

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GRAFEN NANOPATE (GNP) VE BAZI İLAVE MADDELER İLE TAKVİYELİ
ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHALARIN(MDF) TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. End. Müh. Uğur KARAKUŞ

**EYLÜL 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Grafen nanoplate (GNP) ve bazı ilave maddeler ile takviyeli orta yoğunlukta lif levhaların (MDF) teknolojik özellikleri” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konusunun belirlenmesi aşamasında bilgi tecrübe ve birikimlerinden yararlandığım danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Derya USTAÖMER başta olmak üzere, manevi destek ve katkılarından dolayı sayın hocalarım Prof. Dr. Mustafa USTA’ya, Prof. Dr. Hüseyin KIRCI’ya, Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA’ya, Prof. Dr. Sedat ONDARAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın test ve analizlerinin yürütülmesi esnasında değerli katkı ve desteklerini esirgemeyen, bilgilerinden yararlandığım Dr. Öğr. üyesi Mustafa ASLAN, Doç. Dr. Emrah PEŞMAN’a, Doç. Dr. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR’a, Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YILDIRIM’a, Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü YEL’e, Öğr. Gör. Uğur ARAS’a, Arş. Gör. Ayşenur GÜRGEN’e, Arş. Gör. Dr. Aydın DEMİR’e ve Arş. Gör. Abdullah Uğur BİRİNCİ’ye de çok teşekkür ederim. Ayrıca, laboratuvar imkânlarından faydalanmamızı sağlayan sayın hocalarım Prof. Dr. Ümit C. YILDIZ, Prof. Dr. Sibel YILDIZ, Prof. Dr. İsmail AYDIN ve Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na da çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi, manevi hiçbir desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan annem Ayşe KARAKUŞ’a, babam İbrahim KARAKUŞA’a, ağabeyim Ümit Can KARAKUŞ’a şükranlarımı sunarım. Ayrıca manevi destekleri için dostlarım Umut Emre BAŞER’e, Asena Damla BÜYÜKÜSTÜN’e, Oğuzcan YILDIRAN’a, Eser DÜLGER’e teşekkürlerimi sunarım.

Uğur KARAKUŞ

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Grafen nanoplate (GNP) ve bazı ilave maddeler ile takviyeli orta yoğunlukta lif levhaların(MDF) teknolojik özellikleri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Derya USTAÖMER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/09/2019

Uğur KARAKUŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|---|------|
| ÖNSÖZ..... | III |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ..... | IV |
| İÇİNDEKİLER..... | V |
| ÖZET..... | IX |
| SUMMARY | X |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | XI |
| TABLolar DİZİNİ..... | XII |
| SEMBOLLER DİZİNİ | XIII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Odun Esaslı Kompozitler | 2 |
| 1.2.1. Lif Levhalar Hakkında Genel Bilgiler..... | 3 |
| 1.2.1.1. Lif Levha Üretimi..... | 4 |
| 1.2.1.2. MDF (Medium Density Fiberboard – Orta Yoğunlukta LifLevha)..... | 7 |
| 1.3. Odun Esaslı Levha Kalite Özelliklerini Etkileyen Parametreler | 7 |
| 1.4. Odun Esaslı Kompozit Malzemelerde Koruyucu İşlemler | 8 |
| 1.4.1. Odun Esaslı Kompozitlere Koruyucu Kimyasal Maddelerin Uygulanması..... | 9 |
| 1.5. Nanoteknoloji Uygulamaları | 9 |
| 1.5. 1.Orman Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları | 10 |
| 1.6. Literatür Çalışmaları..... | 11 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 16 |
| 2.1. Materyal..... | 16 |
| 2.1.1. Hammadde..... | 16 |
| 2.1.2. Kimyasal Maddeler..... | 16 |
| 2.1.2.1. Grafen | 16 |
| 2.1.2.1.1. Grafen Nanoplate..... | 17 |
| 2.1.2.2. Karbon Elyaf Tozu | 17 |
| 2.1.2.3. Sodyum Aljinat..... | 18 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.1.3. | Tutkal..... | 18 |
| 2.1.3.1. | Üre Formaldehit..... | 18 |
| 2.1.4. | Sertleştirici Madde..... | 19 |
| 2.2. | Metot..... | 19 |
| 2.2.1. | Deneme Levhalarının Üretim Şablonu | 19 |
| 2.2.2. | Levha Üretimi..... | 20 |
| 2.3. | Levha Özellikleri | 21 |
| 2.3.1. | Fiziksel Özellikler | 21 |
| 2.3.1.1. | Yoğunluk | 21 |
| 2.3.1.2. | Su Alma | 22 |
| 2.3.1.3. | Kalınlığına Şişme | 22 |
| 2.3.2. | Mekanik Özellikler | 23 |
| 2.3.2.1. | Eğilme Direnci..... | 23 |
| 2.3.2.2. | Eğilmede Elastikiyet Modülü | 23 |
| 2.3.2.3. | Yüzeye Dik Çekme Direnci..... | 24 |
| 2.3.3. | Termal-Yanma Özellikler..... | 24 |
| 2.3.3.1. | Isıl İletkenlik..... | 24 |
| 2.3.3.2. | Limit Oksijen İndeksi (LOI)..... | 25 |
| 2.3.3.3. | Alev Testi | 26 |
| 2.3.4. | Yüzey Özellikleri..... | 27 |
| 2.3.4.1. | Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri..... | 27 |
| 2.3.5. | Biyolojik Özellikler | 27 |
| 2.3.5.1. | Mantar Çürüklük Testi | 27 |
| 2.3.6. | İstatistiksel Analiz | 28 |
| 3. | BULGULAR | 29 |
| 3.1. | Fiziksel Özellikler | 29 |
| 3.1.1. | Yoğunluk | 29 |
| 3.1.2. | Su Alma Oranı | 30 |
| 3.1.3. | Kalınlığına Şişme Oranı | 31 |
| 3.2. | Mekanik Özellikler | 33 |
| 3.2.1. | Eğilme Direnci..... | 33 |
| 3.2.2. | Eğilmede Elastikiyet Modülü | 34 |
| 3.2.3. | Yüzeye Dik Çekme Direnci..... | 36 |

| | | |
|--------|-------------------------------------|----|
| 3.3. | Termal-Yanma Özellikleri..... | 37 |
| 3.3.1. | Isıl İletkenlik..... | 37 |
| 3.3.2. | Limit Oksijen İndeksi (LOI)..... | 38 |
| 3.3.3. | Alev Testi | 38 |
| 3.4. | Yüzey Özellikleri..... | 40 |
| 3.4.1. | Yüzey Pürüzlülük Parametreleri..... | 40 |
| 3.5. | Biyolojik Özellikler | 42 |
| 3.5.1. | Mantar Çürüklük Testi | 42 |
| 4. | TARTIŞMA..... | 45 |
| 4.1. | Fiziksel Özellikler | 45 |
| 4.1.1. | Yoğunluk | 45 |
| 4.1.2. | Su Alma Oranları..... | 45 |
| 4.1.3. | Kalınlığına Şişme Oranları | 47 |
| 4.2. | Mekanik Özellikler | 48 |
| 4.2.1. | Eğilme Direnci..... | 48 |
| 4.2.2. | Eğilmede Elastikiyet Modülü | 49 |
| 4.2.3. | Yüzeye Dik Çekme Direnci..... | 50 |
| 4.3. | Termal-Yanma Özellikleri..... | 51 |
| 4.3.1. | Isıl İletkenlik..... | 51 |
| 4.3.2. | Limit Oksijen İndeksi (LOI)..... | 53 |
| 4.3.3. | Alev Testi | 54 |
| 4.4. | Yüzey Özellikleri..... | 55 |
| 4.4.1. | Yüzey Pürüzlülüğü | 55 |
| 4.5. | Biyolojik Özellikler | 57 |
| 4.5.1. | Mantar Çürüklük Testi | 57 |
| 5. | SONUÇLAR..... | 60 |
| 5.1. | Fiziksel Özellikler | 60 |
| 5.1.1. | Yoğunluk | 60 |
| 5.1.2. | Su Alma Oranları..... | 60 |
| 5.1.3. | Kalınlığına Şişme Oranları | 60 |
| 5.2. | Mekanik Özellikler | 61 |
| 5.2.1. | Eğilme Direnci..... | 61 |
| 5.2.2. | Eğilmede Elastikiyet Modülü | 61 |

| | | |
|----------|-------------------------------------|----|
| 5.2.3. | Yüzeye Dik Çekme Direnci..... | 62 |
| 5.3. | Termal-Yanma Özellikleri..... | 62 |
| 5.3.1. | Isıl İletkenlik..... | 62 |
| 5.3.2. | Limit Oksijen İndeksi (LOI)..... | 63 |
| 5.3.3. | Alev Testi | 63 |
| 5.4. | Yüzey Özellikleri..... | 64 |
| 5.4.1. | Yüzey Pürüzlülük Parametreleri..... | 64 |
| 5.5. | Biyolojik Özellikler | 64 |
| 5.5.1. | Mantar Çürüklük Testi | 64 |
| 6. | ÖNERİLER | 65 |
| 7. | KAYNAKLAR..... | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ | | |

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GRAFEN NANOPATE(GNP) VE BAZI İLAVE MADDELER İLE TAKVİYELİ ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHALARIN (MDF) TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Uğur KARAKUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya USTAÖMER
2019, 71 Sayfa

Bu çalışmada, grafen nanoplate (GNP), karbon elyaf tozu (CFP), sodyum aljinat (NaAlg) ilavesi ile üretilen Orta Yoğunlukta Lif levhaların (MDF) bazı teknolojik özellikleri araştırılmıştır. GNP ile CFP tek olarak, birbirleriyle ve NaAlg ile karışım halinde iki farklı konsantrasyonda (%0,1 ve %0,3) alınarak üre formaldehit (ÜF) tutkalına ilave edilmiş ve MDF üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu levhaların bazı fiziksel, mekanik, termal-yanma, yüzey ve biyolojik özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda; üretilen levha örneklerinin araştırılan özellikleri üzerinde deney varyasyonlarının etkisi olduğu ve bu etkinin kimyasal madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişim gösterdiği bulunmuştur. Genel olarak, kimyasal maddelerin ilavesinin bu levhaların özellikleri üzerinde olumlu yönde etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu maddelerin tek ya da karışım halinde tutkala ilaveleri ile levha örneklerinin mekanik, fiziksel ve yüzey özellikleri değişkenlik gösterirken, özellikle yanmaya karşı dayanımları ve ısı iletkenlik değerleri artış göstermiştir. Ayrıca bu maddelerin mantar çürüklük testinde olumlu etki gösterdikleri ve levha örneklerinin biyolojik dayanımlarını iyileştirdikleri görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Grafen, GNP, Karbon elyaf, Sodyum aljinat, MDF, Nano materyal

Master Thesis

SUMMARY

THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARDS (MDF) REINFORCED WITH GRAPHENE NANOPATE AND SOME CHEMICALS

Uğur KARAKUŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Fiber and Paper Technology Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Derya USTAÖMER
2019, 71 Pages

In this study; some technological properties of Medium Density Fiberboard (MDF) produced by the addition of graphene nanoplate (GNP), carbon fiber powder (CFP) and sodium alginate (NaAlg) were investigated. GNP, CFP were used as single and mixture with both together and Na Alginate. Two different rates (0,1% and 0,3%) of these chemicals were added to Urea Formaldehyde (UF) resin and MDF panels were produced. The changes on the some physical, mechanical, thermal-fire, surface, biological properties of these MDF panels were determined.

As a result of this study, it was found that the experimental parameters had effects on the fiberboard properties and this effect changed depending on type of chemicals and their concentration rates. In general, it was found that the addition of chemicals had positive effects on the properties of these MDF panels. While the mechanical, physical and surface properties of the panel samples showed variability with the addition of these materials as single or mixture to resin, especially, their fire resistance and thermal conductivity values increased. Furthermore, it was found that these chemicals showed positive effects on the fungi decay test and improved the biological resistance of MDF samples.

Key Words: Graphene, GNP, Carbon fiber, Sodium alginate, MDF, Nanomaterials

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

| | | |
|-----------|--|----|
| Şekil 1. | Lif levha üretiminde iş akış şeması | 4 |
| Şekil 2. | Sıcak pres | 21 |
| Şekil 3. | Isıl iletkenlik ölçüm cihazı | 25 |
| Şekil 4. | LOI test cihazı | 25 |
| Şekil 5. | Alev testi düzeneği | 26 |
| Şekil 6. | Mantar çürüklüğe maruz bırakılmış levha örnekleri | 28 |
| Şekil 7. | Levha gruplarına ait yoğunluk değerlerinde görülen değişim | 45 |
| Şekil 8. | Levha gruplarına ait su alma değerlerinde görülen değişim | 46 |
| Şekil 9. | Levha gruplarına ait kalınlığına şişme değerlerinde görülen değişim | 47 |
| Şekil 10. | Levha gruplarına ait eğilme direnci değerlerinde görülen değişim..... | 48 |
| Şekil 11. | Levha gruplarına ait elastikiyet modülü değerlerinde görülen değişim | 49 |
| Şekil 12. | Levha gruplarına ait çekme direnci değerlerinde görülen değişim | 50 |
| Şekil 13. | Levha gruplarına ait ısıl iletkenlik değerleri | 52 |
| Şekil 14. | Levha gruplarına ait LOI değerleri..... | 53 |
| Şekil 15. | Örneklerin yanma sonrası görünümü | 54 |
| Şekil 16. | Levha gruplarına ait Ra değerlerindeki değişim | 56 |
| Şekil 17. | Levha gruplarına ait Rz değerlerindeki değişim | 56 |
| Şekil 18. | Levha gruplarına ait mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerindeki değişim..... | 58 |
| Şekil 19. | Mantar çürüklük testi örnekleri | 59 |

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

| | | |
|-----------|---|----|
| Tablo 1. | Deney varyasyonları..... | 19 |
| Tablo 2. | Deney varyasyonları için gerçekleştirilen testler | 20 |
| Tablo 3. | Levha gruplarına ait yoğunluk değerleri | 29 |
| Tablo 4. | Yoğunluğa ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 30 |
| Tablo 5. | Levha gruplarına ait 24 saat süre için su alma değerleri | 30 |
| Tablo 6. | 24 saat su almaya ait BVA sonuçları ve Duncan testi homojenlik grupları... | 31 |
| Tablo 7. | Levha gruplarına ait 24 saat süre için kalınlığına şişme değerleri | 32 |
| Tablo 8. | 24 saat kalınlığına şişmeye ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik..... | 32 |
| Tablo 9. | Levha gruplarına ait eğilme direnci değerleri | 33 |
| Tablo 10. | Eğilme direncine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 34 |
| Tablo 11. | Levha gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri | 35 |
| Tablo 12. | Eğilmede elastikiyet modülüne ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 35 |
| Tablo 13. | Levha gruplarına ait yüzeye dik çekme direnci değerleri | 36 |
| Tablo 14. | Yüzeye dik çekme direncine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 37 |
| Tablo 15. | Levha gruplarına ait ısı iletkenlik değerleri | 38 |
| Tablo 16. | Levha gruplarına ait LOI değerleri..... | 38 |
| Tablo 17. | A grubu levhalara ait alev testi sonuçları | 39 |
| Tablo 18. | B grubu levhalara ait alev testi sonuçları | 39 |
| Tablo 19. | Levha gruplarına ait Ra ve Rz değerleri..... | 40 |
| Tablo 20. | Levha gruplarının Ra değerine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 41 |
| Tablo 21. | Levha gruplarının Rz değerine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 42 |
| Tablo 22. | Levha gruplarına ait mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri.... | 43 |
| Tablo 23. | Levha gruplarına ait mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerine ait BVA sonuçları ve Duncan testi homojenlik grupları..... | 43 |

SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|-------|---|
| Ar-Ge | : Araştırma Geliştirme |
| ASTM | : American Society of Testing Materials |
| BVA | : Basit Varyans Analizi |
| CFP | : Carbon Fiber Powder (Karbon Elyaf Tozu) |
| EN | : Avrupa Standartları |
| GNP | : Graphene Nanoplate (Grafen Nanoplate) |
| GO | : Graphene Oxide (Grafen Oksit) |
| HDF | : High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunlukta Lif Levha) |
| KŞ | : Kalınlığına Şişme |
| LDF | : Light Density Fiberboard (Düşük Yoğunlukta Lif Levha) |
| LOI | : Limiting Oxygen Index (Limit Oksijen İndeksi) |
| MDF | : Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunlukta Lif Levha) |
| MÜF: | : Melamin Üre Formaldehit Tutkalı |
| MWCNT | : Multi Walled Carbon Nanotube (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp) |
| NaAlg | : Sodium Alginate (Sodyum Aljinat) |
| OSB | : Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha) |
| PAN | : Poli Akrilo Nitril |
| PP | : Polipropilen |
| SA | : Su Alma |
| TGA | : Termogravimetrik Analiz |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |
| UV | : Ultraviyole |
| ÜF | : Üre Formaldehit Tutkalı |

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanlar geçmişten bu yana yaşadıkları dönemde artan ihtiyaçlarını daha kolay karşılamak için teknolojik ve endüstriyel gelişimlere ihtiyaç duymuşlardır. Bu teknolojik ve endüstriyel gelişimler, insanların sadece mevcut ihtiyaçlarını karşılamak için değil aynı zamanda gelecekte oluşabilecek tüm taleplerini karşılamak ve karşılaşılabilecekleri sorunları çözmek yönündedir.

Bu gelişmeler kapsamında orman endüstrisinde, odun hammaddesine alternatif olarak odun esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemeler kullanım alanlarının giderek artması ve çeşitli aşamalarda kalite özelliklerine müdahale edilerek istenilen nitelikte üretilebilmeleri nedeniyle son zamanların dikkati çeken ürün grupları arasındadır. Bu odun esaslı levha ürünlerinin arasında ön sıralarda yer alan ürün gruplarından birisi de lif levhalarıdır.

Üretiminde yüksek oranda bitkisel lif kullanılan lif levhalar, masif ağaç malzemenin gösterdiği gibi yüksek mekanik ve teknolojik özelliklere sahip olmaktadır. Ayrıca, lif levhaların işlenebilirliğinin kolay olması, her tarafında aynı direnç özelliklerini göstermesi ve teknolojik özelliklerinin istenilen seviyede olacak şekilde üretilebilmesi sebebiyle diğer masif ahşap malzemelere ve odun esaslı kompozit malzemelere oranla daha avantajlı olduğu görülmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Lif levhaların birçok avantajı olmasına karşın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajların arasında yanıcı olması ve tutuşabilirliği, mantar, böcek ve bakteri gibi biyolojik zararlıların etkilerine maruz kalarak bozunabilmesi, nem tutması sayılabilir. Dezavantajları avantaja dönüştürmek ve özelliklerini de geliştirmek için lif levhaları birtakım işlemlerden geçirmek gereklidir (Özdemir, 2016).

Bu dezavantajların en önemli olanlarından birisi de diğer odun esaslı lignoselülozik malzemelerde olduğu gibi bu malzemenin de kolay yanabilmesi ve tutuşabilmesidir. Odun esaslı malzemelerin hepsi yanıcı materyaller oldukları için gerekli tutuşma sıcaklığına ulaştığında, yanma için gereken ortamda bulunuyorlarsa kolaylıkla yanabilmektedirler. Bu materyaller direnç özelliklerini yanma esnasında kaybederek can ve mal güvenliği açısından tehdit oluşturabilmektedir. Bütün bunlar göz önüne alındığında lignoselülozik malzemelerin

yapı malzemesi olarak, inşaat, mobilya vb. gibi alanlarda kullanımı sınırlanmaktadır. Bu amaçla kullanılacak olan odun esaslı malzemelerin yanmaya karşı dayanımlarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Odun esaslı hammaddelerin yanma dayanımlarını iyileştirmek için; yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ile çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Güler ve Şimşek, 2019).

Son yıllarda popüler araştırma konusu olan nanoteknoloji ve nanoteknoloji ürünleri, güçlü özellikleri nedeniyle birçok farklı çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmaların sayısı azımsanmayacak seviyededir ve günden güne de artış göstermektedir. Birçok alanda nano materyaller ile istenilen özelliklerde ve güçlü değerlere sahip malzemeler üretilmektedir. Bunların yanı sıra son yıllarda orman endüstrisinde de çeşitli nanoteknoloji uygulamaları gerçekleştirilmektedir.

Kompozit ürünlerin üretim prosesinde farklı kullanım yerine ve amaca uygun geleneksel kimyasal maddelerin yanı sıra nano boyutta kimyasallar ve malzemelerde kullanılarak bu kompozit ürünlerde yeni yöntemler ve yaklaşımlarla kalite iyileştirmeleri yapılabilmektedir.

Bu çalışmada; otomotiv, yapı-inşaat sektörü, batarya, rüzgar türbini, uçak kanatları, alev geciktiricilerin imalatı gibi farklı uygulama alanlarında malzemelerin teknolojik özelliklerini iyileştirmek için kullanılmakta olan grafen türevleri; elektrik-elektronik, inşaat, havacılık, tekstil vb. alanlarda değerlendirilmekte olan karbon elyaf tozu; gıda, ilaç, kozmetik endüstrisinde kullanılmakta olan sodyum aljinat kullanılmış, bu kimyasalların odun esaslı levha endüstrisinde değerlendirilebilme olanakları araştırılarak levhaların bazı özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.2. Odun Esaslı Kompozitler

Odun esaslı kompozitler, lignoselülozik bir materyalin; odun lifi yonga, ya da daha büyük parçacıkların sertleştirici maddeler ve tutkal ile bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Odun esaslı kompozitlerin üretiminde; odunsu bir materyalin odun esaslı bir materyal ya da başka materyaller ile su itici ve koruyucu kimyasallar da kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler sadece levha ürünleri ile sınırlı değildir. Aynı zamanda ilerleyen teknoloji ile kalıp ve diğer başka materyallerin kombinasyonu ile birlikte bu malzemelerin çeşitliliği ve kullanım alanları gittikçe artmaktadır (Güller, 2001).

Odun esaslı kompozit malzemeler, özelliklerinin üretim sırasında müdahalelerde bulunularak değiştirilebilmesi sebebiyle masif malzemeye göre daha avantajlı hale gelmektedir. Masif malzemeler ise; ağacın türü ve yaşı aynı olsa bile farklı bölgelerindeki özelliklerinin değişkenlik göstermesi ve heterojen yapıları sebebiyle diğer malzemelere göre dezavantajlı hale gelmektedir (Güller, 2001).

Odun esaslı kompozit malzemelerin direnç özelliklerini, kullanılacak koruyucu kimyasallar ile arttırmak mümkündür. Bu tür karma malzemeler mobilya endüstrisinde, inşaat, vb. alanlarda iç ve dış ortamlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Maloney, 1996).

Odun esaslı kompozitlerin üretimi farklı ağaç malzeme kaynakları ile mümkün olmaktadır. Değişik kaynakların değerlendirilmesiyle üretilen odun ve odun esaslı kompozitler farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Genel bir sınıflandırma ise aşağıda gibi verilmiştir (Güller, 2001).

Levha ürünleri: Lif levha (MDF, HDF, izolasyon levhası), MDF lam, yonga levha, OSB (yönlendirilmiş yonga levha), etiket yonga levha, şerit yongalı levha, kontrtabla, kontrplak, en yaygın bilinen levha ürünleridir.

Konstrüktif kompozitler: Bu kompozit grubu içerisinde yapısal kompozit keresteler (LSL, PSL, LVL, OSL, GLULAM), yapısal levha ürünleri (konstrüktif kontrplaklar, konstrüktif flakebordlar, kirişler, COM-PLY keresteler) yer almaktadır.

- Kaplanmış ürünler,
- Lamine edilmiş ürünler (Mekanik olarak)

Odun-odun dışı kompozitler grubunda, inorganik maddelerin bağlayıcı olarak kullanıldığı kompozit grubu (alçılı levhalar, portland çimentolu levhalar, magnezyum-çimentolu levhalar, vb.), odun lifi-termoplastik kompozit levhalarında ise dokunmamış tekstil tipi kompozitler bulunmaktadır (Güller, 2001).

1.2.1. Lif Levhalar Hakkında Genel Bilgiler

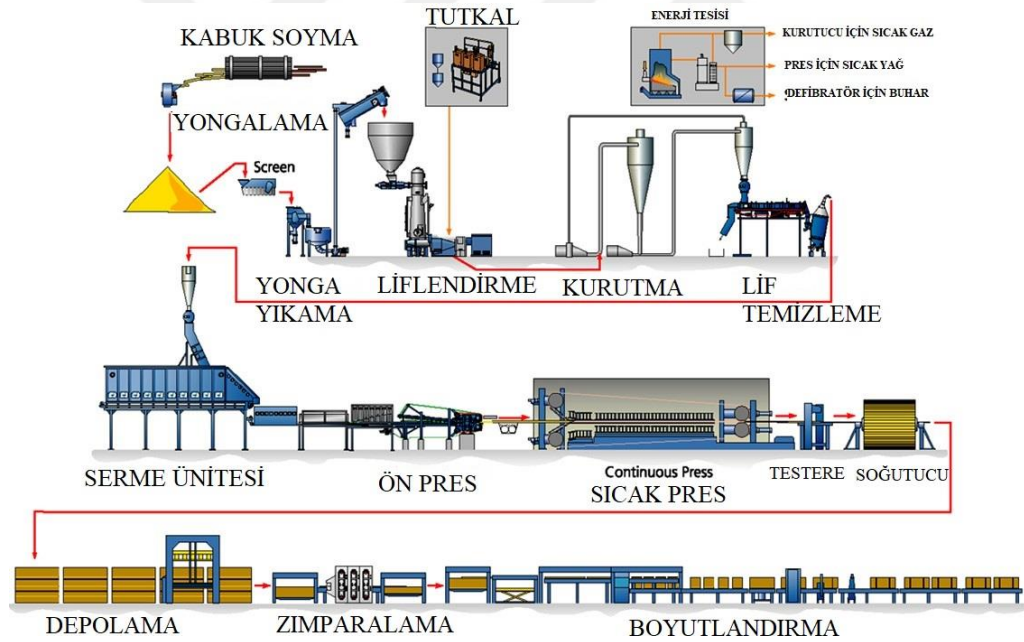
Odun esaslı kompozit malzemelerden birisi olan lif levhaları farklı şekillerde tanımlamak mümkündür. Genel bir tanım olarak lif levha; odun veya diğer lifli malzemelerin yapıştırıcı kimyasallar da eklenerek lignoselülozik liflerin kendi yapışma ve keçeleşme özelliklerinden de faydalanılarak hazırlanan levha taslağının preslenmesiyle veya kurutulmasıyla oluşturulan kompozit bir levha türüdür (Eroğlu ve Usta, 2000).

Lif levhalar en yaygın olarak şu şekilde üç ana grupta sınıflandırılmaktadır.

- Düşük yoğunlukta lif levhalar, LDF (Light Density Fiberboard)
- Orta yoğunlukta lif levhalar, MDF (Medium Density Fiberboard)
- Yüksek yoğunlukta lif levhalar, HDF (High Density Fiberboard)

1.2.1.1. Lif Levha Üretimi

Kuru yöntem ve yaş yöntem şeklinde anılan iki farklı lif levha imalat süreci bulunmaktadır. Fakat yaş yöntemde üretim maliyetlerinin daha fazla olması, atık suların temizlenmesi için daha fazla yatırım gerekmesi, presleme süresinin daha uzun olması ve enerji tüketiminin daha fazla olması gibi sebeplerden dolayı genel olarak kuru yöntem ile üretim tercih edilmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).



Şekil 1. Lif levha üretiminde iş akış şeması (URL-1)

- Hammadde

Lif levha üretiminde hemen her türden ve farklı kalite sınıftan lignoselülozik hammaddeler kullanılabilir. Lif levhalar üretilirken büyük oranda (%80-%90) odun ve lignoselülozik malzeme kullanıldığı için hammaddenin türü levhaların kalite özellikleri üzerinde oldukça etkili bir faktördür. Lif levha üretiminde, iğne yapraklı ağaç odunları uzun

lifli olmaları sebebiyle levhaların direnç özelliklerini artırmakta ve yapraklı ağaç odunları ise kolay bulunabilirlik, yüksek yoğunluk değerlerine sahip olması, yüzey düzgünlüğünü olumlu yönde etkilemesi gibi avantajlı özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Kabuk Soyma

Kabuk, düşük yoğunluğa ve kısa lif yapısına sahip olması nedeniyle levhalarda direnç özelliklerini düşürmektedir, bunun yanında pH özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve pH kontrolünü zorlaştırmaktadır. Ayrıca kabuk, levhaların yüzey kalitesini düşürmektedir, diğer yandan kabuk içerisinde bulunabilecek yabancı materyaller (kum, taş parçaları vb.) yongalama bıçaklarını aşındırmaktadır. Bütün bu sebepler göze alındığında kabuk lif levha üretiminde genel olarak istenmeyen bir materyaldir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Yongalama ve yonga yıkama

Hammadde olarak kullanılacak oduna, buharlamayı dolayısıyla liflendirmeyi kolaylaştırmak ve etkili hale getirmek için yongalama işlemi yapılmaktadır. Uygun yonga boyutları 20x20x5 mm olmakta, yongaların kalınlık ve boyutlarındaki artış kırıntı lif artışına sebep olmakta ve liflendirmeyi güç hale getirmektedir. Bu aşamada farklı tip yongalayıcılar kullanılmaktadır. Bu yongalama makineleri; konik diskli yongalama makineleri, çok bıçaklı diskli yongalama makineleri, çevresel yongalama makineleri, çift konik diskli yongalama makineleridir. Yongalayıcıdan çıkan yongalar depolandıktan sonra eğimli ve sallantılı tip elekler veya düz silindirik elekler ile elenir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Eleme işleminden sonra yongalar içinde bulunabilecek taş parçacıkları ve kum gibi yabancı maddelerden arındırılmak üzere yıkanır (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Liflendirme

Kuru yöntem kullanılarak üretilen lif levhaların üretim sürecinde liflendirme işlemi defibratörler yardımıyla yapılmaktadır. Liflerin kalitesini belirli bir standartta tutmak için yongalar, birbirine ters yönde dönen iki diskten oluşan defibratör disklerinin arasından düzenli bir şekilde verilmelidir. (Eroğlu ve Usta, 2000). Diskler arasındaki boşluk, disklerin devir hızı, hammadde olarak kullanılan ağacın türü, yonga boyutu ve uygulanan sıcak lif kalitesini etkileyen faktörlerdir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Tutkallama

Liflendiriciden çıkan lifler tutkallama ünitesine gönderilir. Üretim sistemi planına göre iki farklı şekilde tutkallama işlemi yapılabilir. Bunlar; kurutma işlemine girmeden önce püskürtme yöntemiyle, tutkallama ya da kurutma işleminden sonra püskürtme yöntemiyle

tutkallamadır. Kuru yöntemle lif levha üretiminde lifler arasındaki doğal bağlar yeterince güçlü olmadığı için %8-11 aralığında tutkal ilavesi gerekmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Lif kurutma

Tutkallama işleminden sonra diğer katkı maddeleri de eklendikten sonra levha yapımı için hazırlanan lifler kurutucuya gelir. Tutkallama ünitesinden gelen lifler kurutulurken liflere eklenen tutkalın kurutma sırasında kondenzasyonuna sebep olmayacak şekilde kurutma süresinin belirlenmesi önemli bir husustur. Lifler %6-12 rutubet değerlerine kadar kurutulmalıdır (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Serme ünitesi

Serme ünitesi, levha taslağının bir formasyon bandı üzerinde liflerin üniform yapıda bir keçe yapısı oluşturmak suretiyle, oluşturulduğu bölümdür (Eroğlu ve Usta, 2000). Levha taslağının homojen bir şekilde serilmesi ve preslenmeye hazır hale getirilmesi dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır. Serme aşamasında düzenli ve homojen formasyon oluşturulması levhalarda, şekil değişimleri, mekanik ve fiziksel özelliklerde değişim ve yoğunluk değişmesine sebep olabilmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Liflerin serilmesi 3 farklı yöntem ile yapılabilir. Bu yöntemler; hava ile pnömatik serme, mekanik serme, hava ve mekanik kombine yöntemleridir.

- Ön Presleme

Ön presleme işlemi, levha taslağını belirli bir kalınlığa indirgeyerek sıcak presin kapanma süresini azaltmak ve yan alma işlemi sırasındaki kayıpları azami değerlerde tutmak için uygulanmaktadır.

- Sıcak presleme

Bu aşamada levha taslağı istenilen levha kalınlığına kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi katlı presler ya da sonsuz preslerde (continou press) gerçekleştirilir. Yapışmanın gerçekleşmesi için gerekli basınç ve sıcaklık presler ile sağlanır. Levha üretiminde kullanılan hammaddenin türü, fiziksel ve kimyasal yapıları, presin sıcaklık ve basınç değerlerini belirleyen faktörlerdir. Levhaların kalitesini belirleyen özellikler ise pres makinesinin kapanma süresi, presleme süresi, pres basıncı, levha taslağının rutubet oranı gibi etkenler ile değişkenlik göstermektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Soğutma işlemi

Lif levhaların soğutulması işlemi üretimden çıkan levhaların sıcaklığının ortam sıcaklığından çok daha yüksek olması sebebiyle yapılmaktadır. Bu işlem genellikle yıldız

soğutucular ile yapılır. Bu işlem üretim sonucunda levhalarda oluşabilecek deformasyon ve çarpılma gibi sorunların önüne geçmek için oldukça önemlidir.

- Zımparalama ve depolama

Soğutuculardan alınan levhalara, dinlendirilmek üzere depolandıktan sonra kalınlık farklarını ve yüzey pürüzlülüklerini gidererek düzgün bir yüzey elde etmek amacı ile zımparalama işlemi uygulanır. Zımparalama işlemi uygulanan levhalar kalite sınıflarına göre istiflenirler (Eroğlu ve Usta, 2000).

1.2.1.2. MDF (Medium Density Fiberboard – Orta Yoğunlukta Lif levha)

Endüstriyel anlamdaki ilk MDF üretimi 1965 yılında New York Deposit'te gerçekleştirilmiştir. Diğer odun esaslı hammaddelere oranla üstün teknolojik özelliklere sahip olması, ağaç işleyen diğer sanayi kuruluşlarının atıklarının hammadde olarak değerlendirilmesi MDF üretiminde hızlı gelişmeler kaydedilmesine katkı sağlamıştır (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Kolay işlenebilme, kullanım yeri uygunluğu, homojen yapı, her iki yüzeyinin de düzgün olmasının yanında kenarlarının da kırılma olmaksızın işlenebilmesi ve doğal ahşap malzeme özelliğinde olması gibi üstün özellikleri sebebiyle MDF dünyanın birçok yerinde masif ahşap malzemenin yerini almış durumdadır (Güller, 2001).

MDF günümüzde mobilya sektöründe oldukça fazla tercih edilmektedir. Mobilya aksamaları, kapı, okul sıraları, masa, sandalye, bina iç bölmelerinde, tavan ve taban döşemeleri, mutfak dolapları gibi birçok yerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe prefabrik yapılarda tercih edilmekte, kalıp ve parke olarak kullanımı da söz konusudur (Eroğlu ve Usta, 2000; Güller, 2001).

MDF'ye neredeyse her türlü yüzey işlemlerinin (lake, vernik, boya vb.) uygulanabilmesi, ahşap, kâğıt, pvc vb. malzemelerle kaplanabilmesi ve yüksek vida tutma kabiliyetinin oluşu da en önemli özellikleri arasındadır (Başer, 2016; Ayrılmış, 1999).

1.3. Odun Esaslı Levha Kalite Özelliklerini Etkileyen Parametreler

Levha üretiminde kullanılan liflerin ve yongaların morfolojik özellikleri levhaların kalite özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Bu sebeple hammadde olarak kullanılacak olan liflerin ve yongaların morfolojik özellikleri oldukça önemlidir. Odun esaslı lifler diğer

lignoselülozik liflere oranla daha geniş ve uzun olduğu için bu liflerden üretilecek olan levhaların kalite özellikleri daha yüksek olmaktadır. Bunun yanı sıra, lif levha üretiminde kullanılan tutkalın türü, kullanım oranları ve farklı hammadde kaynaklarından elde edilen lignoselülozik liflerin karışımı ile üretilen levhaların kalite özellikleri de değişkenlik göstermektedir (Arslan vd., 2007).

Lif levhanın yoğunluğu da lif levha kalitesi ve teknolojik özellikleri üzerinde etkili, önemli bir faktördür. Kullanım yerinde genellikle düşük yoğunluklu olmakla beraber mukavemet değerleri yüksek levhalar tercih edilmektedir. Yüksek yoğunlukta levha üretmek levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunurken kalınlığına şişme oranı üzerinde artış meydana getirmektedir, levha yoğunluğu arttıkça levhaların işlenebilirliği azalmaktadır. Bu bağlamda levhalar üretilirken kalınlığına şişmeyi azaltmak amacı ile lifler hidrofobik maddeler ile muamele edilebilir. Günümüzde lif levha üretiminde parafin bu amaç ile kullanılmaktadır. Ancak parafin kullanımı arttıkça lifler arası bağ oluşumu azalacağından belirli oranlar içerisinde (%1) kullanılması gerekmektedir. Lif levhaların kalınlığına şişme oranları, tutkal tipi, odun türü, lif boyutları, levhanın yoğunluğu, miktarı, kabuk oranı, katkı maddelerinin tipi ve miktarı, pres basıncı, presleme süresi, pres sıcaklığı gibi değişkenlere bağlıdır (Göker vd., 2004).

Ayrıca levhaların ağaç türüne bağlı olarak değişkenlik gösteren yoğunluk profilleri levhaların elastikiyet modülü ve dolayısıyla eğilme direnci özellikleri üzerinde etkilidir. Düşük yoğunluklu ağaç türlerinden elde edilen lifler yüksek sıkıştırma oranları ile sıkıştırılarak daha sıkı bir yüzey tabakası elde edilir ve bu anlamda daha yüksek elastikiyet modülü ve yüksek eğilme direnci özelliklerine sahip levhalar elde edilir (Göker vd., 2004).

Levhaların yarılmaya karşı direnci diğer bir deyişle yüzeye dik çekme direnci genellikle tutkalın yapışma direnci ile alakalıdır. Levha üretiminde kullanılan tutkalın yapışma dayanımı tutkalın türüne presin sıcaklığına ve presleme süresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Üre formaldehit tutkalının sertleşmesi için gerekli olan sıcaklık 100°C'dir, daha düşük sıcaklık uygulanır ise taslağın orta bölgesinde tutkalın sertleşmesi yeterli derecede olmaz ve yapışma direnci düşük olur (Göker vd., 2004).

1.4.Odun Esaslı Kompozit Malzemelerde Koruyucu İşlemler

Odun ve odun esaslı malzemelerden üretilen ürünlerin estetik, sağlık ve geri dönüşüm açısından; son yıllarda yaygın olarak kullanılan diğer alternatif ürünlerle kıyaslandığında

daha avantajlı olduğu bir gerçektir. Özellikle, artan sağlık ve çevre bilinci sonucunda, bu avantajlı özellikler yeniden öncelik kazanmış ve odun-odun esaslı ürünlere olan talep artış göstermiştir. Ancak, odun esaslı malzemeler, her ne kadar istenilen bu özellikleri karşılasa da farklı kullanım yerleri açısından gerekli görülen özellikleri ise tam anlamıyla karşılayamayabilir. Özellikle odun ve odun esaslı malzemelerin rutubete, yanmaya ve biyolojik zararlılara karşı gösterdikleri dayanımlarının zayıf olması sebebiyle; bu malzemelerin kullanım alanları için istenilen nitelikleri kazanacak şekilde çeşitli koruyucu işlemler yardımıyla dayanımlarının artırılması ve kalite özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Odun esaslı kompozitler dış kullanım yerinde, özellikle aşırı neme maruz kalan inşaat uygulamalarında mikrobiyal ve böcek zararlılarına karşı korunmalıdır. Odun esaslı kompozitlerde koruyucu işlemler özellikle tutkal, odunun yapışma özelliklerini ve mekanik özelliklerini etkilemektedir (Gardner vd., 2003).

1.4.1.Odun Esaslı Kompozitlere Koruyucu Kimyasal Maddelerin Uygulanması

Kompozit levhalar kimyasal maddeler ile üretim esnasında ve üretimden sonra emprenye edilebilir ya da tutkala karıştırarak koruma sağlanabilir. Özellikle lif levha ve yonga levha üretiminde tercih edilen bazı koruyucu madde ile muamele yöntemleri şu şekildedir.

1. Kompozit levhaları üretimden sonra koruyucu kimyasallar ile muamele etmek,
2. Üretim öncesi lifleri veya yongaları koruyucu kimyasallar ile muamele etmek,
3. Koruyucu kimyasalları tutkal hattına dahil etmek,
4. Koruyucu kimyasalları doğrudan levha yüzeyine püskürtmek (Ustaömer, 2008).

Kompozit levhalara üretimden sonra emprenye uygulanması bazı nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir. Bu nedenler arasında; levhanın kalınlık artışına sebep olması ve buna bağlı olarak malzemenin tekrar kurutulması gerekmesi, mekanik ve boyut özelliklerini olumsuz yönde etkilemesi bulunmaktadır (Gezer vd., 2003).

1.5.Nanoteknoloji Uygulamaları

Nano teknolojinin amacı, molekül ve bireysel atomlar arasında işlevsel yapılar oluşturmaktır. Nanoteknolojinin önemi günümüzde tartışılmaz düzeyde artış

göstermektedir. Bunun nedeni, nanoteknolojinin fizik ve biyoloji alanlarındaki gelişmelere önemli ölçülerde katkılar sağlamasıdır. Dolayısıyla, nanoteknoloji alanındaki gelişmeler toplum üzerinde güçlü bir etki bırakmış, sanayi ülkelerinin daha güçlü bir hale gelmesi ve zenginleşmesi açısından gelecek planlarına dahil edilmiştir (Gür, 2010).

Son yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle birlikte nano teknoloji alanındaki büyük gelişmeler çerçevesinde; kil, metal, metal oksit, nano partikül, nano selüloz gibi çeşitli nano materyallere olan ilgi de artmış ve nano malzemelerin çeşitli kullanım yerlerinde uygulamaları önem kazanmıştır (Oun, vd., 2019).

Nano maddeler arasında özellikle nanoselüloz ve metal-metal oksit nano parçacıkların kullanımı ile ilgili araştırmalar bu maddelerin elektronik, optik, katalitik ve anti bakteriyel özellikleri sebebiyle dikkat çekici hale gelmiştir. Diğer yandan, ZnO, CuO ve Ag NP, Fe₃O₄, NP gibi metal ve metal oksit nano parçacıklar; medikal, biosensör, elektronik, seramik, mürekkep, bipsit, biyomedikal ve sağlık ürünleri ve polimer alanlarında potansiyel uygulamaları sebebiyle daha cazip olarak kabul edilmektedir (Oun, vd., 2019).

1.5.1.Orman Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları

Ahşabın eşsiz bir estetik yapısı olsa da en önemli özellikleri mekanik özelliklerdir. Orman endüstrisindeki AR-GE çalışmaları gelecekteki ihtiyaçları karşılamak ve daha düşük maliyette ürünler üretebilmek için önemlidir. Orman endüstrisinde nanoteknoloji alanındaki AR-GE çalışmaları, yeni nesil odun esaslı materyallerin ekonomik ve sürdürülebilir olarak üretilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (MCcrank, 2009).

Orman ürünleri endüstrisinde nano teknoloji, hammadde üretiminden odun ve odun esaslı malzemelerin üretimine, kompozit levhalardan, kâğıt üretiminde yeni yaklaşımlara kadar neredeyse her alanda büyük bir uygulama potansiyeline sahiptir. Nano teknolojinin diğer iki potansiyel kullanımı arasında ilk olarak nem seviyeleri, sıcaklığı, basıncı, kimyasal emisyonları ve odun çürüklüğü tahribatlarını ölçmek için akıllı ahşap ve kâğıt bazlı ürünler geliştirmek, ikinci olarak da eczacılık ürünleri, kendi kendini sterilize eden ürünler, lignoselülozik cihazlar vb. ürünler geliştirmek için nano ölçekte lignoselülozik yüzeylere işlevsellik kazandırmak gelmektedir. Ayrıca odun esaslı malzemelerin su almasını engellemekte ve ürünlerin işlenmesini kolaylaştırmakta kullanılabilir. Bununla birlikte, kurutma sırasında enerji tasarrufu sağlanabilir ve işleme sırasında özelleştirmeler yapılabilir (Moon vd., 2006).

Nanoteknoloji orman endüstrisi sektöründe kullanılabilecek yeni materyallerin geliştirme potansiyeline sahiptir. Çeşitli yeni nano elyaflar, biyo-kompozitler, laminatlar, reçineler ve lignoselüloz ürünleri araştırma aşamasında veya pazarda bulunmaktadır (MCcrank, 2009).

Orman endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları başlarda, kaplama dayanıklılığı, nem kontrolü, ekstraktif çöktürmeyi geliştirmek için liflere nano manüplasyonlar uygulanması gibi konulara odaklanmıştır. Son yıllarda ise orman endüstrisindeki nano teknoloji uygulamaları, kâğıt ve ambalaj, sensörler, sağlık gıda, otomotiv sektörü, elektronik sektöründeki ve inşaat çeşitli ticari uygulamaları içerecek şekilde genişlemiştir. Nano teknoloji uygulamalarının ticarileştirilebilmesi için araştırmalara daha fazla destek olunması ve bunun yanında nano teknoloji uygulamalarının sağlık ve güvenlik açısından potansiyel zararlarının da olabileceğinin dikkate alınması gerekmektedir (Bowyer vd., 2016).

1.6.Literatür Çalışmaları

Bastiurea vd. (2015) yaptıkları çalışmada, grafen oksit/grafit kullanılan polyester kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Çalışmada üç farklı oranda (%0,05- %0,10 ve %0,15) grafen ve grafen oksit kullanmışlar ve bu malzemelerle üretilen levhaların termal davranışlarını DMA, TGA ve SEM yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Çalışmada, grafen oksit ve grafitin polyester matrisiyle farklı kimyasal bağlar oluşturması nedeniyle kompozitler üzerinde farklı etkiler gösterdiklerini bulmuşlardır.

Bora vd. (2013) yaptıkları çalışmada, grafen oksit (GO) ve doymamış polyester reçinesiyle nano kompozitler hazırlamış ve bu kompozit örneklerinin çeşitli enstrümental analiz yöntemleri (FTIR, XRD, SEM, TGA) ile morfolojik, termal özelliklerini araştırmışlardır. Ayrıca, bu örneklerin mekanik özelliklerini de incelemiştir. Grafen içeriğinin artışına bağlı olarak PE/GO kompozitlerinin mekanik özelliklerinde önemli artışlar elde edilirken, bu kompozitlerin termal stabilitesinde de saf PE kıyaslandığında dikkate değer iyileşmeler olduğu belirlenmiştir.

Shishevan vd. yaptıkları çalışmada (2015), epoksi tutkalına karbon nanotüp ve grafen eklemiş, bu maddelerin karbon elyaf katkılı kompozitlerin, darbe dayanımı ve mekanik özelliklerine olan etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmada epoksi tutkalına iki farklı oranda karbon nanotüp ve grafen eklenerek elyaf/matris arası bağın güçlendirilmesi ve

kompozit tokluğunun artırılması üzerine araştırmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda reçineye karbon nanotüp ve grafen eklenen çok ölçekli örneklerin mekanik özelliklerinin büyük oranda iyileştiği ve kompozit levhanın tokluğunun da artmasıyla darbe davranışının da büyük oranda iyileştiği belirlenmiştir.

Yaptıkları alışmada Chen vd. (2018), lifli bitkilerin hücreler arası bağlarını borat çapraz bağlı nanoselüloz ve grafenoksit ile güçlendirerek yüksek mukavemetli tabakalı kompozit levhalar üretmeyi hedeflemişlerdir. Borat içeriği bu kompozitlerde düşük oranda kullanılmıştır. Sonuçlar neticesinde üretilen kompozit levhaların eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri MDF ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak üretilen levhaların yapısal uygulamalarda taşıyıcı olarak kullanılabilir düzeyde mukavemet değerlerinin olduğu tespit edilmiştir.

Hou vd. yaptıkları çalışmada (2015), yüksek iletkenlikle lif levhalar üretmek için karbon lifleri ve odun liflerini karşıştırarak kompozit levhalar üretmişlerdir. %20 karbon fiber içeren lif levhalarda üç boyutlu iletken ağ gözlemlenmiş bu da elektrik iletkenliğinde iyileşme sağlamıştır. Ayrıca lif levhaların mekanik özelliklerinin karbon elyaf içeriğinin %20 oranına yükseltilmesiyle maksimum değgerlere ulaştığı tespit edilmiştir.

Üstündağ ve Karaca (2009), farklı konsantrasyondaki sodyum aljinat ve sabit konsantrasyondaki poli vinil alkol polimerlerinin karışımının sulu çözeltileri ile elektro çekim yöntemi kullanarak nano lifli yüzeyler elde etmişlerdir. Bu çalışmada çözeltilerin karışım yüzdelerinin, yoğunluk, viskozite, PH, elektrik iletkenliği ve yüzey gerilimi özelliklerinin çözelti özelliklerine etkisi ve çözelti özelliklerin de nano lifli yüzeylerin yapısına etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan polimerlerin suda çözünür olması nedeni ile elde edilen nano lifli yüzeylerin suya karşı mukavemetinin düşük olduğu gözlemlenmiş ve bu problemin yüzeylere çapraz bağlama işlemi uygulanarak özölünebileceği ve sodyum aljinatın avantajlarından fayda sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Taghiyari vd. (2013), wollastonite nanoliflerinin orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) ısı iletkenliğine yönelik etkilerini araştırmışlardır. Nano wollastonite ile işlem görmüş lif levhaların (MDF) ısı iletkenliği artırdığı tespit edilmiştir. Bu levhaların ısı iletkenlerindeki artış büyük ölçüde fiziksel ve mekanik özelliklerdeki iyileşmeyle ilişkilendirilmiştir.

Taghiyari yaptığı çalışmada (2013), zycosil nano partiküllerinin lif levhaların sıvı ve gaz geçirgenliği üzerine etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada nano zycosil ile muamele edilen numunelerde düşük lif içeriği nedeniyle gaz geçirgenliğinde önemli bir artış tespit edilmiştir. Ancak sıvı ve gaz geçirgenliği arasında yüksek korelasyon tespit edilmiş olup

zycosil nano partiküllerinin su itici özelliği mikro boşluklar için belirli bir dereceye kadar telafi edici olmuştur.

Yahyavi vd. çalışmalarında (2017), üç katmanlı yonga levha üretmek üzere siyah çözelti ve nano grafen oksit kullanmışlardır. Farklı oranlarda grafen oksit (GO) ve siyah çözelti kullanılarak laboratuvar tipi hidrolik pres ile yonga levhalar üretmişlerdir. Üretilen levhaların yapılan testler sonucunda nano grafenin artmasıyla birlikte eğilme direnci, elastikiyet modülü, iç bağlanmanın arttığı belirlenmiştir. Ayrıca levhalardan alınan numunelerin 2 ve 24 saat suda bekletilmesinden sonra siyah çözelti ve grafen oksit yüzdesinin artmasıyla birlikte su emiliminin arttığı belirlenmiştir.

Gupta vd. yaptıkları çalışmada (2018), lif levhaların (MDF) ısı iletkenliklerini geliştirmek için nano boyutlardaki çeşitli maddeleri (çok duvarlı karbon nanotüpler, alüminyum oksit nano partikül, nano aktif kömür) üre formaldehit tutkalı içerisine karıştırarak lif levhalar (MDF) üretmiştir. Nano dolgu maddelerinin ÜF tutkalı içerisinde düzenli dağılımını sağlamak için yüksek hızlı mekanik karıştırma ve ultrasonik işlemler uygulanmıştır. ÜF tutkalının sertleştirilmesi nano malzemelerin ilavesiyle geliştirilmiş fakat aktif kömür diğer nano malzemelere oranla daha fazla etki etmiştir. Aynı zamanda aktif kömür katkılı ÜF tutkalında diğer iki dolgu malzemesine göre formaldehit emisyonunun daha da azaldığı belirlenmiştir. Aktif kömür dolgulu levhaların preslenmesi sırasında ısı transferinde bir farklılık gözlenmezken diğer iki nano partikülün kullanıldığı levhaların preslenmesi sırasındaki ısı transferinin iyileştiği belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikler, aktif kömür kullanılarak üretilen MDF'lerde pek değişmezken, karbon nano tüpler ve alüminyum oksit nano partiküllerinin kullanıldığı levhalarda önemli ölçüde iyileşmiştir.

Bari vd., yaptıkları çalışmada (2015), mantarların nanokil katkılı ahşap-plastik kompozitlerde ağırlık kayıplarına etkilerini incelemiştir. Testlerde beyaz çürüklük mantarları (*Physisporinus vitreus*, *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolor*), kahverengi çürüklük türü olan *Antrodia vaillantii* ve *Coniophora puteana* türleri kullanılmıştır. Avrupa standartlarına göre yapılan testler sonucunda, en yüksek ağırlık kayıpları kontrol örneğinde *Trametes versicolor*, nano kil uygulanmış örneklerde ise *Physisporinus vitreus* türünde belirlenmiştir. Ağırlık kayıplarının mantar türüne göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Nanokil mantarların gelişmesini büyük oranda engelleyerek ağırlık kayıplarını azami miktara çekmiştir. Diğer yandan kütle kayıpları su emilimiyle ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Yaptıkları çalışmada Jamalirad vd. (2018), nano grafen oksitin (GO) yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma neticesinde GO yüzdesinin ve presleme süresinin artırılmasıyla birlikte levhaların boyutsal kararlılığının da arttığı belirlenmiştir. Bu durumda levha numunelerinin 2 ve 24 saat ile suda bekletilmesi sonucunda kalınlığına şişme oranının azaldığı anlamına gelmektedir. Ayrıca levhalara GO miktarının artırılması iç bağlanma üzerinde olumlu bir etki oluşturmuştur. Bunun yanında basınç süresinin artması da yapışmayı olumlu yönde etkilemiştir. Test sonuçları göz önüne alındığında, Avrupa standartlarının üzerinde bir iç bağlanmaya sahip levhalar üretilmiştir.

Kumar vd. (2016) yaptıkları çalışmada, çok duvarlı karbon nano tüpler (MWCNT) ile güçlendirilmiş üre formaldehit tutkalı ile orta yoğunluklu lif levhalar (MDF) üretmişlerdir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi hale getirmek amacı ile tepki yüzey yöntemini kullanılmıştır. Bu çalışmada, MDF'nin presleme süresi, ÜF tutkalının yüzdesi ve değişkenlerin çekme, eğilme direnci değerleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. IB değerlerine bağlı olarak belirlenen en uygun koşullar, ÜF tutkalı için %8.18, presleme süresi 232sn., çok duvarlı nanotüpler (MWCNT) için ise %3,5 olarak belirlenmiştir.

Khan vd. (2013), karbon liflerinin bir takviye maddesi olarak odun esaslı kompozitler fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kompozitlerin üretiminde %10 ÜF tutkalı ve değişik oranlarda (%0, 0.1, 0.25, 0.5) karbon lifi kullanılmıştır. Testler sonucunda yırtılma modülü ve iç bağlanmanın karbon lifi takviyesiyle önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Ayrıca karbon lifi takviyeli kompozitlerin termal stabilitesinin kontrol numunelerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Rong vd. (2002), rayon bazlı aktif karbon liflerinin hava oksidasyonunun formaldehit adsorpsiyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, aktif karbon elyaflarının yüzey gözenek kimyasının düzenlenmesinin çeşitli uçucu kimyasal bileşiklerin adsorpsiyon etkinliğini arttırmada etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Hava ile oksidasyon işleminin adsorpsiyon kapasitelerinde önemli bir artışa sebep olduğu ve formaldehitin çıkarılmasında rayon esaslı karbon elyafının çok önemli etkileri olduğu belirlenmiştir.

Kıyak ve Kaman yaptıkları çalışmada (2018), epoksi reçinesiyle güçlendirilmiş karbon fiber yapılı kompozit levhalar üretmişlerdir. Üretilen levhaların çekirdek yapısı kare kesitli olup herhangi bir yapışkan madde kullanılmadan üretilmiştir. Çalışma sonucunda oldukça sert ve düzgün formlu yapılar elde edilmiş olup, bu levhaların yüksek rijitlik ve hafiflik gerektiren alanlarda (havacılık, savunma endüstrisi vb.) kullanılabileceği öngörülmektedir. Üretilen levhaların çekirdek yapısında yapıştırıcı malzeme kullanılmaması üretim maliyetini

düşürmüş bununla birlikte sandviç yapısında kullanılan karbon fiber günümüzde diğer sandviç yapılarda kullanılan kâğıda göre daha mukavemetli alüminyuma göre ise daha hafif olması nedeniyle avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Sheshmani vd. yaptıkları çalışmada (2013), grafen nanoplatelets (GNP) takviyeli odun unu-polypropilen(PP) kompozitlerinin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan GNP'nin levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Mukavemet ölçümleri sonucunda GNP takviyesi gerilme ve eğilme dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir. GNP eklenmiş levhaların darbe dayanımı ise orta derecede artış göstermiş olup, kontrol örneklerine göre su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde kayda değer bir azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca GNP takviyeli kompozitlerin sadece PP içeren kompozitler ve kontrol levhaları ile karşılaştırıldığında daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Lacoste vd. yaptıkları çalışmada (2018), bina yalıtımında kullanılmak üzere bağlayıcı madde olarak sodyum aljinat kullanarak, odun lifi ve atık tekstil liflerinden biyokompozitler üretmişlerdir. Çalışmada çeşitli çapraz bağlayıcı ajanlar (glioksal, glutaraldehit) odun lifleri ve tekstil atık lif oranları için karşılaştırılmıştır. Bağlayıcı olarak sodyum aljinat kullanılan çalışmada son derece umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin ısı iletkenlik değerlerinin kompozitlerin yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Odun liflerinden elde edilen kompozitlerin daha iyi yalıtım yaptığı belirlenmiştir. Bu kompozitler mekanik özellikleri bakımından yarı rijit özellik göstermiştir. Üretilen kompozitlerin bina zarfı için yalıtım ve sert malzemeler arasında hibrit malzeme olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak; sodyum aljinat tutkal endüstrisi için potansiyeli olan bir malzeme olduğu belirlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu çalışmada levha örneklerinin üretimi için kullanılan hammadde, kimyasal ve ilave maddeler ile levha örneklerine uygulanan teknolojik testler sırasıyla açıklanmıştır.

2.1.1. Hammadde

Bu çalışmada, levha üretiminde kullanılan lifler (kayın-çam karışımı) Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret AŞ'den temin edilmiştir.

2.1.2. Kimyasal Maddeler

Levhalarının üretiminde grafen nanoplate (GNP), karbon elyaf tozu (CFP) ve sodyum aljinat (NaAlg) kullanılmıştır. GNP ve karbon elyaf tozu tek olarak, birbirileri ile ve sodyum aljinat ile farklı varyasyonlar halinde belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmıştır.

2.1.2.1. Grafen

Grafen ve grafen bazlı kompozit malzemeler birçok bilim dalı için önem teşkil etmektedir. Grafenin 2004 yılında keşfedilmesinden bu yana üzerinde birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır (Swetha vd., 2018).

Grafen; bir atom inceliğinde ve hegzagonal (altıgen) yapı içerisinde tek katmanlı, karbon atomlarının sp² hibritleşmesi yaptığı nano boyutlarda bir materyaldir (Alma,2017).

Grafenin yapısında karbon-karbon arası kovalent bağ uzunluğu 0,142 nm'dir. Grafen oda sıcaklığında kuantum boşluğu etkisi gibi kendine has özellikler sergiler. Bunun sebebi; oda sıcaklığında rölativistik parçacıklar gibi davranmasıdır. Grafen yüzey alanının geniş, elektron mobilitesinin, ısıl iletkenliğinin ve young modülünün yüksek olması gibi temel üstün özellikleri nedeniyle mucize materyal olarak adlandırılmaktadır. Sensörler, nanokompozitler, alan etkili transistörler, transparan elektrotlar, temiz enerji cihazları ve organik fotovoltaiik cihazlar gibi alanlarda kullanılmaktadır (Bedeloğlu ve Taş, 2016).

Bunun yanında grafenin; kompozit malzemeler, lityum-iyon bataryaları, hidrojen depolama aygıtları, polimer destekleri, gaz sensörleri, ışık panelleri, alan etkili transistörler, şeffaf dokunmatik ekranlar gibi çok geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Ayrıca; mukavemet esneklik ve iletkenlik gibi özellikleri grafeni esnek giyilebilir tekstil alanında alternatif bir malzeme haline getirmiştir (Alma, 2017).

2.1.2.1.1.Grafen Nanoplate

Grafen, karbon atomların hegzagonal yapı içerisinde bulunan iki boyutlu bir malzemedir (Subaşı, 2017). Grafenin üretim yöntemleri arasında; kimyasal indirgeme, kaydırma, epitaksiyel büyütme ve silisyum karbon yöntemleri bulunmaktadır (Alma,2017). Hegzagonal yapı içerisinde tek katlı atomların oluşturduğu yapıya grafen denirken, birkaç karbon atomu tabakasına sahip yapıya ise *grafen nanoplate* (GNP) denilmektedir. Üretimini karbon nanotüplere (CNT) göre daha kolay olması gibi bazı avantajları da bulunmaktadır (Sheshmani vd., 2013).

2.1.2.2. Karbon Elyaf Tozu

Karbon lifi ilk defa 1800'lü yılların sonlarında çok iyi bir elektrik iletkenliği olması sebebiyle üretilmiştir. Karbon elyaf, zift ve PAN (Poli akrilo nitril) denilen iki farklı malzemedden üretilir. Pan ile elde edilen karbon elyafların zifte göre daha hafif ve sağlam olmasından dolayı mekanik özellikleri daha iyidir (Çelik ve Karaşin, 2014).

Karbon elyaf lif şeklinde ve en az %92 oranında elemental karbon içeren, termal, kimyasal, biyolojik ve mekanik özellikleri bakımından üstün özellikler gösteren bir malzemedir. Karbon elyaf üretimi artan talep nedeniyle günden güne artmaktadır (Özsin ve Pütün, 2018).

Geniş bir kullanım alanı bulunan karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler günümüzde; inşaat, otomotiv, denizcilik, uzay ve havacılık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz vd., 2002).

Karbon elyaflarından yapılan kompozit malzemeler 1020 çelik yapılardan beşte bir oranında daha hafif olmasına rağmen 5 kat daha dayanıklıdır. Benzer şekilde 6061 alüminyum yapılardan daha hafif olmasına karşın, daha dirençli, daha sert ve daha hafiftir.

Karbon elyafının yorulma davranışı bildiğimiz bütün metallere daha iyidir. Karbon elyaflarının uygun reçine kullanılarak kaplanmasıyla üretilen kompozit levhaların korozyon direnci artmaktadır (Yaman vd., 2007).

Karbon elyaf tozu diğer bir deyişle öğütölmüş karbon elyaf tozu; termoset ve termoplastik malzemelerin üretilmesinde yüksek performans elde etmek için kullanılmaktadır. Karbon elyaf tozunun tanecik boyutları 100-400 mikron aralığında değişkenlik göstermektedir. Genellikle elektrik iletkenliği ve aşınma dayanımının önemli olduğu yüzeylerde kullanılmaktadır (URL-2, 2019).

2.1.2.3. Sodyum Aljinat

Aljinatların temel üretim kaynakları kahverengi deniz yosunlarıdır. Aljinatların; jelleştirme, kalınlaştırma ve sabitleme gibi amaçlarla başta gıda sektöründe, tekstilde (baskı ve apre işlemleri ile elyaf üretiminde), kâğıt sanayisinde, ilaç sektöründe (jel yapısı ve kontrollü salınımda kullanılabilmesi için), tıbbi uygulamalarda (biyo uyumlu bir polimer olması nedeniyle) ve kozmetikte (nem tutma özelliği olması nedeniyle) vb. sanayinin değişik alanlarında geniş bir kullanım yeri bulunmaktadır (Küçükçapraz, vd., 2016).

Sodyum aljinat; 1,4-β-D-glukoz ünitelerinin bulunduğu bir polimer iskeletinden oluşmaktadır (selülozda olduğu gibi). *Laminaria*, *Macrocystis* isimli bir deniz yosununun hücre duvarından üretilmektedir (Kasim,2016). Aljinatlar yapılarında hidroksil ve karboksil grupları bulunan non-toksik, biyo-uyumlu, biyo-bozunabilir ve biyo-yapışma özelliklerini barındıran polimerlerdir (Küçükçapraz, vd., 2016).

2.1.3. Tutkal

2.1.3.1. Üre Formaldehit

Levha üretimlerinde tutkal olarak %65 katı madde içeriğindeki üre formaldehit (ÜF) kullanılmıştır.

2.1.4. Sertleştirici Madde

Bu çalışmada, tutkalda sertleştirici madde olarak amonyum klorür çözeltisi (%20'lik) kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Deneme Levhalarının Üretim Şablonu

Bu çalışma kapsamında üretilen levhaların üretim şablonu birtakım ön denemeler sonucunda oluşturulmuştur. Buna göre, grafen nanoplate (GNP), karbon elyaf tozu (CFP) tam kuru lif ağırlığına göre %0,1 ve %0,3 oranlarında tek tek; birbirleriyle ve sodyum aljinat (NaAlg) ile karışımlar halinde farklı kombinasyonlar oluşturularak kullanılmıştır. Kimyasal maddeler ÜF tutkalına ilave edilmiş, elde edilen karışım odun liflerine püskürtme yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Bu çalışma için üretilen levha gruplarının adları, içerikleri ve deney varyasyonları Tablo 1'de, levha örneklerine uygulanan testler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney varyasyonları

| Levha grup. | İçeriği | Levha grup. | İçeriği |
|-------------|----------------|-------------|------------------|
| | %0,1 | | %0,3 |
| A1 | CFP | B1 | CFP |
| A2 | GNP+CFP | B2 | GNP+CFP |
| A3 | GNP | B3 | GNP |
| A4 | GNP+NaAlg | B4 | GNP+NaAlg |
| A5 | CFP+NaAlg | B5 | CFP+NaAlg |
| A6 | GNP+ CFP+NaAlg | B6 | GNP + CFP+ NaAlg |
| K | Kontrol | | |

Tablo 2. Deney varyasyonları için gerçekleştirilen testler

| Uygulanan Testler | Gruplar | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A 5 | A6 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | K |
| Yoğunluk | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Su Alma | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Kalınlığına Şişme | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eğilme Direnci | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eğilmede Elastikiyet Modülü | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Çekme Direnci | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| LOI | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Alev Testi | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Isıl iletkenlik | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Yüzey Pürüzlülüğü | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Mantar Çürüklük | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

2.2.2. Levha Üretimi

Levha üretim hazırlık aşamasında; temin edilen lifler elenmiş, ardından üretime uygun rutubet derecesine getirilmek üzere laboratuvar tipi kurutma fırınında kurutulmuştur.

Toplamda iki farklı konsantrasyonda olacak şekilde CFP, GNP ve NaAlg tutkalla karıştırılmak üzere hazırlanmış ve ardından bu maddeler tutkalla birlikte liflerin üzerine püskürtülmüştür. Üretim işleminde kullanılan ÜF tutkalı, tam kuru lif ağırlığına oranla %13 oranında alınmıştır. Tutkallama işleminin ardından; pres sacı üzerine 35x35 cm boyutlarındaki şekillendirme çerçevesi konulmuş ve tutkallama işlemi yapılmış lifler çerçeve içine konularak serme işlemi yapılmıştır. Bu işlemin ardından ön pres uygulanmış ve son olarak da levha taslağı KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalına ait lif levha üretim laboratuvarında bulunan sıcak preste (180 C⁰ sıcaklıkta 7 dk. süre ile) preslenerek levha haline getirilmiştir.



Şekil 2. Sıcak pres

Üretim sonrası levhalar ilgili testlere uygun hale gelmeleri için klimatize edilmiş ve ardından yapılacak testlerin standartlarına uygun olacak boyutlarda kesim işlemi gerçekleştirilmiş ve örnek hazırlama işlemi tamamlanmıştır.

2.3. Levha Özellikleri

Üretilen levha örneklerinin teknolojik özelliklerini (fiziksel, mekanik, termal-yanma, yüzey ve biyolojik özellikler) belirlemek üzere kullanılan yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

2.3.1. Fiziksel Özellikler

2.3.1.1. Yoğunluk

Levhalarından 50x50xlevhanın kalınlığı (mm) ölçülerinde kesimi gerçekleştirilen test örneklerinin; ağırlığı, kalınlığı ve örnek genişliklerinin ölçülmesinin ardından belirlenen bu değerler aşağıda verilen formüle yerleştirilerek levhaların yoğunluk hesaplaması yapılmıştır (EN 323, 1993).

$$\delta = \frac{m}{a_1 \times a_2 \times t} \times 10^3 \quad (1)$$

Bu formülde;

δ : Yoğunluk (gr/cm^3)

m: Hava kurusu ağırlık (gr)

t: Örneğin kalınlığı (mm)

a_1, a_2 : Örneğin genişliği (mm)

2.3.1.2. Su Alma

Bu test için; üretilen levhalardan 50x50 mm boyutlarında test örnekleri kesilmiş ve ardından bu örnekler hassas terazide tartılmıştır. Tartım işleminin ardından örnekler 24 saat süre suda bekletilmek üzere 20 ± 2 °C'de su ile dolu bir kabın içerisine konulmuştur. Süre sonunda su içerisinden alınan örneklerin üzerindeki biriken fazla su, hafifçe alınarak örneklerin yeniden tartım işlemine geçilmiştir. Örneklerin belirlenen ağırlıkları ilgili formüle yerleştirilerek su alma oranı hesaplanmıştır (EN 317, 1993).

$$SA = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

SA: Su alma oranı (%)

m_0 : Örnek ilk ağırlığı (g)

m: Örneğin bekletme süresi sonunda ağırlığı (g)

2.3.1.3. Kalınlığa Şişme

50x50 mm boyutlarında kesilen örneklerin, kalınlığına şişme oranlarını belirlemek üzere kalınlıkları 0.01 mm duyarlıklı kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Levha örnekleri su alma deneyinde olduğu gibi 24 saat süre boyunca su dolu bir kap içerisinde bekletilmiştir. Süre sonunda su içinden alınan örneklerin kalınlıkları aynı yerden kumpas yardımıyla tekrar ölçülmüş, ölçülen bu değerler ilgili formüle (3) yerleştirilerek kalınlığına şişme oranları belirlenmiştir (EN 317, 1993).

$$K\mathring{S} = \frac{e_s - e_i}{e_s} \times 100 \quad (3)$$

K \mathring{S} : Kalınlığına Şişme oranı (%)

e_i: rnek ilk kalınlığı (mm)

e_s: Örneğin suda bekletme sonrası kalınlığı (mm)

2.3.2. Mekanik zellikler

2.3.2.1. Eğilme Direnci

Levha rneklerinin eğilme direnci değerleri EN 310 standartı kullanılarak belirlenmiştir. Test ncesi örnekler standartlara uygun olacak Şekilde hazırlanmış ve ölümler yapılarak eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir (EN 310, 1993).

$$E = \frac{3 \times F_{\max} \times l}{2 \times b \times t} \times 100 \quad (4)$$

E: Eğilme direnci (N/mm²)

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

l: Dayanak açıklığı, örneğin kalınlığının 20 katı (mm)

b: Örneğin lmlen genişliği (mm)

t: Örneğin lmlen kalınlığı (mm)

2.3.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Levha rneklerinin eğilmede elastikiyet modülü EN 310 standartna göre belirlenmiştir. Levhalardan bu standarta uygun Şekilde hazırlanan örneklerin elastikiyet modülü yapılan ölümlerin ilgili formüle (5) yerleŐtirilmesi ile hesaplanmıŐtir (EN 310, 1993).

$$E = \frac{1}{4} \times \frac{F \times Ls^3}{\Delta \times b \times d^3} \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

E: Eğilmede elastiklik modülü (N/mm²)

F: Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

Ls: Mesnet Açıklığı (mm)

Δ: Eğilmenin miktarı (mm)

b: Örneğin genişliği (mm)

d: Örneğin kalınlığı (mm)

2.3.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Bu test, EN 319 standardı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup 50x50mm boyutlarında kesilen örneklerin ölçümleri yapılmış ve örneklerin yüzeye dik çekme direnci değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (EN 319, 1993).

$$F_t = \frac{F_{\max}}{a \times b} \quad (6)$$

f_t: Yüzeye dik çekme direnci (N/mm²)

f_{max}: Kopma anındaki kuvvet (N)

a ve b: Örnek uzunluk ve örnek genişlik değerleri (mm)

2.3.3. Termal-Yanma Özellikler

Üretim sırasında kullanılan maddelerin levha örneklerinin yanma ve termal özelliklerindeki etkilerini belirlemek amacıyla ısı iletkenlik, LOI değerleri ve alev testi sonuçları belirlenmiş olup ilgili testler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

2.3.3.1. Isıl İletkenlik

Üretilen levhaların ısı iletkenlik değerleri; FOX-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak ASTM C518 standartına göre belirlenmiştir. Bu ölçümler; Karadeniz Teknik

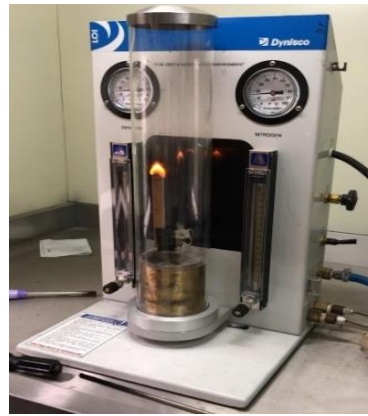
Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tutkal analiz laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı (FOX-314)

2.3.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Üretilen levhaların yanmaya karşı gösterdiği dayanımı tespit etmek limit oksijen indeksi (LOI) testi ASTM D 2863 standardı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu test, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliğine ait laboratuvarında bulunan Dynisco marka oksijen indeks test cihazı kullanılarak yapılmıştır. LOI yöntemi ile deney koşullarında alevli bir şekilde yanmanın devam ettirilmesi için gerekli olan oksijenin minimum miktarını ölçümlenmektedir. Teste göre; yanma özelliği düşük olan malzemelerin LOI değeri yüksek olurken; yanma özelliği yüksek olan malzemeler için ise bu değer düşük bulunmaktadır (Çavdar, 2011).



Şekil 4. LOI test cihazı (Dynisco marka)

2.3.3.3. Alev Testi

Levha örneklerinin yanmaya karşı direnç performanslarını ölçümlendirmek için yapılan diğer yanma testlerinin yanı sıra; yaygın olarak plastik esaslı malzemelerde yanma dayanımını belirlemek amacıyla kullanılan UL-94 testi yapılmıştır. Bu test ilgili standarta göre (ASTM D3801-10) modifiye edilerek levha örneklerinde uygulanmış ve testin sonuçları değerlendirilmiştir. Testte sonuçlar ölçümsel ve gözlemsel olarak belirlenmiştir. Test öncesi örnekler 1,3x12,5x1 cm ebatlarında olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu örnekler test tertibatının (Şekil 5) yukarı kısmından düz olarak tutturulmuş ve bunsen bekinin ayarlanan alevine belirli bir mesafe kalacak şekilde belirli süreler için yaklaştırılmıştır. Modifiye edilmiş teste göre; test örnekleri deneyin başlangıç aşamasında 10 sn. süre için aleve yaklaştırılmış, o esnada kronometre yardımıyla süre tutulmuş ve bu süre bitiminde örnekte yanma olup olmadığı tespit edilmiştir. Örnekte bu sürede yanma olmadıysa bir 10 sn. daha alev uygulanmasına geçilmiş ve bu süre içinde tutuşma, yanma olup olmadığı gözlenmiş; eğer örnekte tutuşma, yanma varsa da hangi sürede söndüğü belirlenmiştir. Yine yanma olmama durumunda ise bir 10 sn. daha aynı işlemin devam ettirilmesi suretiyle deney genelindeki ilk 30 sn. içinde malzemenin yanma performansı gözlenmiştir. Testte bu ilk tekrarlı 30 sn.'de yanma gerçekleşmemesi durumunda örneğin yanma durumunu gözlemlemek için yanma görülene kadar tekrarlı 10 sn.'lik süre uygulamasına birkaç kez daha devam edilmiştir. Bu sırada levha örneklerinde gözlemsel tespitler (duman, kül oluşumu, alev durumu vb.) gerçekleştirilmiş ve örneklerde alevin sönme süreleri ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 5.Alev testi düzeneği

2.3.4. Yüzey Özellikleri

2.3.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri

Levha gruplarının yüzey pürüzlülük parametrelerinde (Ra ve Rz) değişimleri belirlemek amacıyla Time TR-100 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir (ISO 4287, 1997).

2.3.5. Biyolojik Özellikler

2.3.5.1. Mantar Çürüklük Testi

Farklı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levha örneklerinin biyolojik dayanımlarını belirlemek için; bu örnekler KTÜ, Orman Endüstri Mühendisliği, Mikoloji laboratuvarında, modifiye edilmiş EN 113 (1997) mantar çürüklük testine maruz bırakılmıştır.

Test başlangıcında örnekler 1 x 1 x 1 cm boyutlarında kestirilmiş ve ardından hazırlanan bu örnekler değişmez ağırlığa gelene kadar 103 ± 2 °C'de sıcaklığa ayarlı etüv içerisinde bırakılmış ve tam kuru ağırlıkları (Çö) kaydedilmiştir. Örnekler laboratuvarında "*Trametes versicolor*" ve "*Coniophora puteana*" mantarlarına maruz bırakılmış ve test tüm örnekler(test-kontrol) için 8 tekrar olacak şekilde yapılmıştır. Deneyde; 1 lt olan saf su içerisinde 48 g malt agar ekstraktı çözündürülmüş ve ardından hazırlanan çözelti sterilizasyon işlemi için otoklava bırakılmıştır. İşlem sonunda çıkarılarak steril kabinde soğutulmuştur. Steril edilmiş petri kapları içerisine bir miktar agar çözeltisi koyularak bu kaplar UV kabininde 1 gün süre ile bekletilmiştir. Çözelti iyice donduktan sonra petri kaplarına mantar miselleri aşılanmıştır. Aşılama ile misellerin sarmasını sağlamak için petri kapları %65 bağıl nem, 20 °C' deki iklimlendirme dolabında bir hafta boyunca bekletilmiştir. Levha örnekleri de otoklavda sterilize edilmiştir. Soğutma işleminin ardından ise her petri kabının içerisine 2 test, 2 de kontrol örneği bırakılmıştır. 20°C ve %65 bağıl nemli bir odada 3 ay boyunca bırakılan levha örneklerinin süre sonunda, tam kuru ağırlıkları (Çs) belirlenmiş ve ağırlık kayıpları formül (7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{\text{Ç}_ö - \text{Ç}_s}{\text{Ç}_ö} \times 100 \quad (7)$$

Çö: Çürüklük öncesi ilk ağırlık (g)

Çs: Çürüklük sonrası son ağırlık (g)



Şekil 6. Mantar çürüklüğe maruz bırakılmış levha örnekleri

2.3.6. İstatistiksel Analiz

Testler sonucunda elde edilen veriler “SPSS 22 for Windows” programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, levha özellikleri üzerinde kullanılan madde türünün ve konsantrasyonun gösterdiği etkileri tespit etmek için, deney varyasyonları ayrı ayrı basit varyans analizi ile bulunan istatistiksel anlamlı farklılıklar ise Duncan testi kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.BULGULAR

3.1.Fiziksel Özellikler

3.1.1.Yoğunluk

CFP, GNP ve sodyum aljinat ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin yoğunluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Levha gruplarına ait yoğunluk değerleri

| Yoğunluk(kg/m ³) | | | | | |
|------------------------------|-------|------|-------------|-------|------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 739,3 | 5,25 | B1 | 748,3 | 5,87 |
| A2 | 743,1 | 5,16 | B2 | 752,1 | 3,82 |
| A3 | 748,2 | 4,74 | B3 | 762,7 | 2,95 |
| A4 | 755,0 | 3,83 | B4 | 767,2 | 6,98 |
| A5 | 750,6 | 2,92 | B5 | 758,2 | 3,44 |
| A6 | 744,1 | 3,39 | B6 | 754,9 | 4,46 |
| Kontrol | 735,8 | 4,13 | | | |

Levha örneklerinin yoğunluklarında; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır.

BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Yoğunluğa ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Yoğunluk Değerleri | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F-Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grp. | |
|--|--------------|-----------|--------------|---------|-----------|------------------------------|--|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. Arası | 1324,507 | 6 | 220,751 | 12,032 | 0,000 | K ^a ,A1 ^{ab} ,A2 ^{bc} ,A6 ^{bc} , A3 ^{cd} ,A5 ^{de} ,A4 ^e |
| | G.İçi | 513,700 | 28 | 18,346 | | | |
| | Toplam | 1838,207 | 34 | | | | |
| %0,3 Kons. B Grubu Örnekleri İçin (B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 3187,455 | 6 | 531,243 | 23,955 | 0,000 | K ^a ,B1 ^b ,B2 ^{bc} ,B6 ^c , B5 ^{cd} ,B3 ^{de} ,B4 ^e |
| | G.İçi | 620,956 | 28 | 22,177 | | | |
| | Toplam | 3808,411 | 34 | | | | |
| %0,1ve %0,3 Kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 4899,302 | 12 | 408,275 | 19,909 | 0,000 | K ^a ,A1 ^{ab} ,A2 ^{ab} ,A6 ^{bc} , A3 ^{cd} ,B1 ^{cd} ,A5 ^{de} ,B2 ^{def} , B6 ^{fg} ,A4 ^{fg} ,B5 ^{fg} ,B3 ^{gh} , B4 ^h |
| | G.İçi | 1066,348 | 52 | 20,507 | | | |
| | Toplam | 5965,650 | 64 | | | | |

Tablo 4'ten görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin yoğunluk değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak farklılıklar bulunmuştur. A ve B grubunun ayrı ayrı ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P < 0,05$) tespit edilmiştir.

3.1.2. Su Alma Oranı

CFP, GNP ve sodyum aljinat ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin 24 saat süre su alma (SA) sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Levha gruplarına ait 24 saat süre için su alma değerleri

| Su alma (SA %) | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------------|-------|------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 71,96 | 3,72 | B1 | 61,39 | 8,35 |
| A2 | 69,90 | 3,58 | B2 | 68,67 | 4,13 |
| A3 | 66,95 | 3,84 | B3 | 56,04 | 3,14 |
| A4 | 73,41 | 3,16 | B4 | 75,31 | 9,04 |
| A5 | 72,23 | 11,76 | B5 | 77,15 | 2,70 |
| A6 | 74,69 | 3,66 | B6 | 69,77 | 3,97 |
| Kontrol | 50,01 | 5,57 | | | |

Levha örneklerinin su alma değerlerinde ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır. Bunun yanı sıra BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. 24 saat su almaya ait BVA sonuçları ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA 24 S. Su Alma Değerleri | | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F- Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grupları |
|---|----------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|--|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. Arası | 2175,685 | 6 | 362,614 | 10,838 | 0,000 | K ^a ,A3 ^b ,A2 ^b ,A1 ^b , A5 ^b ,A4 ^b ,A6 ^b |
| | G.İçi | 936,796 | 28 | 33,457 | | | |
| | Toplam | 3112,480 | 34 | | | | |
| %0,3 Kons. B Grubu Örnekleri İçin (B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 3034,915 | 6 | 505,819 | 15,228 | 0,000 | K ^a ,B3 ^{ab} ,B1 ^{bc} ,B2 ^{cd} , B6 ^{de} ,B4 ^{de} ,B5 ^e |
| | G.İçi | 930,084 | 28 | 33,217 | | | |
| | Toplam | 3964,999 | 34 | | | | |
| %0,1ve %0,3kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 3815,398 | 12 | 317,950 | 9,488 | 0,000 | A1 ^a ,K ^{ab} ,A2 ^{abc} ,A6 ^{abc} , A3 ^{abcd} ,A5 ^{abcd} ,A4 ^{bcde} , B5 ^{cde} ,B2 ^{cde} ,B6 ^{de} ,B1 ^{de} , B4 ^e ,B3 ^e |
| | G.İçi | 1742,619 | 52 | 33,512 | | | |
| | Toplam | 5558,017 | 64 | | | | |

Tablo 6’dan görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin 24 saat süre ile su alma değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak farklılıklar bulunmuştur. A ve B grubunun ayrı ayrı ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P < 0,05$) tespit edilmiştir.

3.1.3.Kalınlığına Şişme Oranı

CFP, GNP ve sodyum aljinat ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin 24 saat süre kalınlığına şişme (KŞ) sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Levha gruplarına ait 24 saat süre için kalınlığına şişme değerleri

| Kalınlığına Şişme (KŞ %) | | | | | |
|--------------------------|-------|------|-------------|-------|------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 26,10 | 1,43 | B1 | 25,65 | 1,59 |
| A2 | 27,56 | 1,19 | B2 | 21,97 | 1,58 |
| A3 | 28,78 | 1,87 | B3 | 17,95 | 1,54 |
| A4 | 21,34 | 2,04 | B4 | 23,74 | 2,48 |
| A5 | 23,76 | 2,00 | B5 | 22,80 | 3,87 |
| A6 | 24,77 | 2,83 | B6 | 19,38 | 0,52 |
| Kontrol | 16,84 | 1,57 | | | |

Levha örneklerinin kalınlığına şişme değerlerinde; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır. Bunun yanı sıra BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. 24 saat kalınlığına şişmeye ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik

| Bva 24 S. Kalınlığına Şişme Değerleri | | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F-Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grupları |
|---|----------|--------------|-----------|--------------|---------|-----------|--|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1,A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. Arası | 493,412 | 6 | 82,235 | 22,507 | 0,000 | K ^a , A4 ^b , A5 ^{bc} , A6 ^c , A1 ^c , A2 ^{de} , A3 ^c |
| | G.İçi | 102,307 | 28 | 3,654 | | | |
| | Toplam | 595,719 | 34 | | | | |
| %0,3 Kons.B Grubu Örnekleri İçin (B1, B2, B3, B4, B5,B6, K) | G. Arası | 311,616 | 6 | 51,936 | 11,660 | 0,000 | K ^a , B3 ^a , B6 ^{ab} , B2 ^{bc} , B5 ^{cd} , B4 ^{cd} , B1 ^d |
| | G.İçi | 124,713 | 28 | 4,454 | | | |
| | Toplam | 436,329 | 34 | | | | |
| %0,1ve %0,3kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1,A2, A3, A4, A5, A6,B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 776,225 | 12 | 64,685 | 15,484 | 0,000 | K ^a , B3 ^{ab} , B1 ^{bc} , A3 ^{cd} , B2 ^{cde} , B6 ^{de} , A2 ^{de} , A1 ^{de} , A5 ^{de} , A4 ^{de} , A6 ^{de} , B4 ^{de} , B5 ^e |
| | G.İçi | 217,228 | 52 | 4,177 | | | |
| | Toplam | 993,453 | 64 | | | | |

Tablo 8’den görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerlerinde bu

parametrelere bağılı olarak farklılıklar bulunmuştur. A ve B grubunun ayrı ayrı ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

3.2. Mekanik Özellikler

3.2.1. Eğilme Direnci

GNP, CFP ve sodyum aljinat ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin eğilme direnci değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Levha gruplarına ait eğilme direnci değerleri

| Eğilme direnci (N/mm ²) | | | | | |
|--|-------|------|-------------|-------|------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 30,42 | 1,56 | B1 | 32,61 | 1,21 |
| A2 | 31,06 | 2,11 | B2 | 33,12 | 3,34 |
| A3 | 29,07 | 1,60 | B3 | 31,08 | 2,87 |
| A4 | 28,87 | 2,11 | B4 | 34,79 | 4,08 |
| A5 | 32,70 | 1,71 | B5 | 33,82 | 4,97 |
| A6 | 29,30 | 2,50 | B6 | 34,53 | 3,11 |
| Kontrol | 28,56 | 1,96 | | | |

Levha örneklerinin eğilme direnci değerlerinde; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır.

BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Eğilme direncine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Eğilme Direnci Değerleri | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F-Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grupları | |
|--|--------------|-----------|--------------|---------|-----------|----------------------------------|---|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1,A2, A3,A4,A5,A6,K) | G. Arası | 66,600 | 6 | 11,100 | 2,886 | 0,026 | K ^a ,A4 ^a ,A3 ^a ,A6 ^a , A1 ^{ab} ,A2 ^{ab} ,A5 ^b |
| | G.İçi | 107,681 | 28 | 3,846 | | | |
| | Toplam | 174,281 | 34 | | | | |
| %0,3 Kons.B Grubu Örnekleri İçin (B1, B2, B3, B4, B5, B6,K) | G. Arası | 144,712 | 6 | 24,119 | 2,232 | 0,069 | K ^a ,B3 ^{ab} ,B1 ^{ab} , B2 ^{ab} ,B5 ^b ,B6 ^b , B4 ^a |
| | G.İçi | 302,606 | 28 | 10,807 | | | |
| | Toplam | 447,318 | 34 | | | | |
| %0,1 ve %0,3 kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5,A6,B1,B2, B3,B4,B5,B6,K) | G. Arası | 292,627 | 12 | 24,386 | 3,211 | 0,002 | K ^a ,A4 ^{ab} ,A3 ^{ab} , A6 ^{abc} ,A1 ^{abcd} , A2 ^{abcde} ,B3 ^{abcde} , B1 ^{bcde} ,A5 ^{bcde} , B2 ^{cde} , B5 ^{de} , B6 ^e , B4 ^e |
| | G.İçi | 394,861 | 52 | 7,593 | | | |
| | Toplam | 687,487 | 64 | | | | |

Tablo 10'dan görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin eğilme direnci değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak bazı varyasyonlarda farklılıklar bulunmuştur. Buna göre; B grubunun (B1,B2,B3,B4,B5,B6, K) kendi içinde değerlendirildiği BVA sonucunda eğilme direnci değerlerinde anlamlı farklılıklar ($P>0,05$) görülmezken, A grubunun (A1,A2,A3,A4,A5,A6,K) kendi içinde ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

3.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

GNP, CFP ve sodyum aljinat ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Levha gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri

| Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²) | | | | | |
|--|---------|--------|-------------|---------|--------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 3358,80 | 363,91 | B1 | 3387,80 | 222,64 |
| A2 | 3278,20 | 228,26 | B2 | 3592,40 | 296,51 |
| A3 | 3117,80 | 100,77 | B3 | 3213,00 | 376,46 |
| A4 | 3213,20 | 173,24 | B4 | 3511,80 | 155,47 |
| A5 | 3463,40 | 151,99 | B5 | 3442,20 | 140,72 |
| A6 | 3380,20 | 307,10 | B6 | 3722,20 | 476,00 |
| Kontrol | 3015,80 | 212,62 | | | |

Levha örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır. BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Eğilmede elastikiyet modülüne ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerleri | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F-Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grupları | |
|--|--------------|-------------|--------------|------------|-----------|----------------------------------|---|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1,A2,A3,A4,A5,A6, K) | G. Arası | 739745,886 | 6 | 123290,981 | 2,228 | 0,070 | K ^a , A3 ^a , A4 ^a , A2 ^a , A1 ^a , A6 ^a , A5 ^a |
| | G.İçi | 1549276,000 | 28 | 55331,286 | | | |
| | Toplam | 2289021,886 | 34 | | | | |
| %0,3 Kons. B Grubu Örnekleri İçin (B1,B2, B3,B4,B5,B6,K) | G. Arası | 1684005,771 | 6 | 280667,629 | 3,302 | 0,014 | K ^a , B3 ^{ab} , B5 ^{abc} , B1 ^{bc} , B4 ^{bc} , B2 ^{bc} , B6 ^d |
| | G.İçi | 2379885,200 | 28 | 84995,900 | | | |
| | Toplam | 4063890,971 | 34 | | | | |
| %0,1 ve %0,3kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1,A2, A3, A4, A5, A6,B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 2269179,046 | 12 | 189098,254 | 2,623 | 0,008 | K ^a , A3 ^{ab} , B3 ^{abc} , A4 ^{abc} , A2 ^{abc} , A1 ^{abcd} , A6 ^{abcd} , B1 ^{abcd} , B5 ^{bcd} , A5 ^{bcd} , B4 ^{bcd} , B2 ^{cd} , B6 ^d |
| | G.İçi | 3748330,400 | 52 | 72083,277 | | | |
| | Toplam | 6017509,446 | 64 | | | | |

Tablo 12’den görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin eğilme elastikiyet modülü değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak bazı varyasyonlarda farklılıklar bulunmuştur. Buna göre; grubunun (A1,A2,A3,A4,A5,A6,K) kendi içinde değerlendirildiği BVA sonucunda eğilmeye elastikiyet modülü değerlerinde anlamlı farklılıklar ($P>0,05$) görülmezken, B grubunun (B1,B2,B3,B4,B5,B6,K) kendi içinde ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

3.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

GNP, CFP ve NaAlg tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin yüzeye dik çekme direncine ait değerler Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Levha gruplarına ait yüzeye dik çekme direnci değerleri

| Yüzeye dik çekme direnci(N/mm ²) | | | | | |
|--|------|-------|-------------|------|-------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 0,54 | 0,051 | B1 | 0,51 | 0,052 |
| A2 | 0,52 | 0,040 | B2 | 0,53 | 0,051 |
| A3 | 0,63 | 0,058 | B3 | 0,61 | 0,049 |
| A4 | 0,56 | 0,036 | B4 | 0,54 | 0,060 |
| A5 | 0,44 | 0,073 | B5 | 0,47 | 0,052 |
| A6 | 0,51 | 0,051 | B6 | 0,57 | 0,050 |
| Kontrol | 0,48 | 0,058 | | | |

Levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerlerinde; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır.

BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Yüzeye dik çekme direncine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Yüzeye Dik Çekme Direnci Değerleri | | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F- Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grupları |
|---|----------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|--|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1,A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. Arası | 0,101 | 6 | 0,017 | 5,836 | 0,000 | A5 ^a , K ^{ab} , A6 ^{ab} , A2 ^{ab} , A1, A4 ^b , A3 ^c |
| | G.İçi | 0,081 | 28 | 0,003 | | | |
| | Toplam | 0,182 | 34 | | | | |
| %0,3 Kons.B Grubu Örnekleri İçin (B1, B2, B3, B4,B5,B6, K) | G. Arası | 0,074 | 6 | 0,012 | 4,293 | 0,003 | B5 ^a , K ^{ab} , B1 ^{ab} , B2 ^{ab} , B4 ^{abc} , B6 ^{bc} , B3 ^c |
| | G.İçi | 0,080 | 28 | 0,003 | | | |
| | Toplam | 0,154 | 34 | | | | |
| %0,1ve %0,3kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6,B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 0,163 | 12 | 0,014 | 4,797 | 0,000 | A5 ^a , B5 ^{ab} , K ^{abc} , A6 ^{abcd} , B1 ^{abcd} , A2 ^{abcd} , B2 ^{bc} , A1 ^{bcde} , B4 ^{bcde} , A4 ^{cdef} , B6 ^{def} , B3 ^{ef} , A3 ^f |
| | G.İçi | 0,148 | 52 | 0,003 | | | |
| | Toplam | 0,311 | 64 | | | | |

Tablo 14'ten görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak farklılıklar bulunmuştur. A ve B grubunun ayrı ayrı ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P < 0,05$) tespit edilmiştir.

3.3. Termal-Yanma Özellikleri

GNP, CFP ve NaAlg ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levha ve kontrol örneklerinin ve kontrol grubu levhaların termal-yanma özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen ısı iletkenlik, limit oksijen indeksi (LOI) ile alev testlerine ait sonuçlar sırasıyla verilmiştir

3.3.1. Isıl İletkenlik

GNP, CFP ve NaAlg ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin ısı iletkenlik değerleri Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Levha gruplarına ait ısı iletkenlik değerleri

| Isıl İletkenlik | | | |
|-----------------|--------|-------------|--------|
| Levha Grubu | X | Levha Grubu | X |
| A1 | 0,1206 | B1 | 0,1213 |
| A2 | 0,1195 | B2 | 0,1206 |
| A3 | 0,1181 | B3 | 0,1181 |
| A4 | 0,1187 | B4 | 0,1173 |
| A5 | 0,1203 | B5 | 0,1210 |
| A6 | 0,1190 | B6 | 0,1179 |
| Kontrol | 0,1186 | | |

3.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

GNP, CFP ve NaAlg ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin limit oksijen indeksi (LOI) testine ait sonuçlar Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Levha gruplarına ait LOI değerleri

| Levha Grubu | X | Levha Grubu | X |
|-------------|-------|-------------|-------|
| A1 | 32,25 | B1 | 34,00 |
| A2 | 33,00 | B2 | 34,50 |
| A3 | 32,50 | B3 | 34,25 |
| A4 | 32,75 | B4 | 33,75 |
| A5 | 33,00 | B5 | 34,00 |
| A6 | 32,75 | B6 | 33,25 |
| Kontrol | 30,00 | | |

3.3.3. Alev Testi

GNP, CFP ve NaAlg ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin yanma dayanımlarını belirlemek için modifiye olarak uygulanan alev testine (UL-94) ait gözlemsel sonuçlar aşağıda Tablo 17 ve Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 17. A grubu levhalara ait alev testi sonuçları

| Levha grubu | İlk 30 sn için yapılan uygulama (10sn sürelerle) | | | Tekrarlı 4.,5.,6.uygulama (10sn sürelerle) |
|-------------|--|--|--|--|
| | 1. 10sn | 2. 10sn | 3. 10sn | |
| A1 | - | - | 23.sn. kenarlardan hafif alevlenme başladı 27. sn. de söndü. | 35sn de başladı. 41.sn.'de söndü.48. sn.'de başladı 60.sn de söndü. |
| A2 | - | 17.sn.'de başladı 21.sn.'de söndü. | 27.sn.'de başladı 31.sn.'de söndü | 48.sn.'de başladı 59.sn.'de söndü. Duman yok, çok hafif alevlenme var. |
| A3 | - | - | - | 39.sn.'de başladı 56.sn.'de söndü hafif duman çıkışı görüldü. |
| A4 | - | 15.sn.'de başladı 19.sn.'da söndü. | 22.sn.'de başladı 27.sn.'de söndü. | 36.sn.'de başladı 54.sn.'de söndü, hafif duman çıkışı var. |
| A5 | - | - | 28.sn.'de başladı, 33.sn.'de söndü. | 45.sn.'de başladı 62.sn.'de söndü, hafif alev görüldü. Örneğin uç kısımlarında kömürleşme var. |
| A6 | - | - | 25.sn.'de başladı 29.sn.'de söndü. | 38. sn.'de başladı 45.sn.'de söndü. 48.sn.'de başladı |
| Kontrol | - | 19.sn.'de başladı ve 90 sn.'ye kadar yanma devam etti. Alev boyu daha fazla, duman çıkışı ve bir miktar kül oluşumu görüldü. | | |

*A grubu için "10" sn.den daha düşük sönme süresi görülmüştür.

Tablo 18. B grubu levhalara ait alev testi sonuçları

| Levha grubu | İlk 30 sn için yapılan uygulama (10 sn sürelerle) | | | Tekrarlı 4.,5.,6.uygulama (10 sn sürelerle) |
|-------------|---|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| | 1. 10sn | 2. 10sn | 3.10sn | |
| B1 | - | - | 24. sn.'de başladı, 26.sn.'de söndü. | 37. sn.'de başladı, 40. Sn. söndü, 44.sn.'de başladı 48. sn.'de söndü. Duman çıkışı yok, örnekte uçta hafif düzeyde alev oldu, sönme hızlı. |
| B2 | - | - | - | 35. sn.'de başladı 39.sn.'de söndü 47. sn.'de başladı 51. sn.'de söndü. Duman çıkışı yok. |
| B3 | - | - | 23.sn.'de başladı, 25.sn.'de söndü | 37.sn.'de başladı 43.sn.'de söndü çok hafif, duman çıkışı görüldü. |
| B4 | - | 16.snde başladı 18.sn de söndü. | 27.sn.'de başladı, 28. sn.'de söndü. | 38. sn.'de başladı 49. sn.'de söndü, kenarlarda çok hafif yanma oldu. |
| B5 | - | - | 27.sn.'de başladı, 28.sn.'de söndü. | 30. sn.'de başladı, 54. sn.'de söndü, |
| B6 | - | - | 28.sn.'de başladı, 30.sn.'de söndü. | 39. sn.'de başladı, 42.sn.'de söndü. 45.sn.'de başladı 46.sn.'de söndü. |

*B grubu için "10" sn.den daha düşük sönme süresi görülmüştür.

3.4. Yüzey Özellikleri

3.4.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

GNP, CFP ve NaAlg ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin yüzey özelliklerindeki değişimleri belirlemek üzere yapılan yüzey pürüzlülüğü testine ait sonuçlar Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Levha gruplarına ait Ra ve Rz değerleri

| Ra (μm) | | | | | |
|----------------------|-------|------|-------------|-------|------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 4,29 | 0,22 | B1 | 4,59 | 0,17 |
| A2 | 3,20 | 0,28 | B2 | 4,62 | 0,48 |
| A3 | 4,13 | 0,44 | B3 | 4,61 | 0,81 |
| A4 | 3,57 | 0,29 | B4 | 4,18 | 0,46 |
| A5 | 4,08 | 0,53 | B5 | 4,76 | 0,67 |
| A6 | 4,89 | 0,23 | B6 | 5,09 | 0,27 |
| Kontrol | 4,81 | 0,50 | | | |
| Rz (μm) | | | | | |
| A1 | 29,29 | 2,18 | B1 | 30,75 | 2,80 |
| A2 | 23,98 | 2,99 | B2 | 33,15 | 2,03 |
| A3 | 27,95 | 3,52 | B3 | 35,80 | 4,54 |
| A4 | 27,58 | 3,30 | B4 | 31,03 | 1,72 |
| A5 | 29,93 | 3,97 | B5 | 33,30 | 6,38 |
| A6 | 32,58 | 1,94 | B6 | 35,53 | 3,32 |
| Kontrol | 32,83 | 4,10 | | | |

Levha örneklerinin Ra değerlerinde; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır.

BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Levha gruplarının Ra değerine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Ra (μm) değerleri | | Kareler top. | Ser. der. | Kareler ort. | F- hesap | Önem düz. | Duncan testi homojenlik grupları |
|---|----------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|---|
| %0,1 kons. A grubu örnekleri için A1,A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. arası | 8,9950 | 6 | 1,499 | 10,697 | 0,000 | A2 ^a , A4 ^{ab} , A5 ^{bc} , A3 ^{bc} , A1 ^{cd} , K ^{de} , A6 ^e |
| | G.içi | 2,9430 | 21 | 0,140 | | | |
| | Toplam | 11,938 | 27 | | | | |
| %0,3 kons. B grubu örnekleri için (B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. arası | 1,8030 | 6 | 0,300 | 1,107 | 0,391 | B4 ^a B1 ^a , B3 ^a B2 ^a B5 ^a , K ^a B6 ^a |
| | G.içi | 5,7020 | 21 | 0,272 | | | |
| | Toplam | 7,5040 | 27 | | | | |
| %0,1ve %0,3kons. Birlikte A ve B grubu örnekleri için (A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. arası | 13,9670 | 12 | 1,164 | 5,750 | 0,000 | A2 ^a , A4 ^{ab} , A5 ^{bc} , A3 ^{bc} , B4 ^{bcd} , A1 ^{cd} , B1 ^{cde} , B3 ^{cde} , B2 ^{cde} , B5 ^{cde} , K ^{cde} , A6 ^{de} , B6 ^e |
| | G.içi | 7,8940 | 39 | 0,202 | | | |
| | Toplam | 21,861 | 51 | | | | |

Tablo 20'den görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin Rz değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak bazı varyasyonlarda farklılıklar bulunmuştur. Buna göre; B grubunun (B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) kendi içinde değerlendirildiği BVA sonucunda Ra değerlerinde anlamlı farklılıklar ($P>0,05$) görülmezken, A grubunun (A1,A2,A3,A4,A5,A6,K) kendi içinde ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

Levha örneklerinin Rz değerlerinde; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için, bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır.

BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. Levha gruplarının Rz değerine ait BVA sonucu ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Rz (μm) değerleri | Kareler top. | Ser. der. | Kareler ort. | F-hesap | Önem düz. | Duncan testi homojenlik grupları | |
|---|--------------|-----------|--------------|---------|-----------|----------------------------------|--|
| %0,1 kons. A grubu örnekleri için (A1, A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. arası | 226,231 | 6 | 37,705 | 3,599 | 0,013 | A2 ^a , A4 ^{ab} , A3 ^{ab} , A1 ^b , A5 ^b , A6 ^b , K ^b |
| | G.içi | 220,014 | 21 | 10,477 | | | |
| | Toplam | 446,245 | 27 | | | | |
| %0,3 kons. B grubu örnekleri için (B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. arası | 92,2540 | 6 | 15,376 | 1,034 | 0,431 | B1 ^a , B4 ^a , K ^a , B2 ^a , B5 ^a , B6 ^a , B3 ^a |
| | G.içi | 312,174 | 21 | 14,865 | | | |
| | Toplam | 404,428 | 27 | | | | |
| %0,1ve %0,3kons. Birlikte A ve B grubu örnekleri için (A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. arası | 534,982 | 12 | 44,582 | 3,610 | 0,001 | A2 ^a , A4 ^{ab} , A3 ^{ab} , A1 ^{ab} , A5 ^{bc} , B1 ^{bcd} , B4 ^{bcd} , B6 ^{cd} , K ^{bcd} , B2 ^{bcd} , B5 ^{bcd} , B6 ^{de} , B3 ^e |
| | G.içi | 481,661 | 39 | 12,350 | | | |
| | Toplam | 1016,643 | 51 | | | | |

Tablo 21’den görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin Rz değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak bazı varyasyonlarda farklılıklar bulunmuştur. Buna göre; B grubunun (B1,B2,B3,B4,B5,B6,K) kendi içinde değerlendirildiği BVA sonucunda Rz değerlerinde anlamlı farklılıklar ($P>0,05$) görülmezken, A grubunun (A1,A2,A3,A4,A5,A6,K) kendi içinde ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

3.5. Biyolojik Özellikler

3.5.1. Mantar Çürüklük Testi

GNP, CFP ve NaAlg ilaveli tutkal kullanılarak üretilmiş levhalar ve kontrol levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Levha gruplarına ait mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri

| Ağırlık Kaybı (%) | | | | | |
|-------------------|-------|------|-------------|------|------|
| Levha Grubu | X | S | Levha Grubu | X | S |
| A1 | 14,01 | 1,39 | B1 | 7,85 | 2,29 |
| A2 | 12,51 | 1,35 | B2 | 7,46 | 1,93 |
| A3 | 12,55 | 1,27 | B3 | 9,11 | 2,04 |
| A4 | 11,28 | 0,78 | B4 | 4,36 | 1,78 |
| A5 | 10,95 | 1,18 | B5 | 7,31 | 1,91 |
| A6 | 10,08 | 0,70 | B6 | 3,79 | 1,26 |
| Kontrol | 30,86 | 2,37 | | | |

Mantar çürüklük testine uğratılmış örneklerin test süresi sonunda belirlenen ağırlık kayıplarında; ilave edilen madde türünün ve ilave oranlarının etkisini tespit etmek ve deney parametreleri arasında istatistik açıdan anlamlı bir farklılığın olup olmadığını belirlemek için bu parametrelerin her birine basit varyans analizi (BVA) uygulanmıştır. BVA analizi ile tespit edilen anlamlı istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve bu test ile varyasyonlar için homojenlik grupları belirlenmiştir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Levha gruplarına ait mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerine ait BVA sonuçları ve Duncan testi homojenlik grupları

| BVA Mantar Çürüklük Testi Ağ. Kaybı | Kareler Top. | Ser. Der. | Kareler Ort. | F-Hesap | Önem Düz. | Duncan Testi Homojenlik Grupları | |
|---|--------------|-----------|--------------|---------|-----------|----------------------------------|--|
| %0,1 Kons. A Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6, K) | G. Arası | 2543,977 | 6 | 423,996 | 220,194 | 0,000 | A6 ^a , A5 ^a , A4 ^{ab} , A2 ^b , A3 ^b , A1 ^c , K ^d |
| | G. İçi | 94,3520 | 49 | 1,9260 | | | |
| | Toplam | 2638,329 | 55 | | | | |
| %0,3 Kons. B Grubu Örnekleri İçin (B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 4195,553 | 6 | 699,259 | 180,289 | 0,000 | B6 ^a , B4 ^a , B5 ^b , B2 ^b , B1 ^b , B3 ^b , K ^c |
| | G. İçi | 190,048 | 49 | 3,8790 | | | |
| | Toplam | 4385,601 | 55 | | | | |
| %0,1ve %0,3kons. Birlikte A ve B Grubu Örnekleri İçin (A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, K) | G. Arası | 4356,985 | 12 | 363,082 | 134,800 | 0,000 | B6 ^a , B4 ^a , B5 ^b , B2 ^{bc} , B1 ^{bc} , B3 ^{cd} , A6 ^{de} , A5 ^{ef} , A4 ^{ef} , A2 ^{fg} , A3 ^{fg} , A1 ^g , K ^h |
| | | 245,107 | 91 | 2,6930 | | | |
| | | 4602,092 | 103 | | | | |

Tablo 23'ten görüldüğü gibi; deney grup ve varyasyonlarına ayrı ayrı uygulanan BVA sonuçlarına göre; levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerinde bu parametrelere bağlı olarak farklılıklar bulunmuştur. A ve B grubunun ayrı ayrı ve A, B grubunun birlikte değerlendirildiği tüm varyasyonlar için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P < 0,05$) tespit edilmiştir

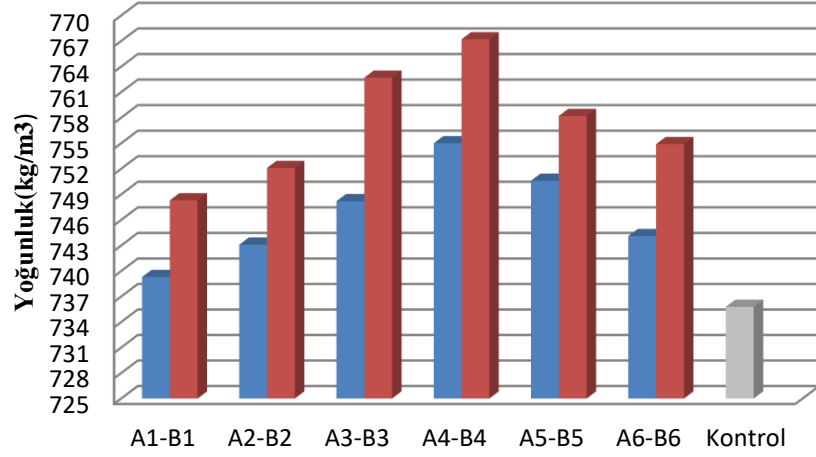


4. TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Yoğunluk

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol levha örneklerinin yoğunluk değerlerindeki değişim Şekil 7’de verilmiştir.

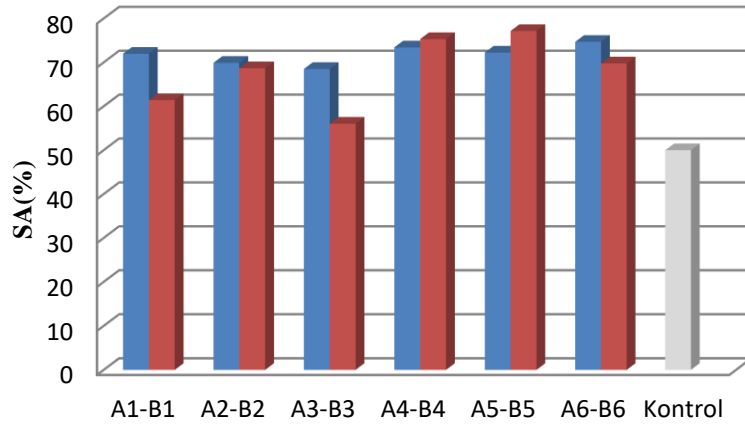


Şekil 7. Levha gruplarına ait yoğunluk değerlerinde görülen değişim

Buna göre; üretilen A ve B grubu levhaların yoğunluk değerleri; tutkala ilave edilen maddelerin kullanım türüne ve oranına ve bağlı olarak değişim göstermiştir. Özellikle ilave madde oranının artırılmasıyla yoğunluk değerleri artış göstermiştir. Levha gruplarının yoğunluk değerleri ise 735,8-767,2 kg/m³ arasında bulunmuştur.

4.1.2. Su Alma Oranları

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ile kontrol levha örneklerinin 24 saat süre su alma oranlarındaki değişim Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Levha gruplarına ait su alma değerlerinde görülen değişim

Şekil 8'e bakıldığında; A ve B grubu levha gruplarının 24 saat süredeki su alma oranlarının ilave edilen maddelerin türüne ve ilave oranına bağlı olarak değişim gösterdiği, bu değişimin deneysel parametrelere göre hem azalış hem de artış yönünde değişken bir eğilime sahip olduğu görülmektedir.

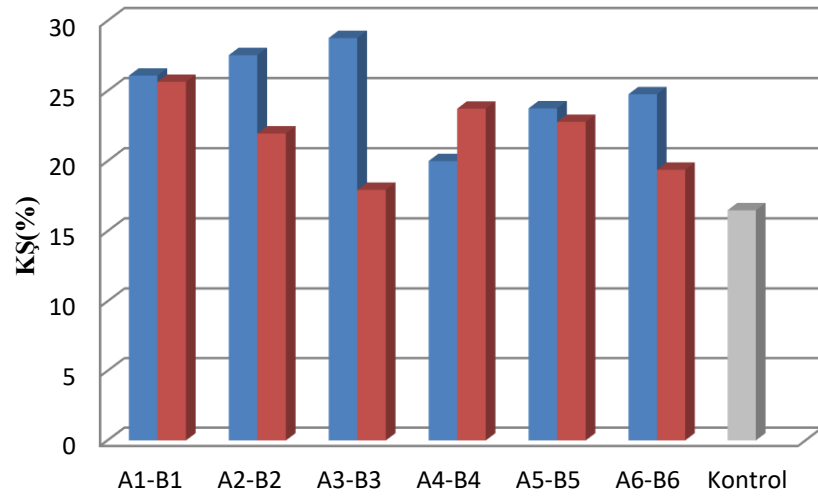
Deney geneline bakıldığında; A ve B grubu levha örneklerinin su alma oranlarının kontrol grubunun su alma oranından daha fazla olduğu görülmüştür. %0,1 oranında madde ilavesi ile üretilen A grubu levhalarda en düşük SA oranı GNP içeren A3 grubunda, en yüksek SA oranı ise GNP+CFP+NaAlg karışımı içeren A6 grubu levhalarda elde edilmiştir. %0,3 oranında madde ilavesi ile üretilen B grubu levhalarda ise CFP+NaAlg içeren B5 grubunda en yüksek oran; GNP içeren B3 grubunda ise en düşük oran tespit edilmiştir. A grubu levhalarda bu değerler A6>A4>A5>A1>A2>A3>K şeklinde sıralanırken, B grubu levhalarda ise B5>B4>B6>B2>B1>B3>K şeklinde bir sıralama söz konusu olmuştur. CFP, GNP+CFP karışımı, GNP ve GNP+CFP+NaAlg karışımlarının konsantrasyonlarının %0,3 olarak uygulandığı B1, B2, B3, B6 gruplarının SA değerleri bu maddelerin %0,1 olarak uygulandığı A1, A2, A3, A6 gruplarının değerlerine göre daha düşük olarak bulunurken, diğer gruplarda tersine bir seyir gözlenmiş ve konsantrasyon artışıyla birlikte bir miktar artış görülmüştür.

Levha üretimlerinde SA değerlerini üretim koşullarının yanı sıra özellikle ilave maddelerin yapısal özellikleri belirgin düzeyde etkilemektedir. Bu nedenle kimyasal maddelerin tutkula, liflere ilavesi veya muamelesi ile bazı uyum problemleri sonucunda farklı trendler ortaya çıkabilmektedir. Özellikle nano kimyasalların olumlu özellik gösterdiği çalışmalarda beklenen olumlu etkilerin aksine bazı sonuçlarda oluşabilmektedir. Bu

çalışmada su alma oranlarındaki artışın öncelikle GNP, CFP ve NaAlg'in yapısal özelliklerine ve karışım halinde gösterdikleri etkilere bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.

4.1.3. Kalınlığına Şişme Oranları

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ile kontrol levha örneklerinin 24 saat süre kalınlığına şişme oranlarındaki değişim Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Levha gruplarına ait kalınlığına şişme değerlerinde görülen değişim

Şekil 9 incelendiğinde; A ve B grubu levhaların KŞ oranlarının kontrol grubunun KŞ oranından daha yüksek olduğu ve deney gruplarının değerlerinin genel olarak konsantrasyon artışı ile azaldığı görülmektedir. KŞ değerleri A4-B4 grupları hariç konsantrasyona bağlı azalış eğilimi göstermiştir. En yüksek KŞ değeri %0,1 GNP içeren A3 grubunda, en düşük KŞ değeri de %0,3 GNP içeren B3 grubunda elde edilmiştir. A grubundaki levhalar arasında KŞ değerleri; A3>A2> A1>A6>A5>A4>K şeklinde bir sıralama gösterirken, B grubundaki levhalar arasında bu değerler B1>B4>B5>B2>B6>B3>K şeklinde sıralama göstermiştir.

Genel olarak tüm levhaların su alma ve kalınlığına şişme değerlerine birlikte bakıldığında; bu değerlerin kontrol grubuna göre arttığı, ancak çoğu grupta ilave edilen maddelerin oranının artışı ile azalmaya başladığı, bazı gruplarda ise tersine artış gösterdiği görülmüştür. Beklenenin aksine, bu değerlerin değişken bir seyir göstermesinin nedeninin, ilave maddelerin yapısal özellikleri ile tutkalla karıştırma esnasında karşılaşılan güçlükler,

uyum problemleri ve maddelerin belirli oranda topaklanma göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bazen tutkal uygulamalarında kullanılan kimyasal maddeler lif yüzeyinde kalarak levha özelliklerinde değişimlere sebebiyet verebilmektedir.

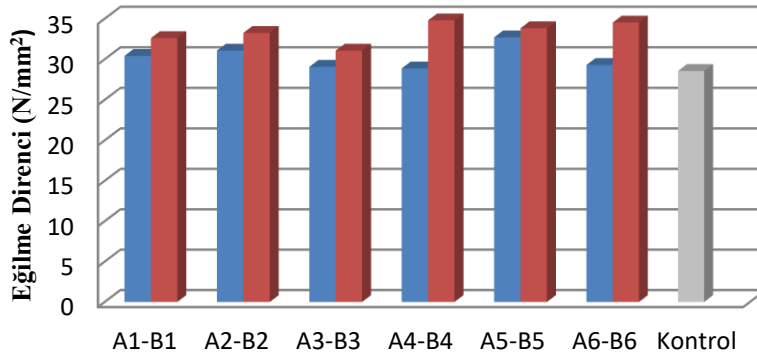
Levhalarda çeşitli nanografen türevleri ve/veya karbon lifleri kullanılarak fiziksel özelliklerde olumlu sonuç gösteren çalışmalarının yanı sıra; bu özelliklerde tersine seyir gösteren çalışmalarda mevcuttur. Khan vd. (2013), çalışmalarında karbon liflerinin farklı oranlarda kullanımının KŞ'yi tam olarak iyileştirmediğini, belirli bir orana kadar kullanımında ise levhada kalınlığına şişmeyi artırma-azaltma yönünde değişkenlik gösterdiğini, bu durumun da karbon liflerinin tutkal özelliklerine de bağlı olarak kümelenmesinin bir sonucu olabileceğini belirtmiştir.

Chaharmahali vd. (2017), yaptıkları çalışmalarında bagasse/polypropylene kompozitlerde de düşük ya da yüksek NG içeriğinin KŞ değerlerini önemli derecede azaltmadığını ve SA ile KŞ için belirli bir orandan sonra gösterdikleri eğilimin tersine döndüğünü bulmuşlardır.

4.2. Mekanik Özellikler

4.2.1. Eğilme Direnci

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ile kontrol levha örneklerinin eğilme direnci değerlerinde; ilave edilen madde türlerinin ve ilave oranlarının etkisi Şekil 10'da verilmiştir.

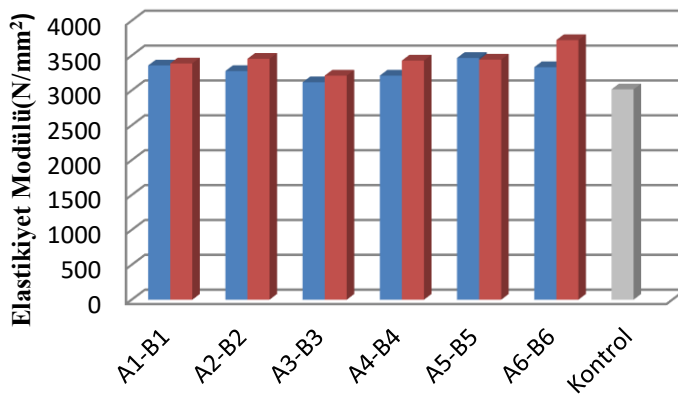


Şekil 10. Levha gruplarına ait eğilme direnci değerlerinde görülen değişim

Şekil 10'a bakıldığında; A ve B grupları için belirlenen eğilme direnci değerlerinin deney genelinde kontrol grubunun değerinden daha yüksek olduğu, bununla birlikte A3, A4 ve A6 gruplarının değerlerinin ise kontrol grubuna yakın veya çok az yüksek olduğu görülmektedir. Eğilme direnci değerleri genel itibari ile konsantrasyon artışı ile artış göstermiş ve kimyasal madde ilaveli levhaların eğilme direnç değerleri iyileşmiştir. %0,1 ilave oranında en yüksek eğilme direnci değeri CFP+NaAlg içeren A5 grubunda bulunurken, en düşük eğilme direnci değeri GNP+NaAlg içeren A4 grubunda bulunmuştur. %0,3 ilave oranında en yüksek eğilme direnci değeri GNP+NaAlg içeren B4 grubunda bulunurken; en düşük değer GNP içeren B3 grubunda elde edilmiştir. Genel olarak; bu maddelerin birlikte kullanımı ile sinerjik etkiler sağlanmış ve değerlerde iyileşmeler elde edilmiştir. Ancak; bazı gruplarla elde edilen değerlerin belirgin düzeyde artış göstermediği ve daha sınırlı kaldığı görülmüştür. Bu durumunda, bu maddelerin tutkalla uygulanması esnasında çözünme, karıştırma zorluğundan kaynaklı liflere tam homojen uygulanamamış olmasından ve belirli kısımlarda topaklanma göstermesinden dolayı olabileceği düşünülmektedir. Levha üretiminde; özellikle kimyasal madde uygulamaları, uygulama yöntemleri, tutkalla çözünme problemleri mekanik özellikleri etkilemekte ve değerlerde farklı seyirler gösterebilmektedir. Tüm levha örneklerine bakıldığında ise eğilme direnci değerlerinin standartların üzerinde olduğu görülmektedir.

4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol levha örneklerinin eğilme direnci değerlerinde; ilave edilen madde türlerinin ve ilave oranlarının etkisi Şekil 11'de verilmiştir.

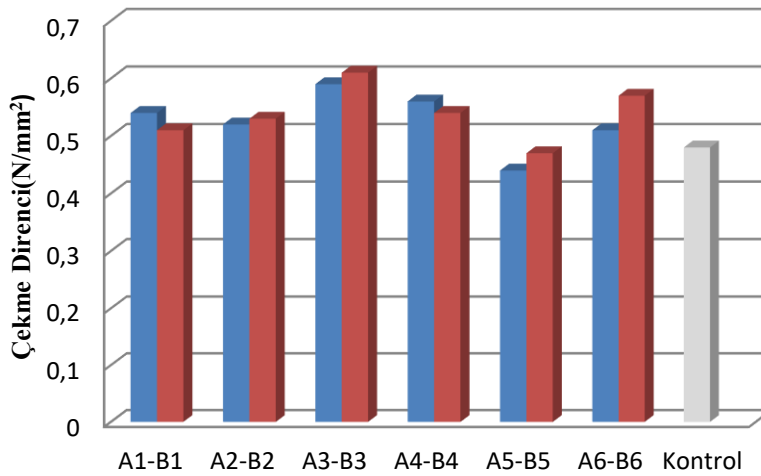


Şekil 11. Levha gruplarına ait elastikiyet modülü değerlerinde görülen değişim

Şekil 11'e bakıldığında; A ve B grupları için eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin ilave edilen kimyasal madde türü ve ilave oranına bağlı olarak değişim gösterdiği; bu değerlerin bazı gruplar için belirgin olmamakla birlikte konsantrasyona bağlı olarak artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Tüm elastikiyet modülü değerleri de eğilme direnci değerlerinde olduğu gibi kontrol grubunun değerinden daha yüksek olarak bulunmuştur. A grubu levhalar arasında en yüksek değer; CFP+NaAlg içeren A5 grubunda, en düşük değer ise; GNP içeren A3 grubunda elde edilmiş, B grubu levhalar arasında ise en yüksek değer GNP+CFP+NaAlg içeren B6 grubunda en düşük değer ise GNP içeren B3 grubunda tespit edilmiştir.

4.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol levha örneklerinin eğilme direnci değerlerinde; ilave edilen madde türlerinin ve ilave oranlarının etkisi Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Levha gruplarına ait çekme direnci değerlerinde görülen değişim

Şekil 12'den; A ve B levha gruplarının yüzeye dik çekme direnci değerlerine bakıldığı zaman; bu değerlerin kimyasal madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Genel olarak tüm değerler kontrol örneklerinin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

A ve B gruplarının çekme direnci değerlerine bakıldığında konsantrasyon artışına bağlı olarak bazı gruplarının değerlerinde artış görülürken diğer grupların değerlerinde ise

bir azalış olduğu görölmektedir. A grubu levhalarda A3 grubunda en yüksek değer elde edilirken; A5 grubunda en düşük değer elde edilmiştir. B grubu levhalarda ise en yüksek değer B3 grubunda, en düşük değer ise B5 grubunda bulunmuştur. A5 ve B5 grubu değerleri kontrol değerinden biraz daha düşük çıkmıştır. Konsantrasyon artışıyla değerlerde beklenen düzeyden biraz daha düşük bir artış oranı elde edilmiştir. Özellikle nanografen ve karbon liflerinin farklı malzemelerin güçlendirme çalışmalarında kullanılmaları sebebiyle bu çalışmadaki levhaların çekme direnci değerlerini daha fazla artıracakđ düşünölmüştür. Ancak, bu maddelerin tutkalda tek veya birlikte uygulanmaları esnasında homojen karıştırma ve dağılımda karşılaşılan zorluklar, uyum problemi ve topaklanma gibi faktörlerinde bu beklentinin tam olarak karşılanamamasına sebep olduğu düşünölmektedir. Dolayısıyla, çalışmada bazı değerlerdeki düşüşün ya da beklenen artışın görölememesin sebebinin, kullanılan maddelerin lif yüzeylerinde birikmiş olması ve topaklanması sebebiyle yüzeysel düzensizlikler oluşmasından, bu düzensizliklerin kullanılan kimyasalların oranının artması ile artış göstermiş olmasından ve örneklerin çekme testi sırasında yüzeyden daha zayıf yapışma göstererek kolaylıkla kopmasından kaynaklandığı düşünölmüştür.

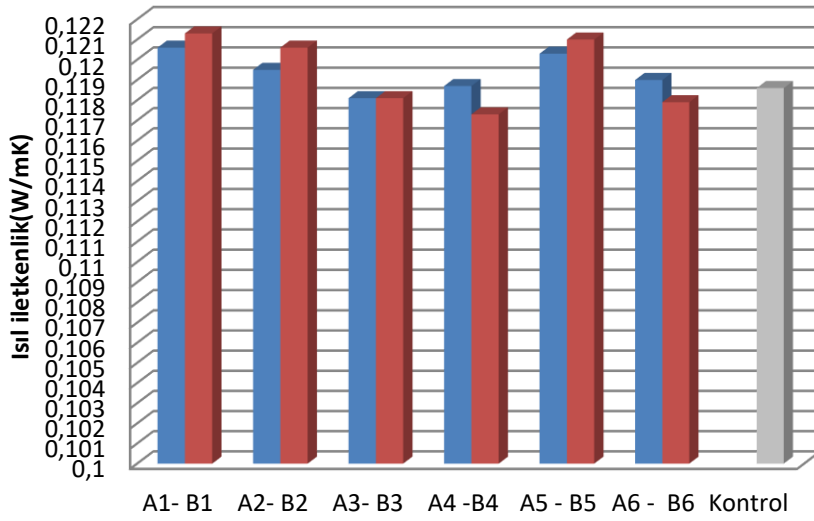
Ayrıca; Khan vd. (2013), karbon liflerinin orta yoğunluklu lif levhalarda (MDF) %0,1 oranında kullanılması durumunda IB değerlerinin artış gösterdiğini ancak bu oranın artması ile IB değerlerinin azalmaya başladığını bu durumun nedeninin de karbon liflerinin çökmesi ile alakalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Ancak, deney genelinde; bu maddelerin etkinliğinin olduğu karışım halinde daha iyi etki verdikleri ve NaAlg ilavesiyle de değerlerde iyileşmeler olduğu görölmüştür.

4.3. Termal-Yanma Özellikleri

4.3.1. Isıl İletkenlik

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol levha örneklerinin ısı iletkenlik değerlerindeki değişim Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Levha gruplarına ait ısıl iletkenlik değerleri

Şekil 13'ten görüleceği üzere; GNP, karbon elyaf tozu ve sodyum aljinatın iki farklı oranda ilavesinin levha örneklerinin ısıl iletkenlik değerleri üzerindeki etkisi farklılık göstermiştir. Buna göre; %0,1 konsantrasyonda madde ilaveli A grubu ve %0,3 konsantrasyonda madde ilaveli B grubu levhaların ısıl iletkenlik değerleri; genel olarak kontrol levhasının ısıl iletkenlik değerlerinden daha yüksek olarak bulunmuştur. B grubu levhaların ısıl iletkenlik değerlerinin ise A grubu levhaların ısıl iletkenlik değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Genellikle; konsantrasyon artışı ile levhaların değerlerinde B1, B2, B5 grupları için artış gözlenirken; B4 ve B6 grupları için bu değerlerde azalış gözlenmiştir. En yüksek ısıl iletkenlik değeri (0,1213) karbon elyaf tozu içeren B1 grubundan elde edilirken; en düşük ısıl iletkenlik değeri (0,1173) GNP+NaAlg içeren B4 grubundan elde edilmiştir. Karbon elyaf tozu ilave ile üretilen levha örneklerindeki değerlerin GNP ilavesi ile üretilen levha örneklerine oranla daha fazla olduğu Şekil 13'ten görülmektedir.

Karbon liflerinin odun kompozitlerinde termal özellikleri iyileştiren ilave maddelerden biri olduğu bildirilmiştir (Khan vd., 2013). Özellikle nano grafenin tek başına (A3-B3) ve Na aljinatla birlikte kullanıldığı (A4-B4) levha gruplarında etkisinin; karbon elyaf tozunun tek başına (A1-B1) Na aljinatla birlikte kullanıldığı (A5-B5) levha gruplarında etkisinden daha düşük olduğu görülmektedir. Yine; üç maddenin birlikte uygulandığı (A6-B6) gruplarında da ısıl iletkenlik değerlerinin, bu maddelerin ikili ya da tek başına

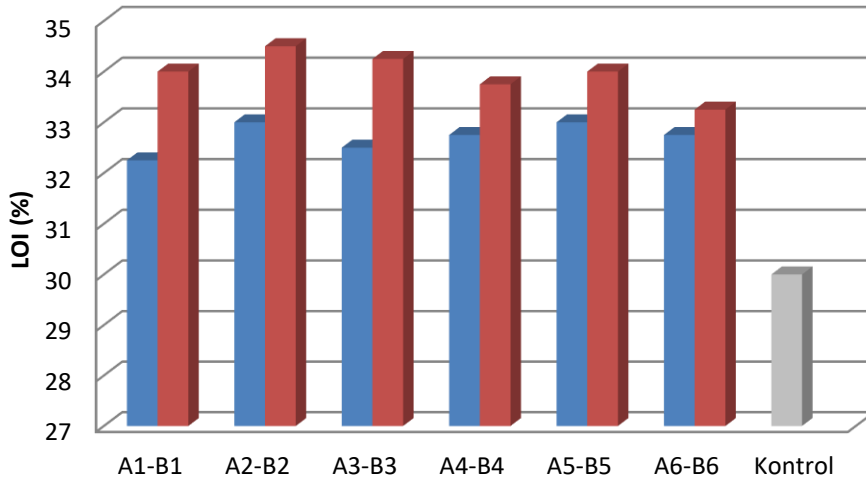
uygulandıkları levha gruplarının değerlerinden daha düşük oldukları görülmektedir. Kontrol grubuna en yakın ısı iletkenlik katsayı değerleri A3 ve B3 grubunda belirlenmiştir.

Genel olarak tüm maddeler değerlendirildiğinde GNP, karbon elyaf tozu ve sodyum aljinatın ilave maddeler olarak kullanılmasının levhaların ısı iletkenliğini artırdığı görülmektedir. Bu durum bu maddelerin yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Kompozit malzemelerde ısı iletkenliği kullanılan lifler, liflerin yapısı ve özellikleri (Cam, karbon, aramid vb lifler ve kendir, kenevir, jüt, pamuk gibi doğal lifler), çeşitli kompozit üretim parametreleri, tutkallar, dolgu maddeleri ile çeşitli ilave maddeler (grafit tozu, küçük kesilmiş karbon lifleri, karbon nano tüpler vb.) gibi birçok parametre etkilemektedir (Mutnuri, 2006). Ayrıca, polimer uygulamalarına bakıldığında, polimerlerin ısı iletkenliğinin düşük olduğu ve iyi bir yalıtkan özelliğe sahip oldukları, eğer termal iletkenliklerinin artırılması istenirse polimerizasyon esnasında yapıştırıcı içerisine metal iyonlarının eklendiği belirtilmiştir (Hollaway, 2010).

4.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol levha örneklerinin LOI değerlerindeki değişim Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. Levha gruplarına ait LOI değerleri

Bu test ile bir malzemenin yanma olayında gösterdiği direnç belirlenmekte olup yanma geciktirici özellik gösteren malzemelerde yanma gerçekleşmesi için oksijen oranı yüksek

olmalıdır. Yüksek LOI değerine sahip malzeme yanmaya yüksek dayanım özelliği gösteren malzeme olarak belirtilmektedir (Çavdar, 2011).

Şekil 14'ten görüleceği üzere; A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerleri CFP, GNP ve NaAlg ilavesi ile bu maddelerin ilave oranlarına bağlı olarak değişim göstermiştir. İlave edilen bu maddeler ile LOI değerleri artmış ve bu değerler kontrol örneğinin değerinden daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Buna göre; A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerleri 32,25 ve 34,50 arasında değişim göstermektedir. A grubu örneklerde en yüksek LOI değeri A2 (%0,1 GNP+CFP) ve A5 (%0,1 CFP+NaAlg) gruplarında; B grubu örneklerde ise B2 grubu (%0,3 GNP+CFP) örneklerde tespit edilmiştir. A grubu levhalarda $A2=A5 > A4=A6 > A3 > A1 > K$ şeklinde bir LOI sıralaması bulunmuş, B grubu levhalarda bu sıralama $B2 > B3 > B1 = B5 > B4 > B6 > K$ şeklindedir.

Ayrıca, test ortamında A ve B grubu örneklerde yanma ve sönme esnasında duman oluşumunun ya çok az olduğu ya da hiç olmadığı ve örneklerde alev şiddetinin oldukça yavaş ve aynı düzeyde kaldığı çoğu örnekte ise homojen hatlarla ilerlediği görülmüştür.

Test sonunda levha örneklerinin LOI değerlerinin ISO 4589 standartında belirtilen 29-35 LOI değerleri arasında kalarak “yanma geciktirici özellikte malzemeler” niteliği gösterdikleri belirlenmiştir.

4.3.3. Alev Testi

Bir malzemenin yanma olayı karşısında gösterdiği direnç performansını belirlemek için farklı nitelikte yanma testleri gerçekleştirilmekte ve bu testler ile sayısal ve gözlemsel veriler elde edilmektedir. Alev boyu, tutuşma süresi, sönme süresi, kömürleşme, duman oluşumu, ağırlık kayıpları, vb. birçok farklı parametrenin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile de bir malzemenin yanma dayanım etkinliği hakkında yorum yapılabilmektedir.



Şekil 15. Örneklerin yanma sonrası görünümü

Tablo 17 ve Tablo 18’de verilen alev testi sonuçları incelendiğinde; levha örneklerinin deney tertibatındaki alev kaynağına yaklaştırıldığı ilk 10 sn. süre esnasında hiçbir grupta tutuşma gözlenmemiştir. Tekrarlanan 2. 10 sn. uygulaması ve onu takiben 3. 10 sn. uygulamasında da deney genelinde A ve B grubu levha örneklerinde tutuşma görülmemiştir. Ancak, bu tekrarlı uygulamalarda kontrol grubu örneklerinin diğer grupların örneklerine kıyasla daha çabuk tutuştuğu ve erken sönmediği görülmüştür. Kontrol grubuna ait örneklerde ise tutuşma 19.sn de başlamış diğer örneklere kıyasla daha uzun süre yanma devam etmiş, örneklerde kül oluşumu ile daha fazla duman çıkışı görülmüştür.

Bu test açısından özellikle ilk 30 sn. uygulaması ve uygulamanın değerlendirilmesi önemlidir. Tüm örneklerde tutuşmanın ne zaman başlayacağını gözlemlemek amacıyla deney birkaç kez daha tekrarlı olarak devam ettirilmiş olup; Tablo 17 ve 18’den anlaşılacağı üzere A ve B grubu örneklerde tekrarlı sürelerde (40,50,60.,70 sn.’ler) birkaç sn.’lik tutuşma gözlemlenmiş, örnekler kısa sürede kendiliğinden sönme göstermiştir.

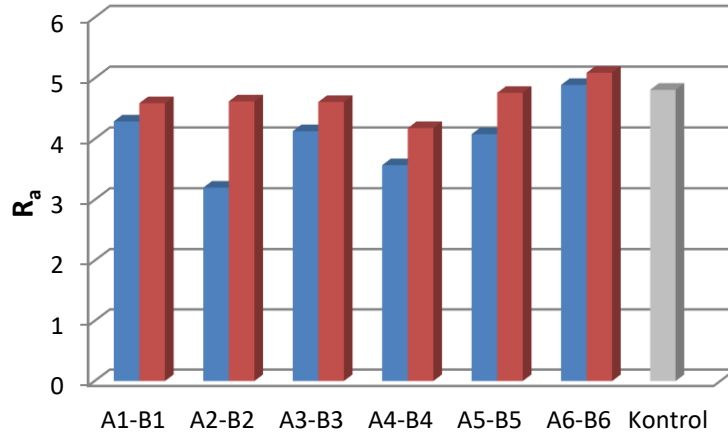
Kontrol grubu örneklerinde alev boyunun artması ve sönme süresi arasında ve sönme sırasında duman çıkışı tespit edilirken; genel olarak A ve B grubu örneklerin bazı örneklerinde duman çıkışının olmadığı ya da çok daha az olduğu dikkat çekmiştir. Kontrol örneklerinde kül oluşumu gözlenirken madde ilavesi ile üretilen örneklerin örnek bütünlüğü bozulmadan kalmış ve uçtan hafif kararma şeklinde bir durum söz konusu olmuştur.

Modifiye edilerek uygulanan bu testin plastik malzemeler için uygulamasında özellikle alev sönme süreleri dikkate alınarak V0, V1 ve V2 yanmazlık sınıflandırılması yapılmaktadır. 1., 2., ve 3. 10 sn.’ler içerisinde örneklerde (t1, t2, t3) alev sönme süreleri ile toplam alev sönme süreleri (t1+t2) değerlendirilmekte ve böylece sınıflandırma yapılmaktadır. Bu çalışmadaki örneklerin genel olarak ilk 30 sn. içerisinde tutuşmadıkları veya çok hafif tutuştukları ve ardından hızlı bir şekilde birkaç sn. içinde söndükleri görülmüştür. Toplam alev sönme sürelerinin ise 10 sn.’den daha düşük olduğu belirlenmiştir.

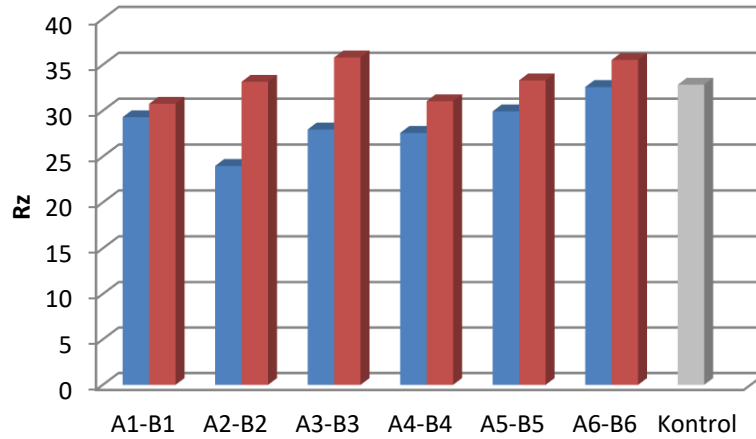
4.4. Yüzey Özellikleri

4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol levha örneklerinin Ra ve Rz değerlerine ait değişimler Şekil 16, Şekil 17’te verilmiştir.



Şekil 16. Levha gruplarına ait Ra değerlerindeki değişim



Şekil 17. Levha gruplarına ait Rz değerlerindeki değişim

Şekil 16 ve Şekil 17' den görüleceği üzere; ilave madde türü ve ilave oranının A ve B grubu levha örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri değerlerinin değişimi üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Ra değerlerindeki değişimin seyri (Şekil 16), madde türü ile farklılık gösterirken A ve B grupları için konsantrasyon artışı ile artış göstermiştir. Genel olarak; A grubu levha örneklerinin Ra değerleri kontrol grubunun Ra değerinden düşük ya da yakın olarak bulunmuşken; B grubu levha örneklerinde bu değerler B6 grubu dışında kontrol grubu değerlerinden daha düşük bulunmuştur. En yüksek Ra değerleri A grubu levhalarda A6, B

grubu levhalarda B6 gruplarında iken en düşük Ra değerleri, A2, B4 grubu levhalarda tespit edilmiştir.

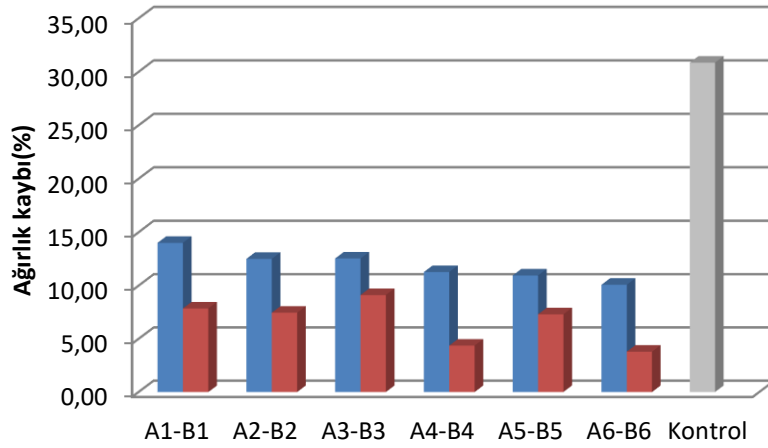
Şekil 17’de gösterilen Rz değerleri ise, Ra değerlerine benzer şekilde değişim göstermiştir. Özellikle A grubu örneklerinin değerleri kontrol grubunun değerinden daha düşük; B grubu örneklerinin değerleri ise (B1-B4 hariç), kontrol grubunun değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Rz değerlerinde konsantrasyon artışı ile birlikte artış görülmüştür. Şekil 17’den de görüleceği üzere; A ve B grupları için en yüksek Rz değeri B3 grubunda, en düşük Rz değeri ise A2 grubunda belirlenmiştir.

Ölçümlerde görülen farklılıkların, üretim koşullarına da bağlı olarak, maddelerin tutkala ilavesi esnasındaki uyum sorunları, yeterince homojen çözünmenin olmaması ve lif yüzeyine yeterli bir dağılım gösterememelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri levha üzerindeki düzensizlikleri ölçümlendiren bir test olduğundan birçok üretim faktörü de üretilen levha örneklerinin yüzeylerinde farklı düzensizlikler oluşturabilmektedir.

4.5. Biyolojik Özellikler

4.5.1. Mantar Çürüklük Testi

GNP, CFP ve NaAlg ilavesi ile üretilen levhalar ve kontrol örneklerinin biyolojik dayanım özelliklerini belirlemek için örnekler mantar çürüklük testine maruz bırakılmıştır. Testte, *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarları kullanılmıştır. Fakat *Trametes versicolor* mantarına maruz bırakılan deney örneklerinin üzerinde misel gelişimi görülmemiş olduğundan test değerlendirmeleri yalnızca *Coniophora puteana* mantarına maruz kalan deney örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Bu mantar türüne maruz kalan örneklerin deney varyasyonlarına bağlı olarak ağırlıklarında oluşan değişim Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Levha gruplarına ait mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerindeki değişim

Şekil 18' den görüleceği üzere; *Coniophera puteana* mantarına maruz bırakılan A ve B grubu levha örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin, kontrol örneğinin (30,86) ağırlık kaybı değerinden oldukça düşük olarak tespit edilmiştir. Kimyasal maddelerin kullanım oranı artışının ağırlık kaybı değerleri üzerine etkisi belirgin düzeyde bulunmuş, bu artışa bağlı olarak levha örneklerinin ağırlık kaybı değerleri çok fazla azalma göstermiştir. Tüm levha örneklerinde mantar çürüklüğe karşı etkili sonuçlar elde edilirken; A grubunda en düşük ağırlık kaybı yani en iyi mantar çürüklük dayanımı A6 (%0,1 GNP + CFP + NaAlg) ile elde edilirken, en yüksek ağırlık kaybı ve en düşük mantar çürüklük dayanımı ise A1 (%0,1 CFP) grubunda elde edilmiştir. A grubu için ağırlık kaybı değerleri 10,08 ile 14,01 arasında bulunmuş olup bu değerler A6<A5<A4<A2<A3<A1<K şeklinde sıralanmıştır. B grubunda ise artan konsantrasyonla birlikte daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu grubun en düşük ağırlık kaybı ve en iyi mantar çürüklük dayanımı yine B6 (%0,3 GNP + CFP + NaAlg) yani bu üç maddenin karışım halinde ilave edildiği örnek gruplarında belirlenmiş; en yüksek ağırlık kaybı ve en düşük dayanım ise B3 (%0,3 GNP) grubunda tespit edilmiştir. Bu kimyasal maddelerin ikili ya da üçlü kullanılmasıyla sinerjik etki elde edilirken daha olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. B grubunda değerler 3,79 ile 9,11 arasında değişirken en düşükten en yükseğe ağırlık kaybı sıralaması B6<B4<B5<B2<B1<B3<K şeklinde olmuştur.

Sonuçlardan anlaşılacağı üzere; tüm levha gruplarının performansı biyolojik dayanımı artırıcı yönde olmuş ve maddelerin etkinliği özellikle karışım halinde kullanılmalarıyla artış göstermiştir.

Literatürde nano kimyasalların biyolojik koruyucu etkilerine dair çalışmalar mevcuttur. Karbon nano yapılar son dönemlerde, biyoloji ile ilgili uygulama alanlarında (ilaç sanayinde, bio-materyaller, antibakteriyel ajanlar) başarıyla kullanılmaktadır (Al-Jumaili vd., 2017).



Şekil 19. Mantar çürüklük testi örnekleri

Deneyin sonlandırılmasından önce yapılan kontrollerde mantar çürüklüğe maruz bırakılan örneklere bakıldığında; A ve B grubu örnekleri mantar misellerinin kaplamamış olduğu kontrol örneklerini ise mantar misellerinin tamamıyla kapladığı görülmüştür. Deney sonucunda yapılan ağırlık kaybı ölçümlerinde de bu gözlemle uyumlu olarak en fazla ağırlık kaybı değerleri mantar misellerinin sardığı kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Çalışmada bulunan verilerin değerlendirilmesi ile ulaşılan genel sonuçlar aşağıda özet şekilde ifade edilmiştir.

5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Yoğunluk

A ve B grubu levhaların yoğunluk değerlerinin ilave edilen maddelerin türü ve oranına ve bağlı olarak değişim gösterdiği ve ilave madde oranının artışıyla bu değerlerin artış gösterdiği bulunmuştur. En düşük yoğunluk değeri kontrol grubu levhalarında tespit edilmiştir.

5.1.2. Su Alma Oranları

1. Levha gruplarının su alma oranlarının ilave edilen maddelerin türüne ve ilave oranına bağlı olarak değişim gösterdiği bulunmuştur. Özellikle konsantrasyon artışının etkisiyle değerlerde hem azalış hem de artış yönünde bir trend gözlemlenmiştir.

2. Genel olarak; A ve B grubu levhalarda su alma oranları kontrol levhalarına göre daha yüksek çıkmıştır.

3. A grubu levhalarda $A6 > A4 > A5 > A1 > A2 > A3 > K$ şeklinde değerler sıralanırken, B grubu levhalarda ise $B5 > B4 > B6 > B2 > B1 > B3 > K$ şeklinde bir sıralama söz konusu olmuştur. A grubu levhalarda en düşük SA oranı A3 grubunda GNP ilaveli levha örneklerinde, en yüksek SA oranı ise GNP+CFP+NaAlg ilaveli A6 grubu levhalarda bulunmuştur. B grubu levhalarda B3 grubunda düşük en oran; B5 grubunda ise en yüksek oran tespit edilmiştir.

5.1.3. Kalınlığına Şişme Oranları

1. İlave maddelerin (GNP, CFP, NaAlg) ve uygulanma oranlarının, KŞ değerleri üzerinde belirgin etkisi bulunmuş ve değerlerin bu varyasyonlara bağlı olarak artış ya da azalış gösterdiği tespit edilmiştir.

2. Genel olarak tüm deney gruplarının değerlerinin konsantrasyon oranı artışı ile azaldığı sadece A4 grubunda artış yönünde eğilimin olduğu görülmüştür.

3. A ve B grubu levha örneklerinin KŞ değerleri kontrol grubunun değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. A grubu için en yüksek KŞ değeri GNP içeren A3 grubunda, en düşük KŞ değeri GNP+NaAlg içeren A4 grubunda bulunurken; B grubu için en yüksek KŞ değeri CFP içeren B1 grubunda, en düşük KŞ değeri ise GNP içeren B3 grubunda bulunmuştur.

5.2. Mekanik Özellikler

5.2.1. Eğilme Direnci

1. A ve B grubu levhaların eğilme direnci değerleri üzerinde kimyasal maddelerin ve konsantrasyon oranlarının etkisi bulunmuş ve eğilme direnci değerleri genel olarak konsantrasyon artışı ile artış göstermiştir.

2. Eğilme direnci değerleri genel olarak kontrol grubunun değerinden daha yüksek çıkmıştır.

3. A grubu için en yüksek eğilme direnci değeri CFP+NaAlg içeren A5 grubunda, en düşük eğilme direnci değeri GNP+NaAlg içeren A4 grubunda bulunurken; B grubu için ise en yüksek eğilme direnci değeri GNP+NaAlg içeren B4 grubunda en düşük değer GNP içeren B3 grubunda bulunmuştur. Ancak bazı levha gruplarının eğilme direnci değerlerindeki artışın daha sınırlı kaldığı görülmüştür.

4. Genel olarak; ilave edilen maddelerin birlikte kullanımının da etkinliği artırdığı ve sinerjik özellik sağladığı görülmüştür.

5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

1. A ve B grubu levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde kimyasal maddelerin ve konsantrasyon oranlarının etkisi bulunmuş olup bu değerler de eğilme direnci değerlerine benzer şekilde konsantrasyon artışı ile genel olarak artış eğilimi göstermiştir.

2. A ve B grubu levha örneklerinin elastikiyet modülü değerleri kontrol grubunun değerinden daha yüksek olarak bulunmuştur.

3. A grubu için en yüksek değer; CFP+NaAlg içeren A5 grubunda, en düşük değer ise GNP içeren A3 grubunda tespit edilirken; B grubu için en yüksek değer GNP+CFP+NaAlg karışımını içeren B6 grubunda, en düşük değer ise GNP içeren B3 grubunda tespit edilmiştir.

5.2.3. Yüze Dik Çekme Direnci

1. A ve B levha gruplarının yüze dik çekme direnci değerleri kimyasal madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermiştir.

2. Genel olarak ölçülen tüm değerler kontrol levha örneğinin değerinden daha yüksek bulunmuştur. A ve B gruplarının yüze dik çekme direnci değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak değişim görülmüş bazı grupların değerlerinde artış görülürken bazı grupların değerlerinde ise bir miktar azalış olmuştur.

3. A grubu levhalarda A3 grubunda en yüksek değer elde edilirken; A5 grubunda en düşük değer elde edilmiştir. B grubu levhalarda ise en yüksek değer B3 grubunda, en düşük değer ise B5 grubunda bulunmuştur.

5.3. Termal-Yanma Özellikleri

5.3.1. Isıl İletkenlik

1. A ve B gruplarının ısı iletkenlik değerleri deney varyasyonlarına bağlı olarak değişim göstermiş olup genel olarak bu değerler kontrol grubundan yüksek bulunmuştur.

2. İlave madde oranının artışıyla birlikte birkaç grup hariç genellikle ısı iletkenlik değerleri artış göstermiştir. Tüm maddelerin etkinliği değerlendirildiğinde GNP, karbon elyaf tozu ve sodyum aljinatın ilave maddeler olarak kullanılmasıyla üretilen levhaların ısı iletkenliklerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir.

3. A grubu içerisinde en yüksek değer A1 grubu örneklerinde en düşük değer ise A3 grubu örneklerinde belirlenirken, B grubu levhaları içerisinde ise en yüksek değer B1 grubu örneklerinde ve en düşük değer B4 grubu örneklerinde belirlenmiştir.

5.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

1. Levha gruplarının LOI değerleri; ilave madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermiş ve deney genelinde tüm örneklerin değerleri kontrol grubunun değerinden daha yüksek olarak bulunmuştur.

2. A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerleri kontrol grubu levha örneklerinin değerinden daha yüksek bulunmuştur.

3. A ve B grubu birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek LOI değeri GNP+CFP ile üretilen B2 grubu örneklerinde tespit edilmiş, en düşük LOI değeri ise CFP ile üretilen A1 grubu örneklerinde tespit edilmiştir.

4. CFP ve GNP kimyasallarının birlikte kullanımı ile en iyi sonuçlar elde edilmiş ve bu maddelerin sinerjik etki gösterdiği görülmüştür. Benzer şekilde, çalışmada kullanılan tüm kimyasal maddelerin birlikte kullanımı ile etkinlik artmış ve yanmaya karşı direnç performansı iyileşme göstermiştir.

5.3.3. Alev Testi

1. Levha gruplarının test sırasında alev kaynağına ilk 10 sn. süre ile yaklaştırılıp uzaklaştırılma işleminde örneklerin genel olarak çoğunda tutuşma görülmemiş ya da birkaç sn.'lik tutuşma görülmüştür. Yine tekrar eden 2. 10 sn ve 3. 10 sn.'lik periyotlarda kontrol grubu hariç kimyasal madde ilaveli gruplarda ya hiç tutuşma gerçekleşmemiş ya da hafif ve birkaç sn. içerisinde sönen tutuşma gözlenmiştir.

2. Kontrol grubu örneklerinin diğer levha gruplarına kıyasla daha çabuk tutuşarak yanma işleminin başladığı ve örneklerin daha geç söndüğü görülmüştür. Ayrıca kontrol grubu örneklerinde bir miktar kül oluşumu ile daha fazla duman çıkışı gözlenmiştir.

3. A ve B grubundaki levha örneklerinin genel olarak, tekrarlı ilk 3 10 sn. periyotları içinde alev aldıklarında birkaç sn. içinde hızlıca söndükleri ve toplam alev sönme sürelerinin de 10 sn.'den daha düşük olduğu belirlenmiştir.

4. A ve B grubu levha örneklerinde kontrole kıyasla daha hafif alev ve daha yavaş yanma gözlenirken bu esnada alev boyu da daha az olarak gözlemlenmiştir. Kontrol grubunda ise alev boyu örneğin boyunun yarısına yaklaşmıştır.

5.4. Yüzey Özellikleri

5.4.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

1. Yüzey pürüzlülük değerleri Ra ve Rz deney parametrelerine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Genel olarak, A ve B grubu örnekleri için bu değerler konsantrasyon artışı ile artmıştır. A grubunun Ra değerleri kontrol grubunun Ra değerine yakın ya da daha düşük bulunmuştur. B grubu için ise bu değerlerdeki değişim kontrol ve A grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. A ve B grupları için en yüksek Ra değerleri A6-B6 grubunda tespit edilmiştir.

2. Rz değerleri ise, Ra değerlerinde benzer şekilde bir eğilim göstermiştir. Konsantrasyon artışı ile bu değerler artış göstermiştir. A ve B grupları birlikte değerlendirildiğinde; en yüksek Rz değeri B3 grubunda, en düşük Rz değeri ise A2 grubunda belirlenmiştir.

5.5. Biyolojik Özellikler

5.5.1. Mantar Çürüklük Testi

1. *Coniophora puteana* mantarı maruziyeti sonrası levha gruplarının ağırlık kaybı değerlerinde ilave edilen madde türünün ve madde konsantrasyonunun etkisinin belirgin düzeyde yüksek olduğu bulunmuştur. A ve B grubu levhalarla elde edilen tüm ağırlık kaybı değerleri kontrol grubunun ağırlık kaybı değerlerinden oldukça düşük bulunmuştur.

2. B grubu örneklerde konsantrasyon artışının etkisi ile A grubuna kıyasla daha düşük değerler ve daha olumlu sonuçlar elde edilmiş, dolayısıyla, daha iyi bir koruma etkinliği sağlanmıştır.

3. Test sonucunda, her bir maddenin mantara karşı kendi etkinliğinin de olduğu belirlenmesine rağmen birlikte kullanılmaları durumunda daha olumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Özellikle bu üç maddenin bir arada kullanıldığı A6 ve B6 grubu örneklerde diğerlerine kıyasla en düşük değerler elde edilmiş ve bu maddeler birlikte sinerjik etki göstermiştir.

4. A grubu için en düşük ağırlık kaybı değeri A6, B grubu için en düşük ağırlık kaybı değeri ise B6 grubunda elde edilmiştir.

6. ÖNERİLER

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte özellikle nano teknoloji alanında umut verici çalışmalar yürütülmektedir. Nano teknoloji sayesinde ürünlerin, çeşitli üretim mamullerinin özellikleri iyileştirilebilmekte hatta ürünlere yeni özellikler eklenebilmektedir. Öyle ki, nanoteknoloji akla gelebilecek hemen her alanda uygulanabilirliğe sahiptir. Bu gelişmeler, hammaddelerin ve son ürünlerin kullanım alanlarını genişletmekte, ömrünü uzatmakta ve kısıtlı kaynakların daha doğru değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca nanoteknolojik uygulamalarla birlikte endüstriyel anlamda ürün yelpazeleri genişlemekte ve endüstri ülkelerinin kalkınması açısından önemli gelişmeler meydana gelmektedir.

Bilinmektedir ki, odun esaslı levha gruplarının diğer yapı elemanlarında olduğu gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin kullanım yeri de dikkate alındığında belirli standartları karşılar nitelikte olması önemlidir. Bu levhaların fiziksel, mekanik özelliklerini artırmak ve beklentileri karşılamak amacı ile birçok uygulama yapılmakta ve çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Son dönemlerde levha ürünlerinde klasik proses iyileştirme yöntemlerinin yanı sıra doğal ve nanoteknolojik ürünler de kullanılarak iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Klasik yöntemlerde, çeşitli kimyasal maddeler üretim hattına dahil edilmekte ya da amaca yönelik farklı materyaller ile kompozitler oluşturularak teknolojik özelliklerin artırılması hedeflenmektedir. Bu anlamda, orman endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları da ön plana çıkmaya başlamıştır. Nano malzemeler yardımıyla; ürünlerin teknolojik ve kalite özelliklerinin iyileştirilebilmesinin yanı sıra bu ürünlerin sağlık ve çevre ile uyumlu hale getirilebilmesi de mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada grafen nanoplate, karbon elyaf tozu ve sodyum aljinat kullanılarak orta yoğunluklu lif levhalar üretilmiş ve üretilen bu levhalara uygulanan testlerin değerlendirilmesi sonucunda şu önerilere ulaşılmıştır.

Çalışma sonucunda, üre formaldehit tutkalına GNP, CFP ve NaAlg ilavesinin levha özellikleri üzerinde etkilerinin genel olarak olumlu yönde olduğu bulunmuş olup, bu maddelerin çeşitli kombinasyonlarla farklı tutkal türleriyle etkileşimleri de incelenebilir. Özellikle, MÜF tutkalı ile denemeler yapılarak levha kalite özelliklerinin biraz daha artırılabilceği düşünülmektedir.

Ayrıca, bu maddelerin levha üretimi için uygulanma yöntemleri değiştirilerek levha kalite özellikleri üzerindeki etkileri de değerlendirilebilir.

Çalışmada %0,1 ve %0,3 ilave oranlarının mekanik ve fiziksel özelliklerde artış/azalış yönünde değişken eğilim göstermesi ve özellikle GNP ile CFP'nin tutkal içinde homojen karıştırma, topaklanma, uygulanma güçlüğü gibi sorunlara sebebiyet verebilmesi nedeniyle bu çalışmada belirtilen konsantrasyonların üzerine çıkılmaması önerilmektedir.

Çalışmada kullanılan maddelerle mekanik ve fiziksel özelliklerde meydana gelen negatif eğilimi iyileştirmek için üretim prosesinde bazı optimizasyonlar yapılabilir. Özellikle, su alma oranındaki artışı azaltmak için çeşitli su itici maddelerle birlikte kombine edilebilir.

Ayrıca çalışmaya ek olarak, örnekler üzerinde SEM analizi yapılarak kimyasal maddelerin lifler üzerindeki tutulumu, topaklanma vb. etkiler değerlendirilerek farklı çalışmalara yön verilebilir.

Çalışmada tek veya birbirleriyle karışım halinde kullanılan tüm kimyasal maddeler ile özellikle yanma direnci etkinliğinin, ısı iletkenliğinin, mantar çürüklüğüne dayanımın konsantrasyon artışına da bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre çalışmada kullanılan maddelerin farklı yanma geciktirici kimyasallar ya da biyolojik dayanım sağlayan emprenye maddeleri ile denenebileceği ve istenilen sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akbulut, T. ve Ayrılmış, N., 2001. MDF Üretiminde Dikkate Alınması Gereken Hususlar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51, 2, 25-41.
- Al-Jumaili, A., Alancherry, S., Bazaka, K. ve Jacob, M.V., 2017. Review on the Antimicrobial Properties of Carbon Nanostructures, Materials, 10, 1066 doi:10.3390/ma10091066.
- Alma, M. H., Yazıcı, M., Yıldırım, B., Salan, T. ve Tiyek, İ., 2017. Spunbond Dokusuz Tekstil Yüzeyi Üzerine Elektro Çekim Yöntemi ile Nano Boyutta Grafen Kaplanması ve Karakterizasyonu, Tekstil ve Mühendis, 24, 108, 243-253.
- Arslan, M.B., Karakuş, B. ve Güntekin, E., 2007. Tarımsal Atıklardan Lif ve Yonga Levha Üretimi, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 9, 12, 54-62.
- ASTM C518 – Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- ASTM D2863 – 00. Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index).
- ASTM D3801–10. Standard Test Method for Measuring the Comparative Burning Characteristics of Solid Plastics in a Vertical Position.
- Ayrılmış, N., 1999. MDF Üretim Teknolojisi, Laminart. İstanbul.
- Bari, E., Taghiyari, H., R., Schmidt, O., Ghorbani, A., ve Aghababaei, H., 2015. Effects of Nano-Clay on Biological Resistance of Woodplastic Composite Against Five Wood-Deteriorating Fungi, Maderas.Ciencia y tecnología 17, 1, 205 – 212.
- Bastiurea, M., Rodeanu, M.S., Dima, D., Murarescu, M., ve Andrei, G., 2015. Thermal and Mechanical Properties of Polyester Composites with Graphene Oxide and Graphite." Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 10, 2, 521-533.
- Başer, U. E., 2016. Yanma Geciktirici Özelliğe Sahip Bazı Mineral Esaslı Maddeler ile Üretilen Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Teknolojik Özellikleri Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bedeloğlu, A., ve Taş, M., 2016. Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16, 031203, 544-554.

- Bora, C., Gogoi, P., Baglari, S. ve Dolui, S.K., 2013. Preparation of Polyester Resin/Graphene Oxide Nanocomposite with Improved Mechanical Strength, Journal of Applied Polymer Science, 129, 3432-3438.
- Bowyer, J., Pepke, E., Howe, J., Fernholz, K., ve Groot, H., 2016. Nanotechnology and The Forest Products Industry: Commercial Opportunities, Dovetail Partners, http://www.dovetailinc.org/report_pdfs/2016/dovetailnanotech1016.pdf.
- Chaharmahali, M., Hamzeh, Y., Ebrahimi, G., Ashori, A., ve Ghasemi, I., 2014. Effects of Nano-Graphene on the Physico-Mechanical Properties of Bagasse/Polypropylene Composites, Polym. Bull., 71, 2, 337-349.
- Chen, Y., Dang, B., Jin, C., Chen, B., Sun, Q. ve Nie, Y., 2018. Bio-Inspired Layered Nanolignocellulose/Graphene-Oxide Composite with High Mechanical Strength Due to Borate Cross-Linking, Industrial Crops & Products, 118, 65-72.
- Çelik, K. V. ve Karaşin, H., 2014. Karbon Elyaf ile Betonun Güçlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 5, 1, 1-11.
- Dönmez Çavdar, A. 2011. Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi Doktora Tezi, K.T.U., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- EN 113, 1997. Methods of the Test for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Rotting Basidiomycetes, Determination of Toxic Values, Brussels.
- EN 310, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Modulus Elasticity in Bending and Bending Strength, CEN, Brussels
- EN 317, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Swelling in Thickness After Immersion in Water, CEN, Brussels.
- EN 319, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board, CEN, Brussels.
- EN 323, 1997. Wood Based Panels, Determination of Density, Brussels.
- Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000. Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü Basımevi, Trabzon.
- Gardner, D. J., Tascioglu, C., ve Wålinder. M. E., 2003. Wood composite protection. In Book: Wood Deterioration and Preservation: Advances in Our Changing World. B.Goodell, D.D. Nicholas, and T.P. Schultz, eds; American Chemical Society, Washington D.C., 399-419.

- Gezer, E.D., Yıldız, Ü.C., Temiz, A. ve Yıldız, S., 2003. Odun Kompozitlerinin Koruyucu Maddelerle Emprenye Edilebilme Olanakları, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1-2, 1-7.
- Göker, Y., Akbulut, T. ve Ayrılmış, N., 2004. Türkiye’de Üretilen MDF Levhaların Teknolojik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 54, 1, 14-36.
- Gupta, A., Kumar, A., Sharma, K., V., ve Gupta, R., 2018. Application of High Conductive Nanoparticles to Enhance the Thermal and Mechanical Properties of Wood Composite, Materials today: proceedings 5, 1, 3143-3149.
- Güler, C. ve Şimşek, Ö.E., 2019. Fabrikasyon Ortamında Üretilen Orta Yoğunluktaki Lif Levhaların (MDF) Yanma Özelliklerinin İncelenmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 20, 1, 121-128.
- Güller, B. 2001. Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 135-160.
- Gür, M., 2010. Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15, 2, 81-90.
- Hollaway, L.C., 2010. A Review of the Present and Future Utilisation of FRP Composites in the Civil Infrastructure with Reference to Their Important In-Service Properties, Construction and Building Materials, 24, 12, 2419–2445.
- Hou, J., Fu, F., Lu, K. ve Chen, L., 2015. Highly Conductive Fiberboards Made with Carbon and Wood Fibers, BioResources. 10, 4, 6348-6362.
- ISO 4287, 1997. Geometrical Product Specifications (GPS) Surface Texture Profile Method Terms, Definitions and Surface Texture Parameters, International Standart Organization.
- Jamalirad, L., Mousazadeh, S. M., Faraji, F. ve Narouie, S., 2018. The Effect of Nanographene Oxide on Physical and Mechanical Properties of Particleboard, Proceedings of the International Forest Products Congress, ORENKO Paper ID. 36, Eylül, Trabzon, Turkey, 1051, 1056.
- Kasim, Z. D., 2016. Bentonit ve Sodyum Aljinat İçeren Yeni Akrilamid/Potasyum 3-Sülfopropil Metakrilat Hibrit Hidrojellerin Eldesi, Karakterizasyonu ve Biyopotansiyel Kullanım Kapasitelerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Aydın.
- Khan, T. A., Gupta, A., Jamari S. S., Jose, R., Nasir, M., ve Kumar, A., 2013. Synthesis and Characterization of Carbon Fibers and Their Application in Wood Composites, BioResources, 8, 3, DOI: 10.15376/biores.8.3.4171-4184.

- Kıyak, B., ve Kaman, M. O., 2018. Karbon Fiber Kompozit Sandviç Levhaların Yanal Mukavemet Davranışlarının Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18, 015902, 684-691.
- Kumar, A., Sharma, K. V., Gupta, A., Taywoniak, J., ve Hajek, P., 2016. Optimization of Processing Parameters of Medium Density Fiberboard Using Response Surface Methodology for Multiwalled Carbon Nanotubes as A Nanofiller, European Journal of Wood and Wood Products, DOI :10.1007/s00107-016-1106-2.
- Küçükçapraz, D. Ö., Üçgül, İ., ve Elibüyük, U., 2016. Alginatlar ve Tekstilde Lif Uygulamaları, Anka E-Dergi, 1, 1, 8-16.
- Lacoste, C., El Hage, R., Bergeret, A., Corn, S., ve Lacroix P., 2018. Sodium Alginate Adhesives as Binders in Wood Fibers/Textile Waste Fibers Biocomposites for Building Insulation, Carbohydrate Polymers, 184, 1-8.
- Maloney, T. M., 1996. The Family of Wood Composite Materials, Forest Products Journal, 46, 2.
- Mutnuri, B., 2006. Thermal Conductivity Characterization of Composite Materials, Graduate Theses, West Virginia University, Mechanical Engineering, Morgantown.
- McCrank, J., 2009. Nanotechnology Applications in the Forest Sector, Natural Resources Canada, Catalog ID: 29382.
- Moon, R. J., Frihat, C. R. ve Wegner, T., 2006. Nanotechnology Applications in the Forest Products Industry, Forest Products Journal, 55, 5, 4-10.
- Oun, A. A., Shankar S. ve Rhim J.W., 2019. Multifunctional Nanocellulose/Metal ve Metal Oxide Nanoparticle Hybrid Nanomaterials, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1536966>.
- Özdemir, F., 2016. Yüksek Yoğunluklu Lif Levhanın Bazı Özellikleri Üzerine Dolomit Mineralinin Etkisinin Araştırılması, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19,2, 93.
- Özsin, G. ve Pütün, A. E., 2018. Zift Esaslı Karbon Fiber Üretimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33, 4, 1433-1444.
- Rong, H., Ryu, Z., Zheng, J. ve Zhang, Y., 2002. Effect of Air Oxidation of Rayon-Based Activated Carbon Fibers on the Adsorption Behavior for Formaldehyde, Carbon, 40, 13, 2291–2300.
- Sheshmani, S., Ashori, A., ve Fashapoyeh, M. A., 2013. Wood Plastic Composite Using Graphene Nanoplatelets, International Journal of Biological Macromolecules, 58, 1–6.

- Shishevan, F.A., Acar, V., ve Akbulut, H., 2015. Reçinesine Grafen ve Karbon Nanotüp Eklenmesinin Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Darbe Davranışları Üzerindeki Etkileri, Mühendislik ve Yeni Teknolojiler Sempozyumu, Ekim, Bayburt, Türkiye, Bildiri Kitabı, 83.
- Subaşı, A., Zurnacı, M., Kahyaoğlu, A. ve Demir, E., 2017. Polyester/Grafen Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 4, 3, 473-481.
- Swetha, P., D., P., Manisha, H., ve Kariate, S., 2018. Particle and Particle Systems Characterization, 35, 1800105, 1-29.
- Taghiyari, R., Z., 2013. Nano-Zycosil in MDF: Gas and Liquid Permeability, Eur. J. Wood Prod. 71, 353–360, DOI 10.1007/s00107-013-0691-6.
- Taghiyari, R., Z., Mobini, K., Samadi, S., Y., Doosti, Z., Karimi, F., Asghari, M., Jahangiri, A. ve Nouri, P., 2013. Effects of Nano-Wollastonite on Thermal Conductivity Coefficient of Medium-Density Fiberboard, Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology, 2, 1, <http://dx.doi.org/10.4172/2324-8777.1000106>.
- URL-1, https://media.licdn.com/dms/image/C5612AQEdfCn88ZU70A/article-inline_image-shrink_1000_1488/0?e=1569456000&v=beta&t=P6sdYaPQ9qQs_jwLg71gddsSylvIA Rpi_LOh_6zbiN4, 9.07.2019.
- URL-2, <https://www.kompozitshop.com/karbon-elyaf-tozu-100-400-micron>, 26.07.2019.
- Ustaömer, D., 2008. Çeşitli Yanma Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Lif Levhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Üstündağ, G. Ç. ve Karaca, E., 2009. Poli (Vinil Alkol) /Sodyum Alginat Karışımlarından Elektro Çekim Yöntemi ile Elde Edilen Nanolifli Yüzeylerin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14,1, 159-172.
- Yahyavi, M., Khazaeian, A., ve Shakeri, A., 2017. The Use of Black Liquor and Nano-Graphene Oxide Addition to Urea Formaldehyde Adhesive to Improve the Mechanical and Physical Properties of Particleboard, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32, 3, 360-368.
- Yaman, N., Öktem, T., Seventekin, N., 2007. Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları, Tekstil ve Konfeksiyon, 17, 2, 90-95.
- Yılmaz, K., Akçil, M., ve Çelik, A., 2002. Fiber Takviyeli Polimer Uygulamalarında Yapışma Yüzeyi Kalitesinin Kompozit Performansına Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 2, 82-86.

ÖZGEÇMİŞ

29.06.1989 Mersin’de doğdu. İlköğrenimini Taşucu İlköğretim okulunda, lise öğrenimini ise Silifke Lisesinde tamamladı.2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı ve buradaki lisans öğrenimini 2013 yılında tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine Uğur KARAKUŞ orta düzeyde İngilizce bilmektedir.

