



YANGIN GECİKTİRİCİ KİMYASALLARLA EMPRENYE EDİLMİŞ KONTRPLAKLARIN FORMALDEHİT EMİSYONLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Aydın DEMİR*, İsmail AYDIN

Department of Forest Industry Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon

*Sorumlu yazar: aydindemir@ktu.edu.tr

Aydın DEMİR: <https://orcid.org/0000-0003-4060-2578>

İsmail AYDIN: <https://orcid.org/0000-0003-0152-7501>

Please cite this article as: Demir A. & Aydın, I. (2021) Yangın Geciktirici Kimyasallarla Emprenye Edilmiş Kontrplakların Formaldehit Emisyonlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 352-365

ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 25 Mart 2021 / Received 25 March 2021

Düzeltilmelerin gelişi 11 Mayıs 2021 / Received in revised form 11 May 2021

Kabul 16 Haziran 2021 / Accepted 16 June 2021

Yayımlanma 31 Ekim 2021 / Published online 31 October 2021

ÖZET: Bu çalışmada, YSA modellemesi kullanılarak yangın geciktirici kimyasallarla emprenye edilmiş kontrplakların formaldehit emisyon salınımları üzerine çözelti konsantrasyon ve retensiyon miktarlarının etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bundan yola çıkarak, ilk olarak, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü ve çözelti konsantrasyonunun retensiyon miktarı üzerine etkilerini incelemek için YSA ile retensiyon miktarı tahmin modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü, çözelti konsantrasyonu ve retensiyon miktarının kontrplakların formaldehit emisyonu üzerine etkileri YSA ile geliştirilen formaldehit emisyon değerleri tahmin modeliyle araştırılmıştır. Deneysel veriler, literatürde tarafımızca yapılan önceki çalışmadan elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, ağaç türü olarak, kavak, kızılğaç ve sarıçam, yangın geciktirici kimyasal olarak da çinko borat, monoamonyum fosfat ve amonyum sülfat kullanılmıştır. Kaplama levhaları daldırma metoduna göre emprenye edilmiş ve %5, %7 ve %10 olmak üzere üç farklı çözelti konsantrasyonları seçilmiştir. Kontrplak levhalarının formaldehit emisyon ölçümleri DIN EN 717-3 standardındaki şişe yöntemine göre belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler ile YSA analizleri sonucunda elde edilen tahmin değerleri hem istatistiksel hem de grafiksel karşılaştırmalar kullanılarak, en iyi performans ve kabul edilebilir sapmalara sahip tahmin modelleri belirlenmiştir. Daha sonra, bu tahmin modelleri kullanılarak, retensiyon miktarı ve formaldehit emisyon değerleri deneysel olarak testi yapılmayan ara çözelti konsantrasyon değerleri (%6, %8 ve %9) için tahmin edilmiştir. YSA analiz sonuçlarına göre, belirlenen bu ara değerlerde retensiyon miktarları artmaya devam ederken, formaldehit emisyon değerleri her üç ağaç türünde de benzer şekilde artış ve azalış göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Yangın geciktirici kimyasal, kontrplak, YSA, retensiyon miktarı, formaldehit emisyonu

ESTIMATION OF FORMALDEHYDE EMISSIONS OF PLYWOOD TREATED WITH FIRE RETARDANT CHEMICALS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ABSTRACT: In this study, it was aimed to determine the effects of solution concentration and retention level on formaldehyde emission release of plywood treated with fire retardant chemicals using ANN modelling. Based on this, firstly, the retention level estimation model with ANN was developed to examine the effects of wood type, fire retardant chemical type and solution concentration on the retention level. Then, the effects of wood type, fire retardant chemical type, solution concentration and retention level on the formaldehyde emission of plywood were investigated with the formaldehyde emission estimation model developed with ANN. Experimental data were obtained from a previous study conducted by us in the literature. In experimental studies, poplar, alder and scots pine were used as wood species while zinc borate, monoammonium phosphate and ammonium sulphate were used as fire-retardant chemicals. The veneer sheets were treated with immersion method and chosen three different concentrations as 5%, 7% and 10% aqueous solutions. Formaldehyde emission contents of plywood panels were determined according to flask method described in DIN EN 717-3 standard. The prediction models with the best performance and acceptable deviations were determined by using statistical and graphical comparisons between the experimental data and the prediction values obtained as a result of ANN analysis. Then, using these prediction models, the retention level and formaldehyde emission values were estimated for intermediate solution concentrations (6%, 8% and 9%), which were not experimentally tested. According to ANN analysis results, while retention levels continued to increase at these intermediate values, formaldehyde emission values increased and decreased similarly in all three wood species.

Keywords: Fire retardant chemical, plywood, ANN, retention level, formaldehyde emission

GİRİŞ

Kontrplakların hem fiziksel, mekanik ve yapısal özelliklerinin oldukça iyi olması hem de diğer ahşap esaslı levhalara göre daha etkileyici bir doğal ahşap görünümüne sahip olmasından dolayı, iç mekân tasarımlarında, mobilya ve yapı sektöründe kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Bekhta et al., 2021; Salca et al., 2020). 2019 yılında, kontrplak üretim miktarları dünyada 108 milyon m³ ve Avrupa'da 10 milyon m³'e yaklaşırken, ülkemizde 115.000 m³ seviyelerine ulaşmıştır (FAO, 2021). Birçok avantajlarına rağmen, kontrplakların diğer ahşap esaslı levhalarda olduğu gibi kolay yanabilmesi ve tutuşabilmesi, mobilya sektöründe ve yapılarda kullanımını sınırlayan olumsuz bir özelliktir. Bundan dolayı, kontrplakların yanıcılığının azaltılması araştırılması gereken önemli konulardan biri olarak gösterilmektedir (Bryn ve ark. 2016). Literatürde bu konuyla alakalı üç farklı metot ortaya konulmuştur. Bunlar, yangın geciktirici kaplamaların kullanılması (Wang & Zhao, 2018; Wu et al., 2020), kaplamaların veya levhaların yangın geciktirici kimyasallarla empenye edilmesi (Aydın ve Colakoglu, 2007; Cheng & Wang, 2011) ve fiziksel olarak yangın geciktirici kimyasalların tutkalların içerisine karıştırılmasıdır (Su et al., 1998; Wang et al., 2018).

Üre formaldehit, fenol-formaldehit ve melamin-üre formaldehit reçineleri, kontrplak üretimi için kullanılan en yaygın yapıştırıcı malzemelerdir (Dunky, 2003). Bunlar arasında, üre formaldehit reçineleri, kontrplak dahil olmak üzere ahşap esaslı levhaların üretiminde en yaygın kullanılan yapıştırıcılardır (Rowell, 2005). Bu reçinelerin endüstriyel olarak yaygın

kullanılmasının sebepleri, yüksek reaktiviteleri, yüksek yapışma özellikleri, farklı sertleşme koşullarında kullanım kolaylığı, düşük sertleşme sıcaklıkları, kısa presleme süreleri, suda kolay çözünmeleri, renksiz olmaları ve düşük fiyatlarıdır (Dunky, 2003; Rowell, 2005). Bununla birlikte, en büyük dezavantajı, gözleri, solunum sistemini ve sinir sistemlerini tahriş edebilen ve hatta lösemi gibi kanserlere yol açabilen formaldehit emisyonu salınımına neden olmasıdır (Łebkowska et al., 2017). Bu nedenle formaldehit, 2004 yılında Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından "insanlar için kanserojen (Grup 1)" (IARC, 2006) olarak yeniden sınıflandırılarak, üreticileri formaldehit emisyonunu daha düşük seviyelere indirmeye zorlamıştır. Ahşap esaslı panel ürünleri gibi yapı malzemeleri ve mobilyalar, iç mekânda formaldehit emisyonunun en yaygın kaynaklarıdır (Hodgson et al., 2002; Bekhta et al., 2021).

Ahşap esaslı levhaların formaldehit emisyonları, üretim sürecinde veya levhaların sonradan işlenmesi sırasında çeşitli yöntemlerle azaltılabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalara göre, bu yöntemler dört başlık altında toplanabilir. Bunlar; (1) tutkal reçinesindeki formaldehit içeriğinin azaltılması (Myers, 1984), (2) formaldehit tutucuların veya diğer formaldehit yakalayıcı bileşiklerin kullanılması (Kim, 2009; Moubarik et al., 2010; Gangi et al., 2013; Costa et al., 2013) (3) boyalar, cilalar, kaplamalar ve kağıtlar ile levhaların yüzeylerinin işlenmesi (Roffael, 1982; Myers, 1986; Costa et al., 2013) ve (4) alternatif tutkal türleri ve sistemlerinin kullanılmasıdır (Gui et al., 2016). Yangın geciktirici kimyasalların, kendileriyle işlenen malzemelerin diğer fiziksel, mekanik ve bazı teknolojik özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Ustaömer, 2008). Tarafımızca yapılan bir çalışmada, bazı yangın geciktirici kimyasalların konsantrasyon ile retensiyon miktarlarına bağlı olarak kontrplakların formaldehit emisyonunu azalttığı bazılarının ise arttırdığı tespit edilmiştir (Demir et al., 2017).

İnsan ve çevre sağlığı açısından son derece önemli olan formaldehit emisyon salınımlarının yangın geciktirici kimyasallar ve diğer faktörlerle olan ilişkilerini belirlemek için yüksek maliyetlere, zaman ve enerji kaybına neden olan çok sayıda konsantrasyon ve retensiyon miktarı değerlerinin test edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, teknolojik özelliklerle ilgili istenen sonuçları sağlayan daha ekonomik yöntemler bulmak önemlidir (Demirkır et al., 2013). Geleneksel yöntemlere göre daha uyarlanabilir olan yapay sinir ağları (YSA), son zamanlarda daha hızlı ve ekonomik olması nedeniyle ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin teknolojik özelliklerinin tahmin edilmesi ve optimizasyonlarında araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır (Esteban et al., 2011; Demirkır et al., 2013; Ozsahin & Aydın, 2014; Ozsahin & Murat, 2018; Tiryaki et al., 2017). Deneysel olarak elde edilen girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkiler karmaşık ve anlamsız olsa bile YSA modellemesi başarıyla gerçekleştirilebilmekte ve istenen optimum değerler elde edilebilmektedir (Fernandez et al., 2008).

Bu çalışmada, YSA modellemesi kullanılarak yangın geciktirici kimyasallarla emprenye edilmiş kontrplakların formaldehit emisyon salınımları üzerine çözelti konsantrasyon ve retensiyon miktarlarının etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bundan yola çıkarak, ilk olarak, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü ve çözelti konsantrasyonunun retensiyon miktarı üzerine etkilerini incelemek için YSA ile retensiyon miktarı tahmin modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü, çözelti konsantrasyonu ve retensiyon miktarının kontrplakların formaldehit emisyonu üzerine etkileri YSA ile geliştirilen formaldehit emisyon değerleri tahmin modeliyle araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Veri Toplama

Bu çalışmada kullanılan veriler Demir ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiştir. Bu çalışmada, ağaç türleri olarak kavak ((*Populus deltoides* I-77/51 klonu), kızılalağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) ve sarıçam (*Pinus silvestris*) odunlarından soyma kaplamalar elde edilmiştir. Yangın geciktirici kimyasal olarak da çinko borat, monoamonyum fosfat ve amonyum sülfat kullanılmıştır. Kaplama levhaları daldırma metoduna göre empenye edilmiş ve %5, %7 ve %10 olmak üzere üç farklı çözelti konsantrasyon değerleri seçilmiştir. Kaplamaların retensiyon miktarlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

Burada: $G = T_2 - T_1$

T_2 : Emprenye sonrası numune ağırlığı (g)

T_1 : Emprenye öncesi numune ağırlığı (g)

V: Numune hacmi (cm³)

C: Emprenye çözeltisi konsantrasyonudur.

Kontrplak levhalarının formaldehit emisyon salınımları, DIN EN 717-3 (1996) standardındaki şişe yöntemine göre belirlenmiştir

Yapay Sinir Ağları

Bu çalışmada tarafımızca yapılan çalışmanın deneysel sonuçlarından elde edilen retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerleri kullanılarak YSA ile modellemeler yapılmıştır. Analizlerde ilk olarak, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü ve çözelti konsantrasyon değerlerine bağlı olarak retensiyon miktarlarındaki değişim modellenmiştir. Bundan sonra, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü, çözelti konsantrasyon değerleri ve retensiyon miktarlarına bağlı olarak formaldehit emisyon salınım düzeylerindeki değişimin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. MATLAB paket programı, yapay sinir ağlarının oluşturulmasında, eğitilmesinde, test edilmesinde ve deneylerde kullanılmayan ara değerlerin belirlenmesi işlemlerinde kullanılmıştır. Çalışma amaçları kapsamında belirlenen değişkenlerin retensiyon miktarı ve formaldehit emisyon değerleri üzerindeki etkilerini incelemek üzere, deneysel veriler; rastgele ve homojen olarak eğitim verisi ve test verisi olarak gruplandırılmıştır. Retensiyon miktarı ve formaldehit emisyon modellemelerinde, eğitim safhası için 18, YSA'nın genelleme kabiliyetini test edilmesi için ise 9 veri kullanılmıştır. Eğitim ve tahmin modellerinde kullanılan veri setleri, Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir. Deneysel olarak elde edilen retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerleri de Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerlerine ait eğitim verileri

Ağaç Türü	Yangın Geciktirici Kimyasal Türü	Çözelti Kons. (%)	Eğitim Verileri					
			Retensiyon Miktarı (kg/m ³)			Formaldehit Emisyonu (mg/100g Tam Kuru Levha)		
			Gerçek	Tahmin	Hata (%)	Gerçek	Tahmin	Hata (%)
Kavak	Çinko Borat	5	17.118	16.750	2.147	1.404	1.403	0.074
Kavak	Çinko Borat	7	20.854	20.824	0.144	1.523	1.522	0.055
Kavak	Monoamonyum F.	7	14.219	14.251	-0.228	0.498	0.507	-1.872
Kavak	Monoamonyum F.	10	19.514	19.539	-0.129	0.434	0.435	-0.127
Kavak	Amonyum Sülfat	5	9.705	9.987	-2.908	0.759	0.757	0.201
Kavak	Amonyum Sülfat	10	14.660	15.077	-2.848	0.598	0.597	0.207
Kızılağaç	Çinko Borat	5	16.324	16.719	-2.422	1.121	1.124	-0.223
Kızılağaç	Çinko Borat	10	29.053	29.053	0.000	1.251	1.252	-0.097
Kızılağaç	Monoamonyum F.	5	10.233	10.924	-6.757	0.392	0.385	1.724
Kızılağaç	Monoamonyum F.	7	14.595	14.228	2.511	0.273	0.265	2.989
Kızılağaç	Amonyum Sülfat	7	11.350	10.477	7.696	0.449	0.461	-2.577
Kızılağaç	Amonyum Sülfat	10	15.254	15.051	1.329	0.394	0.389	1.267
Sarıçam	Çinko Borat	7	19.915	19.926	-0.056	1.620	1.621	-0.058
Sarıçam	Çinko Borat	10	26.420	26.421	-0.005	1.796	1.798	-0.133
Sarıçam	Monoamonyum F.	5	12.689	12.692	-0.025	0.571	0.577	-1.078
Sarıçam	Monoamonyum F.	10	23.402	23.390	0.050	0.532	0.532	-0.039
Sarıçam	Amonyum Sülfat	5	11.578	11.571	0.057	1.094	1.074	1.836
Sarıçam	Amonyum Sülfat	7	17.553	17.559	-0.035	1.042	1.057	-1.479
MAPE Eğitim			1.630			0.891		
RMSE Eğitim			0.330			0.007		

Tablo 2. Retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerlerine ait test verileri

Ağaç Türü	Yangın Geciktirici Kimyasal Türü	Çözelti Kons. (%)	Test Verileri					
			Retensiyon Miktarı (kg/m ³)			Formaldehit Emisyonu (mg/100g Tam Kuru Levha)		
			Gerçek	Tahmin	Hata (%)	Gerçek	Tahmin	Hata (%)
Kavak	Çinko Borat	10	30.243	29.341	2.982	1.614	1.654	-2.481
Kavak	Monoamonyum F.	5	11.233	10.931	2.689	0.516	0.519	-0.593
Kavak	Amonyum Sülfat	7	11.594	10.480	9.605	0.724	0.692	4.489
Kızılağaç	Çinko Borat	7	20.107	20.853	-3.711	1.249	1.199	4.040
Kızılağaç	Monoamonyum F.	10	18.601	19.586	-5.294	0.249	0.264	-5.990
Kızılağaç	Amonyum Sülfat	5	9.781	9.986	-2.098	0.484	0.503	-3.874
Sarıçam	Çinko Borat	5	13.800	12.636	8.434	1.600	1.483	7.329
Sarıçam	Monoamonyum F.	7	18.033	17.833	1.110	0.533	0.520	2.523
Sarıçam	Amonyum Sülfat	10	24.993	25.850	-3.427	0.927	0.923	0.438
MAPE Test			4.372			3.529		
RMSE Test			0.806			0.047		

Retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerlerinin tahmin modellerinin bağlantı ağırlıkları ve eşik değerleri sırasıyla Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon tahmin modellerinin bağlantı ağırlıkları ve eşikleri

Retensiyon Miktarı									
Gizli Katman 1			Gizli Katman 2				Çıktı Katmanı		
Neron1	Neron2	Eşik1	Neron1	Neron2	Neron3	Eşik2	Neron1	Eşik3	
-6.095	0.003	6.527	3.093	-3.754	-1.656	-3.144	2.008	2.397	
0.028	1.011	1.860	-6.196	5.987	1.420	-2.494	-3.980	-	
-0.148	-0.926	-	-	-	-	-0.144	6.581	-	
Formaldehit Emisyonu									
Gizli Katman							Çıktı Katmanı		
Neron1	Neron2	Neron3	Neron4	Neron5	Neron6	Neron7	Eşik1	Neron1	Eşik3
-1.432	0.191	1.247	-0.751	2.293	-1.744	-1.595	3.148	-0.402	1.372
1.758	-3.066	-1.352	2.219	1.063	1.655	-2.022	-1.674	0.849	-
-0.618	0.850	1.412	-0.488	-0.735	-0.806	0.478	0.077	-0.052	-
0.388	-1.024	-0.885	-0.532	1.355	2.219	-0.636	-0.382	0.298	-
-	-	-	-	-	-	-	-1.905	0.468	-
-	-	-	-	-	-	-	-1.859	0.356	-
-	-	-	-	-	-	-	-3.188	0.391	-

Test işlemi sonucunda bulunan tahmini değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış, tanı vasıtaları (performans fonksiyonları) olarak en iyi bilenen ve en çok kullanılan 2 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hatanın karekökü (root mean square error) (RMSE), 3 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error) (MAPE) ve 4 numaralı eşitlikle hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren modeller, tahmin modelleri olarak seçilmiştir.

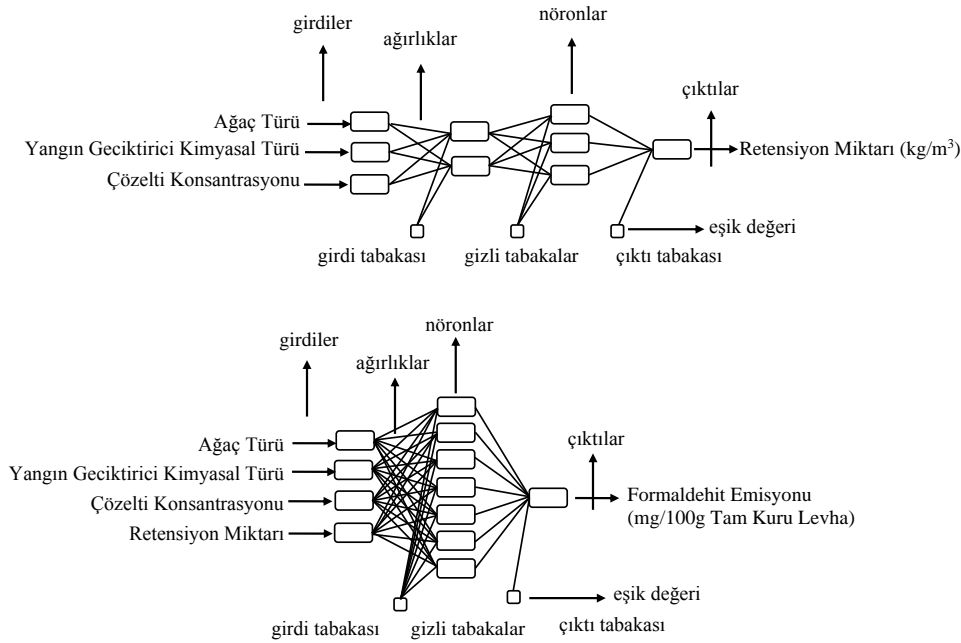
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left[\left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (4)$$

Burada t_i , gerçek değeri; td_i , model tahmin değerini; N ise terim sayısını ifade etmektedir.

Şekil 1'de, retensiyon miktarı tahmin modeli için üç giriş katmanı, iki gizli katman ile bir çıkış katmanı (3:2:2:1), formaldehit emisyon değerleri tahmin modeli için dört giriş katmanı, bir gizli katman ile bir çıkış katmanını (4:7:1) içeren YSA tahmin modelleri gösterilmiştir. Seçilen YSA modelleri, ölçülen retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerlerine en yakın değerleri üreten tahmin modellerini temsil etmektedir. Retensiyon miktarı tahmin modelinde, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü ve çözelti konsantrasyonu girdi değişkenleri olarak kullanılırken, formaldehit emisyonu tahmin modelinden bunlara ek olarak retensiyon miktarı da girdi olarak belirlenmiştir. YSA modellerinde retensiyon miktarı ve formaldehit emisyonu değerleri çıktı değişkenleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. Tahmin modelleri olarak seçilen YSA mimarileri

Problemlerin çözümünde ileri beslemeli ve geri yayımlı (Feed Forward and Back Propagation) çok katmanlı (multilayer) YSA tercih edilmiştir. Bu çalışmada, aktivasyon (activation) (transfer) fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (hyperbolic tangent sigmoid function) (tansig) ile doğrusal transfer fonksiyonu (linear transfer function) (purelin), öğrenme kuralı olarak momentumlu gradyan azaltım geri yayılım algoritması (gradient descent with momentum backpropagation algoritm) (traingdm), eğitim algoritması olarak ta levenberg marquardt algoritması (trainlm) seçilmiş, performans fonksiyonu olarak ta 5 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hata (mean square error) (MSE) kullanılmıştır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (5)$$

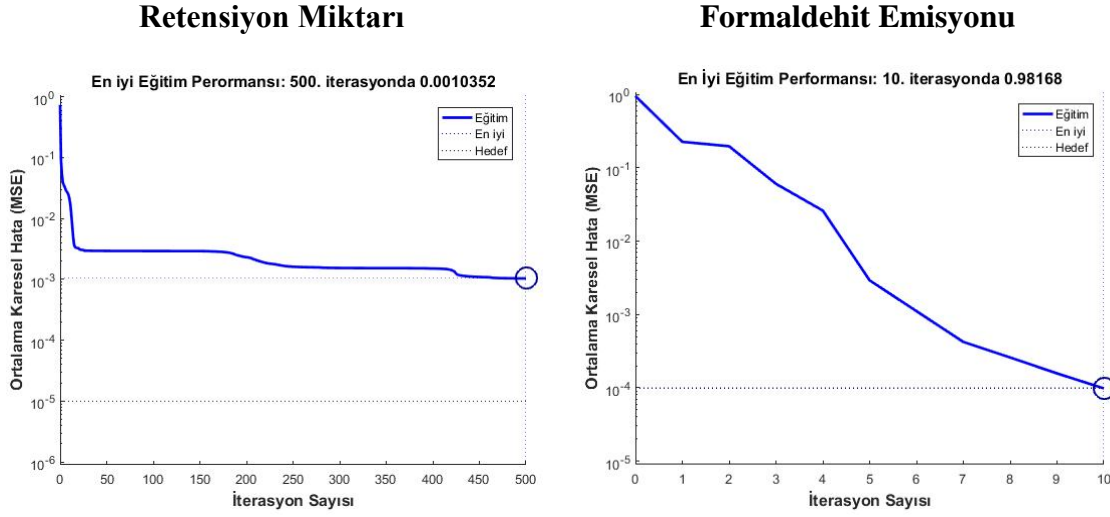
Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılarak oluşturulan modellerdeki eğitim ve test verileri, her bir değişkenin tahmin modellerine eşit olarak katkı sağlayabilmesi için, (-1,1) aralığında normalize edilerek ağa sunulmuş, daha sonra sonuçların doğru yorumlanabilmesi için veriler ters normalize işlemine tabi tutularak orijinal değerlerine çevrilmiştir. Normalizasyon (ölçeklendirme) işlemleri, 6 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Eşitlikte X_{norm} , normalize edilmiş veriyi; X , değişkenin gerçek değerini; X_{min} , veri grubunun minimum değerini; X_{max} , ise veri grubunun maksimum değerini ifade etmektedir.

$$X_{norm} = 2 \times \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} - 1 \quad (6)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA

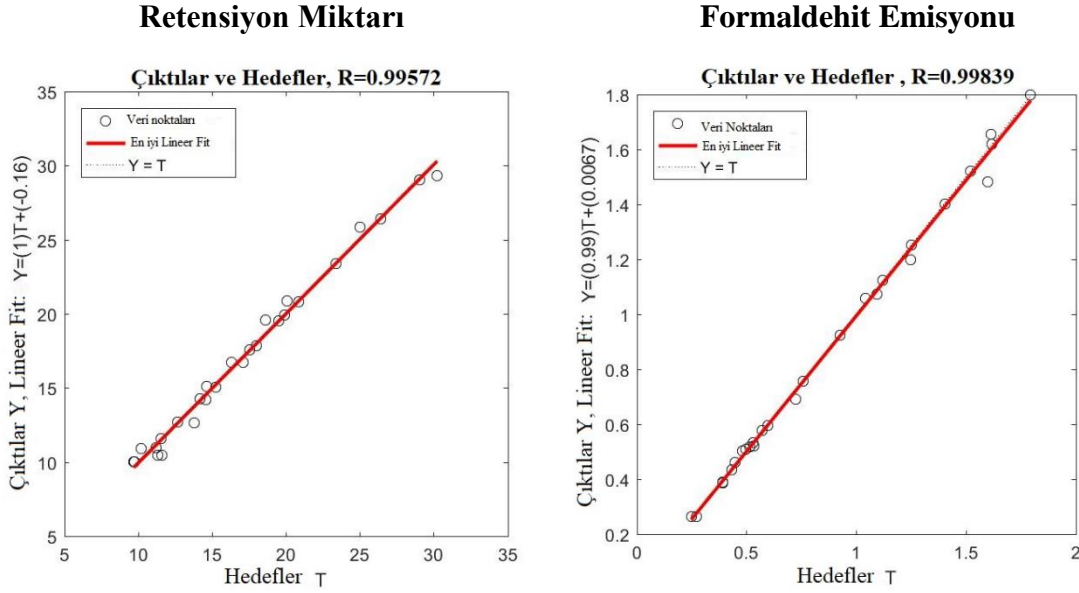
Tarafımızca yapılan (Demir ve ark. 2017) deneysel çalışmadan elde edilen kontrplakların retensiyon miktarları ve formaldehit emisyon değerleri, YSA ile modellenerek eğitilmiş ve test edilmiştir. Retensiyon miktarlarına ait tahmin modelinin en iyi performansı 500. iterasyonda

0.0010352 iken formaldehit emisyonu değerlerine ait tahmin modelinin ki 10. iterasyonda 0.98168 olarak tespit edilmiş ve modellerin iterasyona bağlı olarak ortalama karesel hata (MSE) değişimleri Şekil 2’de verilmiştir.

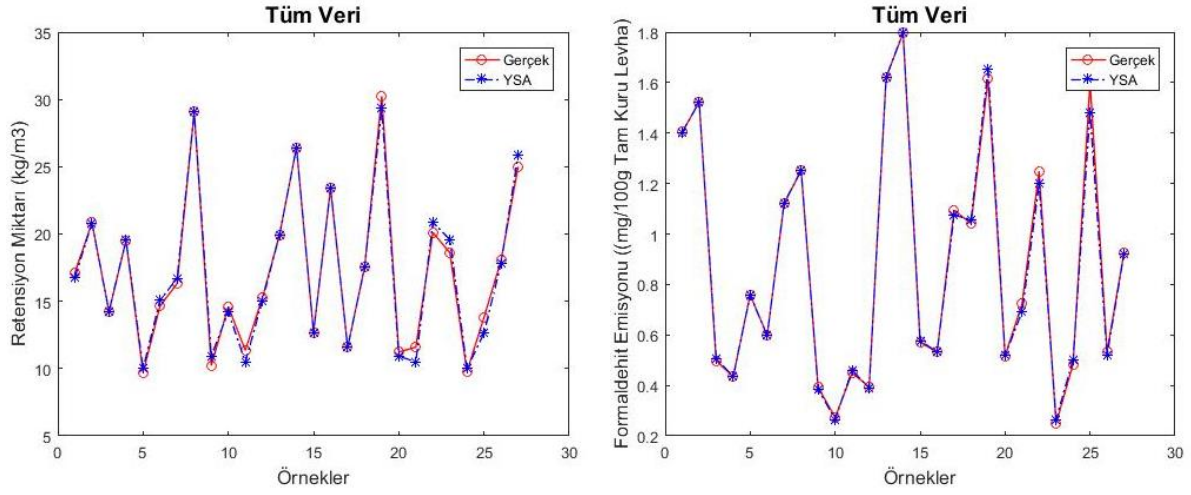


Şekil 2. Belirlenen tahmin modellerinin iterasyona bağlı olarak MSE değişimleri

Elde edilen deneysel sonuçlar ile tahmin modellerinin hesaplamaları arasındaki ilişkileri Şekil 3’te verilmiştir. Bu verilere ait karşılaştırma grafikleri yine Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3. Deneysel sonuçlar ile yapay sinir ağları hesaplamaları arasındaki ilişkiler



Şekil 4. Gerçek ve hesaplanan verilerin karşılaştırılması

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile analizler sonucunda elde edilen tahmin verileri arasındaki ilişkiyle hesaplanabilen regresyon analizleri, tahmin modellerinin geçerliliğini ve doğruluğunu belirlemek için kullanılabilen en önemli parametrelerden biridir ve (R^2) 1'e yaklaştığında modellerin tahmin doğruluğu artmaktadır (Özşahin, 2012). Böylece korelasyon katsayıları 1'e yakın olan modellerde, deneysel veriler ile tahmin verilerinin arasındaki uyumun çok iyi olduğu istatistiksel olarak da kanıtlanmış olacaktır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile analizler sonucunda elde edilen tahmin verileri arasındaki ilişkiler Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere retensiyon miktarı tahmin modelinin R değeri, 0.99572 olurken, R^2 değeri 0.99146 olarak hesaplanmıştır. Formaldehit emisyonu tahmin modeli için ise R değeri 0.99839 iken R^2 0.99678 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, analiz sonucunda modellerden elde edilen verilerin, deneysel olarak elde edilen retensiyon miktarı ve formaldehit emisyonu verilerinin en az sırasıyla %99.15 ve %99.68'ini açıkladığını yani mükemmel bir uyum olduğunu kanıtlamıştır. Yapılan analizler sonucundan elde edilen tahmin modeline ait bulgular ile deneysel olarak elde edilen bulguların grafiksel olarak da birbirine çok yakın oldukları Şekil 4'te gösterilmiştir. Analizlerden elde edilen bu modellerin kullanılabilirliğine dair güvenirliliği hem Şekil 3 hem de 4'e bağlı olarak daha da artmıştır.

MAPE, en önemli değerlendirme kriterlerinden biridir ve birçok araştırmacı, MAPE'yi kullanarak model performansını değerlendirmiştir (Antanasijević et al., 2013; Tiryaki et al., 2016, Yadav & Nath, 2017). Literatürde MAPE değerinin %10'un altında olması durumunda model performansının yüksek olduğu belirtilmiştir (Yadav & Nath, 2017). Bu çalışmada, retensiyon miktarına ait MAPE değerleri, eğitim verileri için %1.630 ve test verileri için %4.372 olarak hesaplanırken, formaldehit emisyon değerlerine ait MAPE değerleri, sırasıyla %0.891 ve %3.529 olarak belirlenmiştir (Tablo 1 ve 2). Bu hata seviyeleri, YSA tahmin modellerinin etkili bir şekilde tatmin edici sonuçlar verdiğini ve yeterli doğruluk ve güvenilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. En iyi YSA modelinin belirlenmesinde MAPE değerlerinin yanı sıra RMSE değerleri de dikkate alınmaktadır (Küçükönder et al., 2016). Düşük RMSE değerleri, iyi model performansı gösteren parametrelerden biridir (Taşpınar & Bozkurt, 2014). Eğitim ve test verileri için RMSE değerleri retensiyon miktarı ve formaldehit emisyonu tahmin modelleri için sırasıyla 0.330-0.806 ile 0.007-0.047 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1 ve 2). Bu hata seviyelerin, retensiyon miktarı ve formaldehit emisyonu değerlerine ait tahmin modelleri için tatmin edici olduğunu kanıtlamıştır.

YSA analizleriyle elde edilen, yüksek performanslı bir tahmin modeli kullanılarak deneysel çalışmalarda kullanılmayan girdi değişkenlerinin ara verilerine karşılık gelen çıktı verilerinin tahmininde yüksek doğruluk oranlarına ulaşılabilmektedir (Varol et al., 2018). Girdi değişkeni olarak belirlenen çözelti konsantrasyonunun deneylerde kullanılmayan ara değerlerinden olan %6, %8 ve %9 oranlarına karşılık gelen retensiyon miktarları, ağaç türüne ve yangın geciktirici kimyasal madde türüne göre tahmin edilmiş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te sunulan sonuçların yanında, formaldehit emisyonu üzerindeki diğer değişkenlerin etkilerinin tüm çıktıları geliştirilen ikinci model yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen ikinci tahmin modeliyle %6, %8 ve %9 çözelti konsantrasyonların ve retensiyon miktarı değerlerindeki ağaç türü ve yangın geciktirici kimyasal madde türüne göre formaldehit emisyonları tahmin edilmiş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. YSA ile tahmin edilen deneysel çalışmalarda kullanılmayan ara çözelti konsantrasyon değerlerine göre kontrplakların retensiyon miktarı ve formaldehit emisyonu değerleri

Ağaç Türü	Yangın Geciktirici Kimyasal Türü	Çözelti Konsantrasyonu (%)	Retensiyon Miktarı (kg/m ³)	Formaldehit Emisyonu (mg/100g Tam Kuru Levha)
Kavak	Çinko Borat	6	20.650	1.394
		8	23.709	1.546
		9	26.110	1.591
	Monoamonyum Fosfat	6	12.071	0.517
		8	17.828	0.489
		9	18.335	0.453
	Amonyum Sülfat	6	10.147	0.695
		8	11.164	0.587
		9	12.531	0.576
Kızılağaç	Çinko Borat	6	20.625	1.083
		8	23.782	1.195
		9	26.131	1.228
	Monoamonyum Fosfat	6	12.058	0.336
		8	17.796	0.183
		9	18.320	0.192
	Amonyum Sülfat	6	10.146	0.476
		8	11.156	0.427
		9	12.516	0.404
Sarıçam	Çinko Borat	6	14.474	1.541
		8	23.751	1.710
		9	25.145	1.760
	Monoamonyum Fosfat	6	15.379	0.537
		8	19.633	0.498
		9	20.500	0.487
	Amonyum Sülfat	6	14.479	1.069
		8	20.643	1.033
		9	23.507	0.991

Tablo 4'teki veriler incelendiğinde, artan çözeltili konsantrasyonuna bağlı olarak retensiyon miktarlarının artış gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek miktarlarda yangın geciktirici kimyasallar ilave edilerek çözeltili konsantrasyonu arttırılmış bir daldırma işleminde kaplamaların daha fazla kimyasalı bünyesinde barındırması yani retensiyonların yükselmesi beklenen bir sonuçtur. Çözeltili konsantrasyonlarına ve retensiyon miktarlarındaki artışla birlikte kontrplakların formaldehit emisyonu değerlerinde artış ve azalışlar gözlemlenmiştir.

Her üç ağaç türü içinde YSA ile tahmin edilen ara çözeltili konsantrasyonu değerleri ve ilk modelle tahmin edilen retensiyon miktarlarına bağlı olarak monoamonyum fosfat ve amonyum sülfat ile empenye edilmiş kontrplakların formaldehit emisyonları düşüş göstermeye devam etmiştir. Literatürde, monoamonyum fosfat ve amonyum sülfattan salınan amonyak, kaplama tabakalarının yüzeyinde formaldehit emisyonunu azaltmaya yardımcı olan N-H fonksiyonel grupları oluşturduğu belirtilmiştir (Schroder et al., 2001; Wen et al., 2006; Zhang et al., 2013). Zhang et al. (2013), formaldehit emisyon değerlerinin soğuk amonyaklı plazma ile ön işleme tabi tutulmuş kaplama levhalar ile düştüğü kontrplak levhaları için bulmuştur. Bununla birlikte, Junyou & Shengyou (2010) kavak kontrplaktan formaldehit emisyonunun amonyak ilavesiyle önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Tablo 4'teki verilere göre, her üç ağaç türünde çinko borat ile empenye işleminin kontrplakların formaldehit emisyonlarını konsantrasyon ve retensiyona bağlı olarak arttırmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Çolak & Çolakoğlu (2004) borik asidin panellerin formaldehit emisyonlarını arttırdığını bulmuşlardır. Tarafımızca tapılan önceki çalışmada da benzer şekilde çinko boratın da kontrplağın formaldehit emisyonunu artırıcı etkisi olduğu bulunmuştur (Demir et al., 2014). Literatürde yapılan bu çalışmalarda, yangın geciktirici kimyasalların katkı oranlarının artmasına bağlı olarak formaldehit emisyonlarının da daha fazla değiştiği tespit edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal madde türü ve çözeltili konsantrasyonu değişkenlerinin kontrplakların retensiyon miktarları üzerine etkileri ile ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal madde türü, çözeltili konsantrasyonu ve retensiyon miktarı değişkenlerinin formaldehit emisyonu üzerine etkilerini modellemek için YSA analizleri gerçekleştirilmiştir. Karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerden oluşan girdi ve çıktı değişkenlerinin, YSA analizleriyle tahmin edilebileceği çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak tatmin edici bir şekilde kanıtlanmıştır. Kontrplakların retensiyon miktarı ve formaldehit emisyon değerlerine ait tahmin modellerinin test aşamasında sırasıyla MAPE değerleri %4.372 ve %3.529, RMSE değerleri 0.806 ve 0.047 ve R² değerleri 0.99146 ve 0.99678 olarak hesaplanmış ve bu modellerin performanslarının çok iyi olduğu tanı vasıtalarıyla kanıtlanmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen iki tahmin modeli yardımıyla deneysel verilerde kullanılmayan ara konsantrasyon değerleri olan %6, %8 ve %9 oranları için retensiyon miktarı ve formaldehit emisyon değerleri her ağaç türü ve yangın geciktirici kimyasal madde türü için başarılı bir şekilde belirlenmiştir. Retensiyon miktarının belirlenen bu ara değerlerdeki artışa bağlı olarak artmaya devam ettiği tespit edilmiştir. Formaldehit emisyon değerlerinde ise her üç ağaç türünde de konsantrasyon ve retensiyon miktarına bağlı olarak monoamonyum fosfat ve amonyum sülfat kimyasallarının kullanımıyla birlikte bir azalışın, çinko borat kullanımıyla ise bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular kullanılarak hem zamandan hem de test için gerekli olacak maliyetlerden kazanç sağlayarak %5-%10

konsantrasyon aralığında en düşük formaldehit emisyon değerlerini veren en uygun konsantrasyon değeri ve retensiyon miktarı belirlenebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan deneysel veriler, tarafımızca yapılmış olan Demir ve ark. (2017) çalışmasından elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Antanasijević, D. Z., Pocajt, V. V., Povrenović, D. S., Ristić, M. Đ., & Perić-Grujić, A. A. (2013) PM10 emission forecasting using artificial neural networks and genetic algorithm input variable optimization. *Science of the Total Environment*, 443, 511-519.
- Aydın, I., & Colakoglu, G. (2007) Variation in surface roughness, wettability and some plywood properties after preservative treatment with boron compounds. *Building and Environment*, 42(11), 3837-3840.
- Bekhta, P., Sedliačik, J., Noshchenko, G., Kačík, F., & Bekhta, N. (2021) Characteristics of beech bark and its effect on properties of UF adhesive and on bonding strength and formaldehyde emission of plywood panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 1-11.
- Bryn, O., Bekhta, P., Sedliačik, J., Forosz, V., & Galysh, V. (2016) The effect of diffusive impregnation of birch veneers with fire retardant on plywood properties. *BioResources*, 11(4), 9112-9125.
- Cheng, R. X., & Wang, Q. W. (2011) The influence of FRW-1 fire retardant treatment on the bonding of plywood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 25(14), 1715-1724.
- Çolak, S., & Colakoglu, G. (2004) Volatile acetic acid and formaldehyde emission from plywood treated with boron compound. *Building and Environment*, 39(5), 533-536.
- Costa, N. A., Pereira, J., Ferrá, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhães, F. D., ... & Carvalho, L. H. (2013) Scavengers for achieving zero formaldehyde emission of wood-based panels. *Wood science and technology*, 47(6), 1261-1272.
- Demir, A., Aydın, I., & Colak, S. (2017) Effect of various fire retardant chemicals in different concentrations on formaldehyde emission of plywood. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(3), 509-516.
- Demir, A., Aydın, İ., & Öztürk H. (2014) Effect of fire retardant chemicals on formaldehyde emission of plywood. 25th International Scientific Conference New Materials and Technologies in the Function of Wooden Products (17 October), 63-66, Zagreb, Croatia.
- Demirkir, C., Özsahin, Ş., Aydın, I., & Colakoglu, G. (2013) Optimization of some panel manufacturing parameters for the best bonding strength of plywood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 46, 14-20.
- DIN EN 717-3, (1996) Wood-based panel products - Determination of formaldehyde release by the flask method.
- Dunky, M. (2003) Adhesives in the wood industry. In: Pizzi A, Mittal KL (eds) *Handbook of adhesive technology*, 2nd edn., p 71 Marcel Dekker Inc., New York.
- Esteban, L. G., Fernández, F. G., & de Palacios, P. (2011) Prediction of plywood bonding quality using an artificial neural network. *Holzforschung*, 65(2), 209-214.

- Fernández, F. G., Esteban, L. G., Palacios, P. D., Navaro, N., & Conde, M. (2008) Prediction of standard particleboard mechanical properties utilizing an artificial neural network and subsequent comparison with a multivariate regression model. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales*, 17(2), 178-187.
- Gangi, M., Tabarsa, T., Sepahvand, S., & Asghari, J. (2013) Reduction of formaldehyde emission from plywood. *Journal of adhesion science and technology*, 27(13), 1407-1417.
- Gui, C., Zhu, J., Zhang, Z., & Liu, X. (2016) Research progress on formaldehyde-free wood adhesive derived from soy flour. In: Rudawska A (ed) *Adhesives—applications and properties*. IntechOpen.
- Hodgson, A. T., Beal, D., & McIlvaine, J. E. R. (2002) Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. *Indoor Air*, 12(4), 235-242.
- IARC (2006) Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol. In: *Monographs on the Evaluation of carcinogenic risk to humans; world health organization international agency for research on cancer: Lyon, France, 2006, vol 88, p 478*.
- Junyou, S., & Shengyou, Y. (2010) Effects of addition ammonia modified urea-melamine-formaldehyde resin on the adhesions and formaldehyde emission in plywood. *Environment Materials and Environment Management PTS 1-3. Book Series: Advanced Materials Research*, 113-116, 1226-1229.
- Kim, S. (2009) Environment-friendly adhesives for surface bonding of wood-based flooring using natural tannin to reduce formaldehyde and TVOC emission. *Bioresource technology*, 100(2), 744-748.
- Küçükönder, H., Boyacı, S., & Akyüz, A. (2016) A modeling study with an artificial neural network: developing estimation models for the tomato plant leaf area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(2), 203-212.
- Łebkowska, M., Załęska-Radziwiłł, M., & Tabernacka, A. (2017) Adhesives based on formaldehyde-environmental problems. *BioTechnologia*, 98(1), 53-65.
- Moubarik, A., Allal, A., Pizzi, A., Charrier, F., & Charrier, B. (2010) Characterization of a formaldehyde-free cornstarch-tannin wood adhesive for interior plywood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(4), 427-433.
- Myers, G. E. (1984) How mole ratio of UF resin affects formaldehyde emission and other properties: a literature critique. *Forest products journal*, 34(5), 35-41.
- Myers, G. E. (1986) Effects of post-manufacture board treatments on formaldehyde emission: A literature review (1960-1984). *Forest products journal*, 36(6), 41-51.
- Özşahin, Ş. (2012) The use of an artificial neural network for modeling the moisture absorption and thickness swelling of oriented strand board. *BioResources*, 7(1), 1053-1067.
- Ozsahin, S., & Aydın, I. (2014) Prediction of the optimum veneer drying temperature for good bonding in plywood manufacturing by means of artificial neural network. *Wood science and technology*, 48(1), 59-70.
- Ozsahin, S., & Murat, M. (2018) Prediction of equilibrium moisture content and specific gravity of heat treated wood by artificial neural networks. *European journal of wood and wood products*, 76(2), 563-572.
- Roffael, E. (1982) Die Formaldehydabgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen [The release of formaldehyde from particleboards and other materials]. DRW, Stuttgart.
- Rowell, R.M. (2005) *Handbook of chemistry and wood composites*. CRC Press, Boca Raton, 446 pp.
- Salca, E. A., Bekhta, P., & Seblii, Y. (2020) The effect of veneer densification temperature and wood species on the plywood properties made from alternate layers of densified and non-densified veneers. *Forests*, 11(6), 700.

- Schröder, K., Meyer-Plath, A., Keller, D., Besch, W., Babucke, G., & Ohl, A. (2001) Plasma-induced surface functionalization of polymeric biomaterials in ammonia plasma. *Contributions to Plasma Physics*, 41(6), 562-572.
- Su, W. Y., Hata, T., Nishimiya, K., Imamura, Y., & Ishihara, S. (1998) Improvement of fire retardancy of plywood by incorporating boron or phosphate compounds in the glue. *Journal of wood science*, 44(2), 131-136.
- Taşpınar, F., & Bozkurt, Z. (2014) Application of artificial neural networks and regression models in the prediction of daily maximum PM10 concentration in Düzce, Turkey. *Fresenius Environ. Bull*, 23, 2450-2459.
- The Food and Agriculture Organization (FAO), (2021). FAOSTAT-FAO Statics Division - Production Quantity/Plywood. <http://faostat3.fao.org/browse/F/FO/E>.
- Tiryaki, S., Bardak, S., & Aydın, A. (2016) Modeling of wood bonding strength based on soaking temperature and soaking time by means of artificial neural networks. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 153-157.
- Tiryaki, S., Özşahin, Ş., & Aydın, A. (2017) Employing artificial neural networks for minimizing surface roughness and power consumption in abrasive machining of wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(3), 347-358.
- Ustaömer, D. (2008) Çeşitli yanmayı geciktirici kimyasal maddelerle muamele edilerek üretilmiş orta yoğunluktaki liflevhaların (MDF) özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 1 s.
- Varol, T., Canakci, A., & Ozsahin, S. (2018) Prediction of effect of reinforcement content, flake size and flake time on the density and hardness of flake AA2024-SiC nanocomposites using neural networks. *Journal of Alloys and Compounds*, 739, 1005-1014.
- Wang, W., Zammarano, M., Shields, J. R., Knowlton, E. D., Kim, I., Gales, J. A., ... & Li, J. (2018) A novel application of silicone-based flame-retardant adhesive in plywood. *Construction and Building Materials*, 189, 448-459.
- Wang, Y., & Zhao, J. (2018) Preliminary study on decanoic/palmitic eutectic mixture modified silica fume geopolymer-based coating for flame retardant plywood. *Construction and Building Materials*, 189, 1-7.
- Wen, H. C., Yang, K., Ou, K. L., Wu, W. F., Chou, C. P., Luo, R. C., & Chang, Y. M. (2006) Effects of ammonia plasma treatment on the surface characteristics of carbon fibers. *Surface and Coatings Technology*, 200(10), 3166-3169.
- Wu, M., Song, W., Wu, Y., & Qu, W. (2020) Preparation and characterization of the flame-retardant decorated plywood based on the intumescent flame retardant adhesive. *Materials*, 13(3), 676.
- Yadav, V., & Nath, S. (2017) Forecasting of PM 10 Using Autoregressive Models and Exponential Smoothing Technique. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 14(4), 109-113.
- Zhang, H., Liu, J., & Lu, X. (2013) Reducing the formaldehyde emission of composite wood products by cold plasma treatment. *Wood Research*, 58(4), 607-616.