



Mathematical Modeling of Voc Gas Release Values in Wood Based Panels with Surface Treatment

Haldun Ender ERDEM^{1*}, Hamza ÇINAR²

¹Kırıkkale University, Kırıkkale Vocational School, Kırıkkale, Türkiye

²Gazi University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Design, Ankara, Türkiye

Article Info

Research article
Received: 08/04/2024
Revision: 22/05/2024
Accepted: 24/05/2024

Keywords

VOC (Benzene and Toluene) Emission Machining Wood Coating Varnish Glue Mathematical Modelling

Makale Bilgisi

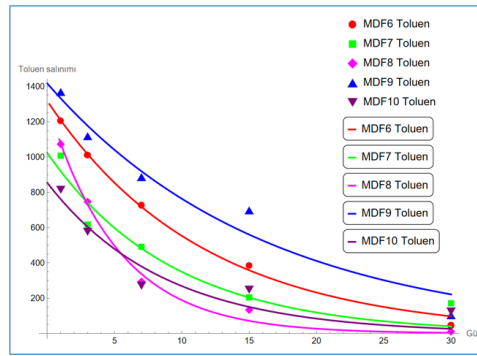
Araştırma makalesi
Başvuru: 08/04/2024
Düzeltilme: 22/05/2024
Kabul: 24/05/2024

Anahtar Kelimeler

VOC (Benzen ve Toluene) Emisyonu Ağaç Kaplama Vernik Tutkal Matematiksel modelleme

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

The experimental results obtained as ppm in polyurethane varnish applied test specimens were plotted by applying non-linear fit to the exponential function with the help of Mathematica programme. / Poliüretan vernik uygulanan deney numunelerinde ppm olarak elde edilen deney sonuçları Mathematica programı yardımıyla üstel fonksiyona non-linear fit işlemi uygulanarak grafikler oluşturulmuştur.



Şekil A: Poliüretan Vernik Toluene ölçüm değerleri (ppm) Figure A: Polyurethane Varnish Toluene measurement values (ppm)/

Önemli noktalar (Highlights)

- Elde edilen denklem yardımı ile istenilen bir zaman için gaz salınım miktarı bulunabilir./ With the help of the equations obtained, the amount of gas emission for a desired time can be found.
- Elde edilen denklem yardımı ile gaz salınımlarının ne zaman maruziyet değerinin altında olacağı önceden tahmin edilebilir / With the help of the equation obtained, it can be predicted in advance when gas emissions will be below the exposure value.
- Elde edilen denklemler benzer malzemelerin gaz salınımları hakkında önceden fikir verebilir./ The equations obtained can give a preliminary idea about the gas emissions of similar materials.

Amaç (Aim): With the help of the equation obtained, it is aimed to determine the amount of emission of VOC gases for a desired time period and to find out when the VOC gas will be zero. / Elde edilen denklem yardımı ile istenilen bir zaman dilimi için VOC gazlarının salınım miktarlarını belirlemesi ve VOC gazının ne zaman sıfırlanacağını bulunması amaçlanmaktadır.

Özgünlük (Originality): For the first time in the literature, gas emissions can be predicted for any time with the equation obtained from the results of gas emissions. / Literatürde ilk kez gaz salınımları sonuçlarından elde edilen denklemle herhangi bir zaman için gaz salınımı önceden tahmin edilebilir.

Bulgular (Results): It can be said that the values corresponding to the first day oscillation do not have much effect on the oscillation, the determining factor is the damping constant. / İlk gün salınıma karşılık gelen değerlerin salınım üzerinde çok fazla etkisi olmayıp, belirleyici faktör sönüm sabitidir, denilebilir.

Sonuç (Conclusion): Producers should sell their products after the amount of emission of these VOC gases falls below the critical value. / Üretici firmalar, bu VOC gazlarının salınım miktarı kritik değerinin altına düştükten sonra ürünlerini satmalıdır.



Mathematical Modeling of VOC Gas Release Values in Wood Based Panels with Surface Treatment

Haldun Ender ERDEM^{1*}, Hamza ÇINAR²¹Kırıkkale University, Kırıkkale Vocational School, Kırıkkale, Türkiye²Gazi University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Design, Ankara, Türkiye

Article Info

Research article
Received: 08/04/2024
Revision: 22/05/2024
Accepted: 24/05/2024

Keywords

VOC (Benzene and Toluene) Emission
Machining
Wood Coating
Varnish
Glue
Mathematical Modelling

Özet

VOC (Uçucu organik bileşikler), insan sağlığına ve çevreye zarar verebilen gazlardır. VOC'lerden en yaygın olarak bilinenleri benzen, toluen, etilbenzen ve ksilendir. Bu çalışmada, Türkiye'de mobilya üretim süreçlerinde sıklıkla kullanılan orta yoğunluktaki lif levha (MDF), yonga levha, kayın kaplama, papel kaplama, selülozik ve poliüretan uygulanan ürünlerde VOC gazlarının (Benzen ve Toluene) emisyonları belirlenmiş ve sonuçlar Mathematica programı ile incelenmiştir. Mathematica programının Fitting yönetimi kullanılarak, VOC gazlarının emisyon miktarları zamana bağlı elde edilmiştir. Böylece benzen ve toluen emisyonlarının zamana bağlı değişimi için matematiksel bağımlılar bilindiğinden gazların herhangi bir andaki miktarı ne zaman sıfırlanacağı ve ne zaman maruziyet değerlerinin altına düşeceği belirlenebilir. Sonuç olarak; Benzen gazı en yüksek değeri ortalama 156.372 ppm ile Ham MDF'de, Toluene gazı en yüksek değeri ise ortalama 159.353 ppm ile kenarları kaplamalı MDF bulunmuştur. Vernik uygulamalarında, poliüretan verniğin benzen gazı için daha önce maruziyet değerinin altına düştüğü, selülozik vernikte ise toluene gazı için daha önce maruziyet değerinin altına düştüğü tespit edilmiştir. Üretici firmalar, bu çalışmadaki yöntemi kullanarak süreci önceden tahmin edebilirler, insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından ürünlerdeki VOC gazları maruziyet değerinin altında düşüğünde de ürünlerini satış için piyasalara arz edebilirler.

Üstyüzey İşlemleri Uygulanan Ahşap Esaslı Panellerde VOC Gaz Salınım Değerlerinin Matematiksel Modellenmesi

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 08/04/2024
Düzeltilme: 22/05/2024
Kabul: 24/05/2024

Anahtar Kelimeler

VOC (Benzen ve Toluene) Emisyonu
Ağaç Kaplama
Vernik
Tutkal
Matematiksel modelleme

Abstract

VOC (Volatile organic compounds) are gases that can harm human health and the environment. The most widely known VOCs are benzene, toluene, ethylbenzene and xylene. In this study, the emissions of VOC gases (Benzene and Toluene) in medium density fibreboard (MDF), particleboard, beech veneer, papel veneer, cellulosic and polyurethane applied products, which are frequently used in furniture production processes in Turkey, were determined and the results were examined with Mathematica program. By using the Fitting management of Mathematica programme, the emission amounts of VOC gases were obtained as a function of time. Thus, since the mathematical relations for the time-dependent change of benzene and toluene emissions are known, it can be determined when the amount of gases at any moment will be zero and when it will fall below the exposure values. As a result, the highest value of benzene gas was found in raw MDF with an average of 156.372 ppm and the highest value of toluene gas was found in MDF with coated edges with an average of 159.353 ppm. In varnish applications, polyurethane varnish was found to fall below the previous exposure value for benzene gas, and cellulosic varnish was found to fall below the previous exposure value for toluene gas. Producer companies can predict the process in advance by using the method in this study, and they can supply their products to the markets for sale when the VOC gases in the products fall below the exposure value in terms of human health and environmental pollution.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi devrimi ile başlayan nüfusun şehirlerde yoğunlaşması konut, işyeri ve sosyal alan

ihtiyacının giderek artmasına yol açmıştır. İnsanların yeni yaşam alanlarına ihtiyaç duymaları sonucu mobilya kullanımı artmıştır [1]. İnternet kullanımı da ürüne ulaşma sürecini kolaylaştırmış

ve mobilya tüketimi artmıştır [2]. Bunun sonucu olarak ahşap esaslı levhaların kullanımı giderek artmıştır.

Ahşap esaslı levhalar yüzeylerini kaplamada kullanılan tutkal ve verniklerin toksisitesi yüksek kimyasallar içerdikleri bilinmektedir [3]. Mobilya üretim ve kullanım süreçlerinde bu toksit malzemeler buldukları ortama yayılmaktadırlar. Uçucu organik bileşikler (VOC) olarak bilinen bu toksik malzemeler insan sağlığını olumsuz olarak etkilemektedir [4]. Ev yapımında ve dekorasyonlarında kullanılan yonga levha, yönlendirilmiş yonga levha, sert ağaç kontrplak ve orta yoğunluklu lif levha (MDF) gibi preslenmiş ahşap ürünlerin üretiminde üre formaldehit kullanılmaktadır. Formaldehit insanlarda kanserojen olduğu bilinen bir maddedir [5] [6] [7]. Formaldehit dışında benzen ve tolüen gibi VOC'ler sağlık etkileri açısından öncelikli kirleticiler olarak değerlendirilir [8].

Çin'de altı büyük endüstrinin (araç imalatı, baskı, ekipman kaplama, elektronik imalat, mobilya, üretim ve biyo-eczacılık) VOC emisyonlarını, emisyon özelliklerini, çevresel etki ve sağlık riski değerlendirme konularını raporlamışlardır. Raporların VOC emisyonlarının derinlemesine anlaşılmasını sağlayacağı ve bazı endüstrilerde VOC emisyonlarının ulusal kontrolü ve yönetimi için temeller oluşturması düşünülmüştür. Ana emisyon bileşeni olarak benzenler, esterler, alkoller, ketonlar, alkanlar, kloroalkanlar ve alkenler tespit edilmiştir. Sağlık riski değerlendirmelerinde ise öncelikle mobilya imalatı ve kloroalkanların titizlikle kontrol edilmesi önerilmektedir. VOC emisyonlarının kontrollünde düşük maliyetli ve yüksek verimli teknolojiler geliştirmek ve belirli endüstri emisyon standartlarını düzenlemek iki temel konu olarak önerilmiştir [9].

Çin'de solvent kullanımıyla ilişkili uçucu organik bileşiklerin kaynak profilleri isimli çalışmalarında, mobilya endüstrisinde VOC emisyonunun önemli düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Buna ilaveten VOC'lerin tüm üretim süreçlerindeki sağlık risklerinin yeterince araştırılmadığını belirtmişlerdir ve mobilya üretim süreçlerindeki VOC kaynakları hakkında çok az şey bilindiğini ifade etmişlerdir [10].

Uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyon oranları 5m³ boyutunda bir oda 25°C ve 50% nemde beş tür ortak mobilya ürününün emisyon özelliklerini araştırmak için ölçümler yapmışlardır. Evlerde ve işyerlerinde yaygın olarak kullanılan bu mobilya ürünleri salınım oranları yönünden sıralandığında

(Yemek masası > divan > sandalye > komodin > dolap) sonucu elde edilmiştir. Farklı kimyasal grupları arasındaki VOC emisyon oranları sıralaması (aromatik > terpenler > karbonil > diğerleri > parafin > olefin > halojenli parafin) elde edilmiştir. Bu nedenle, VOC salınımlarının farklı mobilya türleri arasında oldukça hassas bir şekilde bulunabileceğini tespit etmişlerdir. Buna ek olarak kaplamalı veya kaplamasız mobilyalarda VOC salınımlarında önemli bir fark olmadığını açıklamışlardır [11].

Tong, R., ve arkadaşları, mobilya üretim sürecinde yayılan uçucu organik bileşiklerin kaynakları ve sağlık risklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre VOC'lerin yüzey kaplama işleminin ardından cilalamada, astarlama, kenar yapıştırma, cilanın perdahlanmasında, kurutma ve boya karıştırma işlemlerinde olduğunu göstermektedir. Çalışanların sağlıkları açısından üst kaplama, alt kaplama ve cilalama bölümleri 1.00E-05 üzerindeki değerler sonucu en büyük kanserojen risklerin olduğu bölümlerdir. Diğer bölümler olan boya karıştırma, kurutma ve kenar yapıştırma kanserojen risk daha düşük gözlemlenmiştir. Ahşap işleme atölyesi ve boyama atölyesindeki emisyon süreçlerinde alkanlar, hidrokarbonlar, halojenli alkanlar, ketonlar ve doymuş alifatik esterler dahil toplam 17 VOC bulunmuştur. VOC'lerin esas olarak yapıştırıcılar, boyalar, seyrelticiler ve kürlenme maddelerinden salındığını gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak mobilya üretiminde en fazla VOC konsantrasyonunun sırası ile kaplama > kenar yapıştırma > cilalama verniği > kurutma > boya karıştırma işlemlerinde belirlenmiştir. Bu bağlamda üst kaplama ve kaplama işlemlerinde havalandırmanın davlumbaz ve tahliye kanalları ile yapılmasını önermişlerdir. Böylelikle kimyasal kirleticilerin solunmasının hafifletileceğini düşünmektedirler [12].

Petr,C., ve Jiri,S., mobilya üretiminde kullanılan farklı türden malzemelerin VOC emisyonları üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Deneysel kısım, mobilya üretimi için kullanılan çeşitli malzeme türlerinin VOC emisyonlarının miktarı ve kalitesi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda elde edilen ölçüm sonuçlarına göre, butilasetat (poliüretan vernik için kullanılan kimyasal) ve butoxy (su bazlı vernik için kullanılan kimyasal) maddeleri içeren iki farklı türde vernik ile verniklenmiş deney malzemelerinin VOC emisyonları her iki durum için maddelerin konsantrasyonları açısından 24 saat sonra en yüksek seviyede gözlemlenmiştir [13].

Çınar, H. ve arkadaşları 18 mm kalınlığındaki yonga levha ve MDF örneklerini 20 °C sıcaklıkta ve

Yapılan çalışmada yonga levha için en yüksek değerin (0,4119 ppm) ile merkezden; en düşük değerinde (0,0875 ppm) ile kenardan salındığını açıklamışlardır. MDF deney numuneleri için ise en yüksek değeri (0,3012 ppm) merkezden alınan örneklerde belirlenirken, en düşük değeri de (0,1807 ppm) kenardan alınan deney numunelerinde salındığını belirlemişlerdir [14].

Çınar, H. ve arkadaşları selülozik, sentetik ve poliüretan verniklerden açığa çıkan gazların emisyon değerlerini bulmak amacıyla, yonga levha ve MDF deney numunelerini kayın kaplama ile kaplayıp kaplamalı malzeme üzerine vernik uygulamışlardır. Selülozik vernik kullanılan örnekler sentetik verniğe göre 94%, poliüretan verniğe göre ise 65% daha fazla Toluen gazı salgılamıştır. Poliüretan vernik kullanılan örnekler ise sentetik verniğe göre 99%, selülozik verniğe göre ise 65% daha fazla n-Butil asetat gazı salgılamıştır. Selülozik vernik kullanılan örnekler

65% nemde, üretimden 1, 2 ve 3 saat sonra formaldehit salınımı yönünden analiz etmişlerdir.

ise sentetik verniğe göre 99% daha fazla Aseton gazı salgılamıştır. Selülozik vernik kullanılan malzemeler ise sentetik verniğe göre 97%, poliüretan verniğe göre ise 23% daha fazla İzobütülasetat gazı salgılamıştır. Tüm bu sonuçlar tasarımcılar tarafından evrensel tasarımın önemli bir parçası olan yeşil tasarım ışığında, sentetik verniklerin selülozik ve poliüretan verniklere kıyasla daha çok tercih edilme gerekliliğini gerektirmektedir [15].

Uçucu organik bileşenler için mesleki maruziyet sınır değerleri Kanserojen veya Mutajen Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik [16] ve Tablo 1'de IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung tarafından yayınlanan GESTIS International Limit Values'da belirtilmiştir [17]. Tablo 2'de Mobilya sektöründe kullanılan bazı kimyasallar ve insan üzerindeki olumsuz etkileri [18].

Tablo 1. Uçucu VOC bileşiklerinin Ulusal ve Uluslararası mesleki maruziyet sınır değerleri (National and International occupational exposure limit values of volatile VOC compounds)

EINECS (1)	CAS (2)	Maddenin Adı	Sınır Değer				Özel İşaret (3)
			TWA (4) (8 Saat)		STEL (5) (15 Dak.)		
			mg/m ³ (6)	ppm (7)	mg/m ³	ppm	
202-425-9	71-43-2	Benzen	3,25	1	384	100	Deri
202-436-9	95-63-6	Toluen	192	50	384	100	-

Tablo 2. Mobilya sektöründe kullanılan bazı kimyasal maddeler (Some chemicals used in the furniture industry)

Kimyasalın Adı	Kimyasal Formülü	Kullanım Amacı	Maruz kalma şekli ve sağlık sorunları
Toluen	C ₆ H ₅ CH ₃	Mobilya endüstrisinde tutkal, boya, tiner ve vernik maddelerinde bulunmaktadır. Ahşap koruma, vernikleme, yapıştırma, birleştirme gibi işlem basamaklarında kullanılmaktadır.	Solunum: Buharlaşmaya bağlı uyuşukluk, baş dönmesi, öksürük, boğaz ağrısı, bilinç kaybı, baş ağrısı, mide bulantısı Deri: Cildi tahriş eder. Tekrarlanan maruz kalma ciltte kuruluğa, çatlamaya veya kızarıklığa neden olabilir. Göz: Gözle temas tahrişe neden olabilir. Eritme (kızarıklık), ağrı Yutma: Akciğerde hasara neden olabilir.
Benzen	C ₆ H ₆	Boyama, vernikleme işlemlerinde kullanılır.	Solunum: Burun, boğaz ve akciğer tahrişi Yüksek konsantrasyonların solunması sonucu baş dönmesi, uyuşukluk, narkotik belirtiler Deri: Cilt tahrişi, dermatit Göz: Yüksek konsantrasyonda göz tahrişi Yutma: Kusma, solunum yetmezliği, ölüm

Deney numunelerine uygulanan her işlemde elde edilen sayısal sonuçlar Wolfram Mathematica programı ile Fitting yönetimi kullanılarak, VOC salınımının zamana bağlı olarak matematiksel

ifadesi elde edilmiştir. Bu denklem yardımı ile istenilen bir zaman dilimi için VOC gazlarının salınım miktarlarını belirlemesi ve VOC gazının ne zaman sıfırlanacağını bulunması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Deneysel Ekipman (Experimental Equipment)

18mm yonga levha ve MDF, 0.6 mm kayın kaplama, 2 mm papel kaplama, üre formaldehit, holtmelt, kontak tutkal, selülozik, poliüretan ve su bazlı vernikleri deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılmıştır.

2.2. Numunelerin Hazırlanması (Preparation of Samples)

MDF'den 50 çarpı 50cm ebadında kesilen deney numunelerine sırasıyla şu işlemler uygulanmıştır. Öncelikle parçaların her iki yüzüne üre formaldehit tutkalı kullanılarak 0.6 mm kayın kaplandı. Parçaların kenarlarına Holtmelt tutkalları sürülerek 2mm papel kaplama yapıştırılmıştır. Palet zımpara makinesinde 80 numara zımpara ile deney numuneleri üst yüzey işlemlerine hazır hale getirildi. Dolgu verniği atıldıktan önce ve sonra 220 numara zımpara ile zımparalama yapılarak son kat vernik uygulaması yapılmıştır. Vernikleme aşamasında selülozik ve poliüretan vernikler kullanılmıştır. Vernikleri kuruması için 2 saat

beklenilmiştir. Polisan marka selülozik ve poliüretan dolgu vernikleri 250 m²/g, son kat vernik 200 m²/g olarak firmanın önerdiği şekilde deney numunelerine uygulanmıştır.

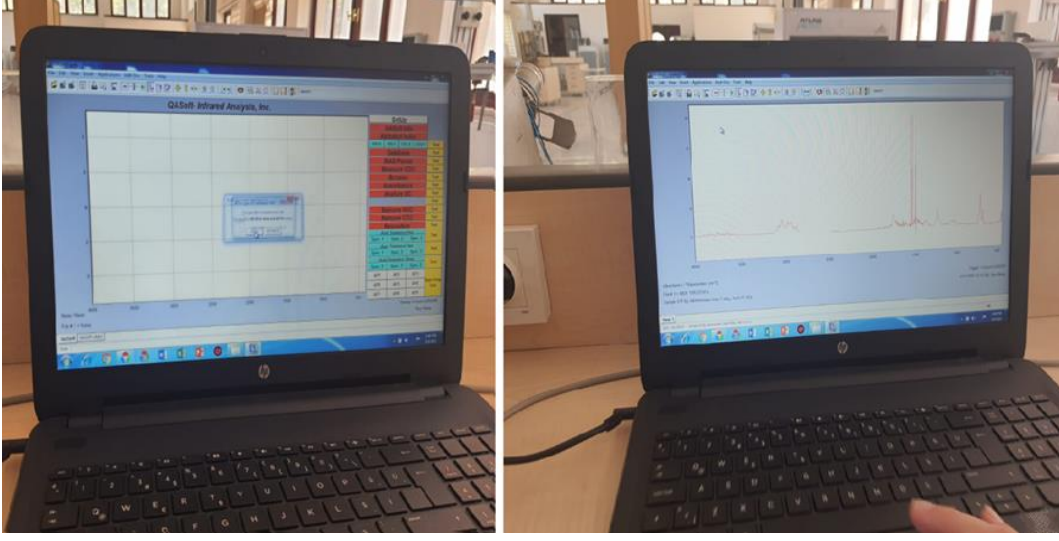
Deney numunelerinin hazırlanmasında TS 2470 ve EN 326-1 standartlarına uyulmuştur. Deney numuneleri 120 °C sıcaklık ve 150 bar basınçta presleme işlemi yapılarak yüzey kaplanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri, sıcaklığı 20±2 °C ve bağıl nemi 65±5% olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Deney numuneleri her bir ölçüm için 2 saat süre iklimlendirme kabininde (Nüve ID 300 test kabini) bekletildikten sonra numune alınarak ölçümler yapılmıştır (Şekil-1). Deneyler sırası ile; ham MDF, yüzeylere üre formaldehit tutkalı kullanılarak 0.6 mm kayın kaplama yapıştırılmış, kenarlarına Holtmelt kullanılarak 2 mm papel kaplama yapıştırılmıştır. Vernik uygulamaları gerekli zımparalama işlemi uygulanarak, dolgu ve son kat olmak üzere selülozik, poliüretan ve su bazlı olarak üretici firmanın tavsiyelerine uygun şekilde uygulanmıştır. Vernik uygulanan parçalar 1, 3, 7,15 ve 30 günde gaz ölçümleri TS EN 717-1 ve ISO 10580 esaslarına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney numunelerinin iklimlendirilmesi Nüve ID 300 ve gaz salınımının ölçüldüğü FTIR Spectrum Two cihazı (Acclimatisation of experimental samples Nüve ID 300 and FTIR Spectrum Two device for measuring gas release)

Gaz ölçümü için test hücresinin FTIR Spectrum Two cihazında kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra iklimlendirme kabininde bulunan deney numunelerden salınan gaz salınım örnekleri test

hücrelerine çekilmiştir. Alınan gaz salınım örnekleri FTIR Spectrum Two cihazı ile entegre çalışan QASoft ve Grams programları ile tespit edilen gazların ppm değerleri alınmıştır (Şekil-2).



Şekil 2. FTIR Spectrum Two cihazı ile entegre çalışan QASoft ve Grams programları kullanılarak gaz miktarlarının bulunması. (Gas quantification using QASoft and Grams programmes integrated With FTIR Spectrum Two)

QASoft (Quantitative Analysis Software) (Kantitatif Analiz yazılımı): Bir maddenin hangi bileşenlerden (element veya bileşiklerden) meydana geldiğini bulmaya yarayan analiz türüne kalitatif; bu bileşenlerden her birinin miktarını bulmaya yarayan analiz türüne de kantitatif analiz denir. QASoft, Infrared Analysis Limited Şirketi tarafından geliştirilmiş kızılötesi aktif gazların ölçümünü sağlayan kantitatif bir gaz analizi yazılımıdır [19].

2.3. Sayısal Metot (Numerical Method)

Artan zaman değerlerine göre gazların salınım miktarları beklendiği gibi üstel azalan bir fonksiyon gibi davranmaktadır. Bu nedenle Wolfram Mathematica programı yardımıyla üstel fonksiyona göre non-linear fit işlemi yapılmıştır [20]. Fitting yöntemi en küçük kareler yönteminin kullanılmasına dayanır. En küçük kareler yönteminde veri setinde yer alan verilere göre veri setinin uyduğu matematiksel ifade belirlenir. Deney sonuçları ile matematiksel ifadeden üretilen sonuç arasındaki farkların karelerinin minimum olması istenir ve buna göre veri setinin uyduğu matematiksel ifade belirlenir [21]. Böylece Denklem (1) ile verilen matematiksel ifade kullanılmıştır.

$$g(t) = \exp(a + bt) \quad (1)$$

Burada $g(t)$, t anındaki gaz salınımıdır ve a ile b sabitleri, değerleri sayısal olarak belirlenmek istenen sabitlerdir. Non-linear fit işleminin uygulanması ile bu değerler Tablo 11' de verilmiştir. Her bir gaza karşılık gelen gaz salınımı grafikleri Şekiller 3-6'da verilmiştir. Denklem (1)' de eksponansiyel terim içinde yer alan "a" sabitinin kullanılmasının nedeni $t=0$, anındaki yani başlangıç anındaki salınımın

$$g(t=0) = \exp(a) \quad (2)$$

değerine karşı gelmesinden dolayıdır. Biraz cebirsel işlem yapılarak Denklem (1) ile verilen ifade

$$g(t) = \exp(a) \exp(-bt) = N_0 \exp(-bt), \quad (3)$$

$b > 0$

şeklinde yazılabilir. Burada N_0 , $t=0$ anındaki salınımına karşı gelir ve b sönüm sabiti olarak düşünülebilir. Elde edilen sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Her aşamada test hücresine çekilen gazların FTIR Spektrum gaz ölçüm cihazında ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3 verilerine göre Benzen gazının Ham MDF için salınım değerleri 433.726 ppm ile 58.011 ppm aralığında elde edilmiştir. Kaplamalı MDF’de Benzen gazı salınım değerleri 256.365 ppm ile 12.055 ppm aralığında elde edilmiştir. Son olarak kenarları kaplamalı MDF’de Benzen gazı salınım değerleri 109.273 ppm ile 2.348 ppm aralığında elde edilmiştir. Buna göre en yüksek Benzene salınım değerleri Ham MDF’de gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra en küçük gaz salınım değerleri kenarları kaplamalı MDF’de gözlemlenmiştir. Elde edilen değerlerin ortalamaları hesaplandığında Ham MDF için 156.372 ppm en yüksek ve kenarları kaplamalı MDF’de 37.744 ppm en düşük değer olarak bulunmuştur.

Tablo 3 verilerine göre Toluene gazının Ham MDF için salınım değerleri 286.642 ppm ile 14.157 ppm aralığında elde edilmiştir. Kaplamalı MDF’de Toluene gazı salınım değerleri 166.468 ppm ile 30.638 ppm aralığında elde edilmiştir. Kenarları kaplamalı MDF’de Toluene gazı salınım değerleri 906.357 ppm ile eksi değerler elde edilmiştir. Bu negatif değerler sıfır olarak alınmıştır. Buna göre en yüksek Toluene salınım değerleri kenarları kaplamalı numunelerde görüldüğü gibi en küçük değer de yine kenarları kaplamalı numunelerde gözlemlenmiştir. Elde edilen değerlerin ortalamaları hesaplandığında kaplamalı MDF için 60.204 ppm en düşük ve kenarları kaplamalı MDF için 159.353 ppm en yüksek değer olarak bulunmuştur. Tablo 3’te verilen değerler, gazların zamana göre salınım değerleridir.

Tablo 3. Deney sonuçları (Experiment results)

Parça no	GAZLAR	Ham MDF	Kaplamalı (Üre Formaldehit)	Kenar Kaplamalı Holtmelt	Vernik türü	1.gün	3.gün	7.gün	15.gün	30.gün
1	Benzen	66.090	12.055	2.348	Selülozik	1480.030	842.498	517.355	212.002	12.103
	Toluene	286.642	30.638	-515.328		1450.024	619.036	524.539	431.196	159.784
2	Benzen	167.940	79.039	34.131		507.902	259.791	168.873	166.044	27.671
	Toluene	86.706	54.963	-58.745		1059.610	902.722	899.123	330.718	4.460
3	Benzen	58.011	44.214	32.020		445.879	387.804	184.259	63.899	6.270
	Toluene	26.105	32.906	-586.496		1285.913	649.026	401.645	165.744	61.352
4	Benzen	359.220	79.498	18.430		387.804	321.945	216.056	79.989	58.434
	Toluene	36.231	43.859	-99.797		1046.047	535.534	381.946	177.849	36.125
5	Benzen	433.726	256.365	56.004		591.790	445.178	278.673	171.583	129.922
	Toluene	14.157	71.165	-620.803		1288.284	554.472	508.409	127.469	22.953
6	Benzen	217.450	54.745	10.194	1273.081	791.503	746.934	104.558	93.427	
	Toluene	65.576	41.479	38.249	1205.074	1009.93	725.943	383.591	44.298	
7	Benzen	242.925	148.121	109.273	404.082	161.688	113.597	101.434	43.149	
	Toluene	122.775	98.992	67.729	1007.736	617.678	491.037	204.630	171.362	
8	Benzen	87.445	46.513	22.447	396.634	202.831	168.600	73.613	47.452	
	Toluene	24.179	71.659	522.881	1073.170	746.390	294.016	133.552	10.494	
9	Benzen	136.942	57.607	51.708	298.754	147.812	102.880	51.455	23.798	
	Toluene	21.971	49.912	57.927	1368.700	1118.36	886.478	697.762	103.730	
10	Benzen	69.462	61.307	40.169	694.322	310.090	54.085	34.147	13.171	
	Toluene	27.651	166.468	906.357	814.268	576.478	271.075	248.220	124.502	

Tablo 4. Selülozik vernik Benzen ölçüm değerleri (ppm) (Benzene measurement values of cellulosic varnish (ppm))

Parça Adı	Vernik Türü	Maruziyet ve Sıfır Değerleri			
		Maruziyet Değeri 100 (ppm) Benzen (Gün)	Sıfır Değeri Benzen (Gün)	Maruziyet Değeri 100 (ppm) Toluene (Gün)	Sıfır Değeri Toluene (Gün)
MDF 1	Selülozik	16	656	21	886
MDF 2		13	875	32	1425
MDF 3		13	821	13	565
MDF 4		15	1123	15	676
MDF 5		21	1273	14	607
MDF 6	Poliüretan	16	670	30	1251
MDF 7		7	501	22	1029
MDF 8		11	823	13	617
MDF 9		7	641	43	1716
MDF 10		6	345	18	693

Tablo 4'te selülozik vernik uygulanan ilk beş numunenin 13-21 gün aralığında aldığı değerler sonunda benzen gazı maruziyet değeri olan 100 ppm altına düştüğü gözlemlenmiştir. Poliüretan vernik uygulanan deney numunelerinde 6-16 gün aralığında aldığı değerler sonunda benzen gazı maruziyet değeri olan 100 ppm altına düştükleri gözlemlenmiştir. Bu verilere göre poliüretan verniğin benzen açısından daha önce maruziyet değerinin altında sonuçlar verdiği söylenebilir.

Tablo 4'te selülozik vernik uygulanan ilk beş numunenin 13-32 gün aralığında aldığı değerler sonunda toluen gazı maruziyet değeri olan 100 ppm altına düştüğü gözlemlenmiştir. Poliüretan vernik uygulanan deney numunelerinde 13-43 gün aralığında aldığı değerler sonunda toluen gazı maruziyet değeri olan 100 ppm altına düştükleri gözlemlenmiştir. Bu verilere göre selülozik verniğin toluen gazı açısından daha önce maruziyet değerinin altında sonuçlar verdiği söylenebilir.

3.1. Verilerin İstatistiksel Analizi (Statistical Analysis of Data)

Testler sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizi MİNİTAB programı ile yapılmıştır. Gruplandırma için çoklu varyans analizi ANOVA testi uygulanmıştır.

Deney numunelerine 1.gün alınan ölçümlerdeki selülozik ve poliüretan vernik uygulamalarında benzen ve toluen gazları belirlenmesine ilişkin ANOVA testi Tablo 5' te verilmiştir.

Tablo 5'te gösterilen değerlere göre, 1.gün verileri için benzen ve toluen arasındaki farklılıklar, $P < 0.05$ olduğu için anlamlı bulunmuştur. Vernik (selülozik ve poliüretan) arasındaki farklılıklar, $P < 0.05$ olduğu için önemli ölçüde düşük ve anlamsız olduğu anlaşılmıştır. Vernikler ve gazlar arasındaki farklılıkların P'nin 0.05 üzerinde olduğu için anlamsız olduğu da kanıtlanmıştır.

Tablo 5. Anova test sonuçları 1. gün. (Anova test results Day 1.)

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Katkı	Kare Ortalama	F Değeri	Anlamlılık $P < 0,05$
Gaz	1	1309980	42.17%	1309980	12.04	0.003
Vernik	1	50750	1.63%	50750	0.47	0.504
Gaz*Vernik	1	4942	0.16%	4942	0.05	0.834
Hata	16	1740783	56.04%	108799		
Toplam	19	3106454	100.00%			

Tablo 6. Anova test sonuçları 3. gün. (Anova test results Day 3.)

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Katkı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Anlamlılık $P \leq 0,05$
Gaz	1	598055	39.25%	598055	11.68	0.004
Vernik	1	1357	0.09%	1357	0.03	0.873
Gaz*Vernik	1	105319	6.91%	105319	2.06	0.171
Hata	16	818913	53.75%	51182		
Toplam	19	1523643	100.00%			

Tablo 6'da verilen 3. Gün verilerine ANOVA testi sonuçlarına göre Tablo 5'teki gibi Gaz verileri arasındaki farklılıklar anlamlıdır fakat Vernik ile Gaz*Vernik verileri arasındaki farklılıklar anlamlı bulunmamıştır. Tablo 7'de verilen 7. Gün verilerine ANOVA testi sonuçlarına göre Tablo 5 ve 6'daki gibi Gaz verileri arasındaki farklılıklar anlamlıdır

fakat Vernik ile Gaz*Vernik verileri arasındaki farklılıklar anlamlı bulunmamıştır. Tablo 8'de verilen 15. Gün verilerine ANOVA testi sonuçlarına göre Tablo 5, 6 ve 7'deki gibi Gaz verileri arasındaki farklılıklar anlamlıdır fakat Vernik ile Gaz*Vernik verileri arasındaki farklılıklar anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 9'da verilen 30. Gün verilerine ANOVA testi sonuçlarına göre hem Gaz verileri hem de Vernik ile

Gaz*Vernik verileri arasındaki farklılıklar anlamlı bulunmamıştır.

Tablo 7. Anova test sonuçları 7. gün. (Anova test results 7th day.)

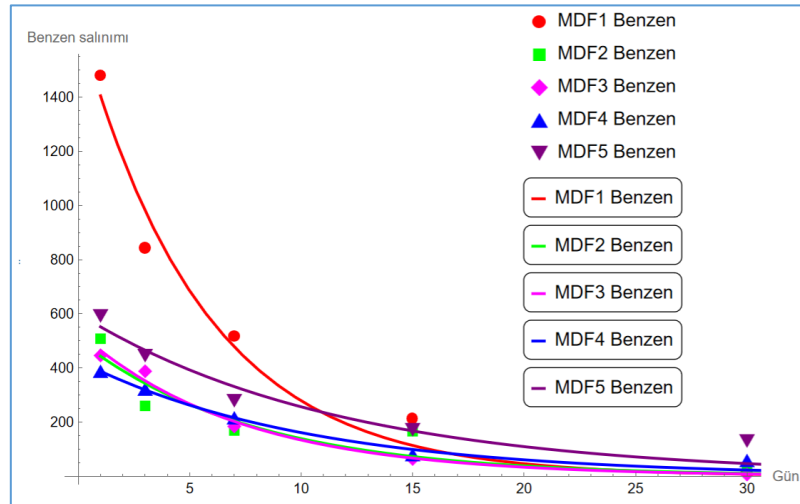
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Katkı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Anlamlılık $P \leq 0,05$
Gaz	1	401266	31.31%	401266	7.32	0.016
Vernik	1	2559	0.20%	2559	0.05	0.832
Gaz*Vernik	1	871	0.07%	871	0.02	0.901
Hata	16	877018	68.43%	54814		
Toplam	19	1281714	100.00%			

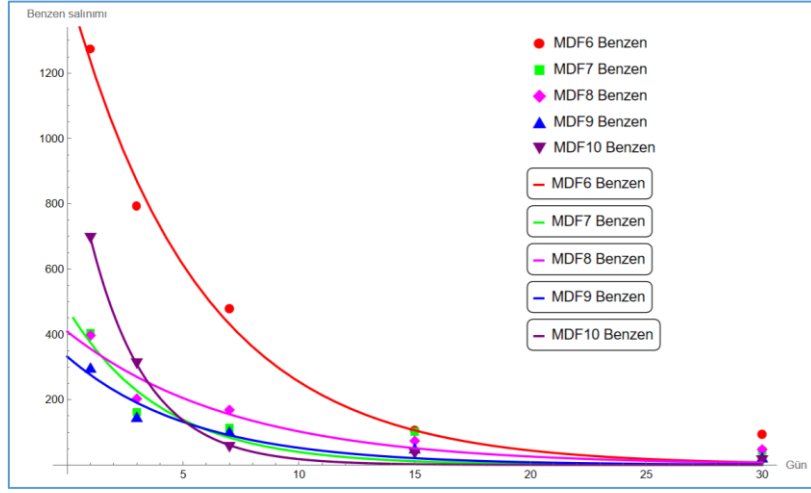
Tablo 8. Anova test sonuçları 15. gün. (Anova test results 15th day.)

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Katkı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Anlamlılık $P \leq 0,05$
Gaz	1	169649	34.98%	169649	9.50	0.007
Vernik	1	567	0.12%	567	0.03	0.861
Gaz*Vernik	1	29115	0.07%	29115	1.63	0.220
Hata	16	285686	68.90%	17855		
Toplam	19	485018	100.00%			

Tablo 9. Anova test sonuçları 30. gün. (Anova test results 30th day.)

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Katkı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Anlamlılık $P \leq 0,05$
Gaz	1	4023	7.69%	4023	1.42	0.251
Vernik	1	1221	2.33%	1221	0.43	0.521
Gaz*Vernik	1	1677	3.20%	1677	0.59	0.453
Hata	16	45415	86.77%	45415		
Toplam	19	52337	100.00%			

**Şekil 3.** Selülozik vernik Benzen ölçüm değerleri (ppm) (Benzene measurement values of cellulosic varnish (ppm))

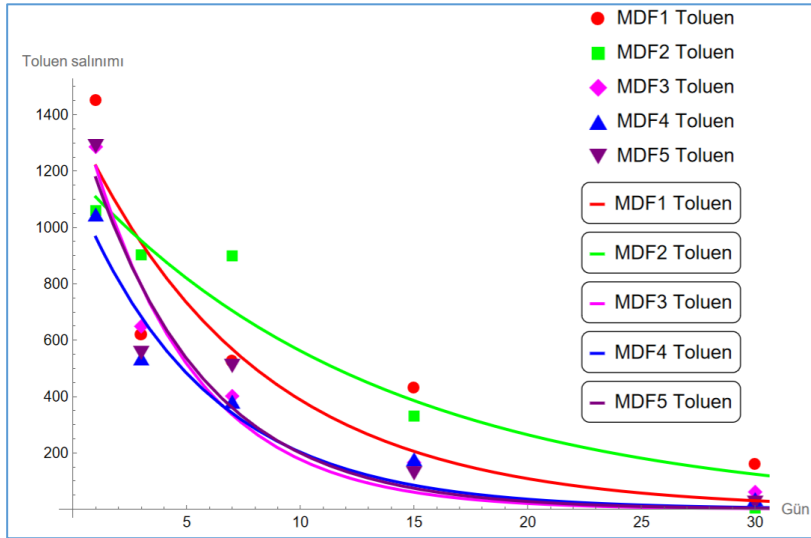


Şekil 4. Poliüretan vernik Benzen ölçüm değerleri (ppm) (Benzene measurement values of polyurethane varnish (ppm))

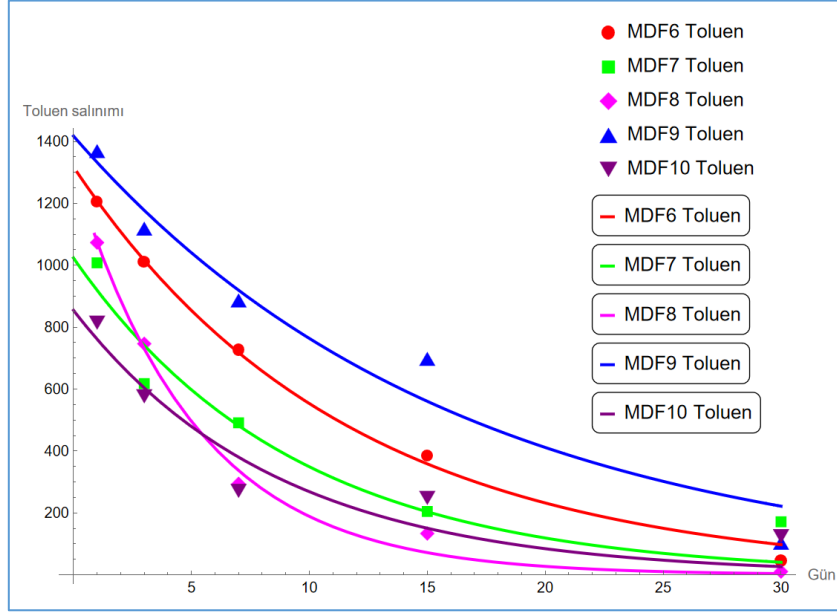
Şekil 3'te verilen incelendiğinde, selülozik verniklerin uygulandığı ilk beş numunede yaklaşık 17 gün sonunda benzen gazının maruziyet sınır değeri olan 100 ppm altına düştüğü gözlemlenmiştir.

Grafik incelendiğinde, poliüretan verniklerin uygulandığı ikinci beş numunede yaklaşık 12 gün sonunda benzen gazının maruziyet sınır değeri olan 100 ppm altına düştüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 3 ve 4'teki grafikler incelendiğinde, poliüretan verniğin Benzen gazı açısından daha önce maruziyet değerinin altında sonuçlar verdiği söylenebilir. Grafik selülozik vernik uygulanan ilk beş numunede yaklaşık 17 gün sonunda toluen gazının maruziyet sınır değeri olan 200 ppm altına düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Selülozik vernik Toluen ölçüm değerleri (ppm) (Toluene measurement values of cellulosic varnish (ppm))



Şekil 6. Poliüretan vernik Toluen ölçüm değerleri (ppm) (Polyurethane varnish Toluene measurement values (ppm))

Şekil 6' da verilen grafik incelendiğinde, poliüretan verniklerin uygulandığı ikinci beş numunede yaklaşık 19 gün sonunda tolüen gazının maruziyet sınır değeri olan 200 ppm altına düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 5' teki grafikler selülozik ve

poliüretan vernik uygulanan parçalar karşılaştırıldığında bu verilere göre poliüretan verniğin Toluen gazı açısından daha sonra maruziyet değerinin altında sonuçlar verdiği söylenebilir.

Tablo 10. Non-linear fit işlemi sonucunda elde edilen matematiksel ifadelerin parametreleri (Parameters of the mathematical expressions obtained as a result of the non-linear fit process)

Parça no	Benzen			Toluen		
	N_0	b	τ^*	N_0	b	τ^*
1	1681.76	0.179783	110	1383.84	0.127225	150
2	504.37	0.129010	140	1194.65	0.075425	250
3	527.43	0.127987	140	1507.83	0.214680	90
4	427.59	0.097727	180	1148.22	0.173540	110
5	600.86	0.085210	220	1433.14	0.197339	100
6	1471.31	0.175369	110	1317.88	0.086814	220
7	479.60	0.249209	80	1023.42	0.107603	180
8	408.33	0.138162	130	1304.29	0.193396	100
9	333.21	0.171720	100	1396.60	0.061263	310
10	1043.57	0.406778	50	854.38	0.115747	160

*Gaz salınımının 10^{-6} değerinin altına düştüğü gün değeridir. 10'ar gün aralıkla hesaplatıldığından 10 günün katları olarak elde edilmiştir.

Sönüm sabiti küçük olan gazlar için gaz salınımının salınım süresi daha uzundur. Örneğin 4. ve 5. Benzene parçaları ve 2., 6., 7. ve 9. Toluen parçalarının sönüm sabitleri küçük olduğundan bu gazların salınımının sıfırlandığı gün süreleri 180 ve

üzeri günler olarak bulunmuştur. Yine elde edilen sonuçlara göre ilk gün salınım karşılık gelen değerlerin salınım üzerinde çok fazla etkisi olmayıp, belirleyici faktör sönüm sabitidir, denilebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Mobilya üretiminde kullanılan malzemelerdeki VOC gazlarının (Benzen ve Toluen) salınımı çalışanlar ve nihai mobilya tüketicisi için insan sağlığına olumsuz etkileri Tablo 2’de verilmiştir. Bu çalışmada deneysel olarak elde edilen verilere non-linear fit yöntemi uygulanarak bu gazların salınımı için matematiksel ifadeler elde edilmiş ve sonuçları Tablo 10’ da verilmiştir. Denklemler, zaman değişkenine bağlı olduğundan istenilen herhangi bir zaman için gaz salınım miktarı ve salınımın ne zaman maruziyet değerinin altına düşebileceği bu çalışmada bulunan denklemlerden elde edilebilir.

Çok hassas ve doğru sonuçlar elde edebilmek için daha uzun sürelerle deney tekrarlanmalıdır. Bu süreç boyunca çalışanlar üretim sürecinde özel maskeler kullanılmalı, çalışma ortamı uygun şekilde havalandırılmalıdır. Üretici firmalar, bu VOC gazlarının salınım miktarı kritik değerinin altına

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Haldun Ender ERDEM: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Sosyal, A., ve Demiral, Y. Kapalı ortam hava kirliliği. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni. 2007; 221-226.

[2] Kurt, R. Mobilya sektöründe e-ticaret’in GZFT analizi ile değerlendirilmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2019;7: 616-627.

düşükten sonra ürünlerini satmalıdır. Bu durum üretici tarafından bağımsız denetçiler veya ticaret bakanlığı ile belgelendirerek tüketici güven endeksini artırabilir. Bu şekilde çalışan üreticiler insan sağlığına olumsuz etkide bulunmadığı için sektörde satış stratejisi olarak avantaj sağlayabilir.

Mobilya sektörü kullanılan malzemeler heterojen ve uygulamalar standart olmadığı için bu çalışmada elde edilen denklemler evrensel sonuçlar değildir. Bu çalışmada bulunan denklemler benzer malzemeler için VOC gazlarının salınımında fikir verebilir. Non-linear fit yöntemi kullanılarak sektörde kullanılan malzemeler için denklemler elde edilebilir.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda Non- Lineer fit yöntemi yerine Derin Öğrenme yöntemleri ve yapay zeka teknikleri uygulanabilir.

Hamza ÇINAR: Analysed and interpreted the experimental results.

Deney sonuçlarını analiz etmiş ve yorumlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

There is no conflict of interest in this study.

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırmada Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi 2018/054 nolu proje kapsamında alınan Wolfram Mathematica programı kullanılmıştır.

[3] Kostrweski, P. New Sources Of occupational exposure in modified or new technological process. Med Pr. 2001;52: 445-500.

[4] Aksakal, N., Vazioğlu, S, A., Güler, Ç. Mobilyadaki kimyasallar ve sağlık etkileri, Chemicals in furniture and their effects on health. 2005; 14: 267-272.

- [5] Kim, S., Kim, H. J. Evaluation of formaldehyde emission of pine & wattle tannin based adhesives by gas chromatography. *Holz. Roh. Werkst.* 2004; 62: 101-104.
- [6] Kim, S., H.-J. Kim, Effect of addition of polyvinyl Acetate to melamine-formaldehyde resin on the adhesion and formaldehyde emission in engineered flooring, *Int. J. Adhes. Adhes.* 25 (2005) 456.
- [7] Kelly, T. J., Smith, D. L., Satola, J. Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes, *Environ. Sci. Technol.* 1999; 33: 81-86.
- [8] Kotzias, D., Koistinen K., Kephelopoulou, S., Schlitt, C., Carrer, C., Maroni, M., et al. The INDEX project: critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU. Final Report for EUR 21590 EN. Italy: Joint Research Center. 2005; 331-336.
- [9] Wang, H., ve arkadaşları, Characterization and assessment of volatile organic compounds (VOCs) emissions from typical industries. *Chinese Science Bulletin, Environmental Chemistry.* 2013; 58: 724-730.
- [10] Yuan, B., ve arkadaşları. Source profiles of volatile organic compounds associated with solvent use in Beijing”, *Science Direct, Atmospheric Environment-* 2010; 44: 1919-1926.
- [11] Ho, D. X., ve arkadaşları. Emission Rates of Volatile Organic Compounds Released from Newly Produced Household Furniture Products Using a Large-Scale Chamber Testing Method. *The Scientific World Journal.* 2011;11: 1597-1622. <https://doi.org/10.1100/2011/650624>
- [12] Tong, R. ve arkadaşları. Emission characteristics and probabilistic health risk of volatile organic compounds from solvents in wooden furniture manufacturing. *Science Direct. Journal Of Cleaner Production.* 2024; 208; 1096-1108. <https://doi.org/10.1016/2011/j.jclepro.2018.10.195>
- [13] Cech, P., Standik, J. Mobilya Üretim Gibi Kaynak VOC Emisyonları İçin Kullanılan Malzemeler. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi. Dergi Park Akademi.* 2017; 6: 1264-1276.
- [14] Çınar, H., ve arkadaşları. Formaldehyde Emission in Different Positions of Wood-Based Boards Used in Interior Architecture. *Journal of Design Planning and Aesthetics Research.* 2022; 91-104.
- [15] Çınar ve arkadaşları. Effect of Wood-Based Panels and Varnish Types on VOC Emissions in Furniture Production. *Gazi University Journal of Science Part A. Engineering and Innovation.* 2021; 8: 424-434.
- [16] Kanserojen veya Mutajen Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. 2013.
- [17] [Url-4<https://limitvalue.ifa.dguv.de/>](https://limitvalue.ifa.dguv.de/)
- [18] Aydın, B. Ö. İç ortam havasında uçucu organik bileşiklerin derişimlerinin belirlenmesi ve maruziyet risklerinin değerlendirilmesi. *Doktora Tezi.* 2013; 48-50.
- [19] Infrared Analysis Şirketi. Procedures in Infrared Analysis Of Gases. QASoft Package 4.0 (QASoft Version4.0 with GRAMS AI Version 9.2 kullanım kılavuzu). Part Q. 2014.
- [20] Türeci, R. G. Fizik ve Mühendislikte Wolfram Mathematica. Gazi Kitabevi. 2020. ISBN: 978-975-7216-87-6.
- [21] Burden, A. R., Burden, F., Faires, J. Numerical Analysis. Cenveo: Cengage Editor. 10th Ed. 2016.