutulmuştur. Resim 3.12’de kompozit numune üretim süreci akış şeması olarak gösterilmiştir.



Resim 3.12. Kompozit numune üretim süreci gösterimi

3.2.2. Kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı deneyi

Üç nokta eğilme dayanımı deneyleri, TS EN 310 Ahşap esaslı levhalar - Eğilme Dayanımı Tayini (TS EN 310) standardına uygun olarak yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyleri, bilgisayar destekli 5 kN kapasiteli Shimadzu marka AG-I model test cihazı ile yapılmıştır. Resim 3.13'te Shimadzu marka AG-I model test cihazı gösterilmektedir.



Resim 3.13. Shimadzu marka AG-I model test cihazı

Elde edilen kompozit numuneler, eğilme dayanımı deneyi için bir kesme aparatı yardımıyla $60 \times 15 \times \text{numune kalınlığı (mm)}$ ölçülerinde kesilmiş ve 6 adet dikdörtgen prizmatik numune hazırlanmıştır. Kompozit numune boyutları, numunenin üç farklı noktasından kumpas ile hassas bir şekilde ölçülmüştür. Hazırlanan kompozit numuneler, iki silindir mesnet arasına yatay bir konumda ve mesnetlere simetrik olacak bir şekilde yerleştirilmiştir. İki silindir mesnetin merkezleri arası uzaklık 40 mm ve deney cihazı basınç silindirinin hızı 10 mm/dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneye başlamadan önce cihaz dijital ekranından yük ve deformasyon göstergeleri sıfırlanmıştır. Buna ek olarak cihaza ait bilgisayar programı ara yüzüne mesnetler arası uzaklık (mm), kompozit numuneye ait genişlik (mm) ve kompozit numuneye ait kalınlık (mm) ölçüleri veri olarak girilmiştir. Kuvvet, kompozit numunenin tam ortasına, darbesiz bir şekilde ve numunede kırılma meydana gelene kadar uygulanmıştır. Deney cihazı dijital göstergesinden okunan kompozit numunelerin kırılma anındaki maksimum kuvveti ($F_{\max}$) ve eğilme dayanımı değeri kaydedilmiştir. Her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerlerinin

aritmetik ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Resim 3.14'te üç nokta eğilme dayanımı deneyi gösterilmektedir.



Resim 3.14. Üç nokta eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı değeri, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$f_m = \frac{3 \times F_{max} \times L}{2 \times b \times t^2} \text{ şeklindedir.} \quad (1)$$

Formülde;

f_m = Eğilme dayanımı (N/mm²)

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

L = Silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki mesafe (mm)

b = Kompozit numune eni (mm)

t = Kompozit numune kalınlığı (mm) 'dır.

TS EN 312 Yonga Levhalar - Özellikler (TS EN 312) standardına göre 6~13 mm kalınlığa sahip kompozit levhalar, kullanım yeri ve kullanım amacına göre eğilme dayanımı değerleri de belirtilerek sınıflandırılmıştır. Öte yandan TS EN 312'de, 20 °C sıcaklık ortamında; kuru şart nem miktarının yılın birkaç haftasında %65'i geçmesi, nemli şart ise nem miktarının yılın birkaç haftasında %85'i geçmesi olarak belirtilmektedir. Çizelge 3.5'te yonga levhaların sınıflandırılması verilmiştir (TS EN 312).

Çizelge 3.5. Yonga levhaların sınıflandırılması (TS EN 312)

Sınıflandırma	Kullanım nem şartı	Kullanım alanı	Sınır değer (MPa)
P1	Kuru	Genel amaç	$\geq 10,5$
P2	Kuru	İç donanım (mobilya dahil)	≥ 11
P3	Nemli	Yük taşıyıcı olmayan	≥ 15
P4	Kuru	Yük taşıyıcı	≥ 16
P5	Nemli	Yük taşıyıcı	≥ 18

3.2.3. Kompozit numunelerin su içerisine daldırma işleminden 24 saat sonra kalınlığına şişme deneyi

Kompozit deney numunelerin kalınlığına şişme deneyi, TS EN 317 Yonga Levhalar ve Lif Levhalar - Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini (TS EN 317) standardına uygun olarak yapılmıştır.

TS EN 317 standardına göre, her bir kompozit numune grubundan 8 adet 50×50×numune kalınlığı (mm) ölçülerinde kare şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Kompozit numunelerin kalınlıkları, suya bırakılmadan önce tam orta ve köşelerinden kumpas ile ölçülmüştür. Numuneler, su tankında bulunan 20 ± 2 °C sıcaklıktaki durgun ve temiz bir su içerisinde, su yüzeyinden 25 ± 5 mm altında kalacak şekilde, tankın taban ve kenarlarına değmeyecek halde 24 saat ± 15 dakika süre ile tutulmuştur. Sudan çıkarılan kompozit numuneler üzerindeki fazla su, bir bez yardımı ile alınarak numune kalınlıkları ilk ölçüm noktalarından tekrar kumpas ile ölçülmüştür. Her bir kompozit numune grubu için tespit edilen kalınlığına şişme değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Resim 3.15'te kalınlığına şişme deneyi için su içerisinde tutulan numuneler gösterilmektedir.



Resim 3.15. Kalınlığına şişme deneyi için suda tutulan bazı numuneler

TS EN 317'ye göre, her bir kompozit numunenin kalınlığına şişme değeri yüzde olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \text{ şeklindedir.} \quad (2)$$

Formülde;

G_t = Kalınlığına şişme değeri (%)

t_1 = Kompozit numune parçası kuru haldeki kalınlığı (mm)

t_2 = Suda bekletilmiş kompozit numune parçası kalınlığı (mm) 'dir.

TS EN 312 standardına göre 6~13 mm kalınlığa sahip kompozit levhalar, kullanım yeri ve kullanım amacına göre eğilme dayanımı değerleri de belirtilerek P1, P2, P3, P4 ve P5 olarak sınıflandırılmaktadır. Yine TS EN 312 standardında, sınıflandırılan bu levhalara ait 24 saat kalınlığına şişme sınır değerleri de verilmiştir. Ancak aynı standartta, kuru şartlarda genel kullanım amaçlı üretilen P1 ve kuru şartlarda iç donanım (mobilya dahil) kullanım amaçlı üretilen P2 sınıfı levhaların 24 saat kalınlığına şişme sınır değerleri belirtilmemektedir. Çizelge 3.6'da levhaların 24 saat kalınlığına şişme sınır değerleri gösterilmektedir (TS EN 312).

Çizelge 3.6. Levhaların 24 saat kalınlığına şişme sınır değerleri (TS EN 312)

Sınıflandırma	Kullanım nem şartı	Kullanım alanı	Kalınlığına şişme, 24 saat (%)
P1	Kuru	Genel amaç	-
P2	Kuru	İç donanım (mobilya dahil)	-
P3	Nemli	Yük taşıyıcı olmayan	≤ 17
P4	Kuru	Yük taşıyıcı	≤ 16
P5	Nemli	Yük taşıyıcı	≤ 11

3.2.4. Kompozit numunelerin su emme deneyi

TS EN 317 standardı, yonga levhalar ve lifli levhaların su emme oranının belirlenmesi metodunu da kapsamaktadır. Buna göre, kompozit numunelerin su emme oranı değerlerinin belirlenmesi deneyi TS EN 317 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kalınlığına şişme ve su emme oranı deneyleri, aynı kompozit deney numuneleri üzerinde yapılmıştır. Her bir kompozit numunenin ağırlığı, hem suya bırakılmadan önce hem de suya bırakıldıktan 24 saat $\pm$ 15 dakika süre sonunda sudan çıkarıldıktan sonra 0,01 hassasiyetli Ohaus marka tartı ile belirlenmiştir. Resim 3.16’da bir kompozit numunenin ağırlığının tartılması gösterilmektedir.



Resim 3.16. Kompozit numune ağırlığının tartılması

Her bir kompozit numune grubu için tespit edilen su emme oranlarının aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Kompozit numunelerin su emme oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$W_a = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \text{ şeklindedir.} \quad (3)$$

Formülde;

W_a = Kompozit numunelerin su emme oranı (%)

W_1 = Kompozit numune parçası kuru haldeki ağırlığı (g)

W_2 = Suda bekletilmiş kompozit numune parçası ağırlığı (g) 'dir.

3.2.5. Kompozit numunelerin limit oksijen indeksi (LOI) deneyi

Kompozit numunelerin LOI deneyleri, ASTM D2863-19 Plastiklerin Mum Gibi Yanmasını Sağlamak için Minimum Oksijen Konsantrasyonunun Ölçülmesi Standart Test Yöntemi (Oksijen İndeksi) standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu standart; kalıp malzemeleri, tabaka şeklindeki malzemeler ve selüloz esaslı malzemeler ile kendiliğinden dikey olarak durabilen esnek, ince film boyutlarındaki kalıp veya tabakaların minimum oksijen konsantrasyonunun belirlenmesi içinde kullanılmaktadır. LOI deneyi sayesinde azot-oksijen gaz karışımı içeren bir ortamda bulunan malzemenin ateşe maruz kalması durumunda tutuşmanın meydana gelmesi için gereken minimum oksijen konsantrasyonu ölçülmekte ve ölçülen değerler yüzde hacim cinsinden ifade edilmektedir. LOI deneyleri, Dynisco Polymer Test marka deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

ASTM D2863-19 standardında, yanma testine başlamadan önce malzemenin açık havada ateşe tutularak yanma davranışının gözlemlenmesi gerektiği ifade edilmektedir. Buna göre açık havada ateşe tutulan numunelerin başlangıç konsantrasyonu; hemen yanıyor ise ~%18, hafifçe ve düzensiz bir şekilde yanıyor ise ~%21 ve hiç yanmıyor ise ~%25 olarak belirtilmelidir. Bu durumda, oksijen konsantrasyonu yani LOI değeri arttıkça numunenin normal atmosfer ortamında daha zor yandığı anlaşılmaktadır.

LOI deneyi, üç aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

1. Aşama: Numune yüzeyi en uç kısmının alev ile tutuşturulması
2. Aşama: Numune yüzeyi üzerinde tutuşmanın yayılması
3. Aşama: Minimum LOI değerinin belirlenmesi şeklindedir.

LOI deneyi için $100 \times 10 \times$ numune kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan numuneler LOI deney düzeneğinde yer alan cam baca içerisine dikey konumda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Resim 3.17’de LOI deney düzeneği gösterilmektedir.



Resim 3.17. LOI deney düzeneği gösterimi

LOI deneyine, 23 ± 2 °C’de alevin yanmasını destekleyici azot-minimum oksijen karışım oranına sahip gaz ortamı ile başlanmıştır. Sabit güçteki alev, dikey konumdaki numunenin en uç kısmına temas ettirilerek tutuşma olayı gerçekleştirilmiştir. Alev, numune uç kısmına 30 saniye boyunca uygulanmış ve daha sonra alev 5 saniye boyunca uzaklaştırılarak numunenin kendiliğinden yanıp yanmadığı gözlemlenmiştir. Deney sırasında oksijen miktarı numunenin yanmasını sağlayacak şekilde ayarlanmaktadır. Numunenin tutuşmaya başlaması ve 180 saniye boyunca kendiliğinden yanmaya devam etmesi halinde numunenin yandığı kabul edilmiştir. LOI deney cihazı oksijen seviyesi göstergesinden, numunenin yandığı gaz ortamındaki oksijen konsantrasi seviyesi kaydedilmiştir. Buna karşın, numunenin yanması 180 saniyelik süre içerisinde durmuş ise, numunenin yanmadığı kabul edilerek farklı oksijen seviyelerinde deneye devam edilmiştir. Resim 3.18’de, LOI deney uygulamasında uç kısımdan yanmış olan kompozit deney numuneleri gösterilmektedir.



Resim 3.18. LOI deney uygulamasında uç kısmı yanmış olan kompozit deney numuneleri

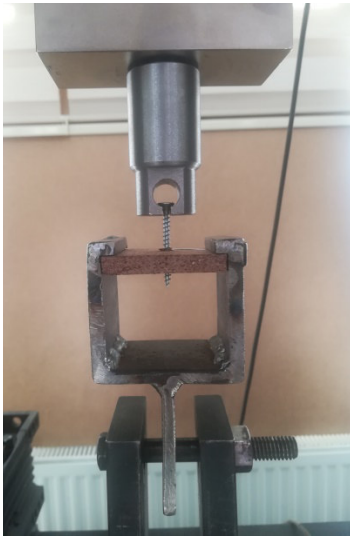
3.2.6. Kompozit numunelerin vida tutma mukavemeti deneyi

Vida tutma mukavemeti deneyleri, TS EN 320 Yonga Levhalar ve Lif Levhalar - Vida Tutma Mukavemetinin Tayini (TS EN 320) ve TS EN 13446 Ahşap Esaslı Levhalar - Bağlayıcıların Geri Çıkma Kapasitesinin Tayini (TS EN 13446) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Vida tutma deneyleri, 5 ton kapasiteli Mares marka test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Kompozit numuneler, her bir kompozit numune grubundan 6 adet 50×50×numune kalınlığı (mm) ölçülerinde kare şeklinde numuneler olarak hazırlanmıştır. Numunelerin ön yüzeyleri renkli bir kalem ile köşegenlerinden çizilerek tam orta noktaları tespit edilmiştir. Tespit edilen tam orta noktaya dikey matkap ile 2,5 mm çapında numuneye dik olacak şekilde bir adet kılavuz delik açılmıştır. Bu deliklere TS EN 320 standardında belirtilen ve EN ISO 1478'e uygun olan çapı 4,2 mm, uzunluğu 38 mm ve vida adımı 1,4 mm olan çelik vidalar şarjlı matkap aleti vasıtasıyla numunelere vidalanmıştır. Resim 3.19'da çelik vidaların kompozit numune üzerine vidalanmış hali gösterilmektedir. Vidalı haldeki kompozit deney numuneleri test cihazı çekme çenelerine yerleştirilmiştir. Resim 3.20'de numune yüzeyine dik yönde vida tutma deneyi uygulaması gösterilmektedir. TS EN 320 standardına göre test cihazı çekme kolu hızı 10 mm/dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Test cihazı göstergesi üzerinden vidanın geri çıkma anındaki en büyük kuvvet değeri Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir.



Resim 3.19. Vidalı haldeki bazı kompozit deney numuneleri



Resim 3.20. Vida tutma deneyi uygulaması

TS EN 320 standardına göre, kalınlığı 15 mm'den az olan deney numunelerinin vida tutma mukavemeti, deney anında elde edilen maksimum yükün deney numunesine ait kalınlığa bölünmesi ile tespit edilmektedir. Kompozit numunelerin vida tutma mukavemeti aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesap edilmiştir:

$$f = \frac{F_{max}}{t} \rightarrow N/mm \quad \text{şeklindedir.} \quad (4)$$

Eşitlikte;

f = Vida tutma mukavemeti (N/mm)

F_{max} = Vida çıkma anında en yüksek kuvvet (N)

t = Numune kalınlığı (mm)'dir.

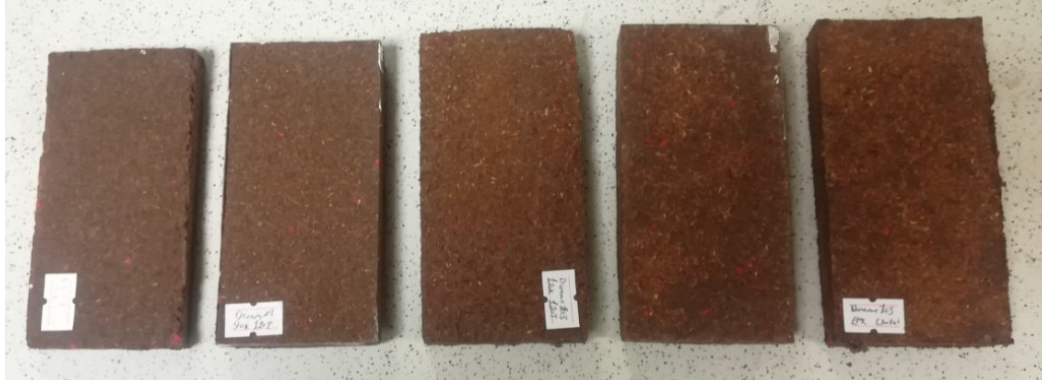
Her bir kompozit numune grubu için tespit edilen vida tutma mukavemeti değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.

3.3. Kompozit Malzeme Bağımsız Üretim Parametreleri

Kompozit numuneler farklı bağımsız üretim parametrelerine göre üretilmiştir. Bu bağımsız parametreler; sırasıyla d/b, melas oranı, kalıplama basıncı sıcaklığı, kalıplama basıncı, ortalama tane boyutu, kalıplama basıncı süresi, FF oranı ve kenevir lifi oranıdır. Kompozit deney numunelerinin başlangıç üretim parametreleri ilk olarak deneme yanılma metodu ile belirlenmiştir. Kompozit numunelerin üretim sürecinde, her bir üretim parametresinde üç nokta eğilme dayanımına göre en yüksek dayanım tespit edilerek en uygun üretim koşulları belirlenmiştir. Eğilme dayanımı, ahşap malzemeler ve yapı malzemeleri için en önemli özelliklerden biri olmasından dolayı tercih edilmiştir.

3.3.1. En uygun d/b oranının belirlenmesi

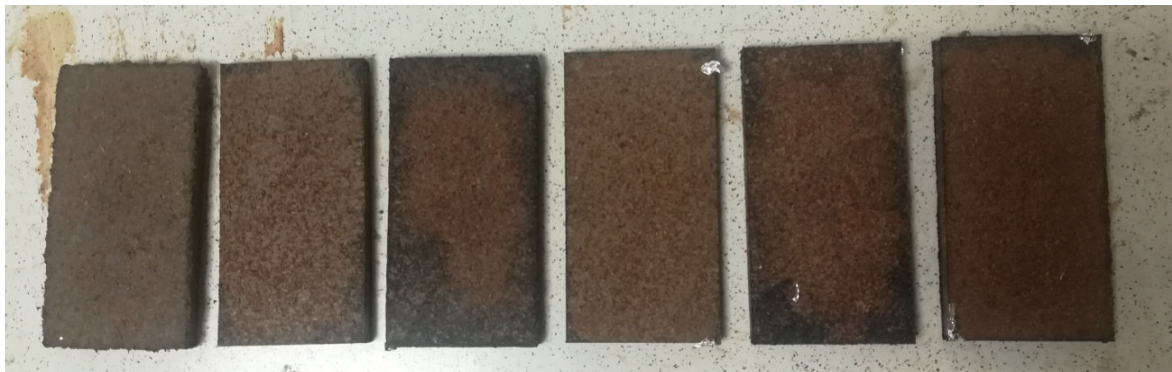
Kompozit numune üretimi sürecinde, en yüksek eğilme dayanımını elde etmek için gereken en uygun d/b oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Bağlayıcı malzeme miktarı sabit tutularak ağırlıkça farklı oranlarda kozalak dolgu malzemesi ile kompozit numuneler üretilmiştir. Ağırlıkça d/b oranı; 0,125; 0,20; 0,25; 0,50; 0,75 ve 1,00 olan kompozit numuneler hazırlanmıştır. Farklı d/b oranlarında hazırlanan kompozit numunelerin kalınlık ortalaması değeri sırasıyla 6,5 mm, 7,7 mm, 7,8 mm, 8,1 mm, 10 mm ve 12 mm'dir. Belirtilen d/b oranları deneme yanılma yöntemine göre belirlenmiştir. Farklı d/b oranlarında hazırlanan numuneler üzerine üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak, en yüksek eğilme dayanımına sahip karışım oranı tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Resim 3.21'de farklı d/b oranlarında üretilen numuneler gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği d/b oranı sabit tutularak sonraki bağımsız üretim parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.



Resim 3.21. Farklı d/b oranlarında üretilen kompozit numunelerin görünümü

3.3.2. En uygun melas oranının belirlenmesi

Kompozit numune üretiminde, d/b oranı sabit tutularak PVAc yerine ağırlıkça %25, %30, %40, %45, %47,5 ve %55 oranlarında melas katılarak numuneler üretilmiştir. Farklı melas oranlarında üretilen tüm kompozit numunelerin ortalama kalınlığı 7,8 mm'dir. Üretilen tüm numunelerde tüm bağlayıcı miktarının %5'i kadar FF katılmıştır. Melasın kompozit numune üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılması ve boyutsal bütünlüğünü koruyabilen numunelerin üretilebilirliği gözlemlenmiştir. Farklı melas oranlarında hazırlanan numuneler, üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak en yüksek eğilme dayanımına sahip melas oranı tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Resim 3.22'de farklı oranlarda melas içeren bazı kompozit deney numuneleri gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği melas oranı sabit tutularak sonraki bağımsız üretim parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.



Resim 3.22. Farklı oranlarda melas kullanılarak üretilen kompozit deney numuneleri

3.3.3. En uygun kalıplama basıncı sıcaklığının belirlenmesi

Kompozit deney numuneleri 60 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 120 °C ve 140 °C basınç sıcaklıklarında üretilmiştir. Üretim sıcaklığının kompozit numunelerin eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Farklı kalıplama sıcaklıklarında üretilen tüm kompozit numunelerin ortalama kalınlığı 7,8 mm'dir. Bu kompozit numunelere üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği basınç sıcaklığı değeri tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Resim 3.23'de farklı basınç sıcaklıklarında üretilen bazı kompozit deney numuneleri gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği kalıplama basıncı sıcaklığı sabit tutularak sonraki bağımsız üretim parametrelerin etkisi belirlenmiştir.



Resim 3.23. Farklı kalıplama basıncı sıcaklıklarında üretilen bazı kompozit deney numuneleri

3.3.4. En uygun kalıplama basıncının belirlenmesi

Kompozit deney numuneleri, en uygun kalıplama basıncının belirlenebilmesi için 14 kg/cm², 28 kg/cm², 42 kg/cm², 49 kg/cm², 56 kg/cm² ve 69 kg/cm² kalıplama basıncı uygulanarak üretilmiştir. Farklı kalıplama basıncı uygulanarak hazırlanan kompozit numunelerin kalınlık ortalaması değeri sırasıyla 8 mm, 7,8 mm, 7,7 mm, 7,6 mm, 7,4 mm ve 7,3 mm'dir. Üretim sürecinde kalıplama basıncı parametresinin kompozit numunelerin eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Farklı basınç değerlerinde üretilen kompozit numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği kalıplama basıncı tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Basınç değerleri, manuel olarak uygulanan ve cihaz göstergesinden okunan basma kuvveti değerlerinin, kalıp boyutlarına bağlı olarak üretilen kompozit numunelerin yüzey alanına (120×60 mm) bölünmesi ile tespit edilmiştir. Resim 3.24'te farklı kalıplama basıncı değerlerinde üretilen bazı kompozit deney numuneleri gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği basınç değeri sabit tutularak sonraki bağımsız üretim parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.



Resim 3.24. Farklı kalıplama basıncı ile üretilen kompozit deney numuneleri

3.3.5. En uygun ortalama tane boyutunun belirlenmesi

Kompozit deney numuneleri, 180 μm , 300 μm , 450 μm , 600 μm , 900 μm ve 1 mm nolu elekler kullanılarak elenmiş ve ortalama tane boyutu ($\bar{d}$) 240 μm (180-300 μm ortalaması), 375 μm (300-450 μm ortalaması), 525 μm (450-600 μm ortalaması), 750 μm (600-900 μm ortalaması) ve 950 μm (900-1000 μm ortalaması) olan kozalak dolgu malzemesi ile üretilmiştir. Ortalama tane boyutu, üst ve alt eleklerin aritmetik ortalamasıdır. Kompozit numunelerin farklı tane boyutuna sahip dolgu malzemesi ile üretilmesinin numunelerin eğilme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Farklı ortalama tane boyutundaki dolgu malzemesi ile hazırlanan kompozit numunelerin kalınlık ortalaması değeri sırasıyla 7,6 mm, 7,7 mm, 7,7 mm, 7,8 mm, 7,9 mm'dir. Farklı tane boyutlarında üretilen kompozit numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak, en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği ortalama tane boyutu tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışma sürecinde, ortalama tane boyutu parametresinin etkisinin incelenmesinden önce numuneler kozalak dolgu malzemesi d_{max} 1 mm (1000 μm) olacak şekilde üretilmiştir. Kozalak dolgu malzemesi tane dağılımı Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Kozalak dolgu malzemesi tane dağılımı

Elek açıklığı (μm)	Kümülatif elek üstü kalan (%)
1000	0,00
900	17,06
600	43,04
450	59,48
300	71,60
180	100,00

Resim 3.25’te öğütülmüş kozalak malzemesini farklı tane boyutlarında elemek için kullanılan elekler gösterilmiştir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği dolgu malzemesi ortalama tane boyutu sabit tutularak sonraki bağımsız üretim parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.

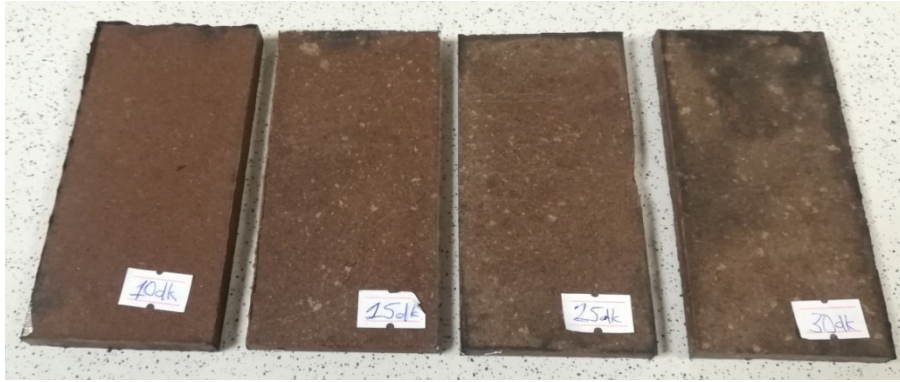


Resim 3.25. Kozalak malzemesinin elenmesinde kullanılan elek seti

3.3.6. En uygun kalıplama basıncı süresinin belirlenmesi

Kompozit numuneler, deneysel olarak tespit edilen basınç ve basınç sıcaklığı sabit tutularak 10, 15, 20, 25 ve 30 dakikalık kalıplama basıncı sürelerinde üretilmiştir. Farklı

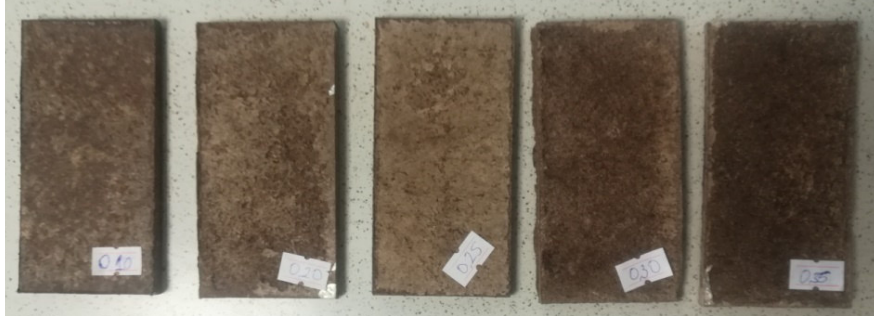
basınç sürelerinde üretilen tüm kompozit numunelerin ortalama kalınlığı 7,6 mm'dir. Kompozit numunelerin farklı basınç sürelerinde üretilmesinin numunelerin eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Farklı basınç sürelerinde üretilen kompozit numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak, en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği basınç süresi tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde, basınç süresi parametresi numunelerin üretim süresi boyunca harcanan enerji ve malzeme maliyetine etkisi açısından da önemlidir. Resim 3.26'da farklı basınç sürelerinde üretilen deney kompozit numuneleri gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği basınç süresi sabit tutularak diğer bağımsız üretim parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.



Resim 3.26. Farklı kalıplama sürelerinde üretilen kompozit deney numuneleri

3.3.7. En uygun FF oranının belirlenmesi

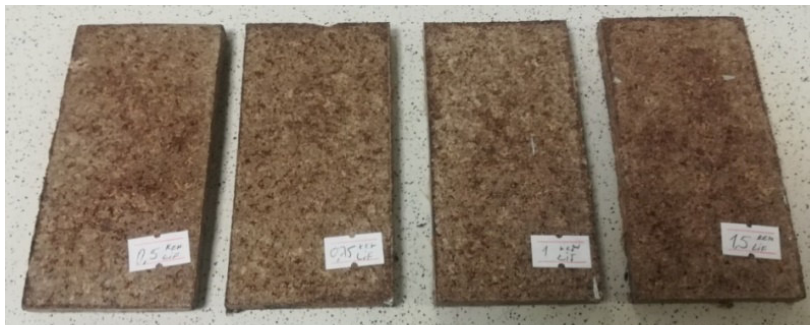
Kompozit numune üretiminde, bağlayıcı karışımına farklı oranlarda FF katılmasının numunelerin eğilme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Numune üretiminde bağlayıcı karışımlarında 0,58 melas/PVAc oranı sabit tutularak tutulmuştur. Kompozit numuneler ağırlıkça 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 ve 0,35 FF/(melas+PVAc) oranlarında hazırlanmıştır. Farklı FF oranlarında hazırlanan tüm kompozit numunelerin ortalama kalınlığı 7,6 mm'dir. Belirtilen FF oranlarında üretilen kompozit numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak, en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği FF oranı tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Resim 3.27'de, farklı oranlarda FF ile üretilmiş bazı kompozit deney numuneleri gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği FF oranı sabit tutularak diğer bağımsız üretim parametrelerinin etkisi belirlenmiştir.



Resim 3.27. Farklı oranlarda FF kullanılarak hazırlanan kompozit deney numuneleri

3.3.8. En uygun kenevir lifi oranının belirlenmesi

Kompozit numunelerin eğilme dayanımını arttırmak amacıyla endüstriyel kenevir lifi kullanılmıştır. Bu lifler laboratuvarında maket bıçağı ile 6 cm uzunluğunda kesilmiş ve kompozit numune karışımına ağırlıkça bağlayıcı miktarının %0, %0,25; %0,50; %0,75; %1,00 ve %1,50 oranlarında katılarak hazırlanmıştır. Kenevir lifleri, numune orta bölge kısmına uzun kenarına paralel olacak şekilde yönlendirilerek elle yerleştirilmiştir. Kenevir lifi, numune içerisinde numune uzun kenarının en uzak iki noktasına değecek şekilde kesintisiz olarak yerleştirilmiştir. Farklı oranlarda kenevir lifi katılarak hazırlanan kompozit numunelerin kalınlık ortalaması değeri sırasıyla 7,6 mm, 7,6 mm, 7,7 mm, 7,7 mm, 7,9 mm ve 8 mm'dir. Farklı oranlarda atık kenevir lifi katılarak üretilen kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerleri ile su emme ve kalınlığına şişme özellikleri belirlenmiştir. Farklı lif oranlarında üretilen kompozit numuneler üzerinde üç nokta eğilme dayanımı deneyi uygulanarak, en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği kenevir lifi oranı tespit edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Resim 3.28'de farklı kenevir lifi oranlarında üretilen kompozit numuneler gösterilmektedir. Kompozit numune üretim sürecinde en yüksek eğilme dayanımının tespit edildiği kenevir lifi oranı sabit tutulmuştur.



Resim 3.28. Farklı oranda kenevir lifli hazırlanan bazı kompozit deney numuneleri

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, kompozit numune üretim sürecinde üç nokta eğilme dayanımına göre en yüksek eğilme dayanımı değerinin tespit edildiği bağımsız üretim parametrelerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra üretilen kompozit numunelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve belirlenen karakteristik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine yapılan deneysel çalışmalar da anlatılmaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.1. Bağımsız Üretim Parametrelerinin Değerlendirilmesi

4.1.1. En uygun d/b oranı

Kompozit numuneler ağırlıkça farklı d/b oranlarında üretilmiştir. Deneysel çalışmada, bağlayıcı malzeme miktarı sabit tutularak 0,125; 0,20; 0,25; 0,50; 0,75 ve 1,00 d/b oranlarında 6 farklı kompozit numune grubu oluşturulmuştur. Numune üretiminde kullanılan farklı d/b oranları, laboratuvar da deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiş oranlardır. Bağlayıcı karışımı, PVAc, melas ve FF'nin yoğunluklarının birbirine yakın değer de olması sayesinde ayrışma olmadan elde edilmiştir. Laboratuvar da d/b oranı 1,00'den daha fazla oranda üretilen numunelerde bağlayıcı malzemenin dolgu malzemesi tanelerini birbirine yapıştıramadığı ve dolgu malzemesi tanelerinde dökülmeler gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Hazırlanan numunelere ait malzemelerin ağırlıkça karışım oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı d/b oranlarında üretilen kompozit numunelerin ağırlıkça karışım oranları

Numune grup no	Dolgu malzemesi	Bağlayıcı malzeme karışımı						d/b
	Kozalak (g)	PVAc		Melas		FF		
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
1	15	47,5	57	47,5	57	5	6	0,125
2	25	47,5	57	47,5	57	5	6	0,20
3	30	47,5	57	47,5	57	5	6	0,25
4	60	47,5	57	47,5	57	5	6	0,50
5	90	47,5	57	47,5	57	5	6	0,75
6	120	47,5	57	47,5	57	5	6	1,00

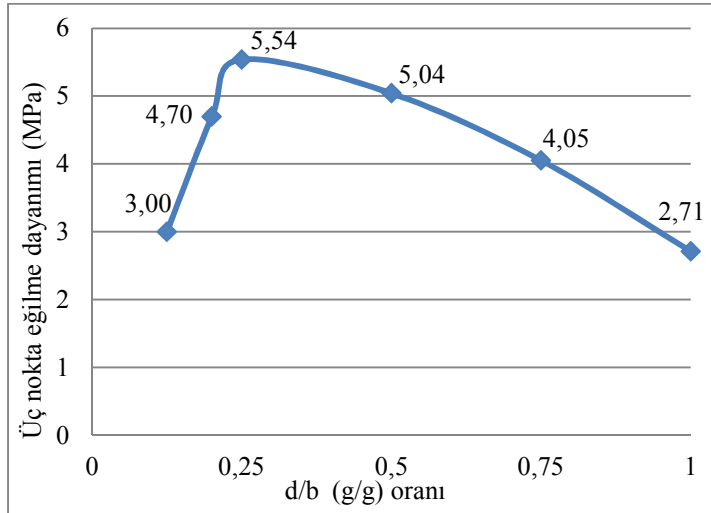
Kompozit numunelerin farklı d/b oranlarında üretilmesinin numunelerin eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiştir. Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri ile birlikte varyasyon katsayısı (VK) değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı d/b oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

d/b	N	$X_{min.}$ (MPa)	$X_{maks.}$ (MPa)	$X_{ort.}$ (MPa)	VK
0.125	6	1,86	3,33	3,00	0,16
0.20	6	2,60	5,13	4,70	0,12
0.25	6	5,21	6,20	5,54	0,14
0.50	6	4,56	5,41	5,04	0,08
0.75	6	3,32	4,46	4,05	0,11
1.00	6	2,18	3,24	2,71	0,14

N: Numune sayısı, $X_{min.}$: En küçük değer, $X_{maks.}$: En büyük değer, $X_{ort.}$: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Her bir kompozit numune grubuna ait üç nokta eğilme dayanımı ile d/b oranı ilişkisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-d/b oranı ilişkisi. (Başlangıç üretim koşulları; bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 28 kg/cm², maks. tane boyutu: 1 mm, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.1 incelendiğinde, farklı d/b oranlarında üretilen numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı değeri ağırlıkça 0,25 d/b oranında üretilen numunelerde ortalama 5,54 MPa olarak tespit edilmiştir. Kompozit numune üretiminde, 0,25 d/b oranına kadar dolgu

malzemesi miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte 0,25 d/b oranından daha yüksek oranda üretilen kompozit numunelerde ise dolgu malzemesi miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma, kompozit numune içerisinde artan dolgu malzemesi tanecikleri ile bağlayıcı malzemenin arasındaki bağlanmanın zayıflaması ile açıklanabilir.

Gürü ve diğerleri (2009), atık fındıkkabuklarından ÜF esaslı kompozit levha üretilmesini incelemişleridir. Çalışmada, kompozit numuneler 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8 ve 3,2 d/b oranlarında üretilmiştir. En uygun d/b oranı, en yüksek eğilme dayanımı değerinin ~4,1 MPa olarak belirlendiği 2,4 d/b oranında üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Choi ve diğerlerinin (2006) yaptıkları çalışmada ise, pirinç kabuğu ve atık plastik parçalarından kompozit malzeme üretilmesi araştırılmıştır. Farklı d/b oranı kombinasyonlarının kompozit numunelerin eğilme dayanımını oldukça etkilediği açıklanmıştır. Çalışmada, kompozit numuneler 0,0; 0,5; 1,0 ve 1,5 d/b oranlarında oluşturulmuş ve en yüksek eğilme dayanımı 1,0 d/b oranında hazırlanmış numunelerde tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçların literatüre uygun olduğu değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, deneme yanılma yolu ile bitkisel atık olan kozalak ve melas kullanılarak boyutsal bütünlüğünü koruyabilen düşük maliyetli bir kompozit malzemenin üretilebileceği gözlemlenmiştir. Kompozit numune üretim sürecinde, en uygun d/b oranı parametresi en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği 0,25 d/b oranı olarak tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra 0,25 d/b oranı sabit tutularak diğer üretim parametrelerinin etkisi araştırılmıştır.

4.1.2. En uygun melas oranı

Kompozit numunelerin üretiminde 0,25 d/b oranı sabit tutularak bağlayıcı karışımında PVAc yerine ağırlıkça %25, %30, %35, %40, %45, %47,5 ve %55 oranlarında melas katılarak 7 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Üretilen numunelere sabit miktarda tüm bağlayıcı miktarının ağırlıkça %5'i kadar FF katılmıştır. Hazırlanan kompozit numunelere ait malzemelerin ağırlıkça karışım oranları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı melas oranlarında üretilen kompozit numunelerin karışım oranları

Numune grup no	Dolgu malzemesi	Bağlayıcı malzeme karışımı						d/b
	Kozalak (g)	PVAc		Melas		FF		
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
1	30	70	84	25	30	5	6	0,25
2	30	65	78	30	36	5	6	0,25
3	30	60	72	35	42	5	6	0,25
4	30	55	66	40	48	5	6	0,25
5	30	50	60	45	54	5	6	0,25
6	30	47,5	57	47,5	57	5	6	0,25
7	30	40	48	55	66	5	6	0,25

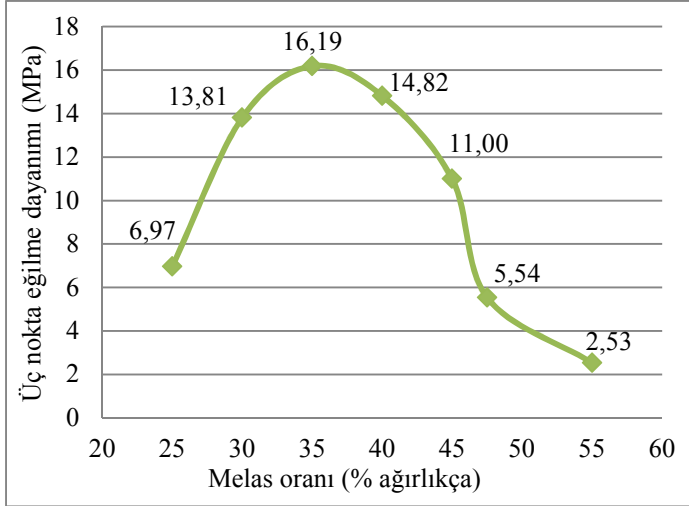
Farklı melas oranlarında hazırlanan kompozit numunelerin eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiştir. Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı melas oranlarındaki kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Melas (%)	d/b	N	X _{min.} (MPa)	X _{maks.} (MPa)	X _{ort.} (MPa)	VK
25	0,25	6	6,36	7,79	6,97	0,08
30	0,25	6	12,99	16,97	13,81	0,12
35	0,25	6	13,26	17,90	16,19	0,10
40	0,25	6	12,54	16,47	14,82	0,11
45	0,25	6	9,80	12,67	11,00	0,09
47,5	0,25	6	5,19	6,22	5,54	0,14
55	0,25	6	2,05	2,80	2,53	0,11

N: Numune sayısı, X_{min.}: En küçük değer, X_{maks.}: En büyük değer, X_{ort.}: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile melas oranı ilişkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-melas oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b: 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 28 kg/cm², maks. tane boyutu: 1 mm, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.2 incelendiğinde, deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme dayanımı ağırlıkça %35 melas oranı ile üretilen kompozit numunelerde 16,19 MPa olarak tespit edilmiştir. Kompozit numune üretim sürecinde, bağlayıcı karışımı içerisinde PVAc yerine %35'e kadar melas katılması numunelerin eğilme dayanımını arttırmıştır. Bu artış, melas içeriğinde bulunan şekerin bağlayıcı özelliğinin bulunması ile açıklanabilir. Ancak numune içerisinde bağlayıcı karışımında %35'den daha fazla melas katılması durumunda çapraz bağ oluşturan PVAc'nin azalması sebebiyle numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Solt ve diğerleri (2019) yaptıkları araştırmada, şekerin çapraz bağ reaksiyonları gerçekleştirebileceğini açıklamışlardır. Çalışmada, şeker üzerine ısı işlem uygulanması ile şekerin çok reaktif bir bileşene dönüşebileceği belirtilmiştir. Belgacem ve Gandini (2003), petrol ve kömürden elde edilen kimyasal malzemelerin bir kısmının veya tamamının yerine bitkisel biyokütlelerden elde edilen modifiye edilmiş şeker gibi polimerik malzemelerin kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Elde edilen deney sonuçlarına göre kompozit malzeme üretiminde polimer bağlayıcılı PVAc ve FF kimyasal bağlayıcı reçineler ile melasın birlikte bağlayıcı malzeme olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Çalışmamızda elde edilen deney sonuçları, kompozit malzeme üretiminde melas kullanılarak kimyasal esaslı bağlayıcı malzeme kullanımının azaltılabileceğini göstermektedir. Bu sayede, hem daha ekonomik hem de insan sağlığına daha az zararlı kompozit malzeme üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Kompozit numune üretim sürecinde, bağlayıcı karışımında %35 oranında melas içeren numunelerde en

yüksek eğilme dayanımı değeri elde edildiğinden bu aşamadan sonra %35 melas oranı sabit tutularak diğer üretim parametrelerinin etkisi araştırılmıştır.

4.1.3. En uygun kalıplama basıncı sıcaklığı

Kompozit numuneler, 0,25 d/b oranı ve bağlayıcı karışımında %35 oranında melas içeriği parametreleri sabit tutulmuş halde 60 °C, 80 °C, 90 °C, 100 °C, 120 °C ve 140 °C kalıplama basıncı sıcaklıklarında üretilerek 6 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Böylece, kompozit malzeme üretiminde uygulanan basınç sıcaklığı üretim parametresindeki değişimin numunelerin eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiştir. Üretilen kompozit numunelere ait malzemelerin ağırlıkça karışım oranları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Üretilen kompozit numunelerin karışım oranları

Numune grup no	Dolgu malzemesi	Bağlayıcı malzeme karışımı						d/b
	Kozalak (g)	PVAc		Melas		FF		
		(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	
1	30	60	72	35	42	5	6	0,25
2	30	60	72	35	42	5	6	0,25
3	30	60	72	35	42	5	6	0,25
4	30	60	72	35	42	5	6	0,25
5	30	60	72	35	42	5	6	0,25
6	30	60	72	35	42	5	6	0,25

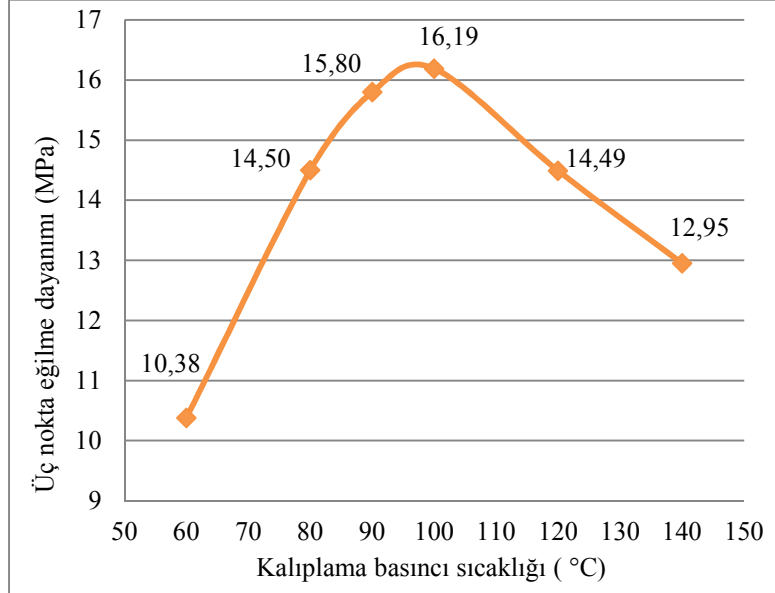
Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı basınç sıcaklıklarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Basınç sıcaklığı (°C)	Melas (%)	d/b	N	X _{min.} (MPa)	X _{maks.} (MPa)	X _{ort.} (MPa)	VK
60	35	0,25	6	9,41	11,19	10,38	0,07
80	35	0,25	6	13,62	17,12	14,50	0,09
90	35	0,25	6	14,56	17,79	15,80	0,07
100	35	0,25	6	13,46	17,84	16,19	0,10
120	35	0,25	6	12,54	17,09	14,49	0,12
140	35	0,25	6	12,33	16,41	12,95	0,17

N: Numune sayısı, X_{min.}: En küçük değer, X_{maks.}: En büyük değer, X_{ort.}: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile kalıplama basıncı sıcaklığı ilişkisi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kalıplama basıncı sıcaklığı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı:120 g, kalıplama basıncı: 28 kg/cm², maks. tane boyutu: 1 mm, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.3'e göre, kompozit numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 100 °C basınç sıcaklığı ile üretilen numunelerde 16,19 MPa olarak elde edilmiştir. Kompozit numune üretim sürecinde 100 °C'ye kadar basınç sıcaklığı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Ancak, 100 °C 'den daha yüksek kalıplama basıncı sıcaklığı ile üretilen numunelerde basınç sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, 120 °C ve 140 °C basınç sıcaklığında üretilen kompozit numunelerin yüzeyinin 100 °C ve daha düşük sıcaklıklarda üretilen numunelerin yüzeyinden daha pürüzlü olduğu gözlemlenmiştir.

Alonso ve diğerleri (2011) yaptıkları araştırmada, yüksek sıcaklığa maruz kalan polimerik bağlayıcı malzemelerin bozulduğunu açıklamışlardır. Buradan hareketle, deneysel çalışmamızda yüksek sıcaklıkta üretilen kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin azalması, basınç sıcaklığı arttıkça numune içerisindeki polimerik bağlayıcı malzemelerin bozulmasıyla açıklanabilir.

Kusumah ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada, atık küspe ve sitrik asit kullanılarak 140 °C, 160 °C, 180 °C, 200 °C ve 220 °C basınç sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin eğilme dayanımlarını tespit etmişlerdir. Çalışmada, en yüksek eğilme dayanımı 200 °C 'de üretilen numunelerde ~20 MPa olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, basınç sıcaklığı arttıkça numunelerin yüzeyinde bozulmaların meydana geldiği ifade edilmiştir. Sahin ve diğerleri (2017), atık şeftali kabuğu ve polimerik bağlayıcı malzeme kullanılarak 30 °C, 60 °C, 90 °C, 120 °C ve 150 °C basınç sıcaklığında üretilen kompozit malzemelerin eğilme dayanımlarını belirlemişlerdir. Çalışmada, en yüksek eğilme dayanımı değeri 120 °C'de üretilen numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca, numune üretiminde yüksek basınç sıcaklığının polimerik bağlayıcı malzemelerin bozulmasına neden olduğu açıklanmıştır. Kompozit numunelerden elde edilen deney sonuçlarının literatür ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Sonuç olarak, numune üretiminde en önemli parametrelerden biri olan ve en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği basınç sıcaklığı parametresi 100 °C olarak tespit edilmiştir. Numune üretiminde bu aşamadan sonra 100 °C basınç sıcaklığı sabit alınarak diğer üretim parametreleri incelenmiştir.

4.1.4. En uygun kalıplama basıncı

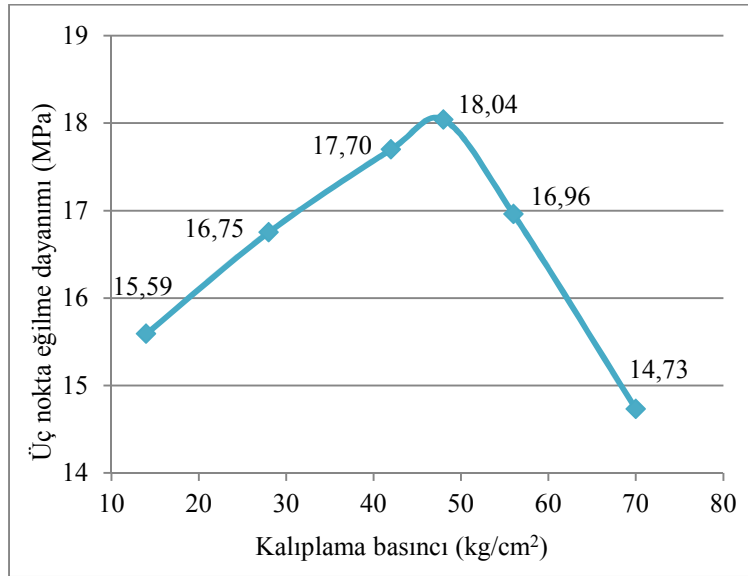
Kompozit numune üretim sürecinde; numunelerin karışım oranlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan ve 100 °C kalıplama basıncı sıcaklığı parametresi sabit tutularak art arda 14 kg/cm², 28 kg/cm², 42 kg/cm², 49 kg/cm², 56 kg/cm² ve 69 kg/cm² kalıplama basıncı ile 6 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Bu sayede, kompozit malzeme üretiminde, kalıplama basıncındaki değişimin numunelerin eğilme dayanıma etkisi belirlenmiştir. Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı kalıplama basıncı ile üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Numune grup no	Kalıplama basıncı (kg/cm ²)	Basınç sıcaklığı (°C)	Melas (%)	d/b	N	X _{min.} (MPa)	X _{maks.} (MPa)	X _{ort.} (MPa)	VK
1	14	100	35	0,25	6	14,24	19,11	15,59	0,12
2	28	100	35	0,25	6	13,46	17,84	16,75	0,09
3	42	100	35	0,25	6	14,71	18,70	17,70	0,09
4	49	100	35	0,25	6	15,78	19,84	18,04	0,10
5	56	100	35	0,25	6	13,48	17,52	16,96	0,09
6	69	100	35	0,25	6	12,44	15,78	14,73	0,09

N: Numune sayısı, X_{min.}: En küçük değer, X_{maks.}: En büyük değer, X_{ort.}: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile kalıplama basıncı ilişkisi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kalıplama basıncı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b: 0,25, bağlayıcı ağırlığı:120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, maks. tane boyutu: 1 mm, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.4 incelendiğinde, üretilen kompozit numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 49 kg/cm² kalıplama basıncı ile hazırlanan numunelerde 18,04 MPa olarak tespit edilmiştir. Kompozit numune üretiminde 49 kg/cm² kalıplama basıncından daha yüksek kalıplama basıncı ile üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalış, kompozit numuneler üzerine yüksek kalıplama basıncı uygulanması esnasında göreceli olarak bağlayıcı malzemenin kalıptan sızması ile açıklanabilir. Diğer

tarafından, 49 kg/cm^2 kalıplama basıncından daha düşük kalıplama basıncı ile üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin daha az olduğu belirlenmiştir. Düşük kalıplama basıncı ile üretilen numunelerin daha az sıkışarak daha boşluklu yapıda oluşturulmasından dolayı eğilme dayanımı değerlerinin daha az olduğu değerlendirilmektedir.

Taha ve diğerleri (2018), domates saplarının kompozit malzeme üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada, %14 oranında polimerik bağlayıcı içeren numuneler, sırasıyla 20, 29 ve 35 kg/cm^2 basınç uygulayarak üretmişlerdir. Üretilen numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 29 kg/cm^2 basınç ile hazırlanan numunelerde tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra Sahin ve diğerleri (2017), şeftali kabuğu esaslı kompozit numuneler 1 ~ 10 MPa arasında kalıplama basıncı ile hazırlamışlardır. Hazırlanan numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı 4,5 MPa kalıplama basıncı ile üretilen numunelerde tespit edilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen deney sonuçları incelendiğinde, belirli bir kalıplama basıncına kadar numunelerin eğilme dayanımı değerinin artması literatür ile uygunluk göstermektedir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda kompozit numune üretiminde en uygun kalıplama basıncı 49 kg/cm^2 olarak belirlenmiş ve sonraki kompozit numune üretim aşamalarında kalıplama basıncı sabit alınarak diğer üretim parametreleri incelenmiştir.

4.1.5. En uygun ortalama tane boyutu

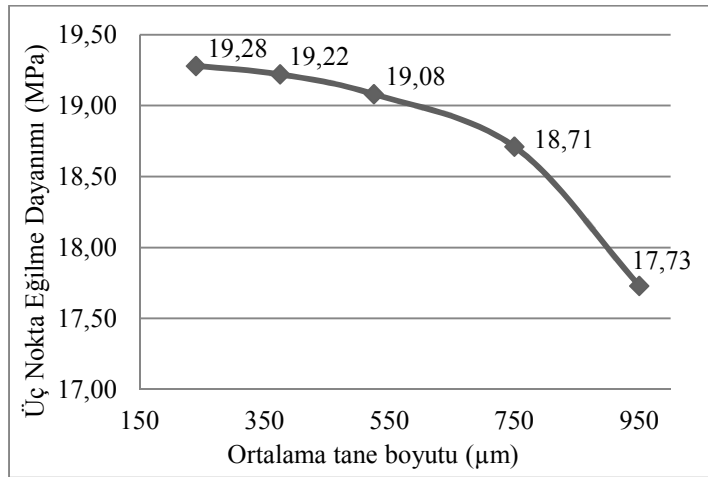
Kompozit numuneler, numune karışım oranlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan, 100°C basınç sıcaklığı ve 49 kg/cm^2 kalıplama basıncı üretim parametreleri sabit tutularak sırasıyla 240 μm , 375 μm , 525 μm , 750 μm ve 950 μm ortalama tane boyutlarındaki kozalak dolgu malzemesi ile 5 farklı numune grubu hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit numuneler üzerinden kozalak dolgu malzemesi tane boyutunun eğilme dayanıma etkisi tespit edilmiştir. Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı ortalama tane boyutu ile üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Numune grup no	$\bar{d}$ (μm)	Kalıplama basıncı (kg/cm^2)	Basınc sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Melas (%)	d/b	N	$X_{\min.}$ (MPa)	$X_{\max.}$ (MPa)	$X_{\text{ort.}}$ (MPa)	VK
1	240	49	100	35	0,25	6	17,93	22,76	19,28	0,09
2	375	49	100	35	0,25	6	17,89	21,36	19,22	0,07
3	525	49	100	35	0,25	6	18,14	20,02	19,08	0,04
4	750	49	100	35	0,25	6	17,11	20,01	18,71	0,05
5	950	49	100	35	0,25	6	15,36	19,06	17,73	0,08

N: Numune sayısı, $\bar{d}$: ortalama tane boyutu, $X_{\min.}$: En küçük değer, $X_{\max.}$: En büyük değer, $X_{\text{ort.}}$: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile ortalama tane boyutu ilişkisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-ortalama tane boyutu ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b: 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 $^{\circ}\text{C}$, kalıplama basıncı: 49 kg/cm^2 , kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.5'e göre, farklı kozalak tane boyutlarında üretilen kompozit numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı değeri, ortalama tane boyutu 240 μm olan kozalak ile üretilen numunelerde 19,28 MPa olarak tespit edilmiştir. En düşük eğilme dayanımı ise ortalama tane boyutu 950 μm kozalak ile üretilen kompozit numunelerde 17,73 MPa olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen deney sonuçları incelendiğinde, kompozit numune üretiminde kozalak dolgu malzemesinin ortalama tane boyutu azaldıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum şöyle açıklanabilir: Kompozit numune üretiminde bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Kompozit

deney numuneleri kalıplama işlemi sürecinde dolgu malzemesi tane boyutu azaldıkça kalıp dışına basınç etkisiyle sızan bağlayıcı miktarında azalma olduğu gözlenmiştir. Bu azalmanın sebebi, kozalak dolgu malzemesinin ortalama tane boyutu küçüldüğünden kompozit numune karışımında tanelerin yüzeyini kaplamak için daha fazla bağlayıcının bulunmasıdır. Eğilme dayanımındaki artış, kozalak dolgu malzemesi tanecikleri ile bağlayıcı arasında daha çok bağ oluşmasıyla açıklanabilir. Li ve diğerleri (2010) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, farklı tane boyutlarında pirinç sapı kullanarak elde edilen kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerleri araştırılmıştır. Çalışmada, numune içerisinde kaba taneli parçacıkların artması sebebiyle kaba taneler ile bağlayıcı reçine arasındaki yapışma bağının azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca numune üretiminde yüzey alanının azalmasının numunelerin eğilme dayanımını olumsuz etkilediği ifade edilmiştir. Benzer şekilde Khazaeian ve diğerleri (2015) tarafından yapılan araştırmada, sırasıyla 20, 30 ve 40 mesh tane boyutlarında saman sapı kullanarak üretilen kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerleri incelenmiştir. Çalışmada, en yüksek eğilme dayanımı 40 mesh, en düşük eğilme dayanımı ise 20 mesh tane boyutu ile oluşturulan numunelerde tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi, deneylerden elde edilen sonuçların literatür ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, kompozit numune üretiminde en uygun ortalama tane boyutu 240 μm olarak belirlenmiştir. Bu deneysel çalışma sürecindeki sonraki aşamalarda, kompozit numune üretiminde ortalama tane boyutu 240 μm ($\bar{d}$) olacak şekilde sabit alınarak diğer üretim parametreleri incelenmiştir.

4.1.6. En uygun kalıplama basıncı süresi

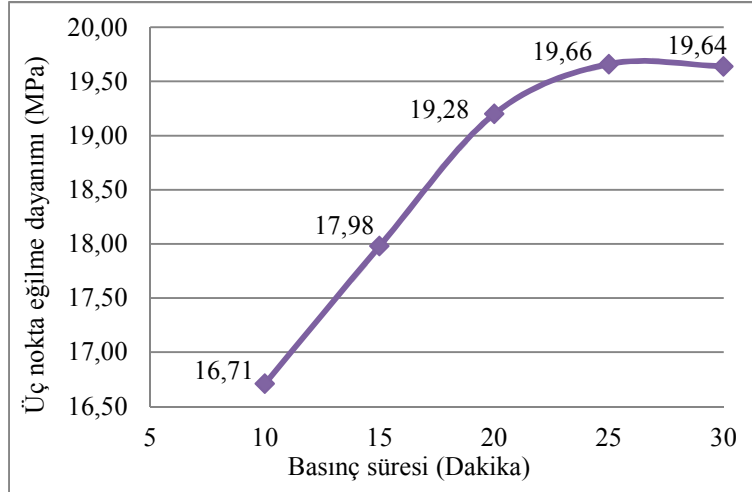
Kompozit numuneler, numune karışım oranlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan deneysel olarak tespit edilen 49 kg/cm^2 kalıplama basıncı ve 100 °C basınç sıcaklığı sabit üretim parametreleri ile 10, 15, 20, 25 ve 30 dakikalık kalıplama basıncı süresi uygulanarak üretilmiştir. Buna göre, farklı sürelerde sıcak kalıplama basıncı uygulanması ile üretilen 5 numune grubu hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit numuneler üzerinden kalıplama basıncı uygulama süresinin numunelerin eğilme dayanımına etkisi belirlenmiştir. Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre farklı basınç sürelerinde üretilen her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı kalıplama basıncı sürelerinde üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Numune grup no	t (dk)	$\bar{d}$ (μm)	Kalıplama basıncı (kg/cm^2)	Basınç sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Melas (%)	d/b	N	$X_{\min.}$ (MPa)	$X_{\max.}$ (MPa)	$X_{\text{ort.}}$ (MPa)	VK
1	10	240	49	100	35	0,25	6	13,27	18,05	16,71	0,11
2	15	240	49	100	35	0,25	6	16,65	19,11	17,98	0,06
3	20	240	49	100	35	0,25	6	17,90	22,80	19,28	0,09
4	25	240	49	100	35	0,25	6	18,15	24,27	19,66	0,12
5	30	240	49	100	35	0,25	6	17,88	26,11	19,64	0,12

N: Numune sayısı, t : sıcak basınç süresi, $\bar{d}$: ortalama tane boyutu, $X_{\min.}$: En küçük değer, $X_{\max.}$: En büyük değer, $X_{\text{ort.}}$: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre, her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile kalıplama basıncı süresi ilişkisi Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kalıplama basıncı süresi ilişkisi. (Üretim koşulları: d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100°C , kalıplama basıncı: 49 kg/cm^2 , $\bar{d}$: $240 \mu\text{m}$)

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, kompozit numuneler arasında sırasıyla 10, 15 ve 20 dakikalık süre boyunca basınç uygulanarak üretilen kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin giderek arttığı tespit edilmiştir. Kompozit numuneler arasında en düşük eğilme dayanımı 10 dakikalık en az basınç süresi ile üretilen numunelerde 16,71 MPa olarak tespit edilmiştir. Öte yandan, en yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahip 20 ile 30 dakika arasındaki basınç sürelerinde üretilen kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin göreceli olarak değişmediği belirlenmiştir. Bu sonuca göre, kompozit numune üretiminde 20 dakikadan daha fazla basınç süresi kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin göreceli olarak değişmemesi, bağlayıcı karışımın bağ oluşturma

reaksiyonunu tamamlaması ile açıklanabilir. Çalışmada, 20, 25 ve 30 dakikalık basınç süreleri ile üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin birbirine çok yakın olması sebebiyle en uygun basınç süresi mühendislik açısından zaman, enerji dolayısıyla maliyet tasarrufu sağlamak için 20 dakika olarak seçilmiştir.

Kusumah ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada, sırasıyla 2, 5, 7, 10 ve 15 dakikalık basınç sürelerinde kompozit numune üretilmesini araştırmışlardır. Çalışmada, 10 dakika boyunca basınç uygulanan numunelerde en yüksek eğilme dayanımı değerini tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, 15 dakika basınç süresi ile üretilen numunelerde bağlayıcı malzemenin bozulmasından dolayı numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı belirtilmiştir. Wang ve Sun (2002) çalışmalarında, 6, 8, 10 ve 12 dakika pres süresi ile ürettikleri numunelerin çekme dayanımlarını incelemişlerdir. Buna göre, en yüksek çekme dayanımının 8 dakika basınç süresi ile üretilen numunelerden elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca 8 dakikadan daha uzun basınç süresi ile üretilen numunelerin çekme dayanımı değerlerinin göreceli olarak değişmediği tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçların literatür ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Buradan hareketle, kompozit numune üretiminde en uygun basınç süresi 20 dakika olarak kabul edilmiştir. Kompozit numune üretiminde, sonraki aşamalarda kalıplama basıncı süresi 20 dakika olacak şekilde sabit alınarak diğer üretim parametreleri incelenmiştir.

4.1.7. En uygun FF oranı

Kompozit numune üretiminde, bağlayıcı karışımlarında ağırlıkça 0,58 melas/PVAc oranı sabit tutularak farklı oranlarda FF içeren deneme karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu bağlayıcı karışımları ağırlıkça 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 ve 0,35 FF/(melas+PVAc) oranlarında üretilerek 7 farklı kompozit numune grubu oluşturulmuştur. Farklı oranlarda FF ile üretilen kompozit numunelere ait karışım oranları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu numuneler üzerinden bağlayıcı karışımlarında farklı oranlarda FF katılmasının numunelerin eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı oranlarda FF içeren bağlayıcı karışımı oranları

Numune grup no	d/b (g/g)	Dolgu malzeme	Bağlayıcı karışımı				
		Kozalak (g)	Melas (g)	FF (g)	PVAc (g)	Melas/PVAc (g/g)	FF/(Melas+PVAc) (g/g)
1	0,25	30	42,00	6	72,00	0,58	0,05
2	0,25	30	40,00	12	68,00	0,58	0,10
3	0,25	30	38,25	16	65,75	0,58	0,15
4	0,25	30	37,00	20	63,00	0,58	0,20
5	0,25	30	35,50	24	60,50	0,58	0,25
6	0,25	30	33,75	28	58,25	0,58	0,30
7	0,25	30	32,75	31	56,25	0,58	0,35

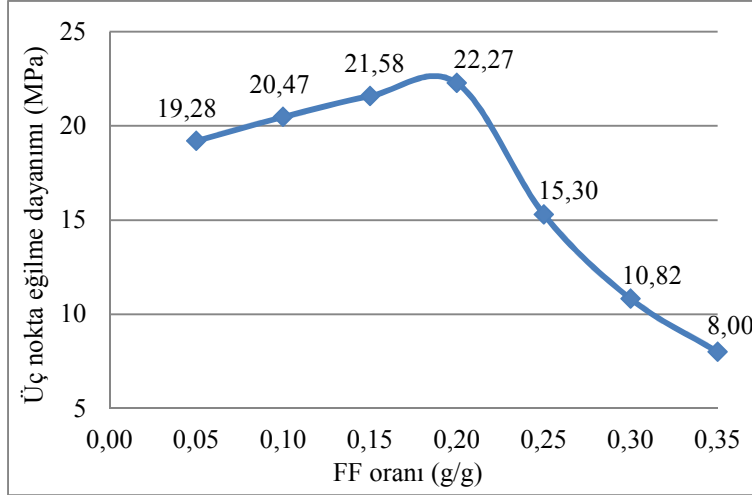
Deneysel olarak önceki üretim aşamalarında belirlenen d/b oranı, kalıplama basıncı sıcaklığı ve kalıplama basıncı, ortalama tane boyutu ve kalıplama basıncı süresi parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan kompozit numuneler üretilmiştir. Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre farklı FF oranlarında üretilen her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı FF oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Numune grup no	FF oranı (g/g)	N	X _{min.} (MPa)	X _{maks.} (MPa)	X _{ort.} (MPa)	VK
1	0,05	6	17,90	22,80	19,28	0,09
2	0,10	6	15,90	26,27	20,47	0,12
3	0,15	6	20,36	22,68	21,58	0,05
4	0,20	6	18,17	24,47	22,27	0,10
5	0,25	6	13,84	17,19	15,30	0,08
6	0,30	6	9,7	12,98	10,82	0,11
7	0,35	6	7,67	8,19	8,00	0,03

N: Numune sayısı, X_{min.}: En küçük değer, X_{maks.}: En büyük değer, X_{ort.}: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile FF oranı ilişkisi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-FF oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², $\bar{d}$: 240 μ m, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.7 incelendiğinde, bağlayıcı karışımında 0,20 oranına kadar FF katılmasının kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu artış, numune üretiminde FF'nin, melas ve PVAc bağlacılarına kıyasla dolgu malzemesi taneleri ile daha fazla çapraz bağ oluşturması ile açıklanabilir (Conner, 2001). Üretilen numuneler arasında en yüksek üç nokta eğilme dayanımı 0,20 FF/(melas+PVAc) içeren numunelerde 22,27 MPa olarak tespit edilmiştir. Diğer taraftan, bağlayıcı karışımında 0,20 FF/(melas+PVAc) oranından daha fazla FF katılması kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerlerini azaltmıştır. Bu azalış, numune karışımlarında FF içeriği arttıkça karışımların daha sulu kıvamda olması ile açıklanabilir. Kompozit numune üretiminde 0,20'den daha fazla FF içeren karışımların daha sulu kıvamda olduğu gözlemlenmiş ve numuneler üzerine sabit kalıplama basıncının uygulaması süresince bağlayıcı karışımın göreceli olarak kalıp dışına sızdığı görülmüştür.

Viswanathan ve Gothandapani (1999), numune karışımlarına ağırlıkça %12, %16 ve %20 oranlarında FF reçine ekledikçe numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin arttığını ve en yüksek eğilme dayanımının %20 FF içeren numunelerden elde edildiğini açıklamışlardır. Bunun yanı sıra, Ayrilmis ve diğerleri(2012) tarafından yapılan çalışmada, ağırlıkça %8, %10 ve %12 oranlarında FF içeren kompozit numuneler arasında %8 ve %10 FF oranlarında hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı değerlerinde önemli bir artışın olmadığını belirtmişlerdir. Ancak %12 FF ile üretilen numunelerde 14 MPa değerinde en

yüksek eğilme dayanımı değeri tespit edilmiştir. Böylece, literatürde FF reçinesinin kompozit malzeme üretiminde eğilme dayanımına etkisi, bu çalışmadan elde edilen deney sonuçları ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Sonuç olarak, kompozit numune üretiminden uygun FF oranı ağırlıkça 0,20 olarak tespit edilmiştir. Sonraki kompozit numune üretim aşamalarında 0,20 FF oranı sabit alınarak diğer üretim parametreleri araştırılmıştır.

4.1.8. En uygun kenevir lifi oranı

Kompozit numuneler üzerinde numune karışım oranlarında herhangi bir değişiklik yapılmadan ve deneysel olarak tespit edilen 20 dakikalık kalıplama basıncı süresi boyunca 49 kg/cm² kalıplama basıncı ve 100 °C kalıplama basıncı sıcaklığı uygulanarak bağlayıcı ağırlığına göre %0; %0,25; %0,50; %0,75; %1,00 ve %1,50 oranlarında endüstriyel kenevir lifin katılması ile numuneler hazırlanmıştır. Buna göre, farklı oranda kenevir lifin kullanıldığı 6 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Hazırlanan kompozit numunelere ait karışım oranları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bu numuneler üzerinden kenevir lifi miktarının numunelerin eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Kenevir lifi kullanılan kompozit numunelerin karışım oranları

Numune grup no	d/b (g/g)	Kozalak (g)	Bağlayıcı karışım (Melas+FF+PVAc) (g)	Kenevir lifi (g)	Kenevir lifi (% g)
1	0,25	30	120	0,0	0,00
2	0,25	30	120	0,3	0,25
3	0,25	30	120	0,6	0,50
4	0,25	30	120	0,9	0,75
5	0,25	30	120	1,2	1,00
6	0,25	30	120	1,8	1,50

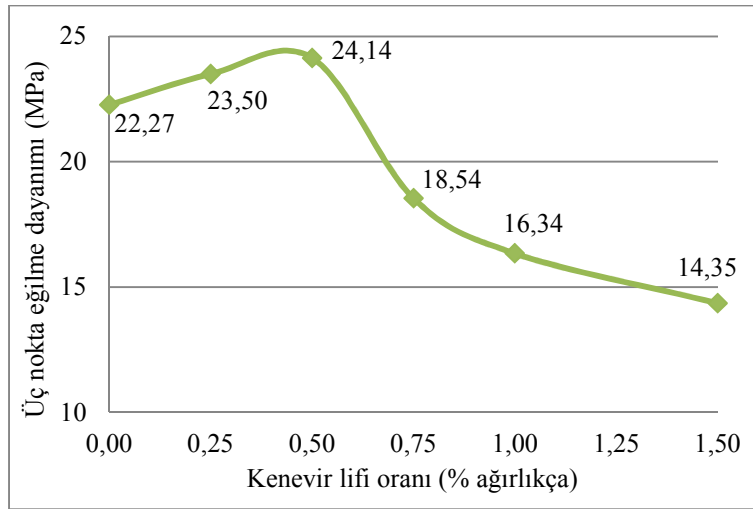
Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre farklı kenevir lifi oranlarında üretilen her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı kenevir lifi oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Numune grup no	Kenevir lifi oranı (%)	N	$X_{\min.}$ (MPa)	$X_{\max.}$ (MPa)	$X_{\text{ort.}}$ (MPa)	VK
1	0,00	6	18,17	24,47	22,27	0,10
2	0,25	6	21,24	25,58	23,50	0,07
3	0,50	6	23,22	26,02	24,14	0,04
4	0,75	6	16,19	23,22	18,54	0,14
5	1,00	6	14,06	17,96	16,34	0,11
6	1,50	6	11,37	16,53	14,35	0,14

N: Numune sayısı, $X_{\min.}$: En küçük değer, $X_{\max.}$: En büyük değer, $X_{\text{ort.}}$: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile kenevir lifi oranı ilişkisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kompozit malzeme üretiminde üç nokta eğilme dayanımı-kenevir lifi oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², d : 240µm, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.8’den elde edilen verilere göre, %0,50 kenevir lifi içeren numunelerde en yüksek eğilme dayanımı değeri 24,14 MPa olarak tespit edilmiştir. Kompozit numune üretiminde %0,50 oranına kadar kenevir lifi katılması numunelerin eğilme dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Buna karşın numune karışımlarına %0,50 oranından daha fazla kenevir lifi katılması numunelerin eğilme dayanımlarında azalmalara sebep olmuştur. Bu azalma, numune içerisinde lif miktarı arttıkça lif etrafında meydana gelen boşluklarında artması ile açıklanabilir. Numune karışımında lif miktarı arttıkça numune içerisindeki boşluk

miktarında artmasından dolayı numunelerin mekanik dayanımı azalmaktadır (Chaharmahali ve diğerleri, 2008).

Sahin ve diğerleri (2017), ağırlıkça %0, %3, %9, %15 ve %22 çay yaprağı lifli numuneler arasında %15 oranına kadar çay lifli numunelerde çekme dayanımı değeri arttarken, %22 çay lifli numunelerde ise çekme dayanımı değerinin azaldığı gösterilmiştir. Narciso ve diğerleri (2021), kompozit malzeme üretiminde hindistancevizi lifini dolgu maddesi olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada, numune üretiminde hindistancevizi lifi miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin giderek azaldığı gösterilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değeri %25 lifli numunelerde 19,5 MPa olarak belirtilmiştir. Buna ek olarak hindistancevizi lifinin numune içerisinde boşluklar meydana getirdiği ifade edilmiştir. Buna göre yapılan bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar ile literatürde yer alan çalışmaların benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği %0,50 kenevir lifi oranı numune üretiminde sabit alınmıştır.

4.1.9. En uygun kompozit numune üretim parametreleri genel sonuçları

Kompozit numunelerden elde edilen tüm bağımsız üretim parametre sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kompozit deney numunelerinde en yüksek eğilme dayanımının elde edildiği bağımsız üretim parametre sonuçları

Bağımsız üretim parametreleri	Birim	En yüksek eğilme dayanımı elde edilen durum
d/b oranı	(g/g)	0,25
Melas oranı	(% ağırlık)	35
Kalıplama basıncı sıcaklığı	(°C)	100
Kalıplama basıncı	(kg/cm ²)	49
Ortalama tane boyutu	µm	240
Kalıplama basıncı süresi	(dakika)	20
FF oranı	(g/g)	0,20
Kenevir lifi oranı	(% ağırlık)	0,50

Çizelge 4.14'te belirtilen bağımsız üretim parametrelerine göre, bitkisel atık malzemeler kullanılarak boyutsal bütünlüğünü koruyabilen ve en yüksek eğilme dayanımına sahip kompozit numuneler üretilmiştir. Bunun yanı sıra bitkisel atık malzemelerin kullanılması

sayesinde hem daha ekonomik hem de insan sağığına daha az zararlı kompozit malzemelerin üretilmesi sağılanmıştır. Üretilen bu kompozit numunelerin en yüksek eğilme dayanımı değeri 24,14 MPa olarak (Şekil 4.8) tespit edilmiştir.

TS EN 312 Yonga Levhalar ve Özellikleri standardına göre, 7 mm anma kalınlığına sahip malzemelerin sınıflandırılması ve bu sınıflandırma için gereken minimum eğilme dayanımı değeri Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. TS EN 312 standardına göre yonga levhaların sınıflandırılması

Sınıflandırma	Eğilme dayanımı sınır değeri (MPa)	Kullanım alanı	Nem şartı
P1	$\geq 10,5$	Genel amaç	Kuru şart
P2	≥ 11	İç donanım (mobilya dahil)	Kuru şart
P3	≥ 15	Yük taşıyıcı olmayan	Nemli şart
P4	≥ 16	Yük taşıyıcı	Kuru şart
P5	≥ 18	Yük taşıyıcı	Nemli şart

Çizelge 4.15 incelendiğinde, kompozit numunelerden elde edilen en yüksek eğilme dayanımı değeri (24,14 MPa), P1, P2, P3, P4 ve P5 sınıflandırması eğilme dayanımı değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuca göre belirtilen üretim parametreleri ile elde edilen kompozit numunenin TS EN 312'deki belirtilen tüm yonga levha sınıflandırmasını sağladığı tespit edilmiştir. Çalışmanın diğer aşamalarında Çizelge 4.14'te belirtilen bağımsız üretim parametreleri sabit alınarak kompozit numuneler üretilmiştir.

Öte yandan, bağımsız üretim parametrelerine göre en yüksek eğilme dayanımı değerinde üretilmiş olan kompozit numuneler kullanılarak; suya daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme ve su emme, LOI ve vida tutma mukavemeti bağımlı üretim parametreleri incelenmiştir. Böylece üretilen kompozit numunelerin karakteristik özellikleri belirlenmiş ve belirlenen bu karakteristik özelliklerin geliştirilmesi sağlanmıştır.

4.2. Bağımlı Üretim Parametrelerinin Değerlendirilmesi

4.2.1. Suya daldırma işleminden 24 saat sonra kalınlığına şişme deney sonuçları

Kompozit numunelerde, karışıma giren bağlayıcı ağırlığının %0; %0,50; %0,75; %1,00 ve %1,50 oranlarında kenevir lifi katılması ile üretilen numunelerin su içerisinde 24 saat suda bekletildikten sonraki kalınlığına şişme değerleri tespit edilmiştir. Böylece, kompozit malzeme üretiminde kenevir lifi kullanılmasının numunelerin kalınlığına şişme değerlerine etkisi belirlenmiştir. Farklı oranlarda kenevir lifi kullanılarak 5 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Çizelge 4.16’da, kalınlığa şişme deneyi için hazırlanan kenevir lifli numunelerin karışım oranları verilmiştir.

Çizelge 4.16. Kalınlığa şişme deneyi için hazırlanan kenevir lifli kompozit numunelerin karışım oranları

Numune grup no	d/b (g/g)	Kozalak (g)	Bağlayıcı karışım (Melas+FF+PVAc) (g)	Kenevir lifi (g)	Kenevir lifi (%g)
1	0,25	30	120	0,0	0,00
2	0,25	30	120	0,6	0,50
3	0,25	30	120	0,9	0,75
4	0,25	30	120	1,2	1,00
5	0,25	30	120	1,8	1,50

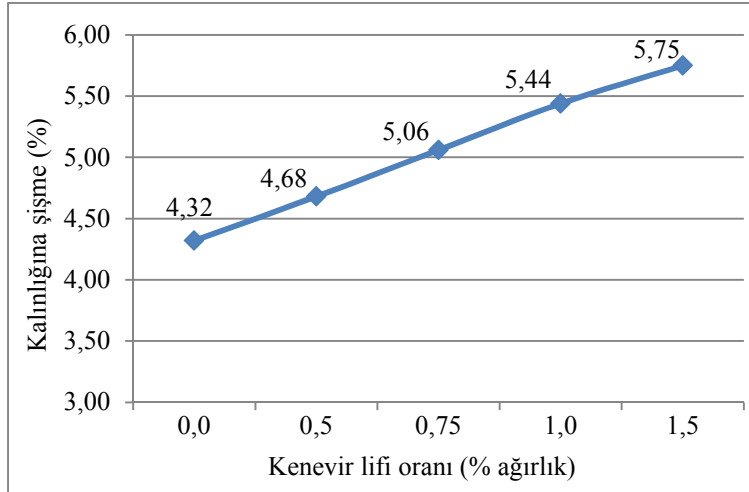
Farklı oranlarda kenevir lifi kullanılarak üretilen kompozit numune gruplarının ortalama kalınlığına şişme değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kenevir lifli kompozit numunelerin ortalama kalınlığına şişme değerleri

Numune grup no	Kenevir lifi oranı (%)	N	t _{2ort.} (mm)	t _{1ort.} (mm)	(t ₂ -t _{1 ort.}) (mm)	Kalınlığa şişme (%)	VK
1	0,00	8	7,96	7,63	0,33	4,32	0,02
2	0,50	8	8,05	7,69	0,36	4,68	0,02
3	0,75	8	8,11	7,72	0,39	5,06	0,03
4	1,00	8	8,32	7,89	0,43	5,44	0,03
5	1,50	8	8,45	7,99	0,46	5,75	0,03

N: Numune sayısı, t_{2 ort.}: Son kalınlıklar ortalaması, t_{1 ort.}: İlk kalınlıklar ortalaması, t₂-t_{1 ort.}: Kalınlık farkları ortalaması, VK: Varyasyon katsayısı

Şekil 4.9’da, kompozit deney numunelerinde kullanılan kenevir lifi oranı ile numunelerin ortalama kalınlığa şişme değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kenevir lifli kompozit numunelerde kalınlığa şişme-kenevir lifi oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², $\bar{d}$: 240 µm, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.9 incelendiğinde, kompozit numune içerisinde kenevir lifi oranı arttıkça numunelerin kalınlığına şişme değerlerinin göreceli olarak arttığı belirlenmiştir. Bu artış, numune içerisindeki kenevir liflerinin hem su emmesi hem de lif etrafındaki boşluklara suyun dolması ile açıklanabilir. Benzer şekilde, Ashori ve Sheshmani (2010) yaptıkları çalışmada numune içerisindeki liflerin etrafında boşlukların meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Lifsiz kompozit numunelerin kalınlığına şişme değeri %4,32 iken, en çok kenevir lifi içeren %1,50 lifli numunelerin kalınlığına şişme değeri ise %5,75 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra en yüksek üç nokta eğilme dayanımının elde edildiği %0,50 kenevir lifli numunelerin kalınlığına şişme değeri %4,68 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.18’de, TS EN 312 Yonga Levhalar ve Özellikleri standardına göre 7 mm anma kalınlığına sahip malzemelerin kullanım alanları, sınıflandırılması ve bu sınıflandırma için gereken en yüksek 24 saat kalınlığına şişme sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.18. TS EN 312'ye göre levhaların kalınlığına şişme sınır değerleri

Sınıflandırma	Kullanım nem şartı	Kullanım alanı	Kalınlığına şişme, 24 saat (%)
P1	Kuru şart	Genel amaç	-
P2	Kuru şart	İç donanım (mobilya dahil)	-
P3	Nemli şart	Yük taşıyıcı olmayan	≤ 17
P4	Kuru şart	Yük taşıyıcı	≤ 16
P5	Nemli şart	Yük taşıyıcı	≤ 11

Çizelge 4.18'e göre, üretilen tüm kompozit numunelerin kalınlığına şişme değerleri, TS EN 312 standardında belirtilen kalınlığına şişme sınır değerlerinin altındadır. En yüksek üç nokta eğilme dayanımının elde edildiği %0,50 kenevir lifli numunelerin de kalınlığına şişme değerlerinin P3, P4 ve P5 sınıflarına ait kalınlığına şişme değerlerine uygun olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. 24 saat sonra su emme deney sonuçları

Üretilen numune karışımlarında bağlayıcı ağırlığının %0, %0,50; %0,75; %1,00 ve %1,50'si oranlarında kenevir lifi katılarak hazırlanan numunelerin 24 saat suda bekletildikten sonraki su emme oranı değerleri belirlenmiştir. Bu sayede, kompozit malzeme üretiminde kenevir lifi kullanılmasının numunelerin su emme değerlerine etkisi tespit edilmiştir. Farklı oranlarda kenevir lifi kullanılarak hazırlanan 5 farklı numune grubu oluşturulmuş ve hazırlanan numunelerin karışım oranları Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Su emme deneyi için hazırlanan kenevir lifli kompozit numunelerin karışım oranları

Numune grup no	d/b (g/g)	Kozalak (g)	Bağlayıcı karışım (Melas+FF+PVAc) (g)	Kenevir lifi (g)	Kenevir lifi (%g)
1	0,25	30	120	0,0	0,00
2	0,25	30	120	0,6	0,50
3	0,25	30	120	0,9	0,75
4	0,25	30	120	1,2	1,00
5	0,25	30	120	1,8	1,50

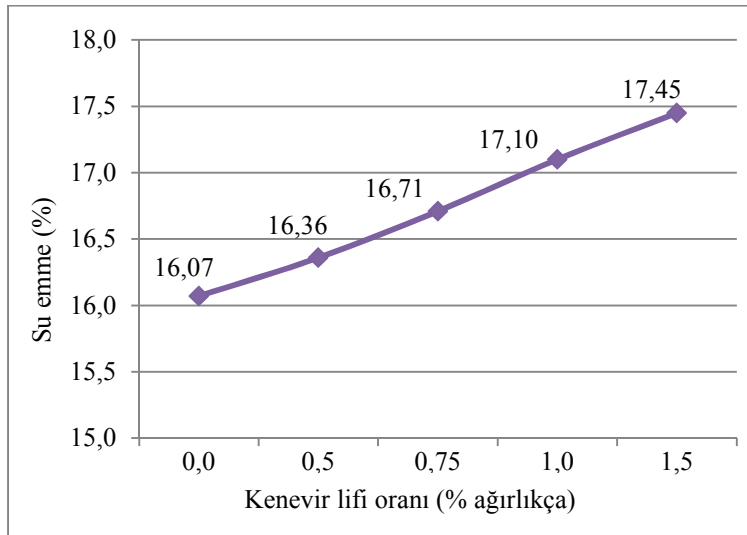
Farklı oranlarda kenevir lifi kullanılarak üretilen kompozit numune gruplarının ortalama su emme değerleri Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Kenevir lifli kompozit numunelerin su emme değerleri

Numune grup no	Kenevir lifi oranı (%)	N	$m_{2\text{ort.}}$ (mm)	$m_{1\text{ort.}}$ (mm)	$(m_2-m_{1\text{ort.}})$ (mm)	Su emme (%)	VK
1	0,00	8	26,58	22,90	3,68	16,07	0,01
2	0,50	8	25,04	21,52	3,52	16,36	0,01
3	0,75	8	26,40	22,62	3,78	16,71	0,01
4	1,00	8	26,57	22,69	3,88	17,10	0,01
5	1,50	8	25,79	21,96	3,83	17,45	0,02

N: Numune sayısı, $m_{2\text{ort.}}$: Son ağırlık ortalaması, $m_{1\text{ort.}}$: İlk ağırlık ortalaması, $m_2-m_{1\text{ort.}}$: Ağırlık farkları ortalaması, VK: Varyasyon katsayısı

Şekil 4.10'da, kompozit deney numunelerinde kullanılan kenevir lifi oranı ile numunelerin ortalama su emme oranları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



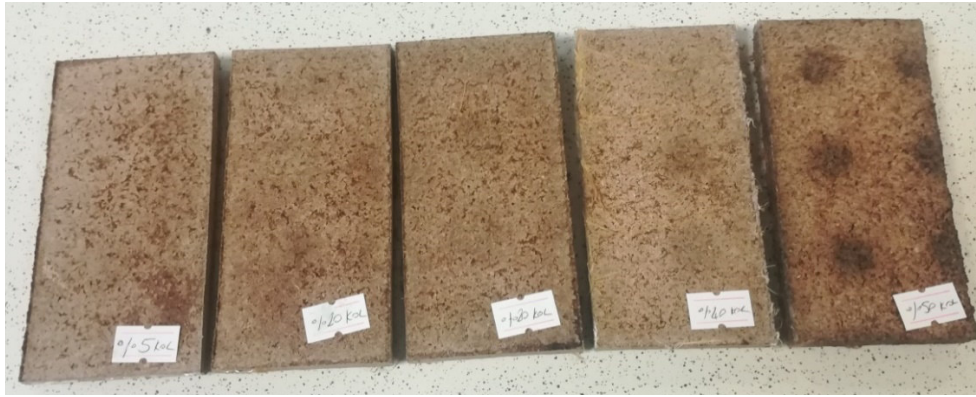
Şekil 4.10. Kenevir lifli kompozit numunelerde su emme-kenevir lifi oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², $\bar{d}$: 240 μ m, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika)

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, kompozit numunelerde kenevir lifi miktarı arttıkça numunelerin su emme değerlerinin göreceli olarak arttığı belirlenmiştir. Bu artış, kalınlığa şişme deneyinde olduğu gibi numune içerisindeki kenevir liflerinin hem su emmesi hem de lif etrafındaki boşluklara suyun dolması ile açıklanabilir. Bunun yanı sıra, laboratuvar şartlarında suyun içerisinde kalan numunelerde herhangi bir erime, parça kopması veya renk değişimi gibi durumlar gözlemlenmemiştir. En yüksek su emme oranı %1,50 kenevir lif kullanılan numunelerde %17,45, en düşük su emme miktarı ise lifsiz numunelerde

%16,07 olarak belirlenmiştir. En yüksek üç nokta eğilme dayanımının elde edildiği %0,50 kenevir lifli numunelerin su emme miktarı %16,36 olarak tespit edilmiştir.

4.2.3. Limit oksijen indeksi (LOI) deney sonuçları

Üretilen kompozit numunelerin yanmazlık özelliğini geliştirmek amacıyla numune karışımlarında atık kolemanit kullanılmıştır. Kompozit numuneler, kozalak dolgu malzemesi yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %40 ve %50 oranlarında atık kolemanit kullanılarak üretilmiştir ve 6 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada %0~50 atık kolemanit kullanılarak üretilen numunelerin boyutsal bütünlüğünü koruyabildiği gözlemlenmiştir. Resim 4.1’de farklı oranlarda atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit numuneler gösterilmiştir. Numune karışımlarına atık kolemanit katılmasıyla üretilen kompozit numunelerin karışım oranları Çizelge 4.21’de verilmiştir. Bu numuneler üzerinden atık kolemanitin numunelerin LOI seviyesine etkisi belirlenmiştir.



Resim 4.1. Farklı oranlarda atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit deney numuneleri

Çizelge 4.21. Farklı oranlarda atık kolemanit katılarak üretilen kompozit numunelerin karışım oranları

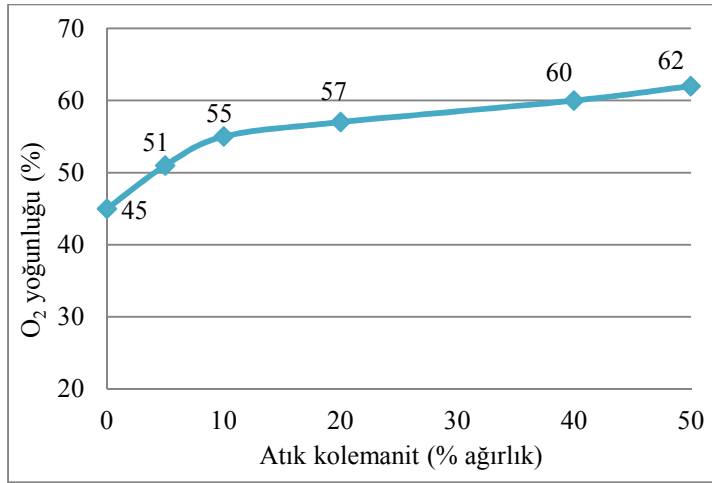
Numune grup no	d/b (g/g)	Dolgu malzemesi				Bağlayıcı karışım (Melas+FF+PVAc) (g)	Kenevir lifi (g)
		Kozalak (%)	Kozalak (g)	Atık kolemanit (%)	Atık kolemanit (g)		
1	0,25	100	30	0	0	120	0,6
2	0,25	95	28,5	5	1,5	120	0,6
3	0,25	90	27	10	3,0	120	0,6
4	0,25	80	24	20	6,0	120	0,6
5	0,25	60	18	40	12,0	120	0,6
6	0,25	50	15	50	15,0	120	0,6

Farklı atık kolemanit oranlarında üretilen her bir kompozit numune gruplarına ait LOI seviyesi değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Farklı atık kolemanit oranlarında üretilen kompozit numunelerin LOI seviyesi değerleri

Numune grup no	Numune adet	Atık kolemanit (%)	Kozalak (%)	LOI seviyesi (% O ₂)
1	6	0	100	45
2	6	5	95	51
3	6	10	90	55
4	6	20	80	57
5	6	40	60	60
6	6	50	50	62

Şekil 4.11’de, kompozit numune üretiminde kullanılan farklı oranlardaki atık kolemanit ile O₂ yoğunluğu arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Atık kolemanit esaslı kompozit numunelerde O₂ yoğunluğu-atık kolemanit oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b: 0,25, bağlayıcı ağırlığı:120g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², $\bar{d}$: 240 μ m, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika, kenevir lifi: %0,5)

Şekil 4.11 incelendiğinde, kompozit numune karışımında atık kolemanit miktarı arttıkça numunelerin LOI seviyesi değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu artış, karışımında kullanılan atık kolemanitin yanmazlık özelliğine sahip olması ile açıklanabilir. Şekil 4.11’den elde edilen verilere göre atık kolemanit kullanılan numuneler arasında en yüksek ve en düşük LOI seviyeleri sırasıyla %50 ve %5 oranında atık kolemanitli numunelerde

tespit edilmiştir. %50 atık kolemanitli numunelerin LOI seviyesi değerinin %0 kolemanitli numunelerin LOI seviyesi değerinden ~%37 daha fazla olduğu hesap edilmiştir.

Bai ve diğerleri (2014), talaş ve polipropilen esaslı kompozit malzeme üretiminde numune karışımında genleşen grafit miktarı arttıkça numunelerin LOI değerlerinin de arttığı belirtilmektedir. Çavdar (2020), medium density fiberboards (MDF) üretiminde %4, %8 ve %12 oranlarında doğal zeolit kullanılmış ve numune içeriğinde doğal zeolit miktarı arttıkça numunelerin LOI seviyesi değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Böylece, bu çalışmadan elde edilen LOI deney sonuçları ile literatürde bulunan deney sonuçlarının paralellik gösterdiği görülmektedir.

4.2.4. Atık kolemanitin eğilme dayanımına etkisi

Kompozit numunelerin yanmazlık özelliğini geliştirmek için kozalak dolgu malzemesi yerine %0, %5, %10, %20, %40 ve %50 oranlarında atık kolemanit kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Böylece atık kolemanitin eğilme dayanımına etkisi tespit edilmiş ve üretilen numuneler TS EN 312 standardına uygun olarak sınıflandırılmıştır. Kompozit numunelerin karışım oranları LOI deney sonuçları bölümünde yer alan Çizelge 4.21’de belirtilen oranlarda hazırlanmış ve 6 farklı numune grubu oluşturulmuştur.

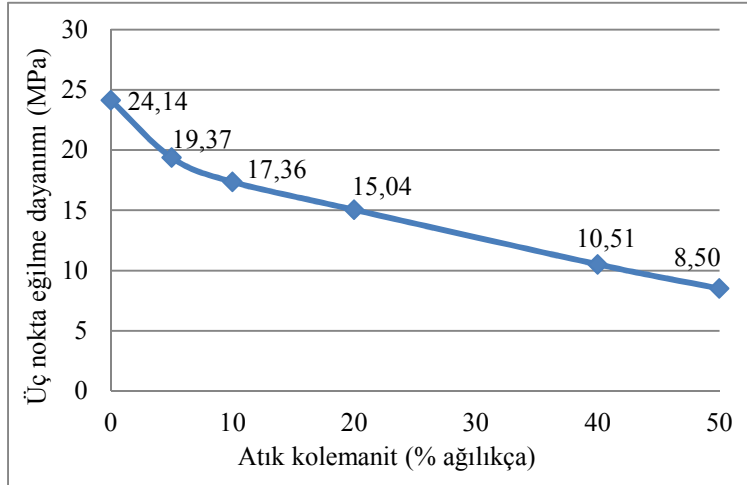
Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre farklı atık kolemanit oranlarında üretilen her bir kompozit numune grubuna ait eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Farklı atık kolemanit oranlarında üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme dayanımı değerleri

Numune grup no	Atık kolemanit oranı (%)	N	X _{min.} (MPa)	X _{maks.} (MPa)	X _{ort.} (MPa)	VK
1	0	6	23,41	26,01	24,14	0,04
2	5	6	18,17	21,35	19,37	0,08
3	10	6	16,73	17,78	17,36	0,02
4	20	6	13,49	16,54	15,04	0,08
5	40	6	9,65	11,24	10,51	0,06
6	50	6	7,56	9,65	8,50	0,07

N: Numune sayısı, X_{min.}: En küçük değer, X_{maks.}: En büyük değer, X_{ort.}: Ortalama değer, VK: Varyasyon katsayısı

Üç nokta eğilme dayanımı deneyine göre atık kolemanit içeren her bir kompozit numune grubuna ait ortalama üç nokta eğilme dayanımı ile atık kolemanit oranı ilişkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Atık kolemanit kullanılan kompozit numunelerde üç nokta eğilme dayanımı-atık kolemanit oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², $\bar{d}$: 240 μ m, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika, kenevir lifi: %0,5)

Şekil 4.12 incelendiğinde, kompozit numune karışımında atık kolemanit oranı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma, bağlayıcı malzemenin atık kolemanit ile daha zayıf bağ oluşturması ile açıklanabilir. Atık kolemanit kullanılan kompozit numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımı %5 atık kolemanitli numunelerde 19,37 MPa olarak tespit edilmiştir. Öte yandan, en düşük eğilme dayanımı ise %50 atık kolemanitli numunelerde 8,50 MPa olarak elde edilmiştir. Sahin ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada, %5~50 arasında cam tozu katılarak üretilen kompozit numune karışımlarında cam tozu miktarı arttıkça LOI seviyesinin arttığı, çekme dayanımının ise tersine azaldığı tespit edilmiştir. Literatürdeki bu sonuç ile elde edilen deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.24’de, üretilen kompozit numunelerin TS EN 312 standardına göre sınıflandırılması verilmektedir. TS EN 312 yonga levhalar ve özellikleri standardına göre malzemelerin sınıflandırılması ve bu sınıflandırma için gereken minimum eğilme dayanımı değerleri Bölüm 3’te Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Atık kolemanit kullanılan kompozit numunelerin sınıflandırılması

Atık kolemanit oranı (%)	Elde edilen eğilme dayanımı (MPa)	Sınıflandırma (TS EN 312)
0	24,14	P1, P2, P3, P4, P5
5	19,37	P1, P2, P3, P4, P5
10	17,36	P1, P2, P3, P4
20	15,04	P1, P2, P3
40	10,51	P1
50	8,50	-

Çizelge 4.24'e göre, %5 atık kolemanitli numuneler P1, P2, P3, P4 ve P5 sınıfı, %10 atık kolemanitli numuneler P1, P2, P3 ve P4 sınıfı, %20 atık kolemanitli numuneler P1, P2 ve P3 sınıfı ve %40 atık kolemanitli numuneler P1 sınıfı yonga levha eğilme dayanımı değerlerini karşılamaktadır. Diğer taraftan, %50 atık kolemanit içeren numunelerin eğilme dayanımı değerleri TS EN 312 standardında belirtilen eğilme dayanımı sınır değerlerini karşılayamamasından dolayı sınıflandırılamamıştır.

4.2.5. Vida tutma mukavemeti deney sonuçları

Vida tutma mukavemeti, mobilya ve inşaat sektöründe panel ve diğer bileşenlerin montajlanabilmesi açısından oldukça önemlidir (Leng ve diğerleri, 2017). Üretilen kompozit malzemelerin birbirine veya bir konstrüksiyona montajlanabilir olması oldukça önemlidir.

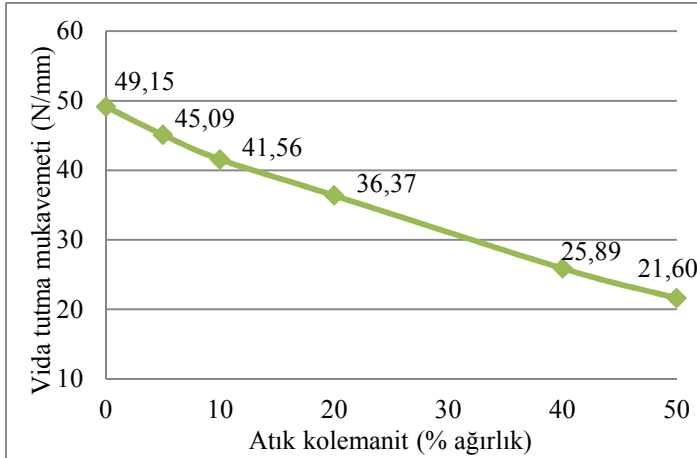
Kompozit numuneler, kozalak dolgu malzemesi yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %40 ve %50 oranlarında atık kolemanit kullanılarak hazırlanmış ve 6 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Kompozit numunelerin karışım oranları LOI deney sonuçları bölümünde yer alan Çizelge 4.21'de belirtilen oranlarda hazırlanmıştır. Üretilen numuneler üzerinden atık kolemanitin kompozit numunelerin vida tutma mukavemetine etkisi tespit edilmiştir. Laboratuvarında, kompozit numunelerin şarjlı maktap ile vidalanması aşamasında numunelerde herhangi bir kırılma veya bozulma gözlemlenmemiştir. Farklı oranlarda atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit numune gruplarının vida tutma mukavemeti değerleri Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Farklı oranlarda atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit numunelerin vida tutma mukavemeti değerleri

Numune grup no	Atık Kolemanit (%)	Numune kalınlığı (mm)	Çekme kuvveti (N)	Vida tutma direnci (N/mm)	Ortamala (N/mm)	VK
1	0	7,7	380	49,35	49,35	0,03
		7,9	410	51,90		
		7,9	370	46,84		
		7,7	380	49,35		
		7,8	380	48,72		
		7,6	380	48,72		
2	5	7,8	360	46,15	45,09	0,04
		7,5	320	42,67		
		7,8	360	46,15		
		7,4	320	43,24		
		7,8	360	46,15		
		7,8	360	46,15		
3	10	7,7	320	41,56	41,56	0,05
		7,4	330	44,59		
		7,6	330	43,42		
		7,4	300	40,54		
		7,7	310	40,26		
		7,7	300	38,96		
4	20	7,6	300	39,47	36,37	0,05
		8,0	290	36,25		
		7,4	250	33,78		
		7,9	290	36,71		
		7,5	270	36,00		
		7,5	270	36,00		
5	40	7,7	180	23,38	25,89	0,07
		7,7	200	25,97		
		7,5	200	26,67		
		7,5	210	28,00		
		7,4	200	27,03		
		7,4	180	24,32		
6	50	7,4	160	21,62	21,60	0,07
		7,4	140	18,92		
		7,5	160	21,33		
		7,5	170	22,67		
		7,6	170	22,37		
		7,5	170	22,67		

VK: Varyasyon katsayısı

Şekil 4.13'te, kompozit numune üretiminde kullanılan farklı oranlardaki atık kolemanit ile vida tutma mukavemeti arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Atık kolemanit kullanılan kompozit numunelerde vida tutma mukavemeti-atık kolemanit oranı ilişkisi. (Üretim koşulları; d/b : 0,25, bağlayıcı ağırlığı: 120 g, kalıplama basıncı sıcaklığı: 100 °C, kalıplama basıncı: 49 kg/cm², $\bar{d}$: 240 μ m, kalıplama basıncı süresi: 20 dakika, kenevir lifi: %0,5)

Şekil 4.13'te elde edilen veriler incelendiğinde, kompozit numune karışımında atık kolemanit miktarı arttıkça numunelerin vida tutma mukavemeti değerleri, eğilme dayanımı değerlerine benzer şekilde azalmaktadır. Numunelerin vida tutma mukavemeti değerlerindeki azalma, bağlayıcı malzemenin atık kolemanit ile daha zayıf bağ oluşturmaya bağlanabilir. Atık kolemanit kullanılarak üretilen kompozit numuneler arasında en yüksek vida tutma mukavemeti %5 atık kolemanitli numunelerde 45,09 N/mm değerinde tespit edilmiştir. %5 atık kolemanitli numunelerin vida tutma dayanımı %0 atık kolemanitli numunelerin vida tutma mukavemetinden ~%8 daha az olduğu hesap edilmiştir. Öte yandan, en düşük vida tutma mukavemeti %50 oranında en fazla atık kolemanitin kullanıldığı numunelerde 21,60 N/mm olarak tespit edilmiştir.

Melo ve diğerleri (2014), kompozit malzeme üretiminde talaş yerine %50 bambu ve % 50 pirinç kabuğu katıldığında numunelerin eğilme dayanımları ile vida tutma dayanımlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Ntalos ve Grigoriou (2002), kompozit malzeme üretiminde talaş yerine %0~100 arasındaki oranlarda asma budağı atıklarını kullanmışlardır. Numune içerisinde talaş yerine asma budağı miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerlerindeki azalışa paralel olarak vida tutma değerlerinin de azaldığını belirlemişlerdir. Görüldüğü gibi, kompozit numunelerde eğilme dayanımı ile vida tutma değerleri arasında bir paralellik olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda, bu deneysel çalışmadan elde edilen deney sonuçlarının literatürde belirtilen sonuçlar ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu deneysel tez çalışmasında; bitkisel bir atık olan kozalak, şeker fabrikası atığı olan melas, bor fabrikası atığı olan kolemanit, endüstriyel kenevir lifi, PVAc ve FF bağlayıcı kullanımı ile yeni bir kompozit malzeme üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, en yüksek eğilme dayanımı değerinin elde edildiği en uygun kompozit malzeme üretim parametre değerleri tespit edilmiştir. Buna göre üretilen kompozit malzemelerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Üretilen kompozit malzemenin; çatı kaplaması, duvar hem iç hem de dış yüzey kaplaması, beton kalıp malzemesi, ofis bölme elemanı, tavan kaplaması, pano, raf, mobilya malzemesi ve palet üretimi gibi uygulamalarda çevre dostu yapı malzemesi olarak kullanılabilir.
- Kompozit numune üretiminde kozalak dolgu malzemesi miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerleri azalmaktadır.
- Çalışmada, melas kullanılarak boyutsal bütünlüğünü koruyabilen kompozit malzeme üretimi ilk kez gerçekleştirilmiştir. Böylece atık melasın kompozit malzeme üretiminde FF ve PVAc ile birlikte bağlayıcı malzeme olarak birlikte kullanılabileceği belirlenmiştir.
- Kompozit numune üretiminde 100 °C'ye kadar kalıplama basıncı sıcaklığı arttıkça numunelerin eğilme dayanımı değerleri artmaktadır.
- Numunelerin kalıplama işlemi sırasında, 49 kg/cm² kalıplama basıncına kadar numunelerin eğilme dayanımı değerleri arttığı belirlenmiştir.
- Kompozit numune üretiminde kozalak dolgu malzemesi ortalama tane boyutu küçüldükçe numunelerin eğilme dayanımı değerleri artmaktadır. En yüksek eğilme dayanımı değeri en küçük ortalama tane boyutu değerine sahip kompozit numunelerde elde edilmiştir.
- Kompozit malzeme üretiminde kalıplama basıncı süresi 20 dakikaya kadar uygulandığında numunelerin eğilme dayanımı değerleri artmaktadır.
- Bağlayıcı karışımına 0,20 FF/(melas+PVAc) oranına kadar FF katılması kompozit numunelerin eğilme dayanımı değerlerini artırmaktadır. Ancak bağlayıcıya 0,20'den

fazla FF katılması durumunda, numune karışımı daha akıcı hale gelerek kalıptan sızıntılar artmakta ve numunelerin eğilme dayanımı değerleri azalmaktadır.

- Kompozit malzeme üretiminde ağırlıkça %0,50'ye kadar atık kenevir lifi kullanımı, numunelerin eğilme dayanımı değerlerini arttırmaktadır.
- Kompozit malzemede, kenevir lifi miktarı arttıkça kalınlığa şişme ve su emme değerleri de artmaktadır.
- Kompozit malzemelerde atık kolemanit miktarı arttıkça numunelerin LOI seviyesi değerleri artmaktadır. Bu sonuca göre atık kolemanit kompozit malzemenin yanmazlık özelliğini geliştirmektedir.
- Kompozit malzeme karışımında atık kolemanit miktarı arttıkça numunelerin eğilme dayanımları azalmaktadır. Bununla birlikte kompozit numunelerde %10'a kadar atık kolemanit kullanılması ile elde edilen eğilme dayanımı değerleri, TS EN 312 Yonga levhaların P1, P2, P3 ve P4 sınıflarına uygundur.
- Kompozit malzeme karışımında atık kolemanit kullanım oranı arttıkça vida tutma mukavemeti azalmaktadır.
- Endüstriyel kenevir lifi ve FF kullanılarak kompozit malzemenin suya karşı dayanıklılığının artması sağlanmıştır.
- Kompozit malzeme üretiminde melasın bağlayıcı malzeme olarak kullanılabileceği ve böylece kompozit malzeme üretiminde kimyasal bağlayıcı malzeme kullanımının ve formaldehit salınımının azaltılabileceği dolayısıyla çevre dostu malzeme üretimi yapılabileceği belirlenmiştir.
- Elde edilen deney sonuçları, yeni bir polimer ahşap esaslı kompozit malzeme üretilabileceğini göstermektedir. Üretilen bu kompozit malzeme, bu tür ahşap esaslı kompozit malzemelerde aranan sudan etkilenmeme ve yanmazlık özelliklerini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, ekonomik değeri olmayan bitkisel atıklar ve atık kolemanit kullanılarak daha ucuz ve insan sağlığına daha az zararlı kompozit bir malzeme üretilmiştir. Bu atıkların kompozit malzeme üretiminde kullanımı ile atıkların geri dönüşümü ile ekonomiye kazandırılması, ahşap kullanımının azaltılması dolayısıyla ekolojik dengenin ve ormanların korunması ile çevre kirliliğinin azalacağı ön görülmektedir. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak ÜF kullanılmadığından, üretilen kompozit malzemenin serbest

formaldehit salınımı değerinin çok düşük seviyede kalacağı ve böylece iç mekânlarda kullanım imkânı sağlanacağı düşünülmektedir.

5.2. Öneriler

- Kompozit malzeme üretiminde farklı türden bağlayıcı malzemeler kullanılarak benzer deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Bu deneysel çalışma doğrultusunda yanmazlık özelliğine sahip farklı mineral esaslı katkıları kullanarak kompozit malzemelerin yanmazlık özelliği geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abubaker, H.O., Sulieman, A.M.E., & Elamin, H.B. (2012). Utilization of *Schizosaccharomyces pombe* for production of ethanol from cane molasses. *Journal of Microbiology Research*, 2, 36-40.
- Acda, M.N., & Cabangon, R.J. (2013). Termite resistance and physico-mechanical properties of particleboard using waste tobacco stalk and wood particles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 354-358.
- Akinyemi, A.B., Afolayan, J.O., & Oluwatobi, E.O. (2016). Some properties of composite corn cob and sawdust particle boards. *Construction and Building Materials*, 127, 436-441.
- Aksakal, N., Vaizoğlu, S.A., & Güler, Ç. (2005). Formaldehit ve sağlık etkileri. *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG)*, 6(22), 40-44.
- Alabdulkarem, A., Ali, M., Iannace, G., Sadek, S., & Almuzaiqer, R. (2018). Thermal analysis, microstructure and acoustic characteristics of some hybrid natural insulating materials. *Construction and Building Materials*, 187, 185-196.
- Alonso, M.V., Olier, M., Dominguez, J.C., Rojo, E., & Rodriguez, F. (2011). Thermal degradation of lignin–phenol–formaldehyde and phenol–formaldehyde resol resins: structural changes, thermal stability, and kinetics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 105(1), 349-356.
- Altınok, M., & Kılıç, A. (2004). Modifiye edilmiş polivinil asetat (PVAc) ve klebit 303 (K. 303) tutkallarının farklı sıcaklık ortamlarında yapışma performanslarının belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 73-80.
- Altundoğan, H.S., Topdemir, A., Cakmak, M., & Bahar, N. (2016). Hardness removal from waters by using citric acid modified pine cone. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 219-225.
- Amini, M.H.M., Hashim, R., Hiziroglu, S., Sulaiman, N. S., & Sulaiman, O. (2013). Properties of particleboard made from rubberwood using modified starch as binder. *Composites Part B: Engineering*, 50, 259-264.
- Anderson, E., Baas, D., Thelen, M., Burns, E., Chilvers, M., Thelen, K., ... & Wilke, B. (2019). *Industrial Hemp Production in Michigan*, 1-8.
- Aras, U., Kalaycıoğlu, H., Yel, H., & Bitek, G. (2015). Effects of ammonium nitrate on physico-mechanical properties and formaldehyde contents of particleboard. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2130-2134.
- Arslan, M.B., Karakuş, B., & Güntekin, E. (2007). Tarımsal atıklardan lif ve yonga levha üretimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(12), 54-62.

- Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2008). Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. *Industrial crops and products*, 28(2), 225-230.
- Ashori, A., & Sheshmani, S. (2010). Hybrid composites made from recycled materials: moisture absorption and thickness swelling behavior. *Bioresource Technology*, 101(12), 4717-4720.
- ASTM 2863-19. (2019). Standard test method for measuring the minimum oxygen concentration to support candle-like combustion of plastics (Oxygen Index), United States.
- Athanassiadou, E., Tsiantzi, S., & Markessini, C. (Sept 2009). *Producing panels with formaldehyde emission at wood levels*. In Proceedings of the international conference international wood adhesives, (pp. 28-30).
- Aydoğan, M., Terzi, Y.E., Gizlenci, Ş., Mustafa, A., Alpay, E., & Meral, H. (2020). Türkiye’de kenevir yetiştiriciliğinin ekonomik olarak yapılabilirliği: Samsun ili Vezirköprü ilçesi örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(1), 35-50.
- Ayrilmis, N., Buyuksari, U., Avci, E., & Koc, E. (2009). Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite. *Forest Ecology and Management*, 259(1), 65-70.
- Ayrilmis, N., Kaymakci, A., & Ozdemir, F. (2013). Physical, mechanical, and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell flour. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(3), 908-914.
- Ayrilmis, N., Kwon, J.H., & Han, T. H. (2012). Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 38, 79-83.
- Azizi, K., Tabarsa, T., & Ashori, A. (2011). Performance characterizations of particleboards made with wheat straw and waste veneer splinters. *Composites Part B: Engineering*, 42(7), 2085-2089.
- Bai, G., Guo, C., & Li, L. (2014). Synergistic effect of intumescent flame retardant and expandable graphite on mechanical and flame-retardant properties of wood flour-polypropylene composites. *Construction and Building Materials*, 50, 148-153.
- Bajwa, D.S., Sitz, E.D., Bajwa, S.G., & Barnick, A.R. (2015). Evaluation of cattail (*Typha* spp.) for manufacturing composite panels. *Industrial Crops and Products*, 75, 195-199.
- Balasubramanian, M. (2014). *Composite materials and processing*. Boca Raton: CRC press, 335-343.

- Barbu, M.C., Reh, R., & Çavdar, A.D. (2014). Non-Wood Lignocellulosic Composites. In A. Aguilera, & J. Davim (Ed.), *Research Developments in Wood Engineering and Technology*, IGI Global, 281-319.
- Bardak, S., & Bardak, T. (2018). *Odun Kökenli Levhalar ve Kullanım Alanları*, ISAS 2018-Winter, Samsun, Türkiye, 3, 254-259.
- Baskaran, M., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Sato, M., & Sugimoto, T. (2015). Optimization of press temperature and time for binderless particleboard manufactured from oil palm trunk biomass at different thickness levels. *Materials Today Communications*, 3, 87-95.
- Batiancela, M.A., Acda, M.N., & Cabangon, R.J. (2014). Particleboard from waste tea leaves and wood particles. *Journal of Composite Materials*, 48(8), 911-916.
- Bekalo, S.A., & Reinhardt, H.W. (2010). Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Materials and Structures*, 43(8), 1049-1060.
- Bektas, I., Guler, C., Kalaycioğlu, H., Mengeloglu, F., & Nacar, M. (2005). The manufacture of particleboards using sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and poplar wood (*Populus alba* L.). *Journal of Composite Materials*, 39(5), 467-473.
- Belgacem, M. N., & Gandini, A. (2003). *Furan-based adhesives*. Handbook of adhesive technology, 2, 615-634.
- Borysiuk, P., Jencyk-Tolloczko, I., Auriga, R., & Kordzikowski, M. (2019). Sugar beet pulp as raw material for particleboard production. *Industrial Crops and Products*, 141, 111829.
- British Columbia Ministry of Agriculture and Food (BCMAF). (1999). Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.), *British Columbia Minist. of Agric. and Food*, 1-20.
- Buluttekin, M.B. (2008, 20-22 Şubat). *Bor Madeni Ekonomisi: Türkiye'nin Dünya Bor Piyasasındaki Yeri*, 2. Ulusal İktisat Kongresi, İzmir, 1-36.
- Cai, Z. *Wood-based composite board*. In: L. Nicolais, A. Borzacchiello (Editörler) (2012), Wiley Encyclopedia of Composites, Wiley Online Library, 1-11.
- Can, Ö., & Önal, M., (2007). An investigation on the comparison of the compressive strength of corner joints of window which were prepared using first class yellow pine wood grew at the central Anatolia, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(25), 283-296.
- Chaharmahali, M., Tajvidi, M., & Najafi, S.K. (2008). Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard. *Polymer Composites*, 29(6), 606-610.
- Chaydarreh, K.C., Lin, X., Guan, L., Yun, H., Gu, J., & Hu, C. (2021). Utilization of tea oil camellia (*Camellia oleifera* Abel.) shells as alternative raw materials for manufacturing particleboard. *Industrial Crops and Products*, 161, 113221.

- Choi, K.Y., Kwag, B.G., Park, S.Y., & Cheong, C.H. (2009). Technical Processes for Industrial Production. *Handbook of Radical Vinyl Polymerization*, 73, 370-423.
- Choi, N.W., Mori, I., & Ohama, Y. (2006). Development of rice husks-plastics composites for building materials. *Waste Management*, 26(2), 189-194.
- Conner, A.H. (2001). *Wood: adhesives*. Encyclopedia of materials: science and technology. Amsterdam; New York: Elsevier Science, Ltd., c2001.
- Crespy, D., Bozonnet, M., & Meier, M. (2008). *100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses*. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(18), 3322-3328.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Chanut, G., & Morin-Crini, N. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1451-1476.
- Çavdar, A. D. (2020). Effect of zeolite as filler in medium density fiberboards bonded with urea formaldehyde and melamine formaldehyde resins. *Journal of Building Engineering*, 27, 101000.
- da Rosa Azambuja, R., de Castro, V. G., Trianoski, R., & Iwakiri, S. (2018). Utilization of construction and demolition waste for particleboard production. *Journal of Building Engineering*, 20, 488-492.
- Danielson, B., & Simonson, R. (1998). Kraft lignin in phenol formaldehyde resin. Part 1. Partial replacement of phenol by kraft lignin in phenol formaldehyde adhesives for plywood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 12(9), 923-939.
- Das, C. K., Kumar, S., & Rath, T. (2009). *17 Vinyl Polymer Applications and Special Uses*. *Handbook of Vinyl Polymers*, 541-596.
- de Melo Barbosa, A., Machado dos Santos, G., Medeiros de Melo, G.M., Litaiff, H.A., Martorano, L.G., & Giacon, V.M. (2022). Evaluation of the use of açai seed residue as reinforcement in polymeric composite. *Polymers and Polymer Composites*, 30, 09673911221108307.
- Dettmer, J. (2013). *Properties comparison of North American manufactured particleboard and medium density fiberboard*, Doktora Tezi, University of British Columbia.
- Ercan E. (2019). *Atık yer fıstığı kabuklarının levha olarak ekonomiye kazandırılması ve performans özelliklerinin geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Erkan, Z.E., & Akar, A. (2003). Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 161-174.

- Eti Maden Sektör Raporu. (2021). Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, *Bor Sektör Raporu*, 3-37.
- Fan, D.B., Li, G.Y., Qin, T.F., & Chu, F.X. (2014). Synthesis and structure characterization of phenol-urea-formaldehyde resins in the presence of magnesium oxide as catalyst. *Polymers*, 6(8), 2221-2231.
- Fiorelli, J., Curtolo, D.D., Barrero, N.G., Savastano Jr, H., Pallone, E.M.D.J.A., & Johnson, R. (2012). Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. *Industrial Crops and Products*, 40, 69-75.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). (2018). *Global Forest Products Report*, 1-18, FAO Forestry Department.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, (FAO), (2020). *2020 State of the World's forests*, Rome, 1-188.
- Fox, C.H., Johnson, F.B., Whiting, J., & Roller, P.P. (1985). Formaldehyde fixation. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 33(8), 845-853.
- Ghani, A., Ashaari, Z., Bawon, P., & Lee, S.H. (2018). Reducing formaldehyde emission of urea formaldehyde-bonded particleboard by addition of amines as formaldehyde scavenger. *Building and Environment*, 142, 188-194.
- Gražulevičius, J. V., Barkauskas, A. E., Buika, G., Juodeikienė, I., & Minelga, D. (2003). The Structure and Adhesive Properties of Poly (vinyl acetate) Dispersion Modified with Organosilicon Compounds. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 9(1).
- Guler, C., Copur, Y., & Tascioglu, C. (2008). The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypoqaea* L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. *Bioresource Technology*, 99(8), 2893-2897.
- Guntekin, E., & Karakus, B. (2008). Feasibility of using eggplant (*Solanum melongena*) stalks in the production of experimental particleboard. *Industrial Crops and Products*, 27(3), 354-358.
- Gupta, A., & Chopra, E. (2019). Comparative study of conventional and bakelite modified bituminous mix. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3).
- Gusse, A.C., Miller, P.D., & Volk, T.J. (2006). White-rot fungi demonstrate first biodegradation of phenolic resin. *Environmental Science & Technology*, 40(13), 4196-4199.
- Güler, C., & Sancar, S. (2016). Yonga levha Fabrikasının Çalışma Prensibi ve Farklı Presleme Tekniğinin Levha Kalitesi Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 12(1), 1-10.

- Gür, A. (2007). Dissolution mechanism of colemanite in sulphuric acid solutions. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 24(4), 588-591.
- Gürü, M., Aruntaş, Y., Tüzün, F. N., & Bilici, İ. (2009). Processing of urea-formaldehyde-based particleboard from hazelnut shell and improvement of its fire and water resistance. *Fire and Materials: An International Journal*, 33(8), 413-419.
- Gürü, M., Atar, M., & Yıldırım, R. (2008). Production of polymer matrix composite particleboard from walnut shell and improvement of its requirements. *Materials & Design*, 29(1), 284-287.
- Gürü, M., Karabulut, A. F., Aydın, M. Y., & Bilici, İ. (2015). Processing of fireproof and high temperature durable particleboard from rice husk. *High Temperature Materials and Processes*, 34(6), 599-604.
- Gürü, M., Tekeli, S. & Bilici, I. (2006). Manufacturing of urea formaldehyde based composite particleboard from almond shell. *Materials & Design*, 27(10), 1148-1151.
- Güyağüler, T. (2001, Ekim 18-19). *Türkiye bor potansiyeli*, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 18-27.
- Hamat, W.M.F.W. (2012). *Bioethanol Production from Sugar Cane Molasses*, Doktora Tezi, Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.
- Harris, B. (1999). *Engineering Composite Materials*. The Institute of Materials, London, 5-17.
- Helvacı, C. (2004). Türkiye borat yatakları jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 4-41.
- Hubert, O. (2006). The molasses. *Fermentation Technologist institat zucker industrie Berlin (Germany)*, 101(1), 8-38.
- International Nut and Dried Fruit Council. (2019). Pine Nuts Technical Information. *INC*.
- Irle, M., Barbu, M., Thoeman, H., Inggris, G.B., Irle, M., & Sernek, M. (2010). *Wood based panels: an introduction for specialists*. Cost Action E49, 1-90.
- Islam, M. A., Alam, M. R., & Hannan, M. O. (2012). Multiresponse optimization based on statistical response surface methodology and desirability function for the production of particleboard. *Composites Part B: Engineering*, 43(3), 861-868.
- İnci, M., Zararsız, İ., Davarcı, M., & Görür, S. (2013). Toxic effects of formaldehyde on the urinary system. *Turkish Journal of Urology*, 39(1), 48.
- İnternet: Amasya şeker, (2022). Web: <https://amasyaseker.com.tr/urunler/melas> Son Erişim Tarihi: 23.01.2022.

- İnternet: Grand View Research (GVR), Cannabis Cultivation Market Size, Share & Trends Analysis Report By Biomass (Hemp, Marijuana), By Application (Medical Consumption, Recreational Consumption), By Region, And Segment Forecasts, 2020–2027, Web: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cannabis-cultivation-market>, Son Erişim Tarihi: 25.07.2021.
- İnternet: Eti Maden-a, *Türkiye’de Bor*, Web: <https://www.etimaden.gov.tr/turkiyede-bor> , Son Erişim Tarihi:18.07.2021.
- İnternet: Eti Maden-b, *Temizlik*, Web: <https://www.etimaden.gov.tr/temizlik> , Son Erişim Tarihi:18.04.2022.
- İnternet: Faostat Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Forestry Production and Trade*, Web: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> , Son Erişim Tarihi:17.04.2022.
- İnternet: MTA Genel Müdürlüğü, *Kolemanit*, Web: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kolemanit> , Son Erişim Tarihi: 18.07.2021.
- İstanbul Sanayi Odası. (2012). Avrupa Birliğine’ne uyum sürecinde sektör rehberleri temel kimya sanayii. *İSO*. İstanbul. 7-72.
- İstek, A., Özlüsoylu, İ., & Kızılkaya, A. (2017). Türkiye ahşap esaslı levha sektör analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 132-138.
- Jawad, L.K., Beddai, A.A., Nasser, M.A., & Mejbil, M.K. (2022). Scrutinizing the physical and strength properties of fabricated date palm frond leaves particleboard. *Materials Today: Proceedings*, 57, 980-988.
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 343-364.
- Jose, J. P., Thomas, S., Kuruvilla, J., Malhotra, S. K., Goda, K., & Sreekala, M. S. (2012). Advances in polymer composites: macro and microcomposites state of the art, new challenges, and opportunities. *Polymer Composite: Macro-and Microcomposites*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH Co. KGaA, 1, 3-4.
- Jumadurdiyev, A., Ozkul, M. H., Saglam, A. R., & Parlak, N. (2005). The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 874-882.
- Kaiser, C., Cassady, C., & Ernst, M. (2015). *Industrial hemp production*. Cent. Crop. Diversif. Univ. Ky, 27, 101-106.
- Kalaycıoğlu, H., & Nemli, G. (2006). Producing composite particleboard from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) stalks. *Industrial Crops and Products*, 24(2), 177-180.
- Kamke, F.A. (2001). Wood: nonstructural panel processes. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, 9673-9678.

- Karche, T., ve Singh, M.R., (2019). The application of hemp (*Cannabis sativa* L.) for a green economy: a review. *Turkish Journal of Botany*, 43(6), 710-723.
- Karus, M., & Vogt, D. (2004). European hemp industry: Cultivation, processing and product lines. *Euphytica*, 140(1), 7-12.
- Kaya S., & Öner, E. (2020). Kenevir Liflerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Tekstil Endüstrisindeki Uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123.
- Keeley, J. E. (2012). Ecology and evolution of pine life histories. *Annals of Forest Science*, 69(4), 445-453.
- Keshavarz, M. H., Dashtizadeh, A., Motamedoshariati, H., & Soury, H. (2017). A simple model for reliable prediction of the specific heat release capacity of polymers as an important characteristic of their flammability. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 128(1), 417-426.
- Keskin, H., Kucuktuvek, M., & Guru, M. (2015). The potential of poppy (*Papaver somniferum* Linnaeus) husk for manufacturing wood-based particleboards. *Construction and Building Materials*, 95, 224-231.
- Khanjanzadeh, H., Bahmani, A.A., Rafighi, A., & Tabarsa, T. (2012). Utilization of bio-waste cotton (*Gossypium hirsutum* L.) stalks and underutilized paulownia (*Paulownia fortunei*) in wood-based composite particleboard. *African Journal of Biotechnology*, 11(31), 8045-8050.
- Khazaeian, A., Ashori, A., & Dizaj, M.Y. (2015). Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard. *Carbohydrate Polymers*, 120, 15-21.
- Klimek, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P., & Kúdela, J. (2018). Utilizing *Miscanthus* stalks as raw material for particleboards. *Industrial Crops and Products*, 111, 270-276.
- Kusumah, S.S., Umemura, K., Guswenrivo, I., Yoshimura, T., & Kanayama, K. (2017). Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: influences of pressing temperature and time on particleboard properties. *Journal of Wood Science*, 63(2), 161-172.
- Leng, W., Hunt, J.F., & Tajvidi, M. (2017). Screw and nail withdrawal strength and water soak properties of wet-formed cellulose nanofibrils bonded particleboard. *BioResources*, 12(4), 7692-7710.
- Li, H., Jiang, Z., Yang, X., Yu, L., Zhang, G., Wu, J., & Liu, X. (2015). Sustainable resource opportunity for cane molasses: use of cane molasses as a grinding aid in the production of Portland cement. *Journal of Cleaner Production*, 93, 56-64.

- Li, T., Cao, M., Liang, J., Xie, X., & Du, G. (2017). Mechanism of base-catalyzed resorcinol-formaldehyde and phenol-resorcinol-formaldehyde condensation reactions: a theoretical study. *Polymers*, 9(9), 426.
- Li, X., Cai, Z., Winandy, J.E., & Basta, A.H. (2010). Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries. *Bioresource Technology*, 101(12), 4662-4666.
- Lim, J. X., Ong, T. K., Ng, C. K., Chua, I. W., Lee, Y. B., Yap, Z. Y., & Bakar, R. A. (2021, December). *Development of Particleboard from Green Coconut Waste*. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2120(1), 012034.
- Mäkinen, M., Kalliokoski, P., & Kangas, J. (1999). Assessment of total exposure to phenol-formaldehyde resin glue in plywood manufacturing. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 72(5), 309-314.
- Maraveas, C. (2020). Production of sustainable construction materials using agro-wastes. *Materials*, 13(2), 262.
- Matei, G. (2016). Study on yield features of sweet sorghum hybrids grown in South West of Romania. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & Mining Ecology Management, Romania*, 1, 783-790.
- MEB. (2012). *Kimya Teknolojisi Etilen Türevleri ve Prosesleri*, Ankara, 5-77.
- Melo, R.R.D., Stangerlin, D.M., Santana, R.R.C., & Pedrosa, T.D. (2014). Physical and mechanical properties of particleboard manufactured from wood, bamboo and rice husk. *Materials Research*, 17(3), 682-686.
- Mengeloğlu, F., & Alma, M. H. (2002). Buğday saplarının kompozit levha üretiminde kullanılması. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 37-48.
- Meshram, M.H.V., Arukia, M.N.A., Warghane, M.S.R., & Bhise, M.A.B. (2018). Enhancing the strength of porous concrete by using the polyvinyl acetate. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6, 1612-1615.
- Mindivan, F., & Gürses, A. (2020). Resol Tipi Fenolik Reçinelerin Sentezi ve Karakterizasyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 407-417.
- Moubarik, A., Pizzi, A., Allal, A., Charrier, F., & Charrier, B. (2009). Cornstarch and tannin in phenol-formaldehyde resins for plywood production. *Industrial Crops and Products*, 30(2), 188-193.
- Myers, G.E. (1989). Advances in methods to reduce formaldehyde emission. Composite board products for furniture and cabinets-Innovationsin manufacture and utilization. New York, US: Forest Products Research Society, 58-64.

- Nagavally, R.R. (2017). Composite materials-history, types, fabrication techniques, advantages, and applications. *International Journal Mechanical Proceedings Engineering*, 5(9), 82-7.
- Narciso, C.R.P., Reis, A.H.S., Mendes, J.F., Nogueira, N.D., & Mendes, R.F. (2021). Potential for the use of coconut husk in the production of medium density particleboard. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 1647-1658.
- Ndazi, B., Tesha, J.V., & Bisanda, E.T. (2006). Some opportunities and challenges of producing bio-composites from non-wood residues. *Journal of Materials Science*, 41(21), 6984-6990.
- Nelson, N., Levine, R.J., Albert, R.E., Blair, A.E., Griesemer, R.A., Landrigan, P.J., & Swenberg, J.A. (1986). Contribution of formaldehyde to respiratory cancer. *Environmental Health Perspectives*, 70, 23-35.
- Nemli, G., & Aydın, A. (2007). Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from the needle litter of *Pinus pinaster* Ait. *Industrial Crops and Products*, 26(3), 252-258.
- Nemli, G., Demirel, S., Gümüşkaya, E., Aslan, M., & Acar, C. (2009). Feasibility of incorporating waste grass clippings (*Lolium perenne* L.) in particleboard composites. *Waste Management*, 29(3), 1129-1131.
- Nemli, G., Kırıcı, H., Serdar, B., & Ay, N. (2003). Suitability of kiwi (*Actinidia sinensis* Planch.) prunings for particleboard manufacturing. *Industrial Crops and Products*, 17(1), 39-46.
- Ngo, T.D. (2020). *Introduction to composite materials*. Composite and Nanocomposite Materials From Knowledge to Industrial Applications, 1-21.
- Nielsen, G.D., Larsen, S. T., & Wolkoff, P. (2017). Re-evaluation of the WHO (2010) formaldehyde indoor air quality guideline for cancer risk assessment. *Archives of Toxicology*, 91(1), 35-61.
- Nikodinovic-Runic, J., Guzik, M., Kenny, S.T., Babu, R., Werker, A., & Connor, K.E. (2013). Carbon-rich wastes as feedstocks for biodegradable polymer (polyhydroxyalkanoate) production using bacteria. *In Advances in applied Microbiology*, 84, 139-200.
- Ntalos, G.A., & Grigoriou, A.H. (2002). Characterization and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production. *Industrial Crops and Products*, 16(1), 59-68.
- Oktay, S., Kızılcan, N., & Bengü, B. (2021). Development of bio-based cornstarch-Mimosa tannin-sugar adhesive for interior particleboard production. *Industrial Crops and Products*, 170, 113689.
- Ordu Ticaret Odası (OTB). (Mart 2021). *Kenevir (Kendir) Raporu*, Ordu, 1-24.

- Ostad-Ali-Askari, K., & Shayannejad, M. (2015). The study of mixture design for foam Bitumen and the polymeric and oil materials function in loose soils consolidation. *Journal of Civil Engineering Research*, 5(2), 39-44.
- Owodunni, A.A., Lamaming, J., Hashim, R., Taiwo, O.F.A., Hussin, M.H., Mohamad Kassim, M. H., ... & Hiziroglu, S. (2020). Adhesive application on particleboard from natural fibers: A review. *Polymer Composites*, 41(11), 4448-4460.
- Öztürk, E.A., Bostancı, B., Benkli, Y.E., Başgöz, Ö., Güler, Ö., & Boyrazlı, M. Çam. (2017). *Kozalakları karbonizasyonu*. 4th International conference on materials science and nanotechnology for next generation (MSNG2017), 395-402.
- Paju, J., Pehk, T., & Christjanson, P. (2009). Structure of phenol-formaldehyde polycondensates. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 58(1).
- Papadopoulos, A.N., & Hague, J. R. B. (2003). The potential for using flax shiv (*Linum usitatissimum* L.) as a lignocellulosic raw material for particleboard. *Industrial Crops and Products*, 17(2), 143-147.
- Paridah, M.T., Juliana, A.H., El-Shekeil, Y.A., Jawaid, M., & Alothman, O.Y. (2014). Measurement of mechanical and physical properties of particleboard by hybridization of kenaf with rubberwood particles. *Measurement*, 56, 70-80.
- Piggot, R. (2003). *The alcohol textbook*. Treatment and fermentation of molasses when making rum-type spirits, 75-84.
- Pilato, L. (Ed.). (2010). *Phenolic resins: a century of progress*. 11, 2010, New York: Springer.
- Pirayesh, H., Khazaeian, A., & Tabarsa, T. (2012). The potential for using walnut (*Juglans regia* L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3276-3280.
- Pizzi, A., & Ibeh, C.C. (2014). *Phenol-formaldehydes*. In Handbook of thermoset plastics, William Andrew Publishing, 13-44.
- Pyriadi, T.M., & Abdulameer, I. (2000). Preparation of phenol formaldehyde resins containing pendant isoimides and their isomerization to stable resins. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 38(18), 3244-3252.
- REACH (2006). *Cl Regulation (Ec) No 1907/2006 Of The European Parliament And Of The Council (EC) 1907/2006 REACH*, 1.
- Roba, C., Roşu, C., Neamţiu, I., & Gurzău, E. (2011). Passive Sampling Of indoor air formaldehyde in five Romanian schools in Alba County. *Ambientum, Studia Universitatis Babes-Bolyai*, 56(2), 85-90.
- Rosillo-Calle, F., Johnson, F.X. (2007). Global markets and technology transfer for fuel ethanol: historical development and future potential. Industrial biotechnology and biomass utilisation, *UN Industrial Development Organization*, 8, 133-147.

- Saha, S.K., & Suman, S.K. (2017). Characterization of bakelite-modified bitumen. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2(1), 3.
- Sahin, A., Tasdemir, H.M., Karabulut, A.F., & Gürü, M. (2017). Mechanical and thermal properties of particleboard manufactured from waste peachnut shell with glass powder. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(4), 1559-1568.
- Salem, M.Z.M., & Böhm, M. (2013). Understanding of formaldehyde emissions from solid wood: an overview. *BioResources*, 8(3), 4775-4790.
- Salentijn, E.M., Zhang, Q., Amaducci, S., Yang, M., & Trindade, L. M. (2015). New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. *Industrial crops and products*, 68, 32-41.
- Salthammer, T., Mentese, S., & Marutzky, R. (2010). Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews*, 110(4), 2536-2572.
- Saunders, K.J. (1973). Phenol-formaldehyde polymers. In *Organic Polymer Chemistry* (pp. 272-300). Springer, Dordrecht.
- Schilling, S., Melzer, R., & McCabe, P.F. (2020). Cannabis sativa. *Current Biology*, 30(1), R8-R9.
- Schlink, K., Janssen, K., Nitzsche, S., Gebhard, S., Hengstler, J.G., Klein, S., & Oesch, F. (1999). Activity of O6-methylguanine DNA methyltransferase in mononuclear blood cells of formaldehyde-exposed medical students. *Archives of Toxicology*, 73(1), 15-21.
- Sevim, U.K., Ozturk, M., Bankir, M.B., & Aydin, U. (2017). Utilization of Colemanite waste in Concrete Design. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(12), 237344.
- Solomon, S. (2011). Sugarcane by-products based industries in India. *Sugar Tech*, 13(4), 408-416.
- Solt, P., Konnerth, J., Gindl-Altmutter, W., Kantner, W., Moser, J., Mitter, R., & van Herwijnen, H.W. (2019). Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 94, 99-131.
- Solyman, W.S., Nagiub, H.M., Alian, N.A., Shaker, N.O., & Kandil, U.F. (2017). Synthesis and characterization of phenol/formaldehyde nanocomposites: Studying the effect of incorporating reactive rubber nanoparticles or Cloisite-30B nanoclay on the mechanical properties, morphology and thermal stability. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(1), 72-79.
- Stark, N., & Cai, Z. (2021). *Wood-based composite materials: panel products, glued laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composites*. Chapter 11 in FPL-GTR-282, 11-1.

- Subaşı, T., Çınar, H., & Çağatay, K. Mobilya sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin insan yaşamına ve çevreye etkileri. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 557-571.
- Sulaiman, N.S., Hashim, R., Sulaiman, O., Nasir, M., Amini, M.H.M., & Hiziroglu, S. (2018). Partial replacement of urea-formaldehyde with modified oil palm starch based adhesive to fabricate particleboard. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 84, 1-8.
- Svatoš, M., Maitah, M., & Belova, A. (2013). World sugar market–basic development trends and tendencies. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 5(665-2016-44947), 73-88.
- Şahin, M. (2006). *Antep Fıstığı Kabuklarından Polimer Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Tabarsa, T., Ashori, A., & Gholamzadeh, M. (2011). Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. *Composites Part B: Engineering*, 42(5), 1330-1335.
- Taha, I., Elkafafy, M.S., & El Mously, H. (2018). Potential of utilizing tomato stalk as raw material for particleboards. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1457-1464.
- Tang, X., Bai, Y., Duong, A., Smith, M.T., Li, L., & Zhang, L. (2009). Formaldehyde in China: production, consumption, exposure levels, and health effects. *Environment International*, 35(8), 1210-1224.
- Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. (2017). Ürün Raporu Şeker Pancarı. *TEPGE*, Ankara. 1-16.
- Tasdemir, H.M., Sahin, A., Karabulut, A.F., & Guru, M. (2019). Production of useful composite particleboard from waste orange peel. *Journal of Cellulose Chemistry and Technology*, 53, 517-526.
- Taşdemir, H.M., Şahin, A., Karabulut, A.F., & Gürü M., (2019). Nane lifi katkılı atık hurma çekirdeğinden üretilen kompozit malzemenin özelliklerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 409-420.
- Tigabe, S., Atalie, D., & Gideon, R. K. (2021). Physical Properties Characterization of Polyvinyl Acetate Composite Reinforced with Jute Fibers Filled with Rice Husk and Sawdust. *Journal of Natural Fibers*, 1-12.
- TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası. (2019). Kenevir ve üretimi üzerine bir değerlendirme, *ZMO*.
- Toxqui-López, S., Olivares-Pérez, A., & Fuentes-Tapia, I. (2006). Polyvinyl acetate with cellulose dinitrate holograms. *Optical Materials*, 28(4), 342-349.

- Tufan, M., & Mengeloğlu, F. (2010). *Odun plastik kompozitleri ve ülkemizde odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilecek hammaddeler üzerine genel bir değerlendirme*. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22.
- Tunç, M., Kocakerim, M.M., Küçük, Ö., & Aluz, M. (2007). Dissolution of colemanite in $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solutions. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 24(1), 55-59.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1999). Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini (TS EN 310). Ankara. 1-8.
- Türk Standartları Enstitüsü. (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar – su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini (TS EN 317). Ankara. 1-3.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). Ahşap esaslı levhalar – bağlayıcıların geri çıkma kapasitesinin tayini (TS EN 13446). Ankara. 1-7.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). Yonga levhalar ve lif levhalar – Vida tutma mukavemetinin tayini (TS EN 320). Ankara. 1-9.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2012). Yonga levhalar - Özellikler (TS EN 312). Ankara. 1-14.
- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği. (2012). *TOBB Türkiye Orman Ürünleri Sektör Meclis Raporu 2012*, TOBB, Ankara. 1-48.
- Türkiye Ormancılar Derneği (TOD). (2019). TOD, 2019. *Türkiye Ormancılığı: 2019*, ISBN: 978-975-93478-4-0, Ankara, Kuban Matbaacılık Yayıncılık, 164+20 sayfa.
- Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. (2018). Sektör Raporu 2020, Türk Şeker, 1-50.
- Uçar, A., Toka, B., Yargan, M. (2011, 11-13 Mayıs). *Değişik toplayıcıların kolemanit flotasyonuna etkisi*. Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, 375-379.
- Varvani-Farahani, A. (2010). Composite materials: characterization, fabrication and application-research challenges and directions. *Applied Composite Materials*, 17(2), 63-67.
- Vasiliev, V.V., & Morozov, E.V. (2013). Advanced mechanics of composite materials and structural elements. *Newnes*.
- Viswanathan, R., & Gothandapani, L. (1999). Optimum process variables for the production of coir pith particle board. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(4), 331-337.
- Wang, D., & Sun, X.S. (2002). Low density particleboard from wheat straw and corn pith. *Industrial crops and products*, 15(1), 43-50.

- Wang, F., Chandler, P., Oszust, R., Sowell, E., Graham, Z., Ardito, W., & Hu, X. (2017). Thermal and structural analysis of silk–polyvinyl acetate blends. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 127(1), 923-929.
- Weifeng, L.I., Suhua, M.A., Shengbiao, Z., & Xiaodong, S. (2014). Physical and chemical studies on cement containing sugarcane molasses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118(1), 83-91.
- World Health Organization (WHO). (2002). *Formaldehyde: concise international chemical assessment document 40*. Geneva (CH): Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- 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, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D.J., Kuiper, P., & de Wit, H. (2012). Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51, 53-68.
- Youngquist, J. A. (1999). Wood-based composites and panel products. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. *General technical report FPL*; GTR-113: 10.1-10.31, 113.
- Zelege, Y., & Rotich, G. K. (2021). Design and development of false ceiling board using polyvinyl acetate (PVAc) composite reinforced with false banana fibres and filled with sawdust. *International Journal of Polymer Science*, 2021.
- Zhang, L. (2018). Introduction to Formaldehyde. Royal Society of Chemistry, 1-19.
- Zhao, H., Xiong, H., & Chen, J. (2021). Regional comparison and strategy recommendations of industrial hemp in China based on a SWOT analysis. *Sustainability*, 13(11), 6419.
- Zheng, Y., Pan, Z., Zhang, R., Jenkins, B.M., & Blunk, S. (2006). Properties of medium-density particleboard from saline Athel wood. *Industrial Crops and Products*, 23, 318-326.



GAZİ GELECEKTİR..