

## Farklı Ortam Koşullarında Kompozit Mobilya Elemanlarından Kaynaklanan Formaldehit Emisyonunun Belirlenmesi

Hakan KESKİN<sup>1</sup>, \*Ahmet TEKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççılı Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, Ankara

\*Sorumlu Yazar: [ahmettekin8@mynet.com](mailto:ahmettekin8@mynet.com)

Geliş Tarihi: 16.03.2015

### Özet

Bu çalışmanın amacı, mobilya endüstrisinde kullanılan kompozit mobilya elemanlarından kaynaklanan formaldehit emisyonunu, farklı ortam koşullarında tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla deney örnekleri, sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky), Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), yonga levha, lif levha, suntalam, MDFlam, kavak kontrplak ve kayın kontrplaktan TS 2470'e (1976) göre hazırlanmıştır. Örneklerden yayılan formaldehit emisyonu değerleri TS EN 717-1 (2006) esaslarına göre 3 farklı ortam koşullarında gaz dedektörü kullanılarak ölçülmüştür. Formaldehit emisyon seviyesi değeri sarıçamdan hazırlanan lamine ağaç malzemedede (450.4 ppb), Doğu kayınından (414,3 ppb) daha yüksek çıkmıştır. Tabakalı ağaç malzemedede ise en yüksek yonga levhada (1725 ppb), en düşük kayın kontrplakta (392.5 ppb) tespit edilmiştir. Denemelerin yapıldığı ortam bakımından 3.ortamda (40°C Sıcaklık - %35 Rutubetli -Yaz ve Kuru Ortam) en yüksek (481.9 ppb), 1. ortamda (10°C Sıcaklık - %95 Nem - Kış ve Rutubetli Ortam) en düşük (390.1 ppb) formaldehit emisyonu ölçülmüştür. Kenarları açık deney örnekleri, kenarları kapalı örneklerden daha fazla formaldehit emisyonu yaymıştır. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığa sahip iç mekanlarda tabakalı ağaç malzeme kullanımı formaldehit emisyon seviyesini yükseltmektedir. Tabakalı ağaç malzeme yerine, üre-formaldehit oranı düşük tutkallı lamine masif ağaç malzeme kullanımı ve tabakalı ağaç malzeme kullanımından önce emisyonu azaltıcı işlemlere tabi tutulmasının iç mekân hava kalitesini artıracağı söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Formaldehit emisyonu, kompozit mobilya elemanı, tutkal, vernik

### Determination of VOC Emissions in Composite Components Furniture and Development of Emissions Reduction Processes

#### Abstract

The aim of this study was to investigate the formaldehyde emission sourced from composite furniture components used in furniture industry in different chamber conditions. For this purpose, oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky), scotch pine (*Pinus sylvestris* Lipsky), particleboard, fibreboard, MDFlam, melamine-coated chipboard, poplar plywood, and beech plywood samples were prepared according to TS 2470 (1976). Formaldehyde emission emitted from samples was determined as the principles of TS EN 717-1 (2006) in three different environments. Formaldehyde emission was measured using a gas detector. Results showed that the formaldehyde emission value in laminated scotch pine (450.4 ppb) was found higher than oriental beech (414.3 ppb). The highest formaldehyde emission in wood-based panels was determined in particleboard (1725 ppb); and the lowest in beech plywood (392.5 ppb). In term of test environment the highest emission value (481.9 ppb) was found in 3<sup>rd</sup> environment (40°C - humidity 35% - summer and dry); and the lowest (390.1 ppb) in 1<sup>st</sup> environment (10°C - humidity 95% - winter and humid). Uncoated - edge samples were emitted higher levels of formaldehyde emission than coated-edge samples. As a result, using wood-based panels inside with high temperature raise the formaldehyde emission levels. It can be said that using laminated wood with adhesive which is low urea-formaldehyhde rate and before using wood-based panel is treated reduce emission levels instead of wood-based panels increases indoor air quality.

**Keywords:** Formaldehyde emission, composite furniture component, adhesive, varnish

## Giriş

İlk dönemlerde ahşap malzeme doğada bulunduğu halde kullanılırken, son yıllarda artan ihtiyaçlara ve tüketim çeşitliliğine cevap verebilmek için ahşap esaslı levha kullanımı ön plana çıkmıştır. Yonga levha, lif levha, kontrplak, suntalam gibi ahşap esaslı levhaların üretiminde, ekonomikliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle bağlayıcı olarak kullanılan üre formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkallar formaldehit emisyonunun kaynağını oluşturmaktadır (Boran, 2010).

Bu levhaların üretimi ve kullanımı esnasında odun türü, reçine miktarı ve tipi, ilave maddeler (sertleştirici ve tutkallar) sebebiyle ortaya çıkan formaldehit emisyonu daha önceleri çok dikkate alınmayan ve standartlarda incelenmeyen formaldehitin insan sağlığı üzerine etkilerine dikkatleri çekmiş ve bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Tablo 1’de VOC (Uçucu Organik Bileşikler) emisyonunun kullanıcı sağlığına etkileri verilmiştir (Çolakoğlu, 1993; Taygun ve Balanlı, 2005).

Yapılan araştırmalarda 0,4 ppm’in altındaki emisyon rahatsızlık oluşturmamakta olup 3,5 ppm’in üzerindeki emisyon salınımı öksürük, nefes darlığı, göz yaşarması gibi rahatsızlıklara neden olmaktadır (Çolakoğlu, 1993). Öte yandan formaldehitin koku, tahriş ve dayanabilirlik sınırları yapılan çalışmalarda irdelenmiş, elde edilen sonuçlara göre formaldehit koku, tahriş ve dayanabilirlik sınırları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Formaldehit koku, tahriş ve dayanabilirlik sınırları

Etkiler	Sınır değerleri (mg/m <sup>3</sup> )
Koku Sınırı	0.15-0.30
Tahriş Sınırı	0.30-0.90
Dayanabilirlik Sınırı	0.90-60

Formaldehitten gaz zehirlenmeleri, formaldehitin keskin kokusundan dolayı kolay fark edilebilir olmasının etkisiyle çok nadirdir. Ancak % 35’lik formaldehit çözeltisinden ağız yoluyla 10-15 ml alınması insanı öldürebilmektedir (Kurtoğlu ve Uçar, 1986).

Ahşap esaslı levha kaynaklı formaldehit emisyonu iki şekilde değerlendirilebilmektedir. Bu durumlardan

birincisi levhaların üretimi esnasında ortaya çıkan formaldehit salınımı; ikincisi ise ahşap levhaların kullanıldığı ortamlarda ortaya çıkan formaldehit salınımıdır. Üretim esnasında ortaya çıkan formaldehit salınımını azaltma girişimleri; kullanılan tutkal miktarının azaltılması, sertleştirici olarak amonyak tuzlarının kullanılması ve üretimde kullanılacak ahşap malzemenin nitrik asit ile emprenye edilmesi şeklinde sıralanabilir. Üretim anında ortaya çıkan formaldehit salınımı azaltmak, üreticinin alacağı önlemlere bağlı olup, kullanım esnasında ortaya çıkabilecek formaldehit salınımını da doğrudan etkileyebilmektedir (Nemli, 1995). Kullanım anında ortaya çıkan formaldehit emisyonunu azaltmak için ise, odanın havalandırılması, odanın amonyak ile gazlandırılması ve formaldehit kaynağı ürünlere formaldehit bağlayıcı yüzey işlemleri uygulanmasıdır (Kurtoğlu ve Uçar, 1986).

Ankara’da 25 evden toplanan 309 iç ortam hava örneğinde formaldehit emisyon seviyelerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, iç ortam formaldehit konsantrasyonunun geniş bir aralıkta (6.5-540 µg/m<sup>3</sup>) değiştiği ortaya konulmuştur. Sigara içilen evlerdeki formaldehit konsantrasyonunun daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca evin yaşının, iç ortamın sıcaklığının, bağıl nemin ve ahşap eşyaların yoğunluğunun da formaldehit konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu açıklanmıştır (Menteşe ve Güllü, 2005).

Formaldehit emisyonunun sıcaklığa, bağıl neme, hava değişim düzeyine ve endojen (ağaç türleri, bağlayıcı seviyesi, bağlayıcı tipi, üretim koşulları vb.) faktörlere bağlı olduğunu vurgulan diğer bir çalışmada, ahşap panellerin yaşlanması ile formaldehit salınımının müthiş şekilde düştüğü ifade edilmiştir (Roffael, 2006).

Üretiminde farklı mol oranlarında üre-formaldehit (UF) kullanılan yonga levhaların yaydığı formaldehit emisyonu ile mol oranının doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir (Que ve ark., 2007). Çin’de yapılan bir başka çalışmada, ahşap esaslı panellerden kaynaklı formaldehit emisyonunun birincil nedeninin panel üretiminde kullanılan üre formaldehit reçine olduğu vurgulanmış, formaldehit emisyonu

Tablo 1. Bazı yapı ürünlerinden kaynaklanan kirleticiler ve kullanıcı sağlığına etkileri

Kirletici çeşidi	Kirleticinin bulunduğu yapı ürünü	Kullanıcı sağlığına etkileri	
VOC	Benzen	Mobilyalar, boyalar, kaplamalar	Kanser
	Formaldehit	Kontrplak, halı ve laminat yapıştırıcıları, boyalar, yalıtım ürünleri	Göz yanması ve yaşarması
	Tolien	Yapıştırıcılar, döşeme kaplamaları, boyalar	Bitkinlik, koordinasyon bozukluğu, uykusuzluk, göz rahatsızlıkları
Asbest	Yalıtım ürünleri, bazı döşeme ve tavan kaplamaları, eski sıvalar	Asbestosis, akciğer kanseri, mezotelyoma, plevra tümörü	
Radon	Beton, tuğla, granit, alçı, agrega	Akciğer kanseri	
Polivinilklorür (PVC)	Doğrama profilleri, kaplama, çatı örtüsü, duvar kâğıdı, boru oluk, elektrik döşemesi	Baş dönmesi, bitkinlik, baygınlık, baş ağrısı, bulantı, gözlerde yanma, uyku düzensizliği, bellek yitimi, işitme bozuklukları, sinirlilik, deride kalınlaşma, parmak ucu kemiklerde değişiklikler, parmaklarda kan dolaşımının bozulması, çarpıntı, kalp krizi, bağışıklık sistemi zayıflığı, üreme organları bozukluğu, karaciğer, akciğer, mide, beyin, kan ve lenf kanseri	

oranı ile reçine yapısındaki formaldehit içeriği arasında doğrusal bir ilişki olduğu gösterilmiştir (He ve ark., 2012).

Bu çalışmada, ahşap esaslı kompozit mobilya malzemelerinden açığa çıkan ve insan sağlığı için olumsuz etkileri fazla olan ve hemen hemen insanın bulunduğu tüm yaşam alanlarında karşılaştığı formaldehit emisyonunun ülkemiz iklim şartlarını simüle edecek şekilde çeşitli ortam şartlarında ölçülmesi planlanmıştır. Bu amaçla, meteorolojik veriler ışığında 3 çeşit ortam sıcaklığı ve nem belirlenmiştir. Bu üç ortamın ülkemiz iklim şartlarının özelliklerini taşımasına dikkat edilmiştir.

## Materyal ve Metod

### Ağaç Malzeme

Lamine deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan Sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Ankara'daki kereste işletmelerinden tamamen tesadüfi metotla

temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde kerestenin kusursuz olmasına, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Tabakalı ağaç malzemeler, 2013 yılı nisan ayı içinde üretilen ve aynı süre depoda beklemiş ürünler arasında tesadüfi seçilmiştir. Lamine deney örnekleri de aynı zamanda üretilmiş ve aynı süre ve şartlarda depolanmıştır.

### Lamine Masif Ağaç Malzeme

Lamine ağaç malzeme üretiminde endüstride yaygın kullanılan 2 çeşit (üre formaldehit (UF) ve fenol formaldehit (FF)) tutkal kullanılmıştır. Vernikleme içinde selülozik vernik kullanılmıştır. Verniklenmiş örnekler (VL), verniksiz örnekler (VZ) şeklinde sembolize edilmiştir.

### Formaldehit Emisyonu Tespiti

Formaldehit emisyonunun tespitinde fotoiyonize teknolojisi ile çalışan

formaldehit dedektörü kullanılmıştır. Fotoiyonize dedektör, yüksek enerjili fotonlarla molekülleri kırarak pozitif yüklü iyonlar haline dönüştürmektedir. UV ışığı ile bombardımana uğrayan formaldehit molekülünün iyonizasyon potansiyeli fotonun enerjisinden daha düşük olmasından dolayı, kırılarak pozitif iyonlar oluşmaktadır. Oluşan bu iyonların bir elektrotta toplanarak amplifiye edilmesi ile okuyucuya gönderilen akım, değer olarak (ppm (parts per million) veya ppb (parts per billion)) cihaz ekranından okunabilmektedir. Şekil 1 ve Şekil 2’de deneylerde kullanılan cihaz ve test kabini verilmiştir. Test kabini farklı sıcaklık ve nem koşulları oluşturulmuştur. Nem ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde Türkiye’deki uzun yıllar maksimum sıcaklık değerleri ile ortalama sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Deneyler 1.Ortam (10°C Sıcaklık - %95 Nem (Kış ve Rutubetli Ortam)); 2.Ortam (20°C Sıcaklık - %65 Nem (Bahar ve Ilık Ortam)) ve 3.Ortam (40°C Sıcaklık - %35 Nem - Yaz ve Kuru Ortam) olmak üzere 3 çeşit ortamda gerçekleştirilmiştir. Deneye başlamadan önce ortam parametreleri ayarlanılarak cihaz bir gün boyunca çalıştırılmış; her bir deney ortamı için cihaz içinde formaldehit emisyonu olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan ölçümlerde formaldehit emisyonunun 0,005 ppm’in altında (1.ortamda 0,0035 ppm, 2.ortamda 0,0039 ppm, 3.ortamda 0,0045 ppm) olduğu görülmüştür. Deney öncesi paketlenmiş her bir örnek, deneye başlamadan hemen önce paketten çıkarılarak deney odasının merkezine hava akışına paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Standartta 1 m<sup>3</sup>’lük oda için 2 adet numune yerleştirilmesi istenmiş, çalışmada kullanılan odanın hacmi 0,6 m<sup>3</sup> olduğu için 1 numune yerleştirilmiştir. Ayrıca kenar kaplaması ile yüzey alanı oranı (U/A= 1,5 m/m<sup>2</sup>) çalışmada farklı özelliklerde numuneler denendiği için uygulanmamıştır. Deney ortamında havaya karışan formaldehit emisyonu günde 3 defa ölçülmüş, alınan değerlerin ortalaması o numunenin formaldehit emisyon değeri olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ile denge durumu tespit edilmiştir. Denge durumu, en son ölçülen değer ile bu

değerden 3 gün önceki ortalama değer arasındaki azalmanın % 5’ e eşit ya da daha az olması halinde gerçekleşmiştir. Denge durumu tayini aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (TS EN 717-1, 2006).

$$[(ct - ct + 72) / ct + 72] \leq \delta \quad (1)$$

Burada;

ct, ct+72 = t ve t+72 sürelerindeki formaldehit konsantrasyonu.

t = Deneyin devam ettiği süreler (saat).

δ=Konsantrasyonda kabul edilen düşüş.

Her bir numune için denge durumuna gelindiğinde deney sonlandırılmıştır. Her bir ağaç malzeme için hazırlanan 13 adet örneğe ait formaldehit emisyonu değerleri bu şekilde belirlenmiştir.

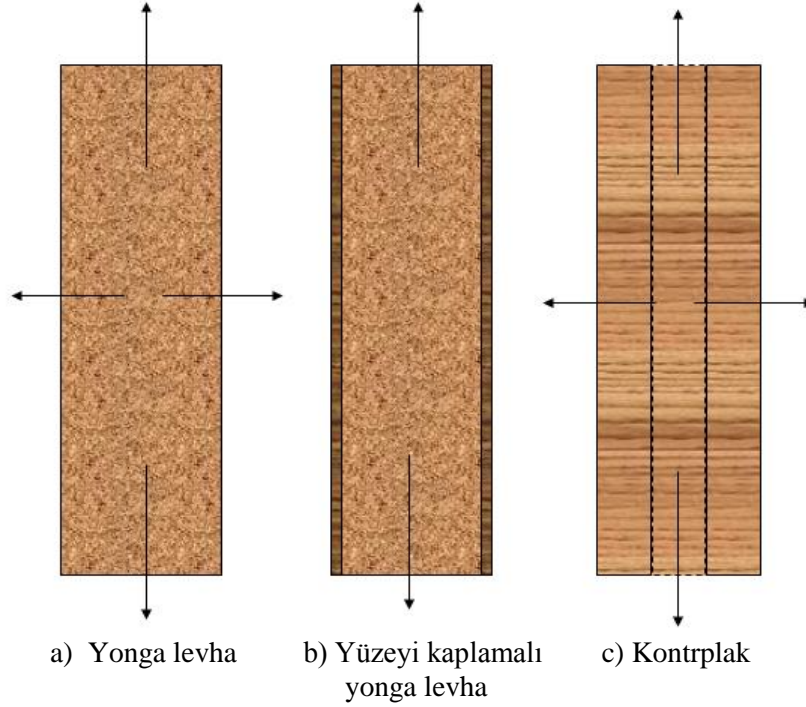


Şekil 1. Gaz dedektörü



Şekil 2. Test kabini

Kompozit mobilya elemanlarından yayılan formaldehit emisyon yönlerine ilişkin gösterim Şekil 3'de verilmiştir (Çolak, 2002).



Şekil 3. Formaldehit emisyonu çıkış yönleri

#### **Deney Örneklerinin Hazırlanması**

Seçilen Sarıçam (Ç) ve Doğu kayını (K) birinci sınıf kerestelerin yıllık halkaların yüzeye dik gelen bölgelerinden TS 2470 (1976) esaslarına göre parçalar kesilerek  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $\% 65\pm 5$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Bu şartlarda  $\% 8-12$  rutubetlere kadar kurutulduktan sonra  $500\times 500\times 18$  mm ölçülerinde düz birleştirme yöntemi ile lamine edilmiştir. Masif malzeme dışındaki örnekler de, Ankara'daki ahşap levha üreticilerinden karşılanmıştır. Tabakalı ağaç malzemeler yonga levha (YL), lif levha (MDF), MDFlam (KMDF), suntalam (KYL), kenarı kaplamalı MDF (KMDFk), kenarı kaplamalı suntalam (KYLk), kavak kontrplak (Kkv), kayın kontrplak (Kky) olarak kategorize edilmiştir.  $500\times 500$  ebatlarında kesilen örneklerin tamamı deney yapılıncaya kadar streç filmle sıkıca sarılarak bekletilmiştir. Şekil 4'de deney örneklerinden bazıları verilmiştir.



Lamine ağaç malzeme



Yonga levha



Kontrplak

Şekil 4. Bazı deney örnekleri

### Deney Örneklerinin Verniklenmesi

Vernikleme işleminde ASTM-D 3023 (1998) esaslarına uyulmuştur. Endüstride uygulanma biçimine göre selülozik vernik  $120 \pm 5$  gr /m<sup>2</sup> olacak şekilde 2 kat dolgu vernik, ardından 1 kat son kat parlak vernik uygulanmıştır. Vernikleme işlemleri arasında üretici firmanın ön gördüğü süre kadar beklenmiştir. Vernikleme işlemlerinde 1. kat dolgu verniğinden sonra 220 nolu zımpara, 2. Kat dolgu verniğinden sonra ise 400 nolu zımpara kullanılmıştır. Vernikleme işleminin ardından deney örnekleri 12 saat süreyle  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $\%65 \pm 5$  bağıl nem koşullarında kurutulmuştur (Özdemir, 2003).

Hazırlanan örneklerin ortama yaydıkları formaldehit emisyon miktarları üzerine ağaç türü, tutkal çeşidi, vernik işlemi, faklı nem ve sıcaklıktaki ortam çeşitleri ve bunlarının etkileşimini tespit etmek için MSTAT-C (versiyon 1.4) istatistik programında çoklu varyans analizi (MANOVA) yapılmıştır. Varyans analizi sonucu anlamlı ilişki olması halinde DUNCAN testi yapılmıştır. Böylece, denenen faktörlerin birbirleri arasındaki başarı sıralamaları, en küçük önemli fark (LSD) kritik değerine göre homojenlik gruplarına ayrılmak suretiyle belirlenmiştir.

### Bulgular

Lamine deney örneklerinde belirlenen formaldehit emisyonuna ait genel istatistiksel değerler Tablo 3’de verilmiştir. Lamine ağaç malzeme örneklerinde kullanılan tutkal çeşidinin, vernikli ve verniksiz durumda, faklı nem ve sıcaklık ortamlarındaki, formaldehit emisyonuna ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Tablo 4’de verilmiştir

Tablo 3. Lamine deney örneklerine ait formaldehit emisyonu değerleri (ppb)

İstatistik Değ.	Sarıçam				Doğu kayını				
	UF×VZ	UF×VL	FF×VL	FF×VZ	UF×VZ	UF×VL	FF×VL	FF×VZ	
1. Ortam	x	407.76	443.15	428.46	352.76	384.23	414.30	403.15	286.61
	s	5.19	3.10	1.15	2.72	1.92	1.89	1.87	1.86
	v	29.19	10.47	1.43	8.02	4.02	3.89	3.80	3.75
	(s <sup>2</sup> )	399	438	427	349	381	410	400	284
	min	415	448	431	358	388	417	406	290
	max	13	13	13	13	13	13	13	13
	N								
2. Ortam	x	440.30	483.23	452.15	372.46	416.61	456.76	439.76	339.84
	s	2.75	2.42	1.91	1.64	1.98	2.25	1.92	2.68
	v	8.23	6.35	3.97	2.93	4.25	5.52	4.02	7.80
	(s <sup>2</sup> )	435	480	449	370	413	452	435	335
	min	448	487	457	375	420	460	442	345
	max	13	13	13	13	13	13	13	13
	N								
3. Ortam	x	502.46	539.30	521.76	461	439.30	517.07	475.76	398.53
	s	2.30	3.74	2.60	2.35	2.16	3.85	2.51	2.64
	v	5.76	15.23	7.35	6	5.06	16.07	6.85	7.60
	(s <sup>2</sup> )	499	532	518	458	435	510	471	394
	min	508	548	526	465	442	524	479	403
	max	13	13	13	13	13	13	13	13
	N								

Tablo 4. Lamine ağaç malzeme çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P $\alpha \leq 0.05$
Ağaç Türü(A)	1	101556.542	101556.542	14391.6613	0.0000
Tutkal(B)	1	141952.003	141952.003	20116.1355	0.0000
A×B	1	1856.157	1856.157	263.0375	0.0000
Vernik(C)	1	322503.080	322503.080	45702.1776	0.0000
A×C	1	6327.003	6327.003	896.6048	0.0000
B×C	1	32800.003	32800.003	4648.1155	0.0000
A×B×C	1	1127.080	1127.080	159.7195	0.0000
Ortam(D)	2	447399.365	223699.683	31700.6666	0.0000
A×D	2	7963.583	3981.792	564.2630	0.0000
B×D	2	2332.545	1166.272	165.2734	0.0000
A×B×D	2	1568.429	784.215	111.1317	0.0000
C×D	2	80.468	40.234	5.7016	0.0037
A×C×D	2	1423.506	711.753	100.8631	0.0000
B×C×D	2	9206.853	4603.426	652.3553	0.0000
A×B×C×D	2	4188.737	2094.369	296.7947	0.0000
Hata	288	2032.308	7.057		
Toplam	311	1084317.663			

Varyans kaynaklarının formaldehit emisyonuna etkileri bakımından gruplar arası farklılık istatistik anlamda önemli çıkmıştır ( $\alpha \leq 0,05$ ). Farklılıkların gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan DUNCAN testi sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Ağaç türü, tutkal çeşidi, vernik işlemi ve deney ortamı etkileşimine göre ortalama formaldehit emisyonu değerleri (ppb)

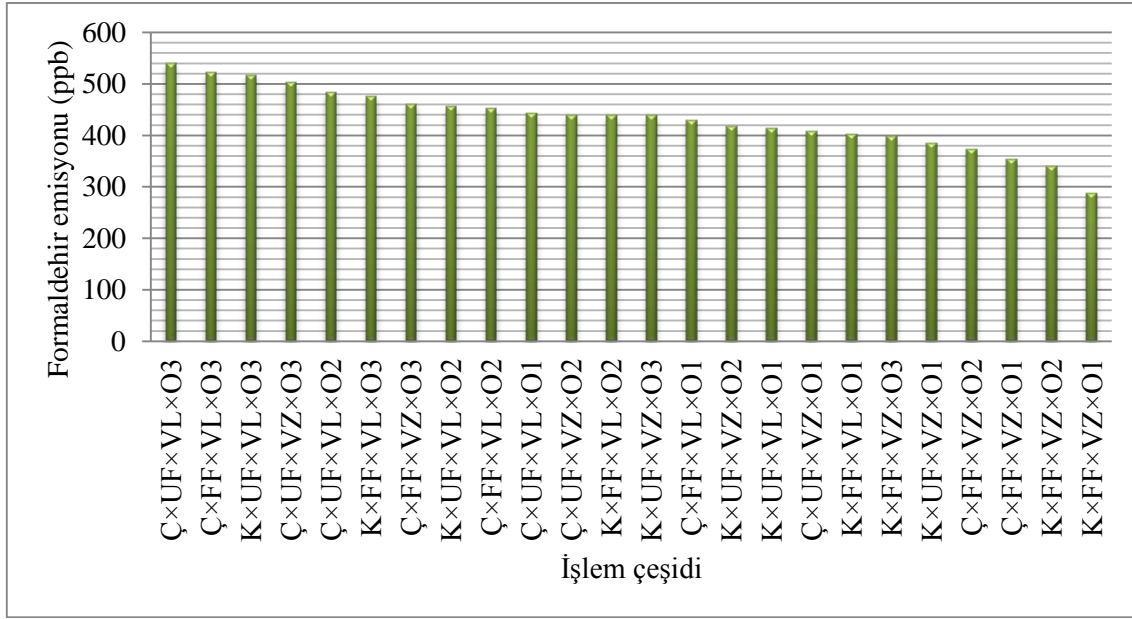
İşlem çeşidi	X	HG	İşlem çeşidi	X	HG
Ç×UF×VL×O3	539.3	A	K×UF×VZ×O3	439.3	K
Ç×FF×VL×O3	521.8	B	Ç×FF×VL×O1	428.5	L
K×UF×VL×O3	517.1	C	K×UF×VZ×O2	416.8	M
Ç×UF×VZ×O3	502.5	D	K×UF×VL×O1	414.1	N
Ç×UF×VL×O2	483.2	E	Ç×UF×VZ×O1	407.8	O
K×FF×VL×O3	475.8	F	K×FF×VL×O1	402.8	P
Ç×FF×VZ×O3	461.2	G	K×FF×VZ×O3	398.5	Q
K×UF×VL×O2	456.5	H	K×UF×VZ×O1	384.5	R
Ç×FF×VL×O2	452.2	I	Ç×FF×VZ×O2	372.5	S
Ç×UF×VL×O1	443.2	J	Ç×FF×VZ×O1	352.8	T
Ç×UF×VZ×O2	439.7	K	K×FF×VZ×O2	339.8	U
K×FF×VL×O2	439.3	K	K×FF×VZ×O1	286.8	V

LSD:  $\pm 2.166$

DUNCAN testi sonuçlarına göre, en yüksek formaldehit emisyonu üre formaldehit tutkal kullanılarak lamine edilmiş vernikli sarıçam örneklerinin 3. Ortamda (539.3 ppb) ölçülmüştür. En düşük emisyon ise fenol formaldehit tutkal kullanılarak lamine edilmiş

verniksiz Doğu kayını örneklerinin 1. Ortamda (286.8 ppb) ölçülmüştür. Ağaç türü, tutkal, vernik ve ortam etkileşimine göre belirlenen formaldehit emisyonu değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir.





Şekil 5. Ağaç türü, tutkal çeşidi, vernik işlemi ve deney ortamı etkileşimine göre ortalama formaldehit emisyonu değerleri

Tabakalı ağaç malzemeye ait formaldehit emisyonuna ait genel istatistiki değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Tabakalı ağaç malzemenin, farklı nem ve sıcaklıklara sahip deney ortamlarında elde edilen formaldehit emisyonuna ilişkin çoklu varyans analizi Tablo 7'de verilmiştir

Tablo 6. Tabakalı ağaç malzeme örneklerinin formaldehit emisyonuna ait istatistik değerleri (ppb)

İstatistik Değ.	Tabakalı Malzemeler								
	YL	MDF	KYL	KMDF	KYLk	KMDFk	Kkv	Kky	
1. Ortam	x	812.53	746.46	630.76	579.46	545.38	535.38	445.38	392.61
	s	1.78	1.73	1.52	3.07	2.73	2.58	2.30	1.77
	v (s <sup>2</sup> )	3.17	3.26	2.52	10.26	8.08	7.25	5.75	3.42
	min	809	743	628	574	540	530	441	390
	max	815	749	633	585	549	539	448	395
	N	13	13	13	13	13	13	13	13
2. Ortam	x	1244.61	1031.15	851.53	702.07	691.15	683.69	602.53	457.3
	s	2.46	2.31	1.33	2.05	1.74	2.39	1.69	2.01
	v (s <sup>2</sup> )	6.08	5.80	1.93	4.57	3.30	6.23	3.10	4.39
	min	1240	1028	849	698	688	681	599	453
	max	1249	1035	854	705	694	690	605	460
	N	13	13	13	13	13	13	13	13
3. Ortam	x	1725.07	1610.07	1251.3	1031.76	961.15	792.61	942	604.53
	s	4.58	3.51	2.12	2.22	1.79	2.89	2.44	2.64
	v (s <sup>2</sup> )	20.99	13.41	4.89	5.35	3.47	9.08	6.5	7.60
	min	1718	1604	1248	1029	958	786	938	601
	max	1732	1615	1254	1035	964	796	946	609
	N	13	13	13	13	13	13	13	13



Tablo 7. Tabakalı ağaç malzeme çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P $\alpha \leq 0.05$
Malzeme(A)	7	18342250.638	2620321.520	4793.5006	0.0000
Ortam(B)	2	14521195.583	7260597.792	13282.2173	0.0000
A×B	14	3251046.160	232217.583	424.8086	0.0000
Hata	288	157432.462	546.640		
Toplam	311				

Tabakalı ağaç malzemenin, farklı nem ve sıcaklık ortamlarında, formaldehit emisyonu salınımına etkileri istatistiksel anlamda önemli çıkmıştır( $\alpha \leq 0.05$ ). Farklılıkların

gruplar arasında önem derecesini belirlemek için yapılan DUNCAN testi sonuçları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Tabakalı ağaç malzeme türü ve deney ortamı etkileşimine göre ortalama formaldehit emisyonu değerleri (ppb)

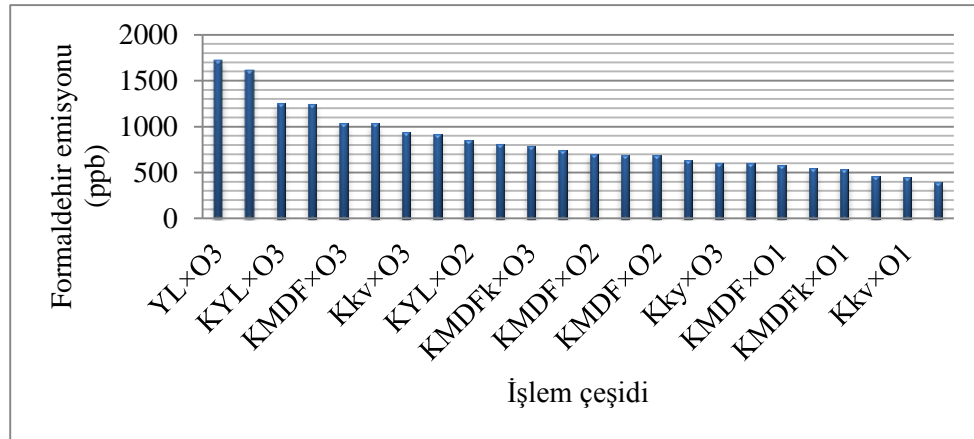
İşlem çeşidi	X	HG	İşlem çeşidi	X	HG
YL×O3	1725	A	KMDF×O2	702.2	K
MDF×O3	1610	B	KYLk×O2	691.1	K
KYL×O3	1251	C	KMDFk×O2	684.5	K
YL×O2	1245	C	KYL×O1	630.8	L
KMDF×O3	1032	D	Kky×O3	604.2	M
MDF×O2	1031	D	Kkv×O2	602.2	M
Kkv×O3	942.5	E	KMDF×O1	579.6	N
KYLk×O3	915.1	F	KYLk×O1	544.7	O
KYL×O2	851.8	G	KMDFk×O1	535.2	O
YL×O1	812.5	H	Kky×O2	456.6	P
KMDFk×O3	792.4	I	Kkv×O1	445.4	P
MDF×O1	746.5	J	Kky×O1	392.5	Q

LSD:  $\pm 18.04$

DUNCAN testi sonuçlarına göre, en yüksek formaldehit emisyonu, yonga levhanın 3. ortamda yapılan ölçümlerinde (1725 ppb); en düşük formaldehit emisyonu kayın kontrplağın 1.ortamdaki ölçümlerinde (392.5

ppb) elde edilmiştir. Tabakalı ağaç malzeme türü ve ortam etkileşimine göre belirlenen formaldehit emisyonu değerleri Şekil 6’da gösterilmiştir.

Şekil 6. Tabakalı ağaç malzeme türü ve deney ortamı etkileşimine göre ortalama formaldehit emisyonu değerleri



Şekil 6. Tabakalı ağaç malzeme türü ve deney ortamı etkileşimine göre ortalama formaldehit emisyonu değerleri

## Sonuç ve Öneriler

Deneme sonuçlarına göre, lamine masif ağaç malzemedeki ağaç türü bakımından sarıçam, kayından daha yüksek formaldehit emisyonu yaymıştır. Doğu kayınının yoğunluğunun fazla olması formaldehit emisyonunun düşük çıkmasının nedeni olabilir. Bir çalışmada da yoğunluk ile formaldehit emisyonu ters orantılı olarak açıklanmıştır (Çolak, 2002). Bir başka çalışmada da formaldehit emisyonuna ağaç cinsinin etkisi incelenmiş, sonuç olarak kavak kontrplak emisyonu kayın ve okume kontrplak emisyonlarından fazla çıkmıştır. Ayrıca tüm faktörler aynı kalmak şartıyla meşe ve çam yongalarıyla üretilen yonga levhaların kıyaslandığı bir çalışmada, formaldehit emisyonunun meşe ile üretilen yonga levhada çam ile üretilen yonga levhaya göre daha az çıktığı, ladinle üretilen yonga levhalardaki formaldehit emisyonu, kayından yapılmış yonga levhalardaki formaldehit emisyonundan daha yüksek çıktığı ilgili çalışmada aktarılmıştır (Çolakoğlu, 1993). Diğer bir çalışmada, ağaç türünün formaldehit emisyonunu etkilediği vurgulanmış; kayın, kavak, ladin, huş ağacı ve çam kontrplaklarda, en yüksek emisyon huş ağacında (1.35 mg/m<sup>2</sup>.h), en düşük kavakta (0.9 mg/m<sup>2</sup>.h) bulunmuştur. Ayrıca, ağaç türünün formaldehit emisyonunu istatistiksel olarak anlamlı etkilediği de ifade edilmiştir (Böhm ve ark., 2012).

Tutkal çeşidine göre formaldehit emisyonu miktarı incelendiğinde, UF tutkallı örneklerdeki formaldehit emisyonunun fenol formaldehit tutkallı örneklerden yüksek olduğu görülmüştür. Nitekim bir çalışmada da U/F oranı 1/1,74 olan tutkal ile üretilmiş kontrplaklarda en yüksek formaldehit emisyonu, en düşük formaldehit emisyonu ise fenol formaldehit ile üretilmiş kontrplaklarda tespit edilmiştir (Çolak, 2002).

Verniklenmiş lamine ağaç malzemedeki formaldehit emisyonu, vernikleme yapılmamış örneklerle göre daha yüksek çıkmıştır. Ağaç malzemenin verniklenmesinin formaldehit emisyonunu artırdığı ifade edilebilir. Bu durum, selülozik verniğin, nitroselüloz ve sülfirik asitlerden; aseton, amil-asetat, butil-asetat, etil-asetat gibi eriticilerden; vernik reçinelerinden; tolüen ve benzin gibi incelticilerden ve

plastikleştiriciler veya yumuşatıcılardan (fosforik ve fethalik asitler) meydana gelmesinden dolayı; verniğin yapısını oluşturan VOC emisyonu kaynağı maddelerin, yalın ağaç malzemenin formaldehit emisyonunun artmasına sebep olmuş olabileceği şeklinde açıklanabilir (Hammond, 1980). Bir başka çalışmada üst yüzey işlemlerin de formaldehit emisyonunu etkileyen faktörlerinden birisi olduğu ifade edilmiş; boyanmış kontrplakla deney örneklerindeki formaldehit emisyonu (0.048 mg/m<sup>3</sup>), kaplanmamış (boyanmamış) deney örneklerinden (0.032 mg/m<sup>3</sup>) daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, bir çalışmada da MDF ve HDF'nin 200 g/m<sup>2</sup> ölçüde yağ bazlı boya ile kaplanması işleminin formaldehit emisyonunu artırıcı etki yaptığı bildirilmiştir (Salem, 2012).

Denemelerin yapıldığı üç çeşit ortamda en yüksek formaldehit emisyon değerleri 40°C Sıcaklık- %35 Nem şartlarındaki 3. ortamda; en düşük formaldehit emisyonu değeri ise 10°C Sıcaklık-%95 Nem şartlarındaki 1. ortamda ortaya çıkmıştır. Sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak formaldehit emisyonu da artış göstermiştir. Nitekim, bir çalışmada iki farklı oda sıcaklığında (37°C ve 50°C) denemeler yapılmış, formaldehit emisyon kaynağı malzemelerin yüksek sıcaklıklarda (bu çalışma için 50°C) kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir (Kim, S. ve Kim, H.J., 2005). Öte yandan farklı sıcaklıklarda formaldehit salınımı değişimini izleyen bir başka çalışmada, çalışma için belirlenen 3 farklı (23°C, 29°C ve 50°C) sıcaklık arasında 29°C' den sonra emisyon oranında önemli artış olduğu tespit edilmiştir (Wiglusz ve ark., 2002).

Tabakalı ağaç malzeme türüne göre en yüksek formaldehit emisyon değeri, hiçbir işlem yapılmamış ham yonga levhada ölçülmüştür. En düşük formaldehit emisyonu değeri ise ham kayın kontrplakta ölçülmüştür. Ham yonga levhadan açığa çıkan yüksek formaldehit emisyonuna, malzemenin kaplanmamış olması, tüm yüzeyde üretim sonrası kalan emisyon çıkış kanallarının fazlalığı sebep olmuş olabilir. Nitekim formaldehit bağlayıcı aktif maddeler içeren yüzey işleme sistemleri ile yonga levhaya işlem yapmanın emisyonu azalttığı bildirilmiş, bir araştırmada dekoratif vinil

kaplama maddesi sürülerek dış yüzeydeki tüm gözeneklerin tıkanabileceği bu sayede formaldehit emisyonunun azaltılabileceği bildirilmiştir. Ayrıca kaplanmamış enine kesitlerden de emisyon yayılımının fazla olduğu bildirilmiştir (Kurtoğlu ve Uçar, 1986).

Kavak kontrplak formaldehit emisyon değeri, kayın kontrplağın formaldehit emisyonu değerinden, daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen bu sonuç literatürdeki çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir. Nitekim bir çalışmada da kavak kontrplak emisyon ortalama değeri (66.24 mg/100 g), kayın kontrplak emisyon ortalama değerinden (48.28 mg/100 g) daha yüksek bulunmuştur (Şensögüt ve ark., 2009). Bir başka çalışmada da 5 katmanlı melamin üre formaldehit tutkallı kavak kontrplaktan yayılan formaldehit emisyon değerinin kayın kontrplak değerinden ve okalıptüs kontrplak emisyon değerlerinden daha yüksek bulunmuştur (Ding ve ark., 2013).

Yüzeyi kaplamalı MDF'den elde edilen formaldehit emisyon miktarı, yüzeyi kaplanmamış MDF'den daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç ile daha önce yapılmış çalışma sonuçları kıyaslandığında, paralellik görülmektedir. Nitekim bir çalışmada, MDF'nin üç tip kaplanmamış lignoselülozik yüzey malzemeleri (meşe dekoratif kaplama, düşük basınçlı melamin emdirilmiş kağıt, yüksek basınçlı melamin emdirilmiş kağıt) ve dört çeşit kaplanmış yüzey malzemesi (kaplamalı kağıt, iki tip kaplama folyoları(önce ve sonra emdirilmiş) ve PVC) ile FLEC ve 20 L deney odası metoduna göre yapılmıştır. Kaplama yapılan örneklerde düşük emisyon ölçülmüştür (Kim ve ark., 2010).

Kenarları kaplanmış suntu lam ve MDF lam deney örneklerinden yayılan formaldehit emisyonu, kenarları kaplanmamış örneklerden yayılan formaldehit emisyonundan daha düşük çıkmıştır. Bir çalışmada da vurgulandığı üzere levhaların üretim sonrası kenarlarının kaplanması ve diğer işlemlerin formaldehit emisyonunu azaltıcı etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir (Athanasiadou, 2000).

Bu çalışmada incelenen tüm deneme malzemeleri toplu olarak değerlendirildiğinde, en yüksek formaldehit

emisyonunu yonga levhada; en düşük formaldehit emisyonu ise lamine Doğu kayınında elde edilmiştir. Bu sonuç, çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak üretilen ürünlerdeki formaldehit emisyon yüksekliğinin masif lamine ürünlerden 3 kat daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, masif levha laminasyonunda kullanılan tutkalın yapısal özellikleri yayılan formaldehit emisyonunda en önemli etken olduğu söylenebilir. Lamine masif ağaç malzemenin verniklenmesi tutkaldan kaynaklı formaldehit emisyonun yapıdan dışarı çıkışını engelleyici bir katman görevi görürken, vernik yapısındaki polimerler bizatihi emisyon kaynağı oluşturabilmektedir.

Tabakalı ağaç malzeme kullanımında yüzey ve kenar kaplamalarının yapılması, yüzeyde ve diğer kısımlarda birleştirme, aksesuar (kulp, cam kanalı, vida deliği vb.) ve yan ürünlerin mobilyaya montajının ardından gereksiz ve formaldehit emisyonu sızıntı kaynağı olabilecek tüm çıkışlar kapatılmalıdır.

Sıcaklığın çok olduğu bölge ve mekânlarda tabakalı ağaç malzeme kullanılacaksa, depolama süresi uzun olan, bir takım formaldehit tutucu ve azaltıcı işlemlerden geçirilmiş malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Mutfak dolapları, radyatör dolapları vb. gibi sıcaklığa maruz kalan mobilyalarda tabakalı ağaç kullanılmamasına azami dikkat edilmelidir. Evlerde biriken formaldehit emisyonunu azaltmak için havalandırma imkânları geliştirilmelidir. Üretilen veya ithal edilen ürünlerin formaldehit emisyonu açısından sınıflandırılması TSE tarafından yapılmalı ve bu sınıflandırma zorunlu hale getirilmelidir. Tüketicilerin, aldıkları ürünlerde bu sınıflandırmaya ait bilgilendirmelerini sağlanmalıdır. Sonraki çalışmalarda tüm işlemleri tamamlanmış nihai mobilya ürünlerinin de (komodin, etajer, sehpa, sandalye vb.) formaldehit emisyonu tespiti test kabinin de kullanım ortam nem ve sıcaklıklarına göre yapılarak kullanıcıların bilgisine sunulabilir. Formaldehit tespitinde kullanılan cihazın portatif olarak da kullanılabilmesinden dolayı, hastane, okul, ofis vb. yerlerde tüm kaynaklardan (mobilya, halı, duvar kağıdı vb.) yayılan toplam

formaldehit emisyon tespiti de yapılarak, o ortamlarda vakit geçiren insanların karşılaşabilecekleri sağlık sorunları ve alınabilecek önlemler hakkında bilgilendirilmesi sağlanabilir.

### Kaynaklar

Athanassiadou, E. 2000. Formaldehyde free aminoplastic bonded composites. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Environmental Pollution, Aristotelian University, Thessaloniki, Greece, 770-774.

ASTM-D 3023. 1998. Standard practice for determination of resistance of factory applied coatings on wood products of stain and reagents. ASTM Standards, 1-3, USA.

Boran S. 2010. Orta yoğunlukta lif levha üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkalına farklı kimyasal maddeler ilave edilerek serbest formaldehit içeriğinin azaltılması. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 150-155, Trabzon.

Böhm M., Salem M., Z.M., Srba, J. 2012. Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials. Journal of Hazardous Materials, 221, 68– 79.

Çolak S. 2002. Kontrplaklarda empenye işlemlerinin formaldehit ve asit emisyonu ile teknolojik özelliklere etkileri. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 139-145, Trabzon.

Çolakoğlu G. 1993. Kontrplak üretim şartlarının formaldehit emisyonu ve teknik özelliklere etkisi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-132, Trabzon.

Ding W., Li W., Gao Q., Han C., Zhang S., Li J. 2013. The effects of sealing treatment and wood species on formaldehyde emission of plywood. BioResources, 8(2), 2568-2582.

Hammond J., J., Donnelly E., T., Harrod W., F., Rayner N., A., Özden F., Zorlu İ. 1980. Ağaçşleri Teknolojisi, Ajans-Türk Matbaası, 77-89, Ankara.

He Z., Zhang, Y., Wei W. 2012. Formaldehyde and voc emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. Building and Environment, 47, 197-204.

Kim S., Kim H. J. 2005. Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperatures in

under heating system. Indoor Air, 15(5), 317-325.

Kim K. W., Kim S., Kim H. J., Park J. C. 2010. Formaldehyde and tvoc emission behaviors according to finishing treatment with surface materials using 20 L chamber and FLEC. Journal of Hazardous Materials, 177(1), 90-94.

Kurtoğlu A., Uçar G. 1986. Orman ürünleri sanayinde formaldehit ayrışması ve çevre sağlığına etkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Cilt B 35(3), 44-52.

Menteşe S., Güllü G. 2005. Evlerde hava kalitesinin belirlenmesi: formaldehit kirleticisinin miktar ve kaynağının tespiti. 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul.

Nemli G. 1995. Melamin emdirilmiş kâğıtlarla kaplamanın yonga levha teknik özelliklerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-68.

Özdemir T. 2003. Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerinde verniklerin özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 120-124, Trabzon.

Roffael E. 2006. Volatile organic compounds and formaldehyde in nature, wood and wood based panels. European Journal of Wood and Wood Products 64( 2), 144-149.

Que Z., Furuno T., Katoh S., Nishino Y. 2007. Evaluation of three test methods in determination of formaldehyde emission from particleboard bonded with different mole ratio in the urea-formaldehyde resin”, Building and Environment, 42(3), 1242-1249.

Salem M., Z.M, Böhm M., Srba J., Beránková J. 2012. Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods. Building and Environment, 49, 86-96.

Şensöğüt C., Özalp M., Yeşil H. 2009. The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of plywood. International Journal of Adhesion & Adhesives, 29, 589-592.

Taygun T., G., Balanlı A. 2005. Yaşam döngüsü süreçlerinde yapı ürünü-çevre etkileşimi, YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi, 1(1), 40-50.

TS 2470, 1976. Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikleri. TSE, 1-7, Ankara

TS EN 717-1, 2006. Ahşap esaslı levhalar-formaldehit salınımının tayini. TSE, 1-10, Ankara.

Wiglusz R., Sitko E., Nikel G., Jarnuszkiewicz I. Igielska B. 2002. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic

compounds (VOC) from laminate flooring-case study. Building and Environment, 37, 41-44.