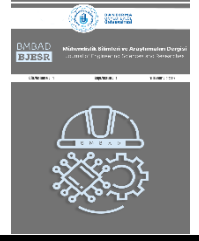




BMBAD
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi
Journal of Engineering Sciences and Researches



Kalsit Mineral Katkılı Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF)'nin Yanma Performansının Araştırılması

Investigation of Combustion Performance of Calcite Mineral Added Medium Density Fiberboard (MDF)

¹Osman ÇAMLİBEL , ²Mehmet AKGÜL 

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarım, Kırıkkale, Türkiye

² Karamanoglu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye

¹osmancamlibel@kku.edu.tr, ²mehmetakgul@kmu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :13 December 2020

Accepted : 30 December 2020

Keywords:

MDF, Combustion,
Calcite, Inorganic Mineral,
Fire Resistance

ABSTRACT

In this study, in order to increase the fire resistance properties of MDF boards, the possibilities of using calcite mineral in MDF production were investigated. Wood chips were cooked for 4 minutes at 7.5 bar, and 180°C temperature in an Asplund defibrator. Instead of lignocellulosic fibers used for the manufacture 1 m³ MDF, liquid paraffin before fibrillation, then hardener, resin and calcite mix solutions were added on fibers as 3%, 6%, 9% according to total amount of fibers in blowline, respectively. The fibers were dried to 12% moisture by the dryer. Boards were produced 185°C temperature, 32 kg/cm² pressure and 270 second pressing time by multi-day eight-layer hot press. Boards were sanded by 50, 80 and 120 grit size sanding belts. Combustion tests of MDFs' were carried out FIC, SC, ESC, FIC lux, SC lux, ESC lux, IST, ESCS and weight loss. Consequently, calcite minerals have increased the resistance to fire of MDF as good performance.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

Makale Tarihleri

Gönderim : 13 Aralık 2020

Kabul : 30 Aralık 2020

Anahtar Kelimeler:

MDF, Yanma, Kalsit,
İnorganik Mineral, Yanma
Direnci

ÖZET

Bu çalışmada, MDF levhaların yangına dayanıklılık özelliklerini arttırmak için kalsit mineralinin MDF üretiminde kullanılma imkanları araştırılmıştır. Yongalar Asplund defibratörde 4 dakika 7.5 bar ve 180°C sıcaklıkta pişirilmiştir. Liflendirmeden önce % 1,5 sıvı parafin mantarlaştırılmış yongalara verilmiştir. 1 m³ MDF üretimi için kullanılan lignoselülozik liflerin yerine; %3, %6, %9 oranlarında kalsit minerali üre formaldehite tutkalı ve sertleştirici ile karıştırılarak blowlinedan liflere verilmiştir. Lifler % 12 rutubete kadar kurutulmuştur. Levhalar 185 °C sıcaklık, 32 kg/cm² basınç ve 270 saniyede sekiz katlı sıcak preste preslenmiştir. Üretilen levhalar 50, 80 ve 120 tane büyüklüğünde zımpara bantları ile zımparalanmıştır. Kalsit katkı üretilen levhaların yanma testleri; AKY, KKY, KHY, AKY lüks, KKY lüks, KHY lüks, İYB, KHYS, Ağırlık kaybı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak kalsit mineralleri; levhaların yangına karşı direnç testinde iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Lif levha (MDF) üretiminde yongalara veya selülozik liflere uygun oranlarda inorganik malzemeler ve türevi materyaller karıştırılarak ve kimyasalların ilavesiyle düzgün yüzeyli paneller üretilebilmektedir.

İnorganik kaya tuzunun MDF üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında, Kaya tuzu katkılı MDF levhalarının fiziksel, mekanik ve yanma performanslarını araştırmışlardır [20].

MDF üretiminde, melamin üre formaldehit (MUF) içeriklerine bazı bor bileşiklerini (%10, %15, %20) oranında ekleyerek levhaların üretimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, özellikler bor bileşiklerinin levhaların fiziksel ve mekanik etkisini incelemişlerdir. Reçine içinde melamin içeriği arttıkça levhaların bazı özelliklerini pozitif yönde etkilediğini ifade etmişlerdir. [6].

Çimento kompozitleri ve odun yünü üzerine bazı çalışmalar yapmışlardır [10].

Vermikülit katkılı MDF levhalar üretmişlerdir. Araştırmalarında levhaların özelliklerini, oksijen endeksinin sınırlandırılmasını (LOI), eşzamanlı termal analizi (TG-DSC), eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet modülünü (MOE) araştırmışlardır [12].

Agresif lignoselülozik biyokütle (bamya, tütün, fındık, ceviz cehennemi, çam kozalağı) kombinasyonlarıyla orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretmişlerdir. Araştırmalarında, üretilen orta yoğunluklu lif levhanın (MDF) fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır [13].

Di-amonyum fosfat, mono amonyum fosfat, çinko klorür, amonyum sülfat, boraks ve borik asit gibi inorganik tuzları Güney çamın hammadde olarak ve bu türden üretilen kontrplaklarda kullanmışlar ve yanma derecelerini test ederek kimyasalların alev geciktirici olarak performanslarını araştırmışlardır [15].

Mikrokristalin selüloz termoplastik kompozitler için alev geciktiriciler olarak amonyum zeolit ve amonyum fosfatı araştırmışlardır [3].

Yangın geciktiricilerin su, bağlayıcı, kalsit ve çeşitli alev geciktiricilerle kombine edilmiş kaplamaları ile kaplanmış orta yoğunluklu lif levhaların yanma performansı özelliklerini araştırmışlardır [2].

Bazı yangın geciktiricilerle işlenmiş kayın (*Fagus orientalis* L.) kaplamalardan hazırlanan lamine kaplama kerestenin (LVL) yanma özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarına göre, en düşük sıcaklık ve kütle kaybı, di-amonyum fosfat ve borik asit-boraks karışımı ile muamele edilen numunelerde elde etmişlerdir [4].

Ahşap yapılar için yangın geciktirici olarak disodyum oktaborat tetrahidrat bazlı ve tanin-bor bazlı formülasyonlarının karşılaştırmalarını incelemişlerdir. Ahşap panellerde yangın geciktiricilerin oranı artırıldığında yangın performanslarının daha da arttığını ifade etmişlerdir [8].

Samam-magnezyum çimento (SMC) kompozitlerinin su direncini, yangın geciktirici performanslarını ve mekanik mukavemetini iyileştirmek için çalışmışlardır [17].

MDF ve kontrplak panellerin üretiminde çeşitli yangın geciktiricileri kullanarak ve üretilen levhaların yanma performansına etkileri belirlemişlerdir. Araştırma sonucunda; MDF ve kontrplağın yangın performansının yaklaşık %6,4 ve %1,6 arttığını göstermişlerdir [9].

Laboratuvar ortamında öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) dolgu ilaveli 8 mm kalınlığında MDF levhalar imal etmişlerdir. MDF'ler ağırlık bazında (kuru/kuru) sırasıyla 550, 700 ve 850 kg/m³ hedef yoğunluklarda %10, %20 ve %30 oranlarında kalsiyum karbonat katkılı levhalar üretmişlerdir. Ancak MDF'nin ağaç lifi yerine ağırlıkça %10'dan fazla öğütülmüş kalsiyum karbonat içerdiği, levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini çok olumsuz etkilediğini bildirilmişlerdir [16].

MDF üretiminde ZnO nano-partiküllerinin %0.5 ve %1.0 oranında üre formaldehit reçinesi ve melamin formaldehit reçinesi ile birleştirilerek levhalar üretmişlerdir. Araştırmalarında ZnO nanopartiküllerinin levhaların fiziksel özelliklerine etkisi, nemli ortamlarda levhaların kullanılması nedeniyle dirençlerinin tespiti ve mantar saldırılarına karşı mukavemet değerleri üzerine çalışmışlardır [5].

MDF'yi wollastonit (kalsiyum inosilikate mineral) elyaflarından ile deve dikenli ağaç liflerinin karışımıyla levhalar üretmişlerdir. Bu levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır [11].

Özellikle iç mekân mutfak mobilyaları ve otellerin mutfak mobilyalarında yangına dirençli levhalara ihtiyaç artmaktadır. Mutfak mobilya üretiminde kullanılan MDF'ler yangın geciktirici özellik kazandırılmalıdır. Ülkemizde veya Dünyada toplam MDF üretimi içinde yangına dirençli levhaların oranı artırılmalıdır. 2018 yılında, Türkiye'de MDF/HDF üretimi 4.910.000 m³/yıl, Avrupa da MDF üretimi yaklaşık 17.764.338 m³/yıl ve Dünyada 99.443.242 m³/yıl üretim gerçekleşmiştir [7].

Yangına dirençli levhalar, mutfak mobilyalarında kullanımı arttıkça, yaşam alanlarında yangın çıkma riskini minimize edebilecektir.

Bu çalışma; lignoselülozik hammaddeler yerine kalsit (%3, %6, %9) minerallerinin kullanımıyla MDF levhaları üretim sürecinde üretilmiştir. Üretilen kontrol levhası ve kalsit mineral katkılı levhaların yangına karşı mukavemet seviyelerinin araştırılması amacıyla deneysel araştırmalar yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. MDF üretiminde kullanılan odun hammaddeler

MDF üretiminde kullanılan odun materyali; Kayın (*Fagus Orientalis* L.) odunları Düzce ili Orman Bölge işletmelerinden, Meşe (*Quercus Robur* L) odunları Batı Karadeniz bölgesinden ve Çam (*Pinus sylvestris* L) odunları Bolu ilinden tedarik edilmiştir.

2.1.2. Kalsit (CaCO₃)

Kalsit inorganik minerali 2.5-2.7 g/cm³ sertliğinde ve özgül ağırlığı ile % 90 CaCO₃ içeren kalkerden oluşur. Kalsiyum oksit, su ile reaksiyona girerek kalsiyum hidroksite dönüştürülür. Aksaray ili civarından kalsit malzemeleri temin edildi.

2.1.3. Kimyasallar

Üre formaldehit reçineleri, sıvı parafin ve amonyum sülfat sırasıyla Gebze Polisan firmasından, Denizli Mercan Kimyadan ve Gebze'den özel bir firmadan temin edildi. Kimyasalların spesifik değerleri çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. MDF üretiminde kullanılan kimyasalların spesifik değerleri.

Sıra no	Ürün özellikleri	Ölçüm değeri
Tutkal (Poliüre 2265)	Görünüş	Temiz, beyaz sıvı
	Katı madde %	65±1
	Formaldehit/üre mol oranı	1.22
	Yoğunluk (20 °C gr/cm ³)	1.227
	Vizkosite (20 °C cps)	185
	Akma zamanı (20 °C, FC4, sn)	25 – 40
	Jelleşme zamanı(100 °C, sn) (%10luk (NH ₄) ₂ SO ₄)	40 – 60
	pH	7.5 – 8.5
	Serbest formaldehit miktarı %	0.5 maksimum
	Metilol grupları %	12 – 15
Depolama zamanı (20 °C, gün)	45	
Sıvı parafin	Görünüş	Krem, light
	Erime noktası	Sıvı
	Yağ oranı %	2 maksimum
	Penetrasyon	32
Amonyum sülfat	Görünüş	Kirli beyaz
	Yapı	Kristal taneli

2.2. METOT

2.2.1. Üretim reçetelerinin oluşturulması

İnorganik dolgu mineral katkılı solüsyon karışımının lignoselülozik materyallere karıştırılmasıyla oluşturulacak üretim reçetesi, çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Üretim parametreleri ve presleme şartları

Üretim parametreleri ve presleme şartları											
Levha grubları	Lif (%)	Kalsit mineraller (%)	Reçine (ÜF) (%)	Sertleştirici (AS) (%20)	Sıvı Waks (%)	Lif rutubeti (%)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres basıncı (Kg/cm ²)	Pres süresi (dk)	Zımparalı levha kalınlığı (mm)	Levha rutubeti (%)
Kontrol	100	0	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.50
R ₉₇ C ₃	97	3	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.89
R ₉₄ C ₆	94	6	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.20
R ₉₁ C ₉	91	9	11.5	1	1.5	12	185-190	32-34	4.50	18	7.50

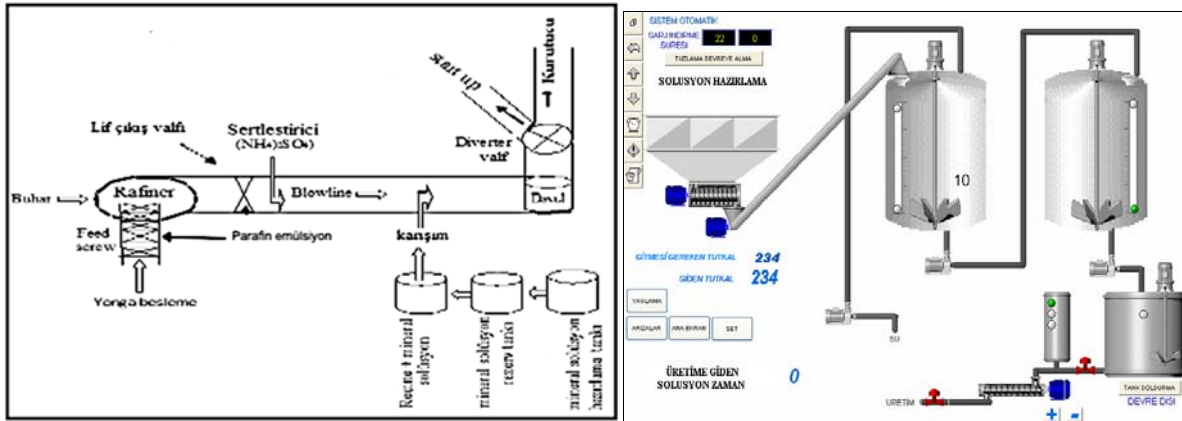
R: 1 m³ levha için tüketilen (ibrelili+ibresiz) odun, C: 1 m³ levha için tüketilen kalsit minerali, R_xC_y: yüzdelik (%) karışım, ÜF: Üre formaldehit, AS: Amonyum sülfat ve Waks: Parafin.

2.2.2. MDF levhalarının üretilmesi

Kalsit katkılı deneme levhalar, Düzce ilinde bulunan Divapan Entegre AŞ firmasının MDF üretim hattında üretilmiştir. Üretim esnasında diğer üretim parametreleri sabit kalmış ve sadece kalsit inorganik mineral karışım oranları değiştirilerek üretimi gerçekleşen genel amaçlı levhalardır. Deneme levhalarına çizelge 2'deki üretim parametreleri uygulanmıştır. MDF levhalarının üretiminde orman işletme depolarından tedarik edilen kayın, saplı meşe ve çam odunu hammaddenin olarak kullanılmıştır. Odunlar yongalayıcıda yonga haline getirilmiştir. Yongalar yonga depolama silolarında stoklanmıştır. Siloların çıkışında yonga karışım oranları belirlenmiştir. Yongalar mekanik elekten geçirilmiştir.

Rafinör ünitesinde yongalar 180°C ve 7.5 bar buhar basıncında 4 dakika buhar ile pişirilerek mantarlaştırılmıştır. Mantarlaştıran yongalara liflendirmeden önce sıvı parafin verilmiştir. Yongalar defibrator segmentlerinde lif haline getirilmiştir. Defibrator çıkışı ve blowline bölümünde liflere sertleştirici (amonyum sülfat) (%20) solüsyonu eklenmiştir. Kalsit mineralleri ayrı bir tankta %50 solüsyon halinde hazırlandı ve rezerv tankına alındı. Tankların altında karıştırıcı ile solüsyon sürekli karıştırılmıştır. Çizelge 2'deki parametrelere göre üretilen formaldehit tutkalı ile karıştırılarak sevk pompası ile blowline liflere eklenmiştir. Kimyasallar ve kalsit eklenen lifler kurutucuda %12 rutubete kadar kurutulmuştur.

Kurutulan lifler mekanik serme istasyonunda homojen olarak pasta formu oluşturulmuştur. Oluşturulan pastalar önpresleme işlemi esnasında sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Sıcak presleme esnasında 8 katlı pres 190°C ve 32-34 kg/cm² ve 270 sn içinde preslenerek levhalar oluşturulmuştur. Pres çıkışında soğutma işleminden sonra ebatlama işlemi yapılmıştır. Levhalar ara depoya alınarak 5 gün boyunca bekletilmiştir. Bekleme işleminden sonra levhaları alt ve üst yüzeyleri 40-80-120 kum zımpara bandı ile zımparalanmıştır. Kalsit katkılı levhalarda TS 642 ISO 554 standardına kondisyonlanmıştır. Kondisyonlanan levhalar ASTM E 160-50 standart deney parametrelerine göre kesim işlemi yapılmıştır. Kesim işlemi yapıldıktan sonra yanma deneyleri yapılana kadar kondisyonlanmaya denge nem içeriği oluşana kadar devam edilmiştir.



Şekil 1. Bağlayıcı (reçine+inorganik kalsit mineral) solüsyon ve diğer kimyasalların üretime verilmesi.

2.3. Üretilen MDF'lerin testlerinin yapılması

2.3.1. Yanma testi yöntemi

Her deney tipi için 13x13x76 mm (radyal x teğet x uzunluk) boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Kalsit MDF numunelerinin yanma testi ASTM E 160-50 (1976) 'ya göre belirlenmiştir [1]. MDF levhalarının spesifik özelliklerini TS 64-1 EN 622-1'e göre açıklanmıştır [18]. MDF levhaları deney yapılmadan önce TS 642 ISO 554 standardına göre kondisyonlanmıştır [19]. Numuneler 27 ± 2 °C'de ve %30 bağıl nemde, yanma testinden önce hedeflenen denge nem içeriği %7 olacak şekilde koşullandırılmıştır.

Deneyler 12 katlı kare prizma şeklinde dizilerek yakılmıştır. Yakma işlemi boyunca, gaz basıncı standartta belirtildiği düzeyde sabit tutulmuştur.

Isıtma alevinin ateşi, hassas çubuk ölçülü bir valf tarafından kontrol edilen bir LPG tankından kaynaklanmıştır. Alev, yanma testi numunelerinin çerçevesinden önce standart yüksekliğe dengelendi. Yanma testi yöntemi daha sonra ASTM E 160-50'ye göre alev aşaması (FS), alevsiz aşama (WFS) ve kızdırma aşaması (GS) olarak gerçekleştirildi. Alev kademeli alev kademeli ve kızdırma kademeli yanma için sırasıyla 15 ve 30 sn aralıklarla termokuplar kullanılarak yanma kolonundaki sıcaklıklar kaydedilmiştir. Kalsit katkılı MDF levhaların yanmaya karşı direnç etkinliği (ASTM E 160-50) aşağıdaki şekil 2'deki test yöntemi uygulanarak yanma direnci ölçülmektedir [1].

Kalsit katkılı MDF levhaların yanma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan testler; alev kaynaklı yanma (AKY), kendi kendine yanma (KKY), kor halinde yanma (KHY), alev kaynaklı yanma lüks (AKY lüks), kendi kendine yanma lüks (KKY lüks), kor halinde yanma lüks (KHY lüks), kor halinde yanma zamanı (KHY zaman) ve yanma kaybı (ağırlık kaybı) aşamaları ölçülerek kaydedilmiştir.

Kalsit katkılı levhaların yanma deneyinde 24'er adet 3'er parti olmak üzere 24x3=72 örnek yakılmıştır. Kontrol ve kalsit katkılı levhaların toplamı 12+1=13 gruptan oluşmaktadır. Toplamda 13x72=936 adet malzeme yakılmıştır. Yanma testinden sonra test numunelerinin kütle kaybı aşağıdaki denklem (1) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Kütle Kaybı} = \frac{(W_{bf} - W_{af})}{W_{bf}} \times 100 \quad (1)$$

Bu deklemede; W_{bf} , yanma testinden önceki bir ahşap numunesinin ağırlığı (g) ve W_{af} , yanma testinden sonra bir ahşap numunesinin ağırlığıdır (g).



Şekil 2. Yanma deneyi düzeneği (sol) ve yanma malzemeleri (sağ).

Test sonuçları, SPSS-V22 bilgisayarlı bir istatistik paket programı kullanılarak %95 güven aralığında ANOVA Duncan testleri ve varyans analizi ile istatistiksel olarak incelenmiştir.

3.1 BULGULAR

3.1.MDF levhalarının yanma deneylerine ait bulgular

Çizelge 2 üretim reçetesine bağlı kalarak üretilen orta yoğunlukta lif levhaların AKY, AKY lüks, KKY, KKY lüks, KHY, KHY lüks, KHY zaman ve Ağırlık kaybı testlerinin SPSS (ANOVA) Duncan sonuçları çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kalsit katkılı levhaların yanma sonuçlarının istatistikî verileri

	Levha	N	Ort. ^x	Std.		95% Güven aralığı*		Minumum	Maksimum
				sapma	hata	Alt sınır	Üst sınır		
AKY Sıcaklık (°C)	Kalsit								
	Kontrol	72	560.21 ^a	17.97	12.71	398.71	721.70	547.50	572.92
	R ₉₇ C ₃	72	551.16 ^a	12.36	8.74	440.10	662.21	542.42	559.90
	R ₉₄ C ₆	72	545.12 ^a	0.53	0.37	540.36	549.89	544.75	545.50
	R ₉₁ C ₉	72	541.87 ^a	29.28	20.70	278.79	804.95	521.17	562.58
KKY sıcaklık (°C)	Kontrol	72	662.57 ^a	6.64	4.69	602.91	722.23	657.88	667.27
	R ₉₇ C ₃	72	652.31 ^a	16.87	11.93	500.72	803.89	640.38	664.24
	R ₉₄ C ₆	72	624.66 ^a	33.37	23.60	324.79	924.52	601.06	648.26
	R ₉₁ C ₉	72	609.56 ^a	18.08	12.78	447.11	772.01	596.78	622.35

KHY sıcaklık (°C)	Kontrol	72	652.57 ^a	19.00	13.40	481.90	823.20	639.10	666.00
	R ₉₇ C ₃	72	490.00 ^b	14.10	10.00	362.90	617.10	480.00	500.00
	R ₉₄ C ₆	72	480.50 ^b	36.10	25.50	156.50	804.50	455.00	506.00
	R ₉₁ C ₉	72	465.00 ^b	35.40	25.00	147.30	782.70	440.00	490.00
KHY zamanı (dk.)	Kontrol	72	64.33 ^a	0.94	0.67	55.81	72.83	63.60	65.00
	R ₉₇ C ₃	72	73.00 ^b	1.41	1.00	60.29	85.70	72.00	74.00
	R ₉₄ C ₆	72	69.75 ^b	2.12	1.50	50.69	88.80	68.25	71.25
	R ₉₁ C ₉	72	65.25 ^a	2.47	1.75	43.01	87.48	63.50	67.00
AKY (lüks)	Kontrol	72	309.00 ^a	2.82	2.00	283.58	334.41	307.00	311.00
	R ₉₇ C ₃	72	254.40 ^b	2.68	1.90	230.25	278.54	252.50	256.30
	R ₉₄ C ₆	72	269.71 ^{bc}	4.18	2.96	232.10	307.32	266.75	272.67
	R ₉₁ C ₉	72	276.08 ^c	10.48	7.41	181.86	370.30	268.67	283.50
KKY (lüks)	Kontrol	72	302.42 ^a	24.86	17.58	79.04	525.79	284.84	320.00
	R ₉₇ C ₃	72	266.81 ^a	3.26	2.31	237.45	296.16	264.50	269.12
	R ₉₄ C ₆	72	274.31 ^a	8.49	6.00	198.01	350.61	268.31	280.32
	R ₉₁ C ₉	72	284.71 ^a	7.24	5.12	219.65	349.76	279.59	289.83
KHY (lüks)	Kontrol	72	302.57 ^a	19.19	13.57	130.14	474.99	289.00	316.14
	R ₉₇ C ₃	72	271.00 ^a	8.48	6.00	194.76	347.23	265.00	277.00
	R ₉₄ C ₆	72	276.21 ^a	8.78	6.21	197.246-	355.18	270.00	282.43
	R ₉₁ C ₉	72	283.50 ^a	10.60	7.50	188.20	378.79	276.00	291.00
Ağırlık kaybı %	Kontrol	72	96.35 ^a	0.07	0.05	95.71	96.98	96.30	96.40
	R ₉₇ C ₃	72	95.60 ^a	0.14	0.10	94.32	96.87	95.50	95.70
	R ₉₄ C ₆	72	94.10 ^b	0.42	0.30	90.28	97.91	93.80	94.40
	R ₉₁ C ₉	72	93.25 ^c	0.35	0.25	90.07	96.42	93.00	93.50

N: Örnek sayısı. * 95% güven aralığı ortalama için ANOVA. a,b,c aynı harf olan değerler anlamlı olarak farklı değildir (Duncan's test).

Bu yanma testi esnasında ölçümlen değerler; AKY (sıcaklık ve lüks), KKY (sıcaklık ve lüks), KHY (sıcaklık ve lüks), KHY lüks, İYB (sıcaklık, zamanı ve lüks), TY (sıcaklık, zamanı ve lüks), KHYS (dakika) ve Ağırlık kaybı verileri çizelge 4'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. Kalsit katkılı levhaların yanma esnasında yanma ölçüm değerleri

MDF levha	MDF levhaların yanma test sonuçları													
	AKY ORT.		KKY ORT.		KHY ORT		İYB ORT			TY		KHYS	Ağırlık	
	sıcaklık (°C)	(lüks)	sıcaklık (°C)	(lüks)	sıcaklık (°C)	(lüks)	sıcaklık (°C)	zaman (sn)	(lüks)	sıcaklık (°C)	zaman (sn)	(lüks)	dakika (dk)	kaybı (%)
Kontrol	560.21	309.00	662.58	302.42	652.57	302.57	654	150	321.00	614.00	540	301.00	64.33	96.40
R ₉₇ C ₃	551.17	254.42	652.31	266.81	490.00	271.00	700	270	268.00	490.00	525	271.00	73.00	95.60
R ₉₄ C ₆	545.13	269.71	624.66	274.31	480.50	276.21	618	240	277.50	457.50	645	276.50	69.75	94.10
R ₉₁ C ₉	541.88	276.08	609.57	284.71	465.00	283.50	586	180	284.50	450.00	630	283.50	65.25	93.30

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çizelge3'e göre kalsit katkılı levhaların kendi arasında istatistiksel bir anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının AKY sıcaklıkları (560.21 °C) ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının (551.16 °C) AKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %1.64 AKY sıcaklığı azalmaktadır. R₉₄C₆ levhasının (545.12 °C) AKY

sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %1.76 AKY sıcaklığı azalmaktadır. R₉₁C₉ (541.87 °C) AKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %3.38 AKY sıcaklığı azalmakta ve levhanın yanmaya karşı dirençli olduğu tespit edilmiştir. Orta yoğunlukta lif levhalarında inorganik mineral miktarı arttıkça AKY sıcaklığı azalmaktadır. Bundan dolayı MDF üretiminde kullanılan Kalsit inorganik minerallerin bünyelerinde ısıyı absorbe ettiği ve yanmaya karşı dirençli olduğu görülmektedir. Orta yoğunlukta lif levhaların yanmaya karşı direnç göstermesinin inorganik minerallerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. KKY sıcaklığının SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. İstatistik analizlere göre kalsit katkılı levhalar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının KKY sıcaklığı Kontrol (662.57 °C) ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası (652.31 °C) KKY sıcaklığı ölçülmüş ve kontrol levhasına göre %1.57 KKY sıcaklığı yanmaya karşı direnç göstermektedir. Kontrol (624.66 °C) KKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %6.06 KKY sıcaklığı yanmaya karşı direnç göstermektedir. R₉₁C₉ (609.56 °C) KKY sıcaklığı ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %8.69 KKY sıcaklığı levhada yanmaya karşı dirençlidir. KKY sıcaklığı test sonucu R₉₇C₃ (652.31 °C), R₉₄C₆ (624.66 °C), R₉₁C₉ (609.56 °C), KKY belirtilmektedir. KKY sıcaklık değerinin düşmesi Kalsit inorganik minerallerinin kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

KHY sıcaklığının SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. Bu istatistik analizlere göre; kalsit katkılı levhalar (R₉₇C₃, R₉₄C₆, R₉₁C₉) ve kontrol numuneleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. KHY sıcaklığı testi sonucu sırasıyla kontrol levhası için 652.57 °C, R₉₇C₃ için 490.00 °C, R₉₄C₆ için 480.50 °C, R₉₁C₉ için 465.00 °C olarak test edilmiştir. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre KHY sıcaklığı %33.17 azaldığı gözlemlenmiştir.

R₉₄C₆ levhasının KHY sıcaklığı kontrol levhasına göre %35.81 KHY sıcaklığı azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası KHY sıcaklığı kontrol levhasına göre %40.33 yanma karşı direnç göstermiştir.

KHY zaman SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre bu değer için gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlenmiştir. Kontrol levhasının KHY zaman 64.33 dakikadır. R₉₇C₃ levhasının KHY zamanı 73 dk ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %13.47 KHY zamanı artmaktadır. R₉₄C₆ levhası KHY zamanı 69.75 dk ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %8.42 KHY zamanı artmaktadır. R₉₁C₉ levhası KHY zamanı 65.25 dk ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %1.40 KHY zamanı artmaktadır. Kalsit inorganik miktarı arttıkça MDF yanma süresini uzatmaktadır.

AKY ışık yoğunluğu (lüks) SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. AKY ışık yoğunluğu; kontrol, R₉₇C₃ ve R₉₄C₆, R₉₄C₆ ve R₉₁C₉, arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamaktadır. AKY lüks deney sonuçları sırasıyla kontrol (309.00 lüks), R₉₇C₃ (254.40 lüks), R₉₄C₆ (269.71 lüks), R₉₁C₉ (276.08 lüks) şeklinde bulunmuştur. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %21.46 AKY lüks azalmaktadır. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %14.56 AKY ışık yoğunluğu azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %11.92 AKY lüks azalmaktadır. Orta yoğunlukta lif levhalarında kalsit inorganik dolgu miktarı arttıkça AKY ışık yoğunluğu azalmakta ve koyu duman çıkmaktadır. Böylece ışık yoğunluğu azalmaktadır.

KKY lüks değerinin SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. Bu istatistik analizlere göre; kalsit katkılı levhalar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının 302.42 lüks KKY ışık yoğunluğu ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının 266.81 lüks KKY lüks ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhası kontrol levhasına göre %13.34 KKY lüks azalmaktadır. R₉₄C₆ levhası KKY lüks değeri 274.31 lüks ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %10.24 KKY lüks değeri azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası KKY lüks 284.31 lüks değeri ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %6.36 KKY lüks değeri azalmaktadır. Sonuçlara göre kalsit katkılı MDF kendi kendine yanarken koyu duman azalmaktadır ve ışık yoğunluğu artmakta olduğu anlaşılmaktadır.

KHY lüks değerinin SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. Bu istatistik analizlere göre; kalsit katkılı levhalar arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının (302.57 lüks) KHY ışık yoğunluğu ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının KHY ışık yoğunluğu 271.00 lüks ölçülmüş ve kontrol levhasına göre %11.64 KHY lüks azalmaktadır. R₉₄C₆ levhasının KHY ışık yoğunluğu 276.21 lüks ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %9.54 KHY lüks azalmaktadır. R₉₁C₉ levhasının KHY (283.50 lüks) ışık yoğunluğu ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %6.72 KHY lüks değeri azalmaktadır. Sonuç olarak kalsit miktarı arttıkça KHY ışık yoğunluğu azalmaktadır. Dolayısıyla yanma esnasında koyu duman az miktarda oluştuğu belirlenmiştir.

Ağırlık kaybı SPSS sonuçları çizelge 3'te gösterilmektedir. İstatistik analize göre kalsit katkılı levhalar kontrol ve R₉₇C₃, R₉₄C₆, R₉₁C₉ arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. Kontrol levhasının ağırlık kaybı %96.35 ölçülmüştür. R₉₇C₃ levhasının %95.60 ağırlık kaybı ölçülmüş ve kontrol levhasına göre %0.78 ağırlık kaybı azalmaktadır. R₉₄C₆ levhası %94.10 ağırlık kaybı ölçülmüştür. R₉₄C₆ levhası kontrol levhasına göre %2.39 ağırlık kaybı azalmaktadır. R₉₁C₉ levhası %93.25 ağırlık kaybı ölçülmüştür. R₉₁C₉ levhası kontrol levhasına göre %3.37 ağırlık kaybı ölçülmüştür. Sonuçlara göre kalsit katkı miktarı arttıkça yanma sonucu kül miktarı artmaktadır.

Çizelge 4'te kalsit katkılı levhaların yanma test performanslarına ait İYB (sıcaklık, zaman, lüks), TY (zaman, lüks), KHYS (dk) değerleri verilmiştir. Bu test sonuçlarına göre; MDF levha içinde kalsit miktarı arttıkça TS (dk) arttığı görülmektedir. Fakat KHYS (dk) azaldığı ölçülmüştür. Kalsit miktarı %9 olan MDF levhalarının İYB sıcaklık süresinin uzadığı ve levhaların tutuşma süresi arttığı görülmektedir.

MDF üretiminde kalsit mineralleri kullanım üzerine yapılan bir çalışmada, üretimde kalsit mineralinin yüzdesi arttıkça fiziksel ve mekanik özellikler üzerinde olumsuz etki ettiğini ve MDF levha üretimi için kalsit mineralleri kullanım oranları (%3 ve %6) olması yönünde önerilerde bulunmuştur [10].

Laboratuvar ölçekli çalışmada, sırasıyla %10, %20 ve %30 oranlarında liflerin yerine kalsit ağırlık bazında (kuru/kuru) ve üç farklı hedef yoğunluğunda (550, 700 ve 850 kg/m³) MDF levhalarının üretimini

gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ağırlıkça %10'a kadar olan MDF levhalara mineral dolgu ilavesi, lif levhaların özellikleri üzerinde, eğer hiç değilse, sadece küçük bir etkiye sahip olduğunu ve kalsitin reçinenin kürlenmesinde mukavemet gelişimi ve kalınlık şişmesi üzerinde herhangi bir etkisi olmadığını ifade etmişlerdir [16].

Özetle; bu çalışma ile MDF üretiminde, kalsit mineralinin yangına karşı direnç sağlayıcı alternatif inorganik mineral olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

5. ÖNERİLER

Deneylerde, kalsit mineral miktarı arttıkça yanmaya karşı direnci artmaktadır. Özellikle %9 kalsit katkılı levhaların AKY sıcaklığında %3.38, KKY sıcaklığında %8.69 ve KHY sıcaklığında %40.33 oranında yanmaya karşı direnç göstermektedir. Kalsit katkılı MDF levhalarının yanma test sonuçlarına göre, kalsit minerali MDF üretimine yangına karşı direnç oluşturmamasından dolayı üretimde uygun olduğu görülmüştür. Kalsit MDF üretiminde yangın geciktirici olarak değerlendirilmesi mümkündür. MDF üretiminde ülkemizin yeraltı zenginliklerinden kalsit mineralleri yangına karşı direnç sağlayıcı kimyasallara karşı alternatif kaynak olarak kullanılabilmesi bu çalışma ile ortaya koyulmuştur. Kalsit katkılı MDF levhaları özellikle yangın riski çok fazla olan iç mekân mutfak mobilyalarının imalatında kullanılması mümkündür.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit oranlı katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Teşekkür

Bu çalışma Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından San-Tez 00653.STZ.2010-2 olarak desteklenmiştir. T.C. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, T.C. Gazi Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği ve Divapan Entegre AŞ firmasının katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] ASTM E 160–50, Standard test method for combustible properties of treated wood by the crib test, 1976.
- [2] A. İstek, D. Aydemir, H. Eroğlu, “Combustion properties of medium-density fiberboards coated by a mixture of calcite and various fire retardants” *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 37: 642-648 © TÜBİTAK, 2013.
- [3] A. Dönmez Çavdar, S. Boran Torun, M. Ertas ve F. Mengelöglu, “Ammonium zeolite and ammonium phosphate applied as fire retardants for microcrystalline cellulose filled thermoplastic composites,” *Fire Safety Journal* 107, 202-209. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.11.008, 2019.
- [4] A. Ozcıfı, H. Toker, E. Baysal, “Fire properties of laminated veneer lumber treated with some fire retardants” *Wood Research* 52(4): pages: 37-46, 2007.
- [5] A.P.S. Silva, B.S. Ferreira, H.R. Favarim, M.F.F. Silva, J.V.F. Silva, M.A. Azambuja and C.I. Campos, “Physical properties of medium density fiberboard produced with the addition of ZnO nanoparticles,” *BioResources* 14(1), 1618-1625. DOI: 10.15376/Biores.14.1.1618-1625, 2019.
- [6] M. Usta ve D. Ustaömer, “Boron compounds for MDF”, *BioResources*, 7(1), 437-446, (2012).
- [7] Faostat, “Forestry Production and Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations”, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, Accessed: 24.01.2020.
- [8] G.Tondi, L. Haurie, S.Wieland, “Comparison of disodium octaborate tetrahydrate-based and tannin-boron-based formulations as fire retardant for wood structures,” *Fire and Materials* 38(3), 381-390, 2014.
- [9] H. Hafızoglu, M.K. Yalinkilic, U.C. Yildiz, E. Baysal, H. Peker, Z. Demirci, “Utilization of Turkey’s Boron Reserves in Wood Preservation Industry” Project of Turkish Science and Tech. Council (TUBITAK), Code: TOAG-875, 377 pp (in Turkish), 1994.
- [10] H. Kalaycıoğlu, H.Yel, A. Dönmez Çavdar, “Wood wool cement boards and its applications” *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* 12 (1): 122-133, 2012.
- [11] H.R. Taghiyari, M.P. Behrooz, J.J. Morrell, “Effects of wollastonite on the properties of medium-density fiberboard (MDF) made from wood fibers and camel-thorn” *Maderas. Ciencia Y Tecnología* 18(1), 157 – 166, 2016.
- [12] J. Wang, F. Wang, Z. Gao, M. Zheng and J. Sun, J, “Flame retardant medium-density fiberboard

- with expanded vermiculite” *Bioresources* 11(3): 6940-6947, 2016.
- [13] M. Akgül, B. Uner, O. Çamlıbel, U. Ayata, “Manufacture of Medium Density Fiberboard (MDF) Panels From Agribased Lignocellulosic Biomass”. *Wood Research* 62 (4), 615-624, 2017.
- [14] O. Camlibel, ve M. Akgul, “Mechanical and physical properties of medium density fibreboard with calcite additive,” *Wood Research* 65 (2), 231-244, 2020.
- [15] S. LeVan, H.C. Tran, “The role of boron in flame retardant treatments. In: Proceedings of first international conference on wood protection with diffusible preservatives” First International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives: Nashville, Tennessee, November 28-30, 1990. Madison, WI: Forest Products Research Society, pp.39-41:ill.Publication Series: Miscellaneous Publication, 1990.
- [16] T. Ozyhar, T. Depnering, C. Ridgway, M. Welker, I. Schoelkopf., Mayer and H. Thoemen, “Utilization of inorganic mineral filler material as partial replacement for wood fiber in medium density fiberboard (MDF) and its effect on material properties,” *European Journal of Wood and Wood Products* 78(1), 75-84. DOI: 10.1007/s00107-019-01480-1,2020.
- [17] Y. Zuo, J. Xiao, J. Wang, W. Liu, X. Li, and Y. Wu, “Preparation and characterization of fire retardant straw/magnesium cement composites with an organic-inorganic network structure” . *Construction and Building Materials*. Vol.171 pp. 404–413, 2018.
- [18] TS 64-1 EN 622-1, “Lif levhalar özellikler-bölüm 1: genel özellikler”, TSE, Ankara, 2005.
- [19] TS 642-ISO 554, “Kondisyonlama ve/veya deney için standart atmosfer – özellikler”, TSE, Ankara, 1997
- [20] O. Çamlıbel ve M. Akgül, “The Utilizing Rock Salt of Inorganic Filler in Medium Density Fibreboard (MDF) Production,” *Kastamonu University., Journal of Forestry Faculty*, 20(2); 158-174, Doi: 10.17474/kastorman.801814, 2020.