

Yüksek yoğunluklu lif levhanın ısı iletkenliği ve limit oksijen indeksi üzerine yanmayı geciktiricilerin etkisi

Ferhat Özdemir^{a,*}, Ahmet Tutuş^a, Bekir Cihad Bal^a

^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

* İletişim yazarı/Corresponding author: ferhatozd@hotmail.com, Geliş tarihi/Received: 02.02.2013, Kabul tarihi/Accepted: 14.05.2013

Özet: Bu çalışmada, yanmayı geciktirici bazı kimyasal maddeler değişik oranlarda lif ile muamele edilmiş ve yüksek yoğunluklu liflevha (HDF) üretilmiştir. Hammadde olarak %50 kayın ve %50 sarıçam lifleri kullanılmıştır. Liflerin içine tam kuru lif miktarına oranla %3, %6, %9 oranlarında toz halinde boraks, borik asit, amonyum polifosfat ve alfa-x kimyasalları ilave edilerek HDF levhalar elde edilmiştir. Elde edilen yüksek yoğunluklu lif levhanın ısı iletkenliği ve limit oksijen indeksi (LOI) değerleri belirlenmiştir. Yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin ısı iletkenliği ve limit oksijen miktarını artırdığı ancak kimyasal madde türü ve konsantrasyon oranına göre farklı etki yaptıkları tespit edilmiştir. Isı iletkenliği için en iyi sonuç %9' luk borik asit (0.2815 W/m⁰K) ile sağlanırken LOI testi için en iyi sonuçlar %6 ve %9' luk amonyum polifosfat (%45) için elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HDF, Boraks, Borik asit, Isı iletkenliği, LOI

Effect of fire retardants on thermal conductivity and limited oxygen index of high density fiberboard

Abstract: In this study, Fire Retardant (FR) chemicals with different proportions were added into fibers and high density fiberboards (HDF) were produced using fibers from Scots pine and beech (50:50). HDF panels containing 3%, 6%, and 9% borax, boric acid, ammonium polyphosphate and alpha-x chemicals powders were manufactured. Limiting oxygen index (LOI) and thermal conductivity properties of HDF panels were determined. FR chemicals improved the LOI and thermal conductivity. However, this improvement was affected by the type and the concentration of the FR chemicals used. The best thermal conductivity result was obtained with 9% boric acid concentrations (0.2815 W/m⁰K) while the best LOI results were obtained from 6% and 9% ammonium polyphosphate concentrations (45%).

Keywords: HDF, Borax, Boric acid, Thermal conductivity, LOI

1. Giriş

Odun ve odun esaslı levhalar temel olarak karbon ve hidrojen gibi organik bileşenlerden oluştuğu için yanıcı özellik gösterirler (Kolmann ve Cote, 1968). Odun bileşenleri sırasıyla hemiselüloz, selüloz ve lignin olarak degrade olurlar ve 500–800 °C arasında karbonizasyon gerçekleşir (Tutuş vd., 2010). Odunda sıcaklığın 275 °C dereceye ulaşması halinde yanma olayı gerçekleşmektedir (Hakkarainen vd., 2005). Isı iletim katsayısı yanma üzerine belirleyici bir parametre oluşturmaktadır. Isı iletkenliği ısı iletim katsayısı ile belirlenir. Odunun ısı iletkenliği yoğunluk, rutubet miktarı, sıcaklık ve ekstraktif madde miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Düşük ısı iletimine sahip malzemeler daha geç tutuşmaktadırlar. Odunun ısı iletkenliği de gözenekli yapısından dolayı düşüktür. Ancak ağaç malzemedeki ısı iletkenliği katsayısı sabit değildir. Çünkü odunu teşkil eden hücrelerin yapısı, büyüklükleri, zar kalınlıkları, birim hacimdeki hücre zarı miktarı değişkenlik göstermektedir. Isı iletkenliği üzerine odunun içerdiği hava, su, yabancı madde miktarı ve odun kusurları etkili olmaktadır. Odun rutubeti ısı iletkenliğini artırıcı bir etki gösterir. İnorganik tuz esaslı yanmayı geciktirici kimyasal maddelerde bu nedenle ısı iletkenliğini artırır.

Odun ve selülozik materyallerde yanmayı önlemek için birçok yanmayı geciktirici kimyasal madde kullanılmaktadır. Yanmayı geciktirici kimyasal olarak bor bileşiğine dayalı ürünler, duman bastırıcı özelliklerinden dolayı yalnız veya birlikte kullanılmaktadır. Yanmayı geciktiriciler yapısal özelliklerinden dolayı yanmayı ya azaltırlar ya da önlerler. Kömürleşme oluşumunu sağlarlar. Ağaç malzemenin yüzeyinde meydana gelen kömürleşmeden dolayı iç kısımlara iletilen ısı miktarı, malzemenin içerisinde bulunan yanıcı gazların dışarı çıkmasına yeterli olmadığından yüzeydeki tutuşmayı durdurmaktadır (Baysal, 1994). Bu nedenle tutuşma ve yanma ile ısı transferi arasında ilişki önemli olmaktadır.

Endüstriyel işlemler için kurutma modellerinin iyileştirilmesi, tutkal sertleşme süresinin, yalıtıklık derecesinin ve ısı transfer hızının tespiti için ısı iletkenliği önemli bir parametre kabul edilmektedir (Gu ve Zink-Sharp, 2005; Sanyal vd., 1991).

Ağaç esaslı levhalarda kullanılan FR kimyasallarının yanmayı geciktirme miktarı ve ısı iletkenliği kıyaslanması hakkında yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı yanma direnci ve ısı iletkenliğinin belirlenmesi üzerine yanmayı geciktirici kimyasalların türü ve konsantrasyon oranının etkisini belirlemek, yanma direnci ve ısı iletkenliği arasındaki ilişkiyi incelemektir.

2. Materyal ve metod

2.1. Materyal

Kastamonu Entegre SFC fabrikasından alınan %2-3 rutubete sahip %50 çam ve %50 kayın lifi kullanılmıştır. Toz halinde kullanılan yanmayı geciktirici kimyasal madde oranları Çizelge 1’de verilmiştir.

2.1.1. HDF levhaların hazırlanması

Boraks (BX), borik asit (BA), amonyum polifosfat (APP) ve alfa-x (AX), yanmayı geciktirici kimyasal maddeleri tam kuru lif miktarına oranla %3, %6 ve %9 oranlarında %10 oranında tutkallanmış liflerin arasına homojen şekilde serilmiş ve karıştırılmıştır. Soğuk pres kalıbında HDF taslağı oluşturulmuştur. %3-5 rutubet sahip Cemil Usta SSP 120 presinde preslenmiş, yoğunluğu 0.98-1.0 g cm⁻³ olan 600x600x6.5 mm ebatlarında HDF levhaları üretilmiştir. Yanmayı geciktirici 4 kimyasal madde, 3 kullanım oranı ve kontrol örnekleri için bir tane olmak üzere toplam 13 adet levha üretilmiştir.

İstatistik analiz için SPSS paket programı kullanılmıştır. LOI testi için çoğul varyans analizi, ısı iletkenliği için ise One way ANOVA ve P≤0.05 güven düzeyinde farkların anlamlı bulunması nedeni ile homojenlik gruplarını belirlemek için Tukey testi yapılmıştır. Homojen gruplar aynı harfle belirtilmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. Limit oksijen indeks testi (LOI)

Tutuşma işlemi gerçekleşen yanıcı maddelerin yanıcılık özelliği oksijen indeks testi ile belirlenmektedir. Bu değer yanmanın devam edebilmesi için ortamda bulunması gereken oksijen miktarını ifade etmektedir. Şekil 1’de LOI test cihazı verilmiştir.

Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ilave edilmiş liflerden elde edilen levhaların oksijen indeksi değerlerini belirlemek amacı ile Ortadoğu Teknik Üniversitesi Mühendislik (ODTÜ) Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında ASTM 2863-09 (2006) standardına uygun olarak 100x15x0.65 mm (örnek kalınlığı) boyutlarında olmak üzere 4 adet test, 4 adet ise kontrol örneği hazırlanmıştır. Örnekler Şekil 1’de gösterilen test

cihazına dikey olarak yerleştirilmiş, kolonun alt kısmından oksijen ve nitrojen hava akımı başlatılmış ve deney numuneleri üst kısımdan yakılmıştır. Örneğin yanması için yeterli oksijen miktarı hava akımı içinde tespit edilmiştir. Ayrıca, numune yandıktan sonra belli süre içinde sönüp sönmesine göre de değerlendirme yapılabilmektedir.

2.2.2. Isı iletkenliği katsayısı analizi

Isı iletim katsayısı ASTM C 1113-09 (2004) (Hot Wire Metot) standardına uygun olarak 100x100x6.5 mm boyutlarındaki numune örnekleri üzerinde belirlenmiştir. Deneme numuneleri 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nemde klimatize edilmiş ve ölçümler Şekil 2’de verilen Quick Thermal Conductivity Meter (QTM) 500 Kyoto cihazı ile KSU ÜSKİM laboratuvarında yapılmıştır. Isı iletkenliği ölçülerek değerler W/m²K olarak kaydedilmiştir.

Isı iletim katsayısı aşağıdaki formül ile bulunmaktadır:

$$\lambda = \frac{q \cdot \ln(t_2 - t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Formülde;

- λ : Isı iletim katsayısı (W/m²K)
- q : Numuneden geçen ısı miktarı (cal)
- $T_2 - T_1$: İki yüzey arasındaki ısı farkı (°C)
- $t_2 - t_1$: Ölçülen zaman aralığı (s)

Çizelge 1. Panel üretiminde kullanılan kimyasal madde ve oranları

Üretilen Panel Sayısı	FR Kimyasalı	FR Kimyasal Oranı ^a (%)		
1	Kontrol	---	---	---
3	Borax	3	6	9
3	Boric acid	3	6	9
3	Ammonium polyphosphate	3	6	9
3	Alfa-x (ticari)	3	6	9
Üre formaldehit toplamı		10		
Sertleştirici (Amonyum Klorür/NH ₄ Cl)		0.5		

^aTam kuru lif miktarına oranla toz halinde

Çizelge 2. HDF ve reçine emdirilmiş kağıt için pres parametreleri

Parametreler	HDF
Sıcaklık (°C)	183
Pres (MPa)	3.5
Zaman (s)	18



Şekil 1. Limit Oksijen indeksi cihazı ve test örnekleri



Şekil 2. Quick Thermal Conductivity Meter (QTM 500 Kyoto) ısı iletkenliği ölçüm cihazı

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Limit oksijen indeksi testine ait bulgular

ODTÜ Kimya Fakültesi'nde, ASTM 2863-09 (2006) standardına uygun olarak yapılan oksijen indeksi testine ait bulgular Çizelge 3'te verilmiştir.

Polimerlerin kimyasal yapıları LOI değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir. LOI değerleri polimerlerin oksitlenebilir atom veya molekül gruplarının sayısı ile belirlenebilmektedir. Yanıcı olma özelliğini etkileyen hidrojen ve karbon oranı ne kadar yüksek olursa materyallerin yanma özelliği o kadar çok artmaktadır. Herhangi bir malzemenin LOI değerinin yüksek olması atmosferik ortamda yanıcı olma özelliğinin zor olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle LOI değeri %25'ten küçük olan materyaller havada çok kolay yanabilmekte iken LOI değeri %25'ten büyük olanlar ise havada kendiliğinden sönmektedirler (Kayan, 2004). Yanma özelliği yüksek olan materyaller düşük oksijen indeksi değerlerine sahip olurken, yanma özelliği düşük materyaller ise yüksek oksijen indeksi değerlerine sahip olmaktadır. Yukarıda çizelge 3' de görüldüğü gibi yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal maddelerin farklı oranlarının ilave edilmesi ile üretilen deneme levhalarına ait ortalama oksijen indeksi değerleri %25'in üzerinde tespit edilmiştir. Amonyum polifosfat en etkili yanmayı geciktirici kimyasal olarak belirlenmiştir.

Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal maddelerin ilave edilmesi ile üretilen deneme levhalarının Limit Oksijen İndeksi (%) değerlerinin karşılaştırıldığı, kimyasal madde türü ve konsantrasyonunun ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin araştırıldığı istatistik yöntemde çoğul varyans analizi (ÇVA) yapılmıştır. Analiz sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların değerlendirilmesi için ise Tukey testi yapılmış ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4 ve Çizelge 5'te verilmiştir.

ÇVA sonuçlarına göre kimyasal madde türü ve konsantrasyon oranının LOI testi üzerine %5 yanılma olasılığı ile etkisinin önemli olduğu, aynı zamanda kimyasal madde türü ve konsantrasyon oranının birbiri ile etkileşiminin de önemli olduğu belirlenmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ilave edilerek üretilen deneme levhalarına ait

ortalama oksijen indeksi değerlerinin karşılaştırması Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde tüm yanmayı geciktirici kimyasal maddeler artan konsantrasyonlarına bağlı olarak oksijen indeksi değerlerini artırmışlardır. Yapılan çalışmalarda borlu bileşiklerin yanma ve oksijen indeksini olumlu etkiledikleri bilinmektedir. Kontrol örneği LOI değeri %27 bulunmuştur. Baysal (2002) %4.7 borik asit ile emprenye etmiş olduğu sarıçam odunlarının oksijen indeksi değerinin belirlemiş, kontrol örneğine kıyasla bu değer arttığını ve %35.1 olduğunu tespit etmiştir. FR kimyasallarının hepsi kontrol örneğine göre etkili olmuş ama türü ve konsantrasyonlarına bağlı olarak farklı oranlarda tesir etmişlerdir. Sain vd., (2004) alev geciktirici kullandıkları çalışmada kompozit malzemelerde alev geciktiricili örneklerin kontrol örneğine göre oksijen indeksi değerinin arttığını ve %50 yanmaya karşı daha dayanıklı olduklarını belirtmişlerdir. En etkili kimyasal madde amonyum polifosfat olmuştur. Bor bileşikleri de oksijen indeksi üzerine etkili olmasına karşın borik asit, borakstan daha etkili olmuştur. Kimyasallar arasında en az etki alfa-x kimyasalında elde edilmiştir. Boraks ve borik asitte birbirine yakın değerler elde edilirken en etkili kimyasal APP olmuştur. APP %6 ve %9 konsantrasyonları aynı etkiyi göstermiştir (%45).

Çizelge 3. Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal maddelerin farklı oranlarının ilave edilmesi ile üretilen deneme levhalarına ait ortalama oksijen indeksi değerleri (%)

Sıra No	Kimyasallar	Oksijen İndeksi (%)
1	Boraks	30
2	Boraks	32
3	Boraks	35
4	Borik asit	31
5	Borik asit	34
6	Borik asit	38
7	APP	39
8	APP	45
9	APP	45
10	Alfa-x	29
11	Alfa-x	30
12	Alfa-x	31
13	KONTROL	27

Çizelge 4. Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal madde ve farklı konsantrasyonlarının ilave edilmesi ile elde edilen deneme levhalarının Limit Oksijen İndeksi (%) değerlerine ait ÇVA değerleri ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal	1.120.000	3	373.333	53.333	0.000
Konsantrasyon	222.000	2	111.000	15.857	0.004
Kimyasal * Konsantrasyon	42.000	6	7000	6.825	0.000

Çizelge 5. Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal madde ve farklı konsantrasyonlarının ilave edilmesi ile elde edilen deneme levhalarının Limit Oksijen İndeksi (%) miktarı değerlerine ait Tukey testi ve homojenlik grupları

Varyasyon Katsayıları	N	Limit Oksijen İndeksi (%) ve Gruplar
Kimyasal Türü		
Kontrol	4	27 a
Alfa x	12	30 b
Boraks	12	32 c
Borikasit	12	34 d
Amonyum Polifosfat	12	43 e

Sonuçlar literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarla uygun bulunmuştur. Yalınkılıç (2000) borlu bileşiklerin oksijen indeksi üzerine etkisini araştırdığı çalışmada kontrol örneğine göre borlu bileşiklerle muamele edilen deneme numunelerinin oksijen indeksi değerlerinin arttığını ve borik asitte bu değer %31 olduğunu belirtmiştir. Çavdar vd., (2008) borik asit ile emprenye edilen yongalardan elde edilen levhalarla ve üretim sonrası yonga levhaların borik asit ile emprenye edilmesini karşılaştırdıkları çalışmada, her iki yöntemin oksijen indeksi değerini fark edilir şekilde arttırdıklarını tespit etmişlerdir. Kontrol örneği oksijen indeksi değeri %27 iken, emprenyeli yongalardan elde edilen yonga levha %44, üretim sonrası emprenye edilen levhanın %45 olduğu bulunmuştur.

LOI değeri, havadaki oksijen miktarından düşük olan maddeler kolayca yanabilirken, yüksek olan maddelerde ise tutuşturucu alev olmaksızın yanma olayı yavaşlamakta ve

durmaktadır. LOI değeri %28 den daha büyük olan materyaller güç tutuşan ve kendi kendini söndürebilme özelliğine sahiptirler (Chen vd., 2006)

3.2. Isı iletim katsayısına ait bulgular

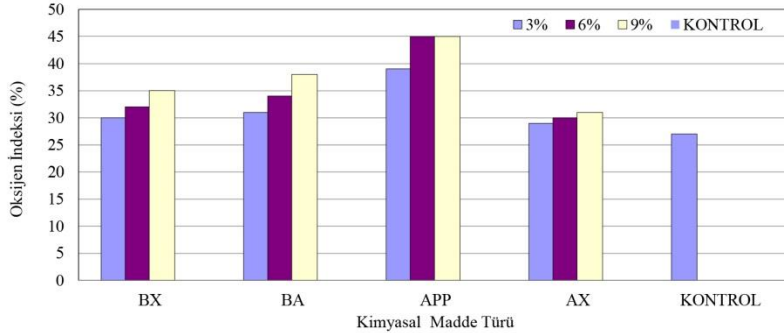
Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal maddelerin ve farklı konsantrasyonlarının, üreormaldehit tutkalı kullanılarak elde edilen deneme levhalarının ısı iletim katsayısına ait ortalama değerler Çizelge 6'da verilmiştir.

Yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin ısı iletim katsayısı üzerinde etkisinin gösterildiği çizelge 6 incelendiğinde farklı kimyasal madde türüne göre etkili oldukları gibi konsantrasyon miktarına bağlı olarak da farklı etkileri tespit edilmiştir. Isı iletim katsayısı ile ilgili değerler Şekil 4'te verilmiştir.

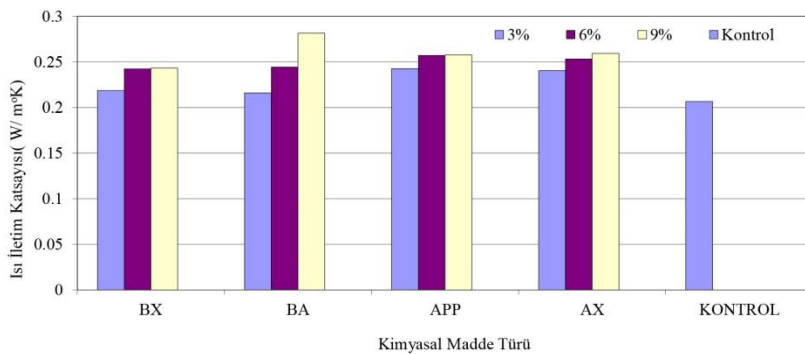
Çizelge 6. Yanmayı geciktirici çeşitli kimyasal madde ve konsantrasyonlarının ısı iletim katsayısı ortalama değerleri (W/m²K)

Kimyasal Madde	(%)	Isı İletim Katsayısı (W/m ² K)				HG
		Min	Max	X	S	
BX	3	0.2121	0.2287	0.2184	0.0065	B
BX	6	0.2395	0.2447	0.2424	0.0020	CD
BX	9	0.2392	0.2462	0.2432	0.0027	CD
BA	3	0.2136	0.2189	0.2160	0.0019	AB
BA	6	0.2394	0.2488	0.2443	0.0044	CD
BA	9	0.2771	0.2890	0.2815	0.0046	F
APP	3	0.2368	0.2479	0.2425	0.0046	CD
APP	6	0.2478	0.2645	0.2571	0.0063	E
APP	9	0.2512	0.2619	0.2575	0.0047	E
AX	3	0.2383	0.2456	0.2405	0.0029	C
AX	6	0.2475	0.2616	0.2531	0.0067	DE
AX	9	0.2501	0.2699	0.2594	0.0089	E
KONTROL	0	0.2023	0.2138	0.2065	0.0044	A

X: aritmetik ortalama, S: standart sapma, HG: homojenlik grupları



Şekil 3. Farklı konsantrasyonlardaki çeşitli kimyasal maddelerle üretilmiş deneme levhalarına ait ortalama limit oksijen indeksi değerleri



Şekil 4. Yanmayı geciktirici farklı kimyasal madde türleri ve konsantrasyonlarının ısı iletim katsayısı değerleri (W/m²K)

Isı iletim katsayısı kontrol örneğinde 0.2065 (W/m²K) bulunmuştur. Şenel (1994) yapmış olduğu ısı iletkenliği belirleme çalışmasında; ısı iletkenliğini liflevhalar için 0.1998, sert liflevhalar da ise 0.2263 Kcal/mh °C bulunmuştur. Farklı bir çalışmada ise Örs ve Şenel (1999) bazı ahşap ve ahşap kökenli malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarını belirleme çalışmalarında hava kurusu halde ısı iletkenliğini, yatık yongalı levhalarda 0.1783, MDF' ler de ve 0.1998, duralitte 0.2263 Kcal/mh °C olarak bulmuşlardır. En yüksek değer borik asit %9 konsantrasyonunda 0.2815 (W/m²K) bulunmuştur. Şekil 4' de görüldüğü üzere her yanmayı geciktirici kimyasal madde türünde artan konsantrasyon miktarına bağlı olarak ısı iletkenliği katsayısının da arttığı tespit edilmiştir. Bu artış alfa-x' de en az seviyede iken borik asitte ise en fazla artış eğilimini göstermiştir. Kol vd., (2010) bazı kimyasallar ile empenye edilen meşe odununda ısı iletkenliğini araştırmışlar ve en yüksek değeri 0.1756 Kcal/mh °C ile borik asitte elde etmişlerdir. Benzer bir çalışmada ise Uysal vd., (2010), basınç ve daldırma metodu uyguladığı, boraks ve borik asit ile farklı boya ve farklı vernik kullanarak yaptıkları üst yüzey işleminde ağaç malzemedeki borik asit ısı iletkenliğinin daha fazla boraksın ise daha az olduğunu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada da Uysal vd., (2010) yangın geciktirici kimyasallar ile muamele edilen Gökmar odununda en yüksek ısı iletkenliği değerini basınç metoduyla empenye edilen borik asitte bulmuşlardır. Ancak Kurt vd., (2009) yanmayı geciktirici kimyasallar ile muamele edilen kayın odununda en yüksek ısı iletkenliği değerini amonyum sülfat kimyasalında 0.0172 Kcal/mh °C bulmuşlardır.

FR kimyasallarının inorganik tuz olmalarına bağlı olarak rutubet artırıcı etki göstermeleri de ısı iletkenliğini artırmıştır. Uysal vd., (2010) membran presle kaplanmış MDF levhalarda rutubet miktarının artması ile ısı iletkenliğinde arttığını tespit etmişlerdir Çünkü odun içerisindeki rutubet miktarı arttıkça, moleküller ve rutubet arasındaki hareketlilik ve büyük enerji transferi de büyük oranda artmıştır (Gu, 2001). FR kimyasalları levhaların yoğunluklarını da artırdıkları için ısı iletkenliğinin artmasına neden olmuştur. Isı iletkenliği önemli derecede yoğunluğa bağlıdır (Kol ve Altun, 2009). Liflerin arasına girerek lifler arası boşluk miktarını azaltmıştır. Odun gözenekli yapısı sebebiyle, ağaç malzemedeki ısı iletme kabiliyeti, ağaç türlerine ve aynı ağaçta liflerin gidiş yönüne göre değiştiği gibi, çeşitli bağlayıcı maddeler ve bunlara ilave edilen dolgu ve katkı maddeleri ile üretilen ahşap levhalarda bağlayıcı madde çeşidi ve ilave maddelerin türüne göre farklı olmaktadır (Lewis, 1967; Kamke ve Zylkowski 1989). Kol vd. (2010) meşe odununda yapmış oldukları çalışmada empenye maddelerinin yoğunluk üzerine etkisinin ısı iletkenliğini de artırıcı etki yaptığını ifade etmişlerdir. Elde edilen sonuçların literatür ile karşılaştırılmasında biraz yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durumun lif levhanın yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Kimyasal madde türü ve konsantrasyon oranının, limit oksijen indeksi ve ısı iletkenliği üzerine etkileri farklı

olmuştur. Kontrol örneği (%27) ile kıyaslandığında, limit oksijen indeksi üzerine en az etki %3 alfa-x kimyasalında (%29) bulunmuştur. En olumlu etki ise %9 ve %6 amonyum polifosfat kimyasalında elde edilmiştir. LOI testi sonuçlarına olumlu etki sırasıyla amonyum polifosfat, borik asit, boraks ve alfa-x kimyasallarında meydana gelmiştir. Isı iletkenliği ise kontrol örneğine kıyasla en fazla borik asit %9 konsantrasyonunda (0.2815 W/m²K) bulunmuştur. Konsantrasyon artışı kimyasalların etkinliğini de artırmıştır. Yüksek yoğunluklu levhalarda ısı iletimi amacı için borik asit, yanmaya karşı direnç amacı için ise amonyum polifosfat kullanılmalıdır.

Kaynaklar

- ASTM C 1113-09, 2004. Standard test method for thermal conductivity of refractories by hot wire (Platinum resistance thermometer technique), Annual Book of ASTM Standards; Vol. 15.01, American Society for Testing Materials, West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D 2863, 2006. Standart test method for measuring the minimum oxygen concentration to support candle-like combustion of plastics, ASTM International, United State.
- Baysal, E., 1994. Çeşitli borlu ve WR bileşiklerinin kızılçam odununun bazı fiziksel özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, KTU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baysal, E., 2002 Determination of oxygen index levels and thermal analysis of scots pine impregnated melamine formaldehyde-boron combinations. *Journal of Fire Sciences*, 20(5): 373-389.
- Chen, S., Zheng, Q., Ye, G., Zheng, G., 2006. Fire retardant properties of the viscose rayon containing alkoxycyclotriphosphazene. *Journal of Applied Polymer Science*, 102:698-702.
- Çavdar, A.D., Tomak, E.D., Kalaycıoğlu, H., 2008. Borik asit ile empenye edilen yongalevhaların oksijen indeksi testi ile yanma özelliklerinin belirlenmesi. II. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 17-18 Nisan, Ankara.
- Gu, M., 2001. Structure based, two-dimensional anisotropic, transient heat conduction model for wood. PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Gu H.M., Zink-Sharp, A., 2005. Geometric model for softwood transverse thermal conductivity. Part 1. *Wood and Fiber Science*, 37(4), 699-711.
- Hakkarainen, T., Mikkola, E., Östman, B., Tsantaridis, L., Brumer, H., Piispanen, P., 2005. "önnoFireWood, State of the art report," VTT Technical research center of Finland, 11-14.
- Kamke, A.F., Zylkowski, S.C., 1989. Effects of wood-based panel characteristics on thermal conductivity. *Forest Products Journal*, Volum, 39 no:5 p; 39-24.
- Kayan, S., 2004. Tekstil Materyallerinin Yanma Mekanizması ve Limit Oksijen indeksi Değerleri. Marmara Üniversitesi FBE Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı. Enstrümantal Analiz Dersi, İstanbul.
- Kol, H., Altun, S., 2009. Effect of some chemicals on thermal conductivity of impregnated laminated veneer

- lumpers bonded with poly(vinyl acetate) and melamine-formaldehyde adhesives. *Drying Technology*, 27, 1010–1016.
- Kol, H.Ş., Uysal, B., Kurt, Ş., Özcan, C., 2010. Thermal conductivity of oak impregnated with some chemicals and finished. *BioResource*, 5(2), 545-555.
- Kollmann, F.F.P., Cote, W.A., 1968. Principles of wood science and technology. I: Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin.
- Kurt, Ş., Uysal, B., Özcan, C., 2009. Thermal conductivity of oriental beech impregnated with fire retardant. *J. Coat. Technol. Res.*, 6 (4) 523–530.
- Lewis, W.C., 1967. Thermal conductivity of wood-base fiber and particle panel materials' research paper FBL 77, USDA. Forest Service Forest Products Lab., Madison, Wis.
- Örs, Y., Şenel, A., 1999. Bazı ahşap ve ahşap kökenli malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları. *Tübitak. J. of Agriculture and Forestry* 23, Ek Sayı 1, 239-245.
- Sain, M., Park, S.H., Suhara, F., Law, S., 2004. Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability*, 83(2): 363–367.
- Sanyal, S.N., Jain, V.K., Dubey, Y.M., Verma, P.C., 1991. A preliminary note on relationship between dielectric properties and thermal conductivity of wood. *Journal of Indian Academy of Wood Science* 22(2), 45-49.
- Şenel, A., 1994. Ağaç malzemenin ısı iletkenliği tespiti. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M.H., Meriç, H., 2010. Sarıçam odununun kimyasal analizi ve termal özellikleri. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi 20-22 Mayıs Cilt: V Sayfa: 1845-1851.
- Uysal, B., Kurt, Ş., Özcan, C., Özbay, G., Likos, E., 2010. Üst yüzey işlemleri uygulanmış ağaç malzemenin boyutsal stabilitesi ve ısı iletkenliği üzerine etkileri. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi 20-22 Mayıs, Cilt: V Sayfa: 1799-1809.
- Uysal, B., Kurt, Ş., Özcan, C., Yapıcı, F., Esen, R., 2010. Bazı yangın geciktiriciler ile emprenye edilen göknar odununun ısı iletkenliği. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi 20-22 Mayıs, Cilt: V Sayfa: 1788-1798.
- Uysal, B., Kurt, Ş., Özcan, C., Yıldırım, M.N., 2010. Membran pres ile kaplanmış lif levhada (MDF) su buharının bazı teknolojik özellikleri üzerine etkisi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi 20-22 Mayıs, Cilt: V Sayfa: 1732-1742.
- Yalınkılıç, M.K., 2000. Improvement of Boron Immobility in the borate-treated wood and composite materials. PhD thesis, Kyoto University.