

AHŞAP ESASLI LEVHA SEKTÖRÜNDE KULLANILAN YANMA GECİKTİRİCİLER

Abdullah İSTEK¹, İsmail ÖZLÜSOYLU¹, Sıddık ÇELİK¹, Şükran GÖNÜL¹

¹Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, 74100, Bartın, TÜRKİYE
ismailozlusoylu@gmail.com

Özet- Bu çalışmada ahşap esaslı levha ürünlerinde kullanılan yanma geciktiricilerin levhaların fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Günümüzde ahşap esaslı levhalar sahip oldukları avantajlar nedeniyle mobilya üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Masif malzemede olduğu gibi, ahşap esaslı levhalarda da yanmaya karşı eğilim önemli dezavantajların başında gelmektedir. Bu yüzden yanmaya dayanıklı levha üretiminde yanmayı geciktirici katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Yangın geciktirici maddeler etki mekanizmalarına göre yanmayan gazlar (halojenler) oluşturan, yanma sırasında ortamın oksijenini azaltan ve kömürleşmeye neden olan kimyasallar olarak gruplandırılmaktadır. Ahşap esaslı levha ürünlerinde kullanılan yanma geciktiriciler, kullanım miktarı, uygulama metodu, kimyasal çeşidi ve diğer üretim koşullarına da bağlı olarak levha özelliklerini etkileyebilmektedir. Levha endüstrisinde yanma geciktirici olarak çeşitli amonyum fosfatlar, çeşitli mineraller, amonyum sülfat, alüminyum trihidroksit, halojenler, kullanılabilir. Borlu bileşikler yanmayı geciktirici etkisinin yanında mantar ve böceklerle karşı da etkili olması ve insan sağlığı açısından düşük risk taşıması sebebiyle levha endüstrisinde kullanımı üzerine son yıllarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler- Ahşap esaslı levhalar, yangın geciktirici, levha özellikleri, yanma performansı.

FIRE RETARDANTS USED IN WOOD BASED PANEL SECTOR

Abstract- In this study, chemical compounds and their effects on physical, mechanical properties and fire performance of wood based panels were evaluated. Because of having number of advantages wood based panels are used extensively in furniture manufacturing industry. As a disadvantage, wood based panels have a tendency to burning similar to solid wood. For this reason, fire retardants are used in the manufacturing stage of panels. Fire retardants are classified based on effect mechanism as halogenated, oxygen reducing and charring chemicals. Fire retardants used in panels may affect properties depending on application amount, chemical types and other production conditions. Various flame retardants such as various ammonium phosphates, various minerals, ammonium sulphate, aluminum trihydroxide, halogen containing compounds, vermiculite and perlite are used as flame retardant in panel production. In recent years, intensive studies have been made on the use of boron compounds in the panel industry due to its effectiveness against fungi and insects as well as fire retardant effect and low risk of human health.

Key Words- Wood based panels, fire retardant, board properties, combustion performance.

Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde insan ve çevre sağlığı açısından daha olumlu özelliklere sahip çevreci malzemelere talep giderek artmakta ve bu ürünler daha çok tercih edilmektedir. Bu doğrultuda odun ve lignoselülozik maddelerden elde edilen ahşap esaslı kompozit levhaların kullanımı her geçen gün artmaktadır [1,2]. Ağaç malzemeyle birlikte ahşap esaslı ürünler de işleme, fiziksel ve mekanik özellikler, estetik, çevre ve sağlık açısından birçok olumlu özelliğe sahiptir. Ayrıca bu ürünlerin işlenmesinin kolay olması, istenilen renk ve desende üretilebilmesi, temizlik ve bakımının kolay olması, yüksek miktardaki ihtiyacı karşılayabilmesi tercih sebeplerindedir [3,4]. Bu olumlu özelliklerinden dolayı ahşap dünya genelinde yapı malzemesi olarak inşaat ve dekorasyonda ve bina iç mekanlarında mobilya malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle, sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde ahşap malzemeler alternatiflerine göre daha sık kullanılma eğilimindedirler [5,6,7].

Ahşap esaslı levha ürünleri genel olarak uygun boyuta getirilen odun yongalarının kurutulması, bir bağlayıcı ilave edilmesi, serme ve sıcak presleme aşamaları ile üretilmektedir. Bu üretim sürecinde, yongaların elde edildiği ağaç türü, yonga boyutları bağlayıcı ve diğer ilave kimyasalların miktarı ve özellikleri ile pres şartları elde edilen ürünün özelliklerini doğrudan etkilemektedir [8]. Levha ürünleri herhangi bir koruyucu ile muamele edilmeden kullanıldığında biyotik ve abiyotik faktörlerin bozunduruca etkilerine karşı savunmasız kalmakta ve bunun sonucunda mamul malzemede yapısal bozulmalar, renklenmeler, çürümeler ve direnç kayıpları olabilmektedir [9]. Bununla beraber, doğrudan temasla bünyesine su veya rutubet alan levhalarda özellikle kalınlık yönünde boyut değişimleri, kabarmalar, kaplanmış malzemelerin yüzeyden ayrılması gibi istenmeyen durumlar oluşabilmektedir. Hâlbuki levha üretiminde amaç, malzemenin ekonomik, estetik ve teknolojik özelliklerini iyileştirmek, bunun yanında, biyotik ve abiyotik zararlılara karşı dayanımlarını artırmak veya en azından bu özelliklerini korumaktır [10,11,12].

Birçok olumlu özelliğine rağmen ağaç malzemenin yanmaya karşı olan eğilimleri önemli dezavantajlarından biridir. Bu dezavantaj özellikle iç mekanlarda yapısal amaçlı kullanımlarda daha da fazla önem arz etmektedir. Ağaç malzemenin birçok inorganik materyal ile karşılaştırıldığında genellikle düşük termal kararlılığa sahip olduğu bilinmektedir [13,14]. Bu sebeple ahşap esaslı ürünlerin yanma özelliklerini iyileştirmek amacıyla amonyum sülfat, amonyum klorid, disiyandiamid, boraks ve borik asit ve çeşitli fosfor bileşikleri (fosforik asit, monoamonyum fosfat ve diamonyum fosfatlar) gibi yanma geciktiricilerle (FRs) muamele edilmektedir [15,16]. Yanma geciktiriciler arasında borlu bileşikler, biyolojik zararlılara karşı yüksek etkinlikleri, suyla çözünerek kolayca uygulanabilmeleri, oduna difüzyon yetenekleri, ucuz ve temini kolay olması, memelilere karşı ihmal edilebilecek derecede düşük zehirlilik etkileri ve yanmaya karşı ahşabın direncini önemli ölçü de arttırmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadırlar [17]. Yanma geciktirici maddelerin ucuz, etkili ve bol bulunabilir olması da önem arz etmektedir. Bu bağlamda yanma geciktirici özelliği olan borlu bileşikler ülkemizde bol bulunması, ucuz olması, nispeten insan ve çevre sağlığına zararı olmaması gibi özellikleri ile üzerinde yoğun araştırmalar yapılan bir mineraldir. Bunlarla beraber borlu bileşiklerin aynı zamanda mantar ve böceklere karşı da etkili olması bu bileşiklerin önemini arttırmaktadır [18].

Yanan malzemelerin yanma hızı, bazı katkı maddeleri kullanılarak yavaşlatılabilir [19]. Yangınlarda can ve mal kaybını azaltmak için plastik, ağaç ürünleri, tekstil, kağıt, yapıştırıcı, kaplama, havacılık ve elektronik endüstrilerindeki karmaşık kompozitlerde yaygın kullanılan epoksi reçine vb. malzemelerin içine yanmayı geciktirici ve dumana bastırıcı mineral katkı maddelerinin ilavesi günümüzde sürekli artmaktadır. Alev geciktiriciler alevin üründe yayılmasını ve ilerlemesini geciktirmesi bakımından gereklidir [20]. Ağaç malzemenin yanmaya karşı olan eğilimini azaltmak için ağaç malzemenin çeşitli yanma geciktirici maddelerle dirençli hale getirilmesi gerekmektedir. Ağaç malzemenin yanmaya karşı direncinin artırılması için

kimyasal maddelerle muamele edilmiş olması birçok kullanım yerinde zorunlu görülmektedir [21]. Yanmayı geciktirici maddeler kullanıldıkları malzemenin özelliklerine zarar vermeden yanma performansını iyileştirmelidir. Etkin bir alev geciktirici, düşük tutuşma hızına sahip olmalı, yanma şiddetini azaltabilmeli, düşük hızda ve miktarda dumana neden olmalı ve zehirli olmamalıdır. Kullanım yerinde özellik ve görünüş açısından uygun olmalı ve maliyeti fazla olmamalıdır. Borlu bileşikler toksik gaz salınımı olmaması nedeniyle çevre dostu olup, düşük uçuculuk değerine sahiptirler. Borlu alev geciktiriciler polimer zincir oksidasyonu için bariyer görevi gören camsı koruma tabakasını oluşturarak yanan malzemenin oksijenle temasını azaltmakta ve böylece yanmayı geciktirmektedirler [22,23,24].

Bu çalışmada ahşap esaslı levha ürünlerinde kullanılan yanma geciktiricilerin levhaların fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

2. AĞAÇ MALZEMENİN YANMA ÖZELLİĞİ (COMBUSTION PROPERTIES OF WOOD MATERIAL)

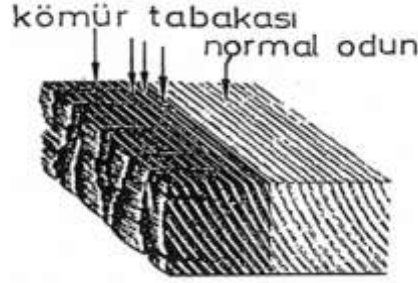
Genel bir tanım olarak yanma yanıcı bir maddenin, yakıcı bir maddeyle birleşmesi sonucunda ısı açığa çıkararak meydana getirdiği olayların tümüdür. Yanıcı, genellikle oksijen içeren bir başka maddedir. Bir maddenin yanabilmesi için havanın en az % 14 – 18 oksijen içermesi gerekir. Normal şartlarda havadaki oksijen oranı % 21'dir [16,25]. Yanma olayının meydana gelebilmesi için; yakıt, oksijen ve ısı unsurunun tutuşma sıcaklığına ulaşmış olması gerekir. Başka bir tanımlamada ise yanma; malzemenin alev, ışık ve ısı özellikleri gösteren çevresine hızlı bir şekilde oluşan oksidasyonu veya tutuşma sıcaklığına kadar ısı almış bir cismin oksijenle birleşmesine denir. Yanma olayı esnasında ahşap malzemede 170 °C ye kadar kuruma, 270 °C ye kadar CO, CO₂ ve su buharı çıkışı, 250-300 °C de de tutuşma görülmektedir. Ahşap yüzeyinde ısı etkisiyle oluşan kömür tabakası alevin ahşabın iç kısımlarına girmesini engellemektedir. Bu durum özellikle taşıyıcı sistemlerin uzun süre dayanıklılığını korumasını sağlamaktadır [16,26].



Şekil 1. Yangın üçgeni (Fire triangle) [16,27].

Yanma olayının gerçekleşebilmesi için yanıcı madde – oksijen – tutuşma sıcaklığı üçlüsünün bir arada ve uygun oranlarda bulunması gerekir. Eğer bu yangın üçgenini oluşturan etkenlerden herhangi biri olmazsa yanma olayı gerçekleşmez. Sıcaklık, oksijen ve yanıcı madde dengesindeki değişiklikler ise yanmanın şiddetini belirler. Yanma olayını engellemek veya mevcut bir yanmayı sonlandırmak için bu üç etkenden birini yok etmek ya da aralarındaki dengeyi bozmak gerekir [16,28]. Ağaç malzeme metal konstrüksiyonlarla karşılaştırıldığında sıcaklık yükselmeleri sonucu boyutsal değişimler daha az olmaktadır. Isıtılan ağaç malzeme liflere dik yönde metaller kadar veya daha fazla; boyuna yönde ise çok az uzama gösterir. Bu durum özellikle binalarda çok önemlidir [16,29]. Ağaç malzemenin yanabilirliği ile birlikte yanma hızı ve derecesi özel bir öneme sahiptir. Yanma olayı oksijen yokluğunda gerçekleşmediğinden geniş enine kesitli ağaç malzeme yüzeyinde yavaş bir yanma olduktan

sonra kömürleşme başlar. Sıcaklık yükseldiğinde, malzemeden yüzeyde tutuşarak yanan gazlar çıkar. Sıcaklık daha da arttığında yüzeyde kömürleşme başlar. Şekil 2’de ağaç malzemedeki kömürleşmenin oluşumu görülmektedir [16,30].



Şekil 2. Ağaç malzemedeki kömürleşmenin oluşumu (Formation of char in wood material)

Ağaç malzemenin yanması, yanma hızına (veya reaksiyon hızı), yanma ürününe (veya emisyonlara), tam yanma için gerekli havaya ve yanma sıcaklıklarıyla ilgilidir. Esas olarak, ahşap kompleks bir fiziksel ve kimyasal bileşime sahip olduğu için süreçler son derece karmaşıktır [7]. Ahşap giderek artan sıcaklıklarda ısıtıldığında, yapısında başlayan değişiklik, artan sıcaklıkla hızlanır. Ahşaptaki üç polimerik bileşen termal olarak uçucu gazlar, katran (levoglukosan) ve karbonlu karışımdan oluşan bir karışıma ayrılmaya başlar [31]. Hemiselülozların termik yoldan 200 – 250 °C’de bozunduğu, selülozun 280 °C’de bozunmaya başlayıp 300 – 350 °C’de tamamen bozunduğu, ligninin de 300 – 350 °C’de bozunmaya başlayıp 400 – 450 °C’de bozunmayı tamamladıkları belirtilmektedir [16]. Tablo 1’de odun pirolizi ve yanmanın sıcaklık aralıkları görülmektedir [31].

Tablo 1. Odun pirolizi ve yanmanın sıcaklık aralıkları (Temperature ranges of wood pyrolysis and combustion)

Sıcaklık aralığı	Ayrışma işlemleri
>100°C	Kimyasal olarak bağlı olmayan suyun buharlaşması.
160-200°C	Odunun üç polimerik bileşeni yavaşça parçalanmaya başlar. Bu aşamada oluşan gazlar yanmaz özelliktedir (Başlıca H ₂ O).
200-225°C	Odunun pirolizi halen çok yavaştır ve üretilen gazların çoğu yanıcı değildir.
225-275°C	Ana piroliz başlar ve alevli yanma öncü alev yardımıyla gerçekleşir.
280-500°C	Açığa çıkan gazlar uçucu (CO, metan vb.) ve duman partikülleri görünür durumdadır. Odunun fiziksel yapısı bozulurken hızla kömür oluşur.
>500°C	Uçucuların ortaya çıkması tamamlanır Kömür yanar ve CO, CO ₂ ve H ₂ O oluşturmak üzere oksitlemeye devam eder.

Ligninin termal kararlılığının, çapraz bağlanmış yapısı ve yüksek moleküler ağırlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çapraz bağlanma reaksiyonları selülozu dehidrate eder ve yeniden polimerize levoglukosan aromatik yapılar üretmeye başlar, yaklaşık 500 ° C’de grafit karbon yapıları haline gelir [31,32]. Yavaş bozunma ürünleri olarak su, CO₂ ve CO açığa çıkar. Hızlı pirolizde, tutuşabilir gazlar içinde CO, metan, formaldehit, formik ve asetik asit ile metanol yer almaktadır. 400 – 500 °C’de karbonizasyonun tamamlanması ile ve tutuşucu gazların uzaklaşması sonucu geriye odun kömürü kalmaktadır. Ağaç malzemenin hızlı pirolizi,

yavaş pirolize oranla yanma ısısını arttırdığından daha az kömürleşmeye ve daha fazla yanıcı katranlar ve gazların çıkışına yol açmaktadır. Yavaş pirolizde ise, daha fazla kömürleşme ve daha az yanıcı gaz çıkışı olmakta ve ana bileşenlerden selülozun yanması çoğu tutuşucu gazların çıkışına ve ligninin yanması da kor halinde yanan maddelerin oluşmasına yol açmaktadır [16,33,34,35].

3. YANMA GECİKTİRİCİLERİN SINIFLANDIRILMASI (CLASSIFICATION OF FIRE RETARDANTS)

Yanmayı geciktirici emprenye maddeleri ağaç malzemenin bozunma sıcaklığının altında bozunarak selülozu hızla odun kömürüne ve suya dönüştürürler. Böylece, daha yüksek sıcaklıkta oluşacak olan uçucu ve yanıcı maddeler oluşmadığı için odunun alevlenme özelliği azalmakta ve alevin savrulması çevreye yayılması önlenmektedir [16,36].

Ağaç malzeme için yanma geciktirici uygulamaları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [37] :

- Muamele edilmemiş ağaç malzemeye göre daha düşük sıcaklıkta artan kömürleşme sağlayan kimyasallar,
- Serbest radikal alev tutucu olarak işlev gören kimyasallar,
- Ağaç malzeme yüzeyi üzerine bir kaplama oluşturmak için kullanılan kimyasallar,
- Ağaç malzemenin ısı iletkenliğini arttıran kimyasallar,
- Ağaç malzemedede oluşan yanıcı gazları yanıcı olmayan gazlarla seyrelten kimyasallar,
- Yanıcı olmayan gazları yanıcı olmayan gazlar ile seyrelten kimyasallar,
- Uçucu gazların ısı içeriğini azaltan kimyasal maddeler.

Yanmayı geciktirici maddeler farklı mekanizmalara sahiptir. Polimerin yanması sırasında yanma prosesini geliştiren buhar fazı serbest radikaller oluşturur. Katkı maddeleri, tek başına veya bileşiklerdeki diğer malzemelerle birlikte, alt tabakalardan zincirleme reaksiyonlarla serbest bırakılan radikallerin oluşmasını engelleyerek alev geciktirmeyi sağlar. Bromlu ve klorlu yanma geciktiriciler bunlara örnektir [20,38]. Yanma geciktirici olarak kullanılan cam fiberler ve bazı mineraller malzemenin ısı kapasitesini arttırarak ya da yanıcılık alt sınırı altındaki bir seviyede yakıt içeriğini azaltarak fiziksel seyreltme mekanizmasıyla çalışırlar. Metal hidroksitler, metal karbonatlar yanma geciktirici olarak kullanıldıklarında yanma esnasında ürünün bozunmasıyla yanmayan gazlar oluşturur ve bu sayede alev oksijen kaynağını veya yakıt konsantrasyonunu seyreltir. Yan ürünler yanma alanında oksijen konsantrasyonunu da azaltır, böylece alevin yayılması da azalır. Antimon trihidroksit ve magnezyum hidroksitin endotermik prosesi sonucu termal bozunma ile oluşan oksit ve su yüzeyi soğutur ve ateşin yayılmasını bir süre geciktirir. Aynı zamanda malzemelerin yüzeylerinde oluşan tabakalar, malzemenin oksijenle temasını kesmektedir. Bu tabaka polimeri izole eder, pirolizi yavaşlatır ve malzemenin yanması için ek gazların salınımını engelleyen bir bariyer oluşturur. Fosfor bileşikleri bu mekanizmayla fosforik aside dönüşmektedir [20,39].

4. YANMA GECİKTİRİCİLERİN YANMA PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ (THE EFFECTS OF FIRE RETARDANTS ON COMBUSTION PERFORMANCE)

Genel olarak yanmayı geciktirici maddeler yanma sırasında malzemenin sıcaklık artışını ve ortamdaki oksijen miktarının tüketilmesini azaltarak yanma olayını geciktirmektedir. Ağaç malzemenin yanıcılığını azaltmak amacıyla fosfat, azot ve borik asit gibi yanma geciktiricilerin kullanıldığı çalışmalarda muamele edilmemiş ağaç malzemeye göre ısı ve alev yayılım hızının azaldığı görülmüştür [40-44].

Yapılan farklı çalışmalarda, borlu bileşiklerin odun esaslı malzemelerin yanmasını geciktirdiği ve yanma özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir [45,46,47]. Yüzeyleri yanma geciktirici borik asit, boraks ve çinko borat ilaveli kalsitle kaplanmış MDF levhaların yanma özelliklerini iyileştirdiği, en iyiden başlayarak sırasıyla borik asit, boraks ve çinko borat şeklinde olduğu belirtilmektedir [18,48]. Farklı yanma geciktirici borlu maddelerin yüksek yoğunluklu lif levhaların (HDF) yanma özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmada, artan yanma geciktirici kullanım konsantrasyonuyla yanmaya karşı direncin arttığı ve ağırlık kaybının azaldığı vurgulanmaktadır [49] Pedieu, et al. [50] borik asidin (BA) yonga levha üretiminde yanma geciktirici olarak başarılı şekilde kullanılabileceğini ve yonga levha yapısındaki borik asit oranının artmasıyla yonga levhaların yanma özelliklerinin önemli derecede iyileştiğini borik asit ilavesi ile ağırlık kaybı da dahil birçok önemli özelliği iyileştirdiği vurgulanmaktadır.

Yanma geciktirici maddelerin etkinliği üzerinde konsantrasyonla birlikte, üretim parametreleri, yoğunluk, FR'yi oluşturan yanmayı önleyici aktif madde miktarı da etkili olduğu, artan FR konsantrasyonuyla yanmada oluşan ağırlık kayıplarının azaldığı görülmüştür. FR konsantrasyonunun artışıyla birlikte yanma sırasında muamele edilmemiş kontrol örneğine göre O₂ tüketim miktarının azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun yanmanın yavaşladığını, kullanılan FR'lerin etkili olduğunu göstermiştir [51]. Yapılan bir çalışmada artan FR konsantrasyonunun üst sıcaklık değerlerini azalttığı belirtilmektedir. Bu durumun kimyasal maddelerin yanma esnasında ısıyı absorplayıcı, tutuşmayı önleyici ve alevi soğutucu gazlar salıverme özelliklerinden kaynaklandığı belirtilmektedir [52]. Başka bir çalışmada ise farklı borlu yangın geciktiriciler arasında en düşük sıcaklık değeri BA kullanımında tespit edilmiş ve borlu bileşiklerin yanmayı geciktirerek sıcaklığı düşürdüğü anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre borik asidin (BA), boraks (BX) ve çinko borata (ÇB) göre sıcaklık artışını daha iyi engellediği görülmüştür. Bu durumun borlu bileşiklerin odunun piroliz sıcaklığını düşürüp, kömürleşme miktarını arttırmış olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir [53-56]. Benzer şekilde yapılan farklı çalışmalarda FR ilaveli levha gruplarında artan FR konsantrasyonuyla birlikte kütle kayıplarının daha az olduğu görülmektedir. Konsantrasyon miktarının artması ile birlikte lifsel maddelerin arasına giren kimyasal madde miktarı da artmaktadır. Bunun sonucunda da yüzeye yakın veya yüzeyde biriken FR kimyasalları koruyucu bir tabaka meydana getirmek suretiyle levhaların yanma hızını azaltmakta ve yanmaya karşı dayanım süresini arttırdığı belirtilmektedir [52,53,57].

5. YANMA GECİKTİRİCİLERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİLERİ (THE EFFECTS OF FIRE RETARDANTS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES)

Ahşap esaslı ürünleri yanmaya karşı dirençli hale getirmek için yapılan işlemler ağaç malzemeyi farklı perspektiflerden etkileyebilir: artan higroskopiklik, direnç azalması, boyutsal kararlılık değişir. Ahşabın yıkımlanması, metal bağlantı elemanlarının korozyonu, yapışma problemleri, aşındırıcılığın artışı ve muamele edilmiş malzemede yıkanma sorunu gibi durumlar ortaya çıkabilir. Yanmaya karşı dirençli kontrplak ile son zamanlardaki yapısal sorunlardan da anlaşılacağı üzere, yangına dayanıklı kimyasallar ve yüksek sıcaklık ortamları ahşabın mukavemet özelliklerini bozabilir [58]. Asitli yangın geciktirici kimyasalların ve yüksek sıcaklıkların kombinasyonunun ahşabın asit hidrolizi oranını arttırdığı ve bu nedenle mukavemet kaybına neden olduğu düşünülmektedir [59]. Bununla beraber yanma geciktirici kimyasalların yapılarda mekanik dirençler üzerine etkileri çok önemlidir. Mukavemet,

sağlamlık ve bağlantı elemanlarının korozyonu açısından yanma geciktirici işlem görmüş malzemelerin kullanımına dikkat edilmelidir [60,61]. Yapılan bir çalışmada yanma geciktiricilerle muamele edilmiş kaplamalarla kaplanmış OSB panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yanma geciktiricilerin önemli derecede etki yaptığı ve muamele edilmemiş panellere göre mekanik özelliklerin daha düşük olduğu belirtilmiştir [62].

Yanma geciktiriciler ağaç malzemenin birçok özelliğini etkileyebilmektedirler. Farklı yanma geciktiricilerle kombine edilmiş borla yapılan çalışmalarda ahşap esaslı levhaların mekanik özelliklerinde ve yüzey kalitelerinde azalma olduğu belirtilmiştir [57,63]. Farklı borlu bileşiklerle yapılan bir çalışmada borik asit (BA), boraks (BX) ve çinko borat (ÇB) bileşiklerinin levhaların su alma ve kalınlığına şişme miktarlarını kontrol levhasına kıyasla arttırdığı belirlenmiştir. Ancak bu olumsuz etkinin BA kullanımında daha düşük olduğu, BX kullanımında ise daha fazla olduğu anlaşılmıştır [70]. Benzer bir çalışmada muamelesiz kontrol levhasının su alma oranının borlu emprenye maddeleri kullanımıyla arttığı ve daha yüksek olduğunu belirtmektedir [62]. Odun esaslı panellere borlu bileşiklerden çinko borat ilavesinin fiziksel ve mekanik özelliklerde artan borat içeriği ile birlikte azaldığı belirtilmektedir [64,65,66]. Yapılan bir çalışmada çeşitli yanma geciktiricilerle muamele edilmiş odunun eğilme direnci (MOR) ve eğilmede elastikiyet modülü direncinde (MOE) değerleri belirlemiş ve BA, BX ve BA+BX kullanımlarında MOR değerinde %12-14, MOE değerinde %4-7 arasında azalma olduğunu belirlenmiştir [67]. Yapılan bir başka çalışmada ise farklı oranlarda BA ve BX ile muamele edilmiş liflerle üretilen orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) iç yapışma dirençlerinin, kontrol örneğine kıyasla azaldığını, ayrıca artan BA ve BX kullanım oranı ile bu azalmanın daha fazla olduğu belirtilmektedir [68]. Bu sonuçların aksine başka bir çalışmada ise BA kullanımının iç yapışmayı olumlu yönde etkileyerek arttırdığı hatta borik asit ile muamele edilmiş yongalarla üretilen yonga levhalarda daha az tutkal kullanılarak maliyetten tasarruf edilebileceği önerilmiştir bu farklılıkların borlu bileşik çeşidi ve bu bileşiklerin uygulanma metodu ile alakalı olabileceği düşünülmektedir [50].

6. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Yanma geciktirici kimyasallar, onlarla muamele edilen malzemelerin fiziksel, mekanik ve bazı teknolojik özelliklerini etkilediği görülmektedir. İnorganik esaslı yangın geciktirici kimyasallar orman endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü hem iyi termal stabiliteye, daha az duman salınımı ve korozif zehirli gazlara sahip olup direnç özellikleri üzerine daha az olumsuz etkiye sahiptir [22,23,24]

Yapılan çalışmalar incelendiğinde yanma geciktirici olarak borlu bileşiklerin kullanımının ön plana çıktığı görülmektedir. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar yanmayı geciktirici kimyasalların etkili olduğunu göstermektedir. Yanmaya karşı dayanımın BA ilaveli levhalarda BX ve ÇB ilaveli levhalara göre daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Bununla beraber tüm borlu bileşik kullanılan levha gruplarında kontrol grubuna göre ağırlık kayıpları daha az olmuştur. Yanmayı geciktirici BX, BA ve ÇB ilaveli levhalar karşılaştırıldığında yanma karşı en iyi direnci BA ilaveli levhaların gösterdiği tespit edilmiştir. Bu yüzden malzemenin kullanım yerindeki şartları göz önünde bulundurularak belirlenen yanmayı geciktirici madde ile birlikte en uygun bağlayıcı türü ve miktarı seçilmelidir [69]. Yanmayı geciktirici özelliğe sahip borlu bileşiklerin tutkal miktarı sabit kalmak koşulu ile genel olarak fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Borlu bileşik kullanım oranının artmasıyla özelliklerin daha da azaldığı belirlenmiştir. Ancak bazı kullanım oranlarında fiziksel ve mekanik özelliklerdeki azalmaların %95 güvenle istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar irdelendiğinde görülmüştür ki borlu bileşiklerin ahşap malzemelere uygulanışında kullanım şekline (sıvı, toz) ve uygulama metoduna (tutkallama öncesi veya sonrası) dikkat edilmesi gereken en önemli iki husus olduğu anlaşılmıştır. Levha üretiminde katkı maddesi

kullanılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan birinin yapıştırıcı miktarı ve cinsidir. FR's maddelerinin cinsine, yapıştırıcı ile uyumuna dikkat edilmesi gerekmekte, üretilecek levha ve kullanım yerinde malzemeden beklenen performans göz önünde bulundurularak tutkal cinsi ve miktarı ile kullanılacak katkı madde miktarı ve uygulama metoduna karar verilmelidir [70]. Borlu bileşikler alev geciktirici olarak kullanıldıklarında çevre dostudurlar. Toksik gaz salınımına neden olmazlar. Düşük uçuculuk değerine sahiptirler. Borlu alev geciktiriciler polimer zincir oksidasyonu için bariyer görevi gören camsı koruma tabakasının oluşumuna neden olur. Yanan malzemenin üzerini oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırırlar. Bor bileşikleri, geniş uygulama alanına sahip, çevre dostu, yüksek sıcaklığa ve aleve dayanıklı, sinerjistik ve fonksiyonel olma özellikleri sebebiyle kullanım oranı gittikçe artmaktadır. Bor bileşikleri, kullanım alanlarından biri olan alev geciktiriciler içinde oldukça güçlü bir yere sahiptir ve yapılan çalışmalar ışığında gün geçtikçe kendine daha fazla yer bulmaktadırlar.

7. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Öztürk, O., (2003) *Fiber Levha Kompozitlerinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Polimerlerle İyileştirilmesi İçin Alternatif Yöntemler*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 89 s. Ankara.
- [2] İstek A., ve Özlüsoylu, İ. (2016).“The Effect of Using Siriono and Boric Acid on the Combustion Performance in Particleboard Production” *International Forestry Symposium (IFS 2016)* December 7-10, Kastamonu/Turkey, s.1012-1019,
- [3] Eroğlu, H. ve Usta, M. (2000) *Lif levha üretim teknolojisi*, KT Ü. Orman Fakültesi Yayın, (200/30).
- [4] Özlüsoylu İ., ve A. İstek., (2015) “Mobilya Üretiminde Kullanılan Panellerden Salınan Formaldehit Emisyonu ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.” *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), s.213-227.
- [5] Kim JI, Park JY, Kong YT, Lee BH, Kim HJ, Roh JK. (2002) Performance on flame-retardant polyurethane coatings for wood and wood-based materials. *J Korean Wood Sci Technol.*30:172–9.
- [6] Seo, H. J., Kim, S., Huh, W., Park, K. W., Lee, D. R., Son, D. W., & Kim, Y. S. (2016). Enhancing the flame-retardant performance of wood-based materials using carbon-based materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(3), 1935-1942.
- [7] Bednarek, Z., Kaliszuk W, A., (2007). Analysis of the Fire-Protection Impregnation Influence On Wood Strength, *Journal of Civil Engineering and Management*, 13(2), 79-85.
- [8] Ozkaya, K., Ilce, A. C., Burdurlu, E., & Aslan, S. (2007). The effect of potassium carbonate, borax and wolmanit on the burning characteristics of oriented strandboard (OSB). *Construction and building materials*, 21(7), 1457-1462.
- [9] Var, A. A., (2000) “Emprenye edilmiş yongalardan üretilen yonga levhaların bazı teknolojik özellikleri.” Doktora tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [10] Henry, J.(1982). “Preservative treatment effects on mechanical and thickness swelling properties of aspen waferboard.” *FPJ*, 32/11-12, pp.19–26.
- [11] Dix, B. (1997). “Influence of hardwood and the age of tree on the properties of particleboards fom pine (*Pinus sylvestris*). Part 2: Physical–technical properties and formaldehyde release of particleboards made from sapwood and hardwood of pine.” *Holz als Roh-und Werkstoff*, 55/2, pp.103–109.
- [12] Roffael., E. And Dix, B., (1997). “Influence of hardwood and the age of tree on the properties of particleboards from pine (*Pinus sylvestris*). Part 3: Some chemical properties of particleboards made from sap–and hardwood of pine.” *Holz als Roh-und Werkstoff*.
- [13] Jinxue J, Jianzhang L, Jing H, Dongbin F., (2010). Effect of nitrogen phosphorus flame retardants on thermal degradation of wood. *Constr Build Mater*,24(12):2633–7.
- [14] Rowell RM, (2013) *Handbook of wood chemistry and wood composites* .

- [15] Atar, M., Keskin, H., Yavuzcan, H.G., (2004). Varnish layer hardness of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood as affected by impregnation and color bleaching, *J. Coatings Technol.* 1, 498–504.aa
- [16] Peker, H., ve Atılğan, A. (2015). Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri. *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 15(2).
- [17] Baysal, E. (2003). “Borlu bileşikler ve doğal sepi maddeleriyle emprenye edilen sarıçam odunun yanma özellikleri”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1-2), pp.59-69.
- [18] İstek, A., Aydemir, D., ve Eroğlu, E., (2012). “Surface properties of mdf coated with calcite/clay and effects of fire retardants on these properties.” *Maderas Ciencia Tecnología*. 14(2), pp.135-144.
- [19] Gürü M., Yalçın H., (2006). *Malzeme Bilgisi*, 2. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2006.
- [20] Aydın, D. Y., Gürü, M., Ayar, B., ve Çakanyıldırım, Ç. (2016). Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği. *Journal of BORON*, 1(1), 33-39.
- [21] Arslan, A. R., Doruk, Ş., ve Ayan, E., (2009) “Tutkal hattına katılan sodyum borat çözeltisinde bazı ağaç türlerinin yanma direncinin belirlenmesi” *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, 13- 15 Mayıs.
- [22] He X, Li X, Zhong Z, Yan Y, Mou Q, Yao C, Wang C (2014) The fabrication and properties characterization of wood-based flame retardant composites. *Journal of Nanomaterials Article ID 878357*, pp. 6.
- [23] Yao CH, Wu YQ, Hu YC (2012) Flame-retardation characteristics and mechanisms of three inorganic magnesium compounds as fire-retardant for wood. *Journal of Central South University of Forestry and Technology* 32(1):18-23.
- [24] Demir, A., Aydın, I., and Salca, E. A. (2017). Some Technological Properties Of Plywood After Fire Retardant Treatment In Different Concentrations. *Pro Ligno*, 13(2).
- [25] Uysal, B., Özçiftçi, A., (2004). The effects of impregnation chemicals on combustion properties of laminated wood material. *Combustion Science & Technology*, 176(1): 117–133 pp.
- [26] Akıncıtürk, N., Perker, S., (2003). 700 Yıllık Tarihi Cumalıkızık Yerleşimindeki Ahşap Yapılarda Yangın Yalıtımı, *Yalıtım ve Enerji Yönetimi Kongresi*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yalıtım ve Enerji Yönetimi Kongresi, 21-22-23 Mart, s:151-159, ISBN:975-395-591- X., MMO Yayın No: E/2003/316.
- [27] Seferoğlu, D., (2008). *Üst yüzey İşlemlerinin Ağaç Malzemenin Yanma Direncine Etkilerinin Belirlenmesi*, Karabük Üni., Fen Bil. Enst., Y. Lis. Tezi, Karabük.
- [28] Aslan, S., (1994). *Ağaç Dendrolojisi*, Odun Anatomisi, H.Ü. Beytepe, Ankara.
- [29] Bozkurt, AY., Erdin, N., (1997). *Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi Orman Fak. Orman End. Müh. Böl., 372s. İstanbul.
- [30] Uysal, B., (1997). *Çeşitli Kimyasal Maddelerin Ağaç malzemenin yanmaya dayanıklılığı üzerine etkileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [31] Lowden, L. A., and Hull, T. R. (2013). Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire science reviews*, 2(1), 4.
- [32] Yang H, Yan R, Chen H, Zheng C, Lee D, Liang DT (2006) In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy Fuels* 20:388–393
- [33] Odununun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi, K.T.Ü. Fen Bil. Enst. Yük. Lis. Tezi, Trabzon.
- [34] Goldstein, IS., 1973. Degradation and Protection of Wood from Thermal Attcak, in: Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments (D. D. Nicholas, Ed.) Syracuse Univ., New York , Press, Vol:I, 307-339.
- [35] Yalınkılıç, MK., (1993). *Ağaç Malzemenin Yanma, Higroskopisite ve Boyutsal Stabilité Özelliklerinde Çeşitli Emprenye Maddelerinin Neden Olduğu Değişiklikler ve Bu*

Maddelerin Odundan Yikanabilirlikleri, Doçentlik Tezi, K.T.Ü. Orm. Fak., 312 sh, Trabzon.

- [36] Le Van, S.L., Winandy, J.E., (1990). Effects of Fire Retardant Treatments on Wood Strength: A Review, *Wood and Fiber Science*, 22 (1) 113-131.
- [37] Rowell, R. M., and Dietsberger, M. A. (2013). Thermal properties, combustion, and fire retardancy of wood. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 127-150.
- [38] Kaya M. ve Oz D., (1999). Mineral esaslı alev geciktirici ve duman bastına katkı maddeleri, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 14-15 Ekim.
- [39] Prabhakar M. N., Shah A., Song J., A., (2015). Review on the flammability and flame retardant properties of natural fibers and polymer matrix based composites, *Composites Research*, 28(2), 29-39, 2015.
- [40] Son, D. W., Kang, M. R., Kim, J. I., and Park, S. B. (2012). Fire performance of the wood treated with inorganic fire retardants. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 40(5), 335-342.
- [41] Mikkola, E. (1991). Charring of wood based materials, *Proceedings of the third international symposium*. Elsevier Applied Science. London p547.
- [42] Toshiro H., U. Saburo, and T. Hironori., (2003). Evaluation of fire-retardant wood treated with polyphosphate carbamate using a cone calorimeter. *Forest Prod. J.* 53(6): 81~85.
- [43] Lee, J. W. (2008). Burning Behavior of Flooring Materials in the Cone Calorimeter and Evaluation of Toxic Smoke. *Mokchae Konghak* 36(1): 45 ~ 53.
- [44] Choi, J. M. (2011). A Study on Combustion Characteristics of Fire Retardant Treated Pinus densiflora and Pinus koraiensis. *Mokchae Konghak*. 39(3): 244~251.
- [45] B. Uysal ve A. Özçifçi., (2004) "The effects of impregnation chemicals on combustion properties of laminated wood material", *Combustion Science and Technology*, 176(1), pp.117-133.
- [46] M. K. Yalınkılıç, E. Baysal ve Z. Demirci., (1997). "Fire resistance of calabrian pine (*Pinus brutia* (Ten.)) wood treated with some boron compounds and/or water repellents." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Vol 4: pp.423-431.
- [47] E. Baysal, E., (2002). "Determination of oxygen index levels and thermal analysis of scots pine impregnated melamine formaldehyde-boron combinations", *Journal of Fire Sciences*. 20(9), pp.373-389.
- [48] İstek, A., Aydemir, D., and Eroğlu, E. (2013) "Combustion properties of medium density fiberboard coated by a mixture of calcite and various fire retardants." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(5), pp.642-648.
- [49] Özdemir, F., and Tutus, A. (2013). Effects of fire retardants on the combustion behavior of high density fiberboard. *BioResources*, 8(2), pp.1665-1674, 2013.
- [50] R. Pedieu, A. Koubaa, B. Riedl and X. M. Wang and J. Deng., (2012). "Fire-retardant properties of wood particleboards treated with boric acid." *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1-3), pp.191-197.
- [51] İstek, A and Özlüsoy, İ. (2016). "The Effect of Using Siriono and Boric Acid on the Combustion Performance in Particleboard Production." *International Forestry Symposium (IFS 2016)* December 7-10, p:1012-1019
- [52] F. Özdemir, (2012). "Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal maddelerin laminat parkenin bazı özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması," Doktora Tezi, K.S.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, 243 s. Kahramanmaraş.
- [53] İstek, A., Aydemir, D., ve Eroğlu, H., (2013). "Combustion properties of medium density fiberboard coated by a mixture of calcite and various fire retardants." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(5), pp.642-648.
- [54] Özdemir F. and Tutuş, A., (2012). "Investigation on increasing resistance of laminate flooring against combustion." *KSU J. Engineering Sci.*, Special Issue, pp.83-89.
- [55] D.W. Ellis and M.R. Rowell., (1989). Flame retardant treatment of wood with a diisocyanate and an oligomer phosphonate." *Wood and Fiber Science*, 21(4), pp.367-375.

- [56] R.Stevens, D. S. Van Es, R. Bezemer and A. Krenanbarg., (2006). “The structure-activity relationship of fire retardent phosphorus compounds in wood.” *Polymer Degredation and Stability*, 91(4), pp.832-841.
- [57] Ustaömer, D. (2008) “Çeşitli yanmayı geciktirici kimyasal maddelerle muamele edilerek orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi,” Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 244 s. Trabzon.
- [58] Winandy JE, Lebow PK, Murphy JF (2002) Predicting current serviceability and residual service life of plywood roof sheathing using kinetics-based models. In: *Proceedings of the 9th durability of building materials and components conference*, Brisbane, p 7
- [59] LeVan SL, Winandy JE (1990) Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review. *Wood Fiber Sci* 22(1):113–131
- [60] Taghiyari, H. R., Rangavar, H., & Nouri, P. (2013). Fire-retarding properties of nanowollastonite in MDF. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(5), 573-581.
- [61] Winandy JE (1998) Techline, properties and use of wood, composites, and fiber products, durability of fire-retardant-treated wood, US Department of Agriculture, vol 5, issued 01/98
- [62] Ayrilmis, N., Candan, Z., and White, R. (2007). Physical, mechanical, and fire properties of oriented strandboard with fire retardant treated veneers. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65(6), 449-458.
- [63] Baysal E, Şimşek H, Toker M, Çolak M, Yiğitbaşı N.O., (2006.) Hygroscopicity levels of wood treated with boron compounds. In: *Proceedings of the III. International Symposium on Boron*, Proceeding Book Vol. 1, Ankara, pp. 51–54.
- [64] N. Ayrilmis, S.N. Kartal, T. Laufenberg, J. E. Winandy and R. H. White. “Physical and mechanical properties and fire, decay, and termite resistance of treated oriented strandboard.” *Forest Products Journal* 55(5), pp.74–81, 2005.
- [65] P.E. Laks and R.D. Palardy. “The development of borate-containing flakeboard.” In: *Proceedings of the first international conference on wood protection with diffusible preservatives*, *Forest Products Society*, 1990. p. 76–79.
- [66] T. Laufenberg, S.L. Levan and V. Bruci., (1986). “Investigation of fire-retardant treatments for flakeboards.” *Drvna Industrija* 36(3–4), pp.65–70. 1986.
- [67] H. Simsek, E. Baysal, M. Yilmaz and F. Culha, (2013). “Some Mechanical Properties of Wood Impregnated with Environmentally-Friendly Boron and Copper Based Chemicals.” *Wood Research*, 58(3), pp.495-504.
- [68] N. Ayrilmis., (2007) “Effect of fire retardants on internal bond strength and bond durability of structural fiberboard.” *Building and environment*, 42(3), pp.1200-1206, 2007.
- [69] İstek, A., Yalcinkaya, G ve Özlüsoylu, İ. (2017) The Effect of Some Boron Compounds on Combustion Properties of Particle Boards *ICACOF 2017*
- [70] İstek, A., Yalcinkaya, G ve Özlüsoylu İ. (2017) The Effect of Some Boron Compounds on Physical and Mechanical Properties of Particle Board *ICACOF 2017*