

Yangın geciktirici kimyasallarla emprenye edilmiş kontrplakların en iyi ısı iletim özellikleri için optimum çözelti konsantrasyonunun yapay sinir ağları ile belirlenmesi

Determination of optimum solution concentration for the best thermal conduction properties of plywood treated with fire retardant chemicals by artificial neural network

Aydın DEMİR^{ID}, İsmail AYDIN^{ID}

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.896585

Sorumlu yazar / Corresponding author

Aydın DEMİR

e-mail: aydindemir@ktu.edu.tr

Geliş tarihi / Received

14.03.2021

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

25.05.2021

Kabul Tarihi / Accepted

25.05.2021

Elektronik erişim / Online available

18.11.2021

Anahtar kelimeler:

Yangın geciktirici kimyasal

Kontrplak

Yapay sinir ağı

Isı iletim özellikleri

Keywords:

Fire retardant chemical

Plywood

Artificial neural network

Thermal conduction properties

Özet

Yangın geciktirici kimyasallar, uygulanmış oldukları malzemelerin fiziksel, mekanik ve diğer bazı teknolojik özellikleri üzerinde farklı etkilere neden olmaktadır. Bu etkiler, çözeltilerin konsantrasyon miktarlarına ve retensiyon miktarlarına bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu yüzden, yangın geciktirici kimyasalların uygulandıkları malzemeleri kullanım yerlerinde istenilen özelliklere göre en az seviyede olumsuz etkileyebilmesi için en uygun konsantrasyonlarda kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada, farklı yangın geciktirici kimyasallarla emprenye edilmiş kontrplakların en iyi ısı iletim özellikleri için optimum çözelti konsantrasyon değerlerinin yapay sinir ağları aracılığıyla (YSA) belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel veriler, literatürde tarafımızca yapılan önceki çalışmadan elde edilmiştir. Ağaç türü olarak, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*), 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 ısı iletim özelliklerini belirlemek için ısı iletkenlik katsayıları ASTM C 518 standardına göre belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler ile YSA analizleri sonucunda elde edilen tahmin değerleri hem istatistiksel hem de grafiksel karşılaştırmalar kullanılarak, en iyi performansa ve kabul edilebilir sapmalara sahip tahmin modeli belirlenmiştir. Daha sonra, bu tahmin modeli kullanılarak, ısı iletkenlik katsayı değerleri deneysel olarak testi yapılmayan ara çözelti konsantrasyon değerleri için tahmin edilmiştir. Analiz bulgularına göre, sarıçam kontrplaklarda optimum çözelti konsantrasyon değerleri monoamonyum fosfat, çinko borat ve amonyum sülfat için sırasıyla, %5, %8.6 ve %6.2 iken kızılğaç kontrplaklar için ise bu değerler, %8.4, %6.2 ve %8.8 olarak hesaplanmıştır.

Abstract

Fire-retardant chemicals cause different effects on the physical, mechanical and some technological properties of materials which they are applied to. These effects may vary depending on retention amounts and concentration of solutions. Therefore, fire-retardant chemicals should be used at the most suitable concentration to have a minimal negative effect on the materials which they are applied to according to desired properties. In this study, it is aimed to determine the optimum solution concentration values for the best insulation properties of plywood treated with different fire-retardant chemicals through artificial neural network (ANN). Scots pine and alder 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. To determine the insulation properties of plywood panels, the thermal conductivity coefficients were determined according to ASTM C 518 standard. The prediction model with the best performance and acceptable deviations was determined by using statistical and graphical comparisons between the experimental data and the prediction values obtained as a result of ANN analysis. Then, using this prediction model, the thermal conductivity coefficient values were estimated for the intermediate solution concentration values that were not experimentally tested. According to the analysis findings, the optimum solution concentration values for monoammonium phosphate, zinc borate and ammonium sulphate in the scots pine plywood were calculated 5%, 8.6% and 6.2% while these values in the alder plywood were calculated 8.4%, 6.2% and 8.8%, respectively.

GİRİŞ

Ahşap esaslı levhalardan biri olan kontrplaklar, son zamanlarda inşaat ve mobilya endüstrisinde yoğun bir

şekilde tercih edilmektedir. Kontrplaklar, özellikle hafif çerçevesiz ahşap yapılarda kullanılan perde duvarların en iyi kaplama materyali olarak belirtilmektedir. Bunu sebebi

olarak da kontrplak ile kaplanan perde duvarların, deprem ve rüzgâr yüklerine karşı yapıya yanal direnç sağlaması ve yapının çökmeden önce yüksek yer değiştirme miktarlarına izin vermesi gösterilmektedir (Demirkir ve ark. 2013a). Ayrıca kontrplaklar, ahşap yapılar için yeterli sertlik, sağlamlık ve bağlantı dayanıklılığı sağlamaktadır (Demir ve ark. 2019). Bu avantajlarına rağmen, kontrplakların diğer ahşap esaslı levhalarda olduğu gibi kolay yanabilmesi ve tutuşabilmesi, 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 ve Zhao 2018, Wu ve ark. 2020), kaplamaların veya levhaların yangın geciktirici kimyasallarla empenye edilmesi (Aydın ve Colakoglu 2007, Cheng ve Wang 2011) ve fiziksel olarak yangın geciktirici kimyasalların tutkalların içerisine karıştırılmasıdır (Su ve ark. 1998, Wang ve ark. 2018).

Ahşap yapılarda kullanılan malzemelerin yangına karşı dayanıklı olmasının yanında, yalıtımlarının da en iyi düzeyde olması gerekmektedir. Ahşap esaslı levhaların yalıtım özelliklerinin belirlenmesinde ısı iletkenlik katsayıları önemli bir parametre olarak bilinmekte ve ahşabın gözenekli yapısından dolayı diğer yapı malzemelere göre daha düşük ısı iletkenlik katsayı değerlerine sahip olduğu belirtilmektedir (Örs ve Şenel 1999). Ayrıca malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları, kurutma modellerinin geliştirilmesi ve tutkal sertleşme hızının belirlenmesi gibi endüstriyel işlemlerde de kullanılmaktadır (Uysal ve ark. 2011). Ahşap malzemelerde ısı iletkenlik katsayısı; ağaç türüne, lif yönüne, rutubete, ısı akış yönüne, sıcaklığa ve kullanılan katkı maddelerinin türüne göre değişim göstermektedir (Demirkir 2014).

Yangın geciktirici kimyasalların, kendileriyle işlenen malzemelerin diğer fiziksel, mekanik ve bazı teknolojik özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Ustaömer 2008). Yangın geciktirici kimyasalların empenyesiz kontrol gruplarına göre, konsantrasyon ve retensiyon miktarlarına bağlı olarak da ısı iletkenlik katsayı değerlerini arttırdığı yani yalıtım özelliklerinin düşürdüğü gözlemlenmiştir (Demir ve ark. 2016). Yalıtım özelliklerinde daha fazla kayıp olmaksızın yangın geciktirici kimyasalların optimum çözelti konsantrasyonunun belirlenmesi endüstriyel açıdan çok önemli bir konudur. Bu amaçla, optimum değerleri

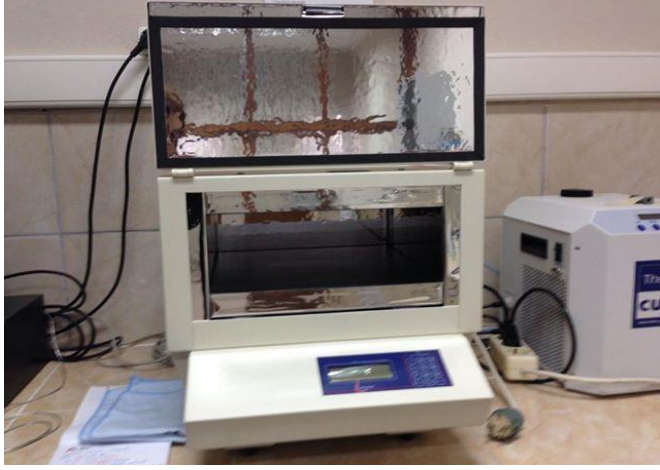
belirlemek için yüksek maliyetlere, zaman ve enerji kaybına neden olan çok sayıda konsantrasyon değerinin test edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, teknolojik özelliklerle ilgili istenen sonuçları sağlayan daha ekonomik yöntemler bulmak önemlidir (Demirkir ve ark. 2013b). Geleneksel yöntemlere göre daha uyarlanabilir olan yapay sinir ağları (YSA), son zamanlarda daha hızlı ve ekonomik olması nedeniyle ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin optimizasyonunda araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır (Esteban ve ark. 2011, Demirkir ve ark. 2013b, Ozsahin ve Aydın, 2014; Ozsahin ve Murat 2018, Tiryaki ve ark. 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 ve ark. 2008).

Bu çalışmada, farklı yangın geciktirici kimyasallarla empenye edilmiş sarıçam ve kızılğaç kontrplak levhalarının en iyi ısı iletim özellikleri için optimum çözelti konsantrasyon değerlerinin YSA ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, deneysel çalışmalarda kullanılmayan ara konsantrasyon değerlerinin ısı iletkenlik katsayı değerleri de tahmin edilmiş ve her bir ağaç türü için konsantrasyon değerlerinin etkileri ortaya konulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Veri Toplama

Bu çalışmada kullanılan veriler Demir ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiştir. Bu çalışmada, ağaç türleri olarak sarıçam (*Pinus silvestris*) ve kızılğaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) odunlarından soyma kaplamalar elde edilmiştir. Yangın geciktirici kimyasal olarak da monoamonyum fosfat, çinko borat ve amonyum sülfat kullanılmıştır. Kaplama levhaları daldırma metoduna göre empenye edilmiş ve %5, %7 ve %10 olmak üzere üç farklı çözelti konsantrasyonları seçilmiştir. Kontrplak levhalarının ısı iletkenlik katsayıları ASTM C 518 (2004) standardına göre Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik cihazı (Şekil 1) ile belirlenmiştir.



Şekil 1. Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik cihazı

Yapay Sinir Ağları

Demir ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada elde edilemeyen diğer ara çözelti konsantrasyon değerlerine karşılık gelen ısı iletkenlik katsayı değerleri, YSA modellenmesiyle tahmin edilmiştir. Bu şekilde, ısı

iletkenlik katsayı değerlerinin değişimini görebilmek için, her bir ağaç türü için çözelti konsantrasyonunun etkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın YSA modellemesinde; ağaç türleri, yangın geciktirici kimyasal türleri ve çözelti konsantrasyon değerleri temel işlem değişkenleri olarak kabul edilmiştir. MATLAB paket programı, yapay sinir ağlarının oluşturulmasında, eğitilmesinde, test edilmesinde ve en son da optimum değerlerin belirlenmesi işlemlerinde kullanılmıştır. Veriler, deneysel çalışmadan elde edilmiştir. Ağaç türlerinin, yangın geciktirici kimyasal türlerinin ve çözelti konsantrasyonunun ısı iletkenlik katsayı değerleri üzerindeki etkilerini incelemek üzere, deneysel veriler; eğitim verisi ve test verisi olarak gruplandırılmıştır. Bu veriler arasında, YSA eğitim süreci için, 12 örnek seçilmiştir, geriye kalan 6 örnek ise YSA'nın genelleme kabiliyetini doğrulamak için kullanılmıştır. Eğitim ve tahmin modellerinde kullanılan veri setleri, Tablo 1'de gösterilmiştir. Deneysel olarak elde edilen ısı iletkenlik katsayı değerleri de Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ısı iletkenlik katsayı değerlerine ait eğitim ve test verileri

Ağaç Türü	Yangın Geciktirici Kimyasal Türü	Eğitim Verileri				
		Çözelti Konsantrasyonu (%)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)			
Gerçek	Tahmin		Hata (%)			
Sarıçam	Monoamonyum Fosfat	5	0.06911	0.06911	0.00515	
Sarıçam	Monoamonyum Fosfat	10	0.07061	0.07061	0.00246	
Sarıçam	Çinko Borat	7	0.06912	0.06912	0.00098	
Sarıçam	Çinko Borat	10	0.06927	0.06927	-0.00130	
Sarıçam	Amonyum Sülfat	5	0.07046	0.07046	0.00043	
Sarıçam	Amonyum Sülfat	7	0.06956	0.06956	-0.00019	
Kızılağaç	Monoamonyum Fosfat	5	0.07001	0.07001	-0.00049	
Kızılağaç	Monoamonyum Fosfat	7	0.06964	0.06964	0.00580	
Kızılağaç	Çinko Borat	5	0.06986	0.06986	-0.00084	
Kızılağaç	Çinko Borat	10	0.07016	0.07016	0.00504	
Kızılağaç	Amonyum Sülfat	7	0.07009	0.07009	-0.00093	
Kızılağaç	Amonyum Sülfat	10	0.07061	0.07061	-0.00496	
			MAPE	0.002381		
			RMSE	0.000002		
Test Verileri				Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)		
Ağaç Türü	Yangın Geciktirici Kimyasal Türü	Çözelti Konsantrasyonu (%)	Gerçek	Tahmin	Hata (%)	
Sarıçam	Monoamonyum Fosfat	7	0.06993	0.06990	0.03741	
Sarıçam	Çinko Borat	5	0.07024	0.07019	0.06544	
Sarıçam	Amonyum Sülfat	10	0.07069	0.07065	0.05069	
Kızılağaç	Monoamonyum Fosfat	10	0.06971	0.06974	-0.04236	
Kızılağaç	Çinko Borat	7	0.06986	0.06980	0.08941	
Kızılağaç	Amonyum Sülfat	5	0.07165	0.07162	0.04497	
			MAPE	0.055046		
			RMSE	0.000041		

Isıl iletkenlik katsayı değerlerinin tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları ve eşik değerleri sırasıyla Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Isıl iletkenlik katsayı değerlerinin tahmin modelinin bağlantı ağırlıkları ve eşikleri

Gizli Katman 1	Neron1	Neron2	Neron3	Neron4	Eşik1	
	-0.6629974	-1.0384804	-1.869695	-0.6900834	-0.6629974	
0.4280790	-1.8080080	2.4549022	1.8568138	0.4280790		
2.2634958	1.1910161	-0.7608214	-1.3550280	2.2634958		
-	-	-	-	-0.6629974		
-	-	-	-	-		
Gizli Katman 2	Neron1	Neron2	Neron3	Neron4	Neron5	Eşik2
	-0.5983464	1.8536612	0.4968311	-0.0989672	-1.8503335	-1.1896079
	2.2280425	0.9312254	-0.6541769	1.7198952	-1.0720926	-1.4553702
	1.4716472	1.6381733	2.5288268	0.7712565	-0.4271958	-0.3256170
	0.1170304	1.1966163	0.8208579	-0.9330146	0.3430648	1.0847918
-	-	-	-	-	-1.64262	
Çıktı Katman	Neron1	Eşik3				
	-1.0905797	0.2671425				
	0.2296320	-				
	0.5722118	-				
	-0.8306809	-				
-1.1526409	-					

Test işlemi sonucunda bulunan tahmini değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış, tanı vasıtaları (performans fonksiyonları) olarak en iyi bilenen ve en çok kullanılan 1 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hatanın karekökü (root mean square error) (RMSE), 2 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error) (MAPE) ve 3 numaralı eşitlikle hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) dikkate alınarak en iyi tahmin değerlerini veren modeller, tahmin modelleri olarak seçilmiştir.

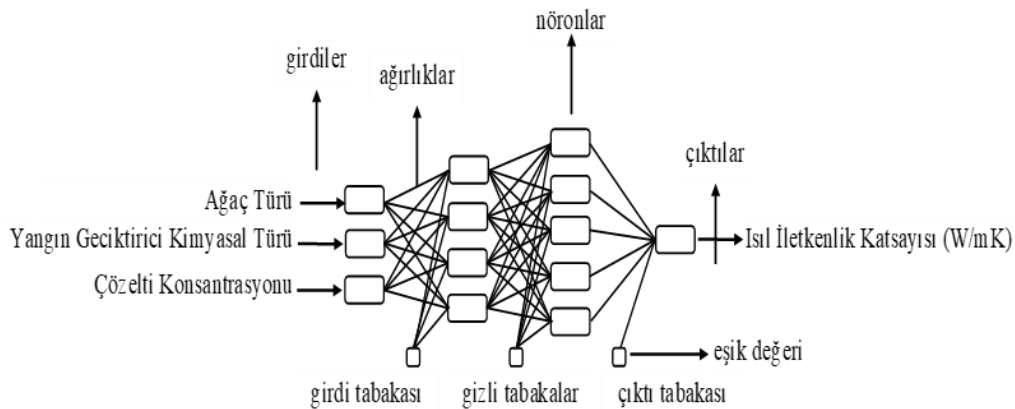
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left[\left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (3)$$

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

Şekil 2'de, üç giriş katmanı, iki gizli katman ile bir çıkış katmanı içeren YSA tahmin modellerini gösterilmiştir. Seçilen YSA modelleri, ısıl iletkenlik katsayısı ölçülen değerlere en yakın değerleri üreten tahmin modelini temsil etmektedir. Modelde, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal türü ve çözelti konsantrasyonu girdi değişkenleri olarak kullanılırken, YSA modellerinde ısıl iletkenlik katsayı değerleri çıktı değişkeni olarak kullanılmıştır. Gizli katmanların işlem elemanı (nöronlar) sayıları, Şekil 2'deki model için 4 ve 5'tir.



Şekil 2. Tahmin modelleri olarak seçilen YSA mimarisi

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 algorithm) (traingdm), eğitim algoritması olarak ta levenberg marquardt algoritması (trainlm) seçilmiş, performans fonksiyonu olarak ta 4 numaralı eşitlikle hesaplanan ortalama karesel hata (mean square error) (MSE) kullanılmıştır.

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

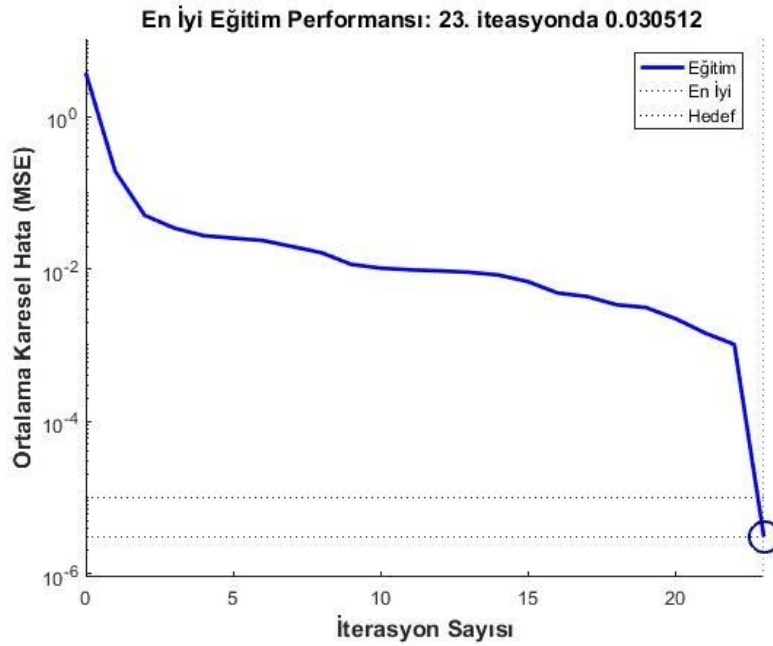
Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılarak oluşturulan modellerdeki eğitim ve test verileri, her bir değişkenin tahmin modellerine eşit olarak katkı sağlayabilmesi için, (-1,1) aralığında normalize edilerek

ağa sunulmuş, daha sonra sonuçların doğru yorumlanabilmesi için veriler ters normalize işlemine tabi tutularak orijinal değerlerine çevrilmiştir. Normalizasyon (ölçeklendirme) işlemleri, 5 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.

$$X_{norm} = 2 \times \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} - 1 \quad (5)$$

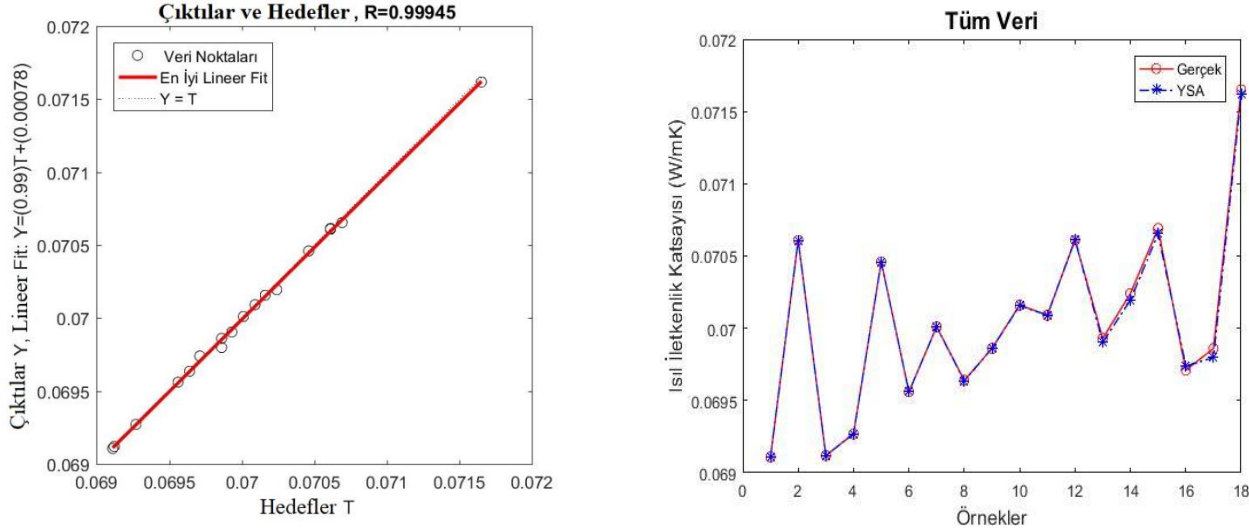
BULGULAR VE TARTIŞMA

Demir ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmadan elde edilen kontrplakların ısı iletkenlik değerleri, yapay sinir ağlarıyla modellenerek eğitilmiş ve test edilmiştir. Isıl iletkenlik katsayılarına ait tahmin modelinin en iyi performansı 23. iterasyonda 0.030512 olarak tespit edilmiş ve modelin iterasyona bağlı olarak ortalama karesel hata (MSE) değişimleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Belirlenen tahmin modelinin iterasyona bağlı olarak MSE değişimleri

Elde edilen deneysel sonuçlar ile tahmin modelinin hesaplamaları arasındaki ilişki Şekil 4a'da verilmiştir. Bu verilere ait karşılaştırma grafiği yine Şekil 4b'de verilmiştir.



Şekil 4. (a) Deneysel sonuçlar ile yapay sinir ağları hesaplamaları arasındaki ilişki, (b) Gerçek ve hesaplanan verilerin karşılaştırılması

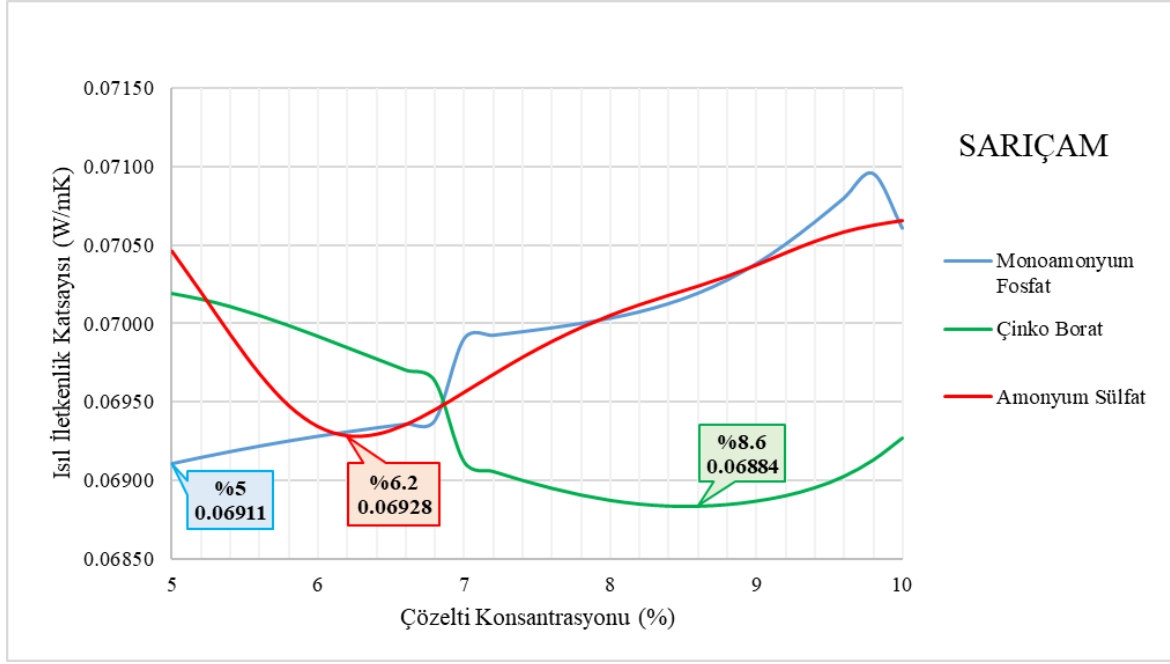
Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile analizler sonucunda elde edilen tahmin verileri arasındaki ilişkiyle hesaplanabilen regresyon analizleri, tahmin modellerinin geçerliliğini ve doğruluğunu belirlemek için kullanılabilen en önemli parametrelerden biridir ve (R^2) 1'e yaklaştığında modellerin 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 4a'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ısı iletkenlik katsayısı tahmin modelinin R değeri, 0.99945 olurken, R^2 değeri 0.9989 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, analiz sonucunda modelden elde edilen ısı iletkenlik katsayısı verilerinin, deneysel olarak elde edilen verilerin en az %99.89'ni 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 4b'de gösterilmiştir. Analizlerden elde edilen bu modelin kullanılabilirliğine dair güvenirliliği hem Şekil 4a hem de 4b'ye bağlı olarak daha da artmıştır.

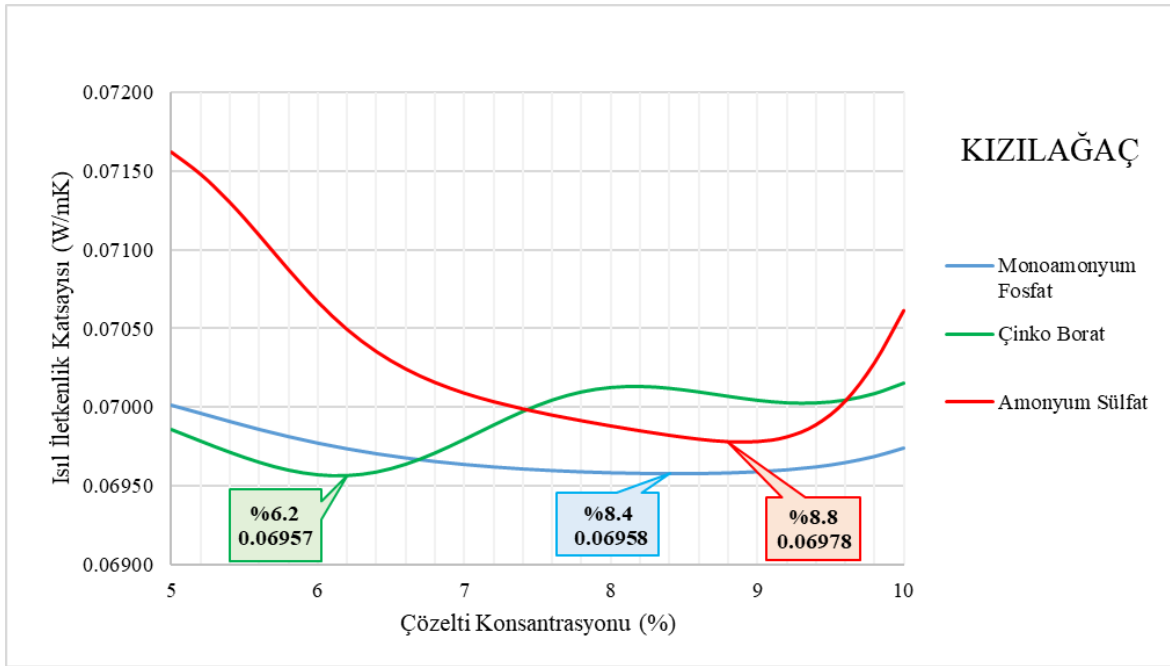
MAPE, en önemli değerlendirme kriterlerinden biridir ve birçok araştırmacı, MAPE'yi kullanarak model performansını değerlendirmiştir (Antanasijević ve ark.

2013, Tiryaki ve ark. 2016, Yadav ve Nath 2017). Literatürde MAPE değerinin % 10'un altında olması durumunda model performansının yüksek olduğu belirtilmiştir (Yadav ve Nath 2017). Bu çalışmada, ısı iletkenlik katsayısı değerlerine ait MAPE değerleri, eğitim verileri için % 0.002381 ve test verileri için % 0.055046 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu hata seviyeleri, YSA tahmin modelinin 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 ve ark. 2016). Düşük RMSE değerleri, iyi model performansı gösteren parametrelerden biridir (Taşpınar ve Bozkurt 2014). Eğitim ve test verileri için RMSE değerleri sırasıyla 0.000002 ve 0.000041 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu hata seviyeleri, ısı iletkenlik katsayısı değerlerine ait tahmin modeli 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 ve ark. 2018). Girdi değişkeni olarak belirlenen çözelti konsantrasyonunun deneylerde kullanılmayan ara değerlerine karşılık gelen ısı iletkenlik katsayısı değerleri, ağaç türüne ve yangın geciktirici kimyasal madde türüne göre tahmin edilmiş ve bu değerlerin konsantrasyona göre değişimleri Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Artan çözelti konsantrasyonuna göre sarıçam kontrplaklar için ısı iletkenlik katsayı değerlerinin değişimi



Şekil 6. Artan çözelti konsantrasyonuna göre kızilağaç kontrplaklar için ısı iletkenlik katsayı değerlerinin değişimi

Şekillerde görüleceği üzere, tahmin edilen ısı iletkenlik katsayı değerleri hem ağaç türüne hem de yangın geciktirici kimyasal madde türüne göre farklılıklar göstermiştir. Isı iletkenlik katsayı değerinin ağaç türüne göre değişim gösterdiği birçok çalışmada vurgulanmıştır (Kol ve Sefil 2011, Rice ve Shepard 2004). Ağaç malzemeden üretilen levha ürünlerinde ısı iletkenlik; çeşitli bağlayıcı maddeler ve bunlara ilave edilen dolgu ve katkı maddeleri ile üretilen ahşap levhalarda bağlayıcı

madde çeşidi ve katkı maddelerinin türüne göre farklılık göstermektedir (Demirkır 2014). Ayrıca, daldırma yöntemiyle empenye işlemi diğer empenye yöntemlerine göre daha düşük retensiyon miktarları verdiği için gruplar arasındaki farklar çok belirgin olmamaktadır (Uysal ve ark. 2008).

Yangın geciktirici kimyasallarla empenye edilmiş sarıçam kontrplaklar için en düşük ısı iletkenlik katsayısı

değerlerini veren optimum çözelti konsantrasyon değerleri; monoamonyum fosfat için %5, çinko borat için %8.6 ve amonyum sülfat için %6.2 olarak hesaplanmıştır. Kızılağaç kontrplaklar da ise monoamonyum fosfat için %8.4, çinko borat için %6.2 ve amonyum sülfat için %8.8 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değerlerden sonra her iki ağaç türünde de ısı iletkenlik katsayı değerleri artış göstermiştir. Sarıçam kontrplaklarda en yüksek ısı iletkenlik katsayılarına monoamonyum fosfat ve amonyum sülfatta bu optimum noktalardan sonra ulaşılmıştır. Kızılağaçta ise, sadece çinko boratta en yüksek değere ulaşılmıştır. Yangın geciktirici mekanizmalardan biri olan termal teoriye göre; yangın geciktirici kimyasallar, ahşabın ısı iletkenliğini artırmakta, ısının kimyasal olarak absorbe edilmesini sağlayarak odun yüzeyinin tutuşmasını engellediği bilinmektedir (LeVan 1984). Ayrıca, empenye maddelerinin retensiyon miktarlarının artmasına bağlı olarak, ısı iletkenlik katsayılarının arttığı literatürde belirtilmiştir (Kol ve ark. 2010). Bu gruplarda, ulaşılan yüksek konsantrasyonla birlikte meydana gelen retensiyon miktarındaki artışa bağlı olarak ısı iletkenlik katsayılarının yüksek değerler vermesi beklenen bir sonuç olarak düşünülmektedir.

Her iki ağaç türüne ait ısı iletkenlik katsayı değerleri incelendiğinde, çinko borat ile empenye işleminin diğer kimyasallara göre daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Gao ve ark. (2006) borun malzemeyi fiziksel bir mekanizmayla koruduğunu, eriyen borun, malzemeye oksijenin ve sıcaklığın ulaşmasını engelleyen bir film tabakası oluşturduğunu belirtmiştir. Bundan yola çıkarak, çinko boratın ısıyı daha az iletmesi beklenen bir sonuç olarak düşünülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, ağaç türü, yangın geciktirici kimyasal madde türü ve çözelti konsantrasyonu değişkenlerinin kontrplakların ısı iletim özellikleri üzerine etkilerini ortaya çıkarmak ve en iyi ısı iletim özelliklerini veren optimum çözelti konsantrasyonlarını belirlemek için YSA modelleri geliştirilmiştir. Karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerden oluşan girdi ve çıktı değişkenlerinin, YSA analizleriyle tahmin edilebileceği çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak tatmin edici bir şekilde kanıtlanmıştır. Kontrplakların yalıtım özelliklerini belirlemede kullanılan ısı iletkenlik katsayılarına ait tahmin modelinin test aşamasında MAPE değeri %0.055046, RMSE değeri 0.000041 ve R² değeri 0.9989 olarak hesaplanmış ve bu modelin performansının çok iyi olduğu tanı vasıtalarıyla kanıtlanmıştır.

Yangın geciktirici kimyasallarla empenye edilmiş sarıçam kontrplakların en iyi ısı iletim özelliklerini veren optimum çözelti konsantrasyonları, monoamonyum fosfat, çinko borat ve amonyum sülfat için sırasıyla, %5, %8.6 ve %6.2'dir. Kızılağaç kontrplaklar için ise bu değerler, %8.4, %6.2 ve %8.8'dir. Ayrıca, çalışmada kullanılan ağaç türü ve yangın geciktirici kimyasal türlerinin çözelti konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak kontrplakların ısı iletkenlik katsayılarında ne gibi değişimlere sebep olacağı ortaya konulmuştur. Çalışmadan elde edilen bulgular kullanılarak hem zamandan hem de test için gerekli olacak maliyetlerden kazanç sağlayarak %5-%10 konsantrasyon aralığında çalışmadaki yangın geciktirici kimyasallarla empenye edilecek kaplamalardan üretilen kontrplaklar için en iyi ısı iletim özelliklerini veren en uygun konsantrasyon değeri belirlenebilir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada kullanılan deneysel veriler, tarafımızca yapılmış olan Demir ve ark. (2016) çalışmasından elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Antanasijević DZ, Pocaajt VV, Povrenović DS, Ristić MĐ, Perić-Grujić AA (2013) PM10 emission forecasting using artificial neural networks and genetic algorithm input variable optimization. Science of the Total Environment 443: 511-519
- ASTM C 518 (2004) Methods of Measuring Thermal Conductivity, Absolute and Reference Method. ASTM International: West Conshohocken, USA
- 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
- 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 RX, Wang QW (2011) The influence of FRW-1 fire retardant treatment on the bonding of plywood. Journal of Adhesion Science and Technology 25:14: 1715-1724
- Demir A, Aydın I, Öztürk H (2016) Farklı konsantrasyonlardaki çeşitli yangın geciktirici kimyasalların kontrplakların ısı iletkenlikleri üzerine etkisi. In: Proceedings of International Multidisciplinary Congress of Eurasian, Odessa, Ukrayna,2: 328-332
- Demir A, Demirkir C, Aydın I (2019) The effect of some technological properties of plywood panels on seismic resistant performance of wooden shear wall. Sigma J Eng & Natur Sci 10:1: 37-45
- Demirkir C, Colakoglu G, Karacabeyli E (2013a) Effect of manufacturing factors on technological properties of plywood from northern turkey and suitability of panels for use in shear walls. Journal of structural engineering 139(12): 04013002
- Demirkir C, Özşahin Ş, Aydın I, Colakoglu G (2013b) Optimization of some panel manufacturing parameters for the best bonding strength of plywood. International Journal of Adhesion and Adhesives 46: 14-20
- Demirkir MS (2014) Çeşitli ağaç türlerinden elde edilen kontrplakların teknolojik özellikleri üzerine presleme süresi ve tutkal türünün

- etkisi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 23 s
- Esteban LG, Fernandez FG, Palacios P (2011) Prediction of plywood bonding quality using an artificial neural network. *Holzforschung* 65:2: 209–214
- Fernández FG, Esteban LG, Palacios P, Navarro 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
- Gao M, Sun C, Wang C (2006) Thermal degradation of wood treated with flame retardants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 85:3: 765-769
- Kol HS, Sefil Y (2011) The thermal conductivity of Fir and Beech Wood Heat Treated at 170, 180, 190, 200 and 212°C, *Journal of Applied Polymer Science* 121: 2473-2480
- Kol HS, Uysal B, Kurt S (2010) Thermal conductivity of oak impregnated with some chemicals and finished. *Bioresources* 5:2: 545-555
- 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
- LeVan SL (1984) Chemistry of Fire Retardancy, In R.M.Rowel, ed. The Chemistry of Solid Wood. *Advances in Chemistry Series* 207. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Örs Y, Şenel A (1999) Bazı ahşap ve ahşap kökenli malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23: 239-245
- 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
- Özşahin Ş (2012). The use of an artificial neural network for modelling the moisture absorption and thickness swelling of oriented strand board. *BioResources* 7: 1053-1067
- 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
- Rice RW, Shepard R (2004) The thermal conductivity of plantation grown white pine (*Pinus strobus*) and red pine (*Pinus resinosa*) at two moisture content levels. *Forest Products Journal* 54:1: 92-94
- Su WY, 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
- 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
- Uysal B, Kurt Ş, Kol HŞ, Özcan C (2008) Thermal conductivity of poplar impregnated with some fire retardant, *Teknoloji* 11:4: 239-251
- Uysal B, Yapıcı F, Kol HŞ, Özcan C, Esen R, Korkmaz M (2011) Empenye yapılmış ağaç malzeme üzerine uygulanan üstüzyey işlemlerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi, . In: *Proceedings of 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ
- 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 JR, Knowlton ED, Kim I, Gales JA, ... 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
- 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