

EL BASKISI İŞLETMELERİNDEN KAYNAKLANAN TEKSTİL ATIKSULARININ UV/H₂O₂ PROSESİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ARAŞTIRILMASI

*Melike YALILI KILIÇ**
*Taner YONAR**

Alınma: 12.06.2017; düzeltme: 13.12.2017; kabul: 18.12.2017

Öz: Bu çalışmada, el baskısı işletmelerinden kaynaklanan tekstil atıksularındaki KOİ ve renk gibi kirleticilerin fotooksidasyonu, UV/H₂O₂ prosesi ile 256 nm dalga boyunda, 15 W'lık lambaların kullanımıyla gerçekleştirilmiş ve arıtma sonuçları sunulmuştur. Veriler NeuroSolutions 5.06 model ile başarılı bir şekilde test edilmiştir. Her bir örnek, üç bağımsız değişken (pH, H₂O₂ konsantrasyonu, işletme süresi) ve iki bağımlı değişken (renk ve KOİ) ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, pH'ın baskın değişken olduğunu, reaksiyon süresi ile H₂O₂ konsantrasyonunun daha az etkili değişkenler olduğunu göstermiştir. Model, KOİ için %99 ve renk için %99 korelasyon katsayıları sunarken, modelin tahmin gücünü ve genellenen karakterini belirtmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma, el baskısı tekstil atıksuyu, UV/H₂O₂, yapay sinir ağları

Investigation of the Treatability of Hand-printed Textile Wastewaters by UV/H₂O₂ Using Artificial Neural Networks

Abstract: In this study, the photooxidation of pollutants such as COD and color present in hand-printed textile wastewaters has been carried out in the presence of hydrogen peroxide (H₂O₂), using 256 nm UV light (15 W), and the results of the treatment has been presented. The obtained data has been successfully tested through a NeuroSolutions 5.06 model. Each sample has been characterized by three independent variables (i.e., pH, H₂O₂ concentration, and time of operation) and two dependent variables (i.e., color and COD). According to the results, pH is the predominant variable, and the reaction mean time and H₂O₂ volume are the less influential variables. The neural model obtained presented coefficients of correlation of 99% for COD and 99% for color, indicating the prediction power of the model and its character of generalization.

Keywords: Treatment, hand-printed textile wastewater, UV/H₂O₂, artificial neural network

1. GİRİŞ

El baskısı, Anadolu kültüründe en eski sanatlardan birisidir. Elbise boyamanın özünü oluşturan bu sanat, ne yazık ki günümüzde unutulmaya yüz tutmuştur. Bir zamanlar Anadolu'nun çeşitli bölgelerinde yoğun olarak uygulansa da, bugün Tokat'ta sınırlı derecede hayatta kalmıştır (Anonim, 2017).

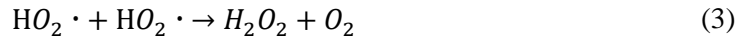
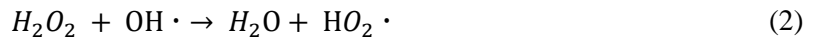
El baskı sanatının uygulama tekniğinde; el baskısı, blok baskı ve bu iki tekniğin kombinasyonu olmak üzere üç temel yöntem kullanılmaktadır. Bu alandaki uygulamalara önce el baskısı ile başlanmış, daha sonra blok baskıya geçilmiştir. Eskiden el baskı sanatında simgesel anlamlar yüklü renkler için doğal boyalar kullanılırdı. 1800'lerin ortalarında ilk sentetik boyaların bulunması ve daha sonra da kimyasal boya sanayiinin hızla gelişmesiyle, el baskısında doğal boyamacılık büyük ölçüde ortadan kalkmıştır (Akbostancı, 2004).

* Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nilüfer-Bursa
İletişim Yazarı: Melike YALILI KILIÇ (myalili@uludag.edu.tr)

El baskısı tekstil endüstrisinin ana çevresel problemi, boyahane çıkış sularını içeren proses atıksularıdır. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular, yüksek miktarda organik ve inorganik kirleticiler ile renk içermekte, dolayısıyla çevresel ve estetik problemlere neden olmaktadır (Meriç ve diğ., 2004; Grau, 1991). Renk parametresi yakın zamana kadar Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki (SKKY) deşarj kriterleri arasında yer almamaktaydı. Ancak, 24/04/2011 tarihli ve 27914 sayılı Resmi Gazete'deki "Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" çerçevesinde, renk parametresi deşarj kriterleri arasına ilave edilmiştir (Anonim, 2011).

Renk haricindeki diğ er organik ve inorganik kirliliklerin büyük çoğunluğu, geleneksel fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma metotlarının kombinasyonu ile giderilebilir (Kestioglu ve diğ., 2008). Pek çok durumda geleneksel arıtma alternatifleri olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma proseslerinin tek başına renk gideriminde etkisiz oldukları bilinmektedir (Correia ve diğ., 1994; Willmott ve diğ., 1998; Vandevivere ve diğ., 1998). Diğ er taraftan, hem yukarıda belirtilen geleneksel arıtma metotlarında hem de adsorpsiyon, ters osmoz ve iyon değıştirme gibi ileri arıtma metotlarında, kirlilikler bir fazdan diğ erine transfer edilmekte ve daha konsantre olarak sorun daha da büyükmektedir (Torrades ve diğ., 2004). Son yıllarda endüstriyel atıksulardaki pek çok organik maddenin gideriminde, klasik arıtma veya ileri arıtma metotlarına alternatif olarak kullanılan İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP), başarıyla uygulanan etkili yöntemler olarak oldukça önem kazanmışlardır (Azbar ve diğ., 2004). Oksidasyon gücü 2.8 eV olan hidroksil radikallerinin oluşumuna dayalı olan İOP'leri, kirletici organik maddelerin tamamen mineralize olmasına, CO₂ ve H₂O gibi son ürünlerin oluşmasına neden olmaktadır (Legrini ve diğ., 1993). Bununla birlikte, UV ışığının kullanımı ile gerçekleştirilen İOP'lerinde, yüksek derecede elektrik enerjisi kullanımı işletme maliyetlerinin artmasını sağlamaktadır (Perez ve diğ., 2002). Bu nedenle, UV'nin kullanımının gerekli olduğı İOP'lerde, reaksiyon koşullarının ve süresinin deneysel çalışmalarla optimize edilerek, enerji kullanımının azaltılması, işletme maliyetlerinin düşürülmesine neden olmaktadır (Çokay Çatalkaya ve diğ., 2004).

UV/ H₂O₂ prosesinde, hidrojen peroksitin (H₂O₂) fotolizi ile iki adet hidroksil radikali meydana gelmektedir (1). Oluşan bu radikaller daha sonra organik kirleticilerle reaksiyona girer veya bir H₂O₂ parçalanma-oluşma döngüsüne uğrar (2-3) (Crittenden ve ark., 1999).



UV/H₂O₂ prosesi tekstil kaynaklı atıksulardan KOİ ve renk gideriminde başarıyla uygulanmaktadır (Azbar ve diğ., 2004; de Melo ve diğ., 2011; Dabek ve diğ., 2013; Bilinska ve diğ., 2015; Manikandan ve diğ., 2016). Riiodamin B, asit turuncu 7, reaktif siyah 5, reaktif mavi, reaktif yeşil 19 vb. renk verici maddeler bu prosesle yüksek verimlerle giderilmiştir (Behnajady ve diğ., 2004; AlHamedi ve diğ., 2009; Yonar ve Yalılı Kilic, 2014; Zuorro ve Lavecchia, 2014; Skodic ve diğ., 2017).

Atıksulardaki kirliliklerin fotokimyasal bir sistemde arıtımı oldukça karmaşıktır. Bu durum sistem içerisindeki, radyant enerji dengesi, absorbe edilen radyasyonun dağılımı, kütle transferi ve radikal türlerin fotokimyasal ayrışma mekanizmasını içeren denklemlerin çözülmesinin zorluğundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, kirliliklerin ayrışma prosesinin Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenmesi, oldukça uygun bir şekilde gerçekleştirilmektedir (Gob ve diğ., 1999; Pareek ve diğ., 2002; Stegemann ve Buenfeld, 2002; Moraes ve diğ., 2004; Yonar ve Yalılı Kilic, 2014). YSA'na dayalı modellemenin bir özelliğı, modelin proseste meydana gelen olayların matematiksel bir tanımını gerektirmemesi ve bu nedenle karmaşık fotokimyasal sistemlerin geliştirilmesinde ve simüle edilmesinde yararlı olabilmesidir. Güvenilir ve sağlam bir ağı elde etmenin başarısı, mevcut veri seti ve eğitim amaçlı kullanılan etki alanının yanısıra,

proses değişkenlerinin seçimine bağlıdır (Despaigne ve Massart, 1998). YSA, UV/H₂O₂ prosesinin çıktıları tahminlemede kullanılan umut verici bir modelleme tekniğidir.

Bu çalışmada, el baskısı işletmelerinden kaynaklanan tekstil atıksularından renk ve KOİ giderimi UV/H₂O₂ prosesiyle araştırılmış ve ilave olarak, çıktı değişkenleri olan KOİ ve renk absorbanları YSA ile tahminlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Endüstriyel Atıksu Örnekleri

Bu çalışmada kullanılan atıksular, Tokat'ta bulunan el baskısı tekstil fabrikasının çıkışından Hach Sigma 910 otomatik numune alma cihazı ile alınmış ve debisi ölçülmüştür. Atıksu numunelerinin karakterizasyonu Tablo 1'de verilmiştir.

İncelenen el baskısı tekstil atıksularının karakterizasyonu SKKY'nde belirtilen parametrelere göre yapılmış olup, KOİ, AKM, NH₄-N, serbest klor, toplam krom, sülfür, sülfid, fenol ve pH gibi parametreler Standart Metotlara göre analizlenmiştir (APHA, 1998). Tablo 1'den görüleceği üzere, sadece pH, KOİ, AKM ve NH₄-N, deşarj kriterlerinden yüksektir. Bu nedenle, klasik kirletici parametreleri ve rengin UV/H₂O₂ prosesi ile giderimine yönelik çalışılmıştır.

Tablo 1. Ham suyun karakterizasyonu

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	1050±40
AKM	mg/L	180±10
NH ₄ -N	mg/L	9.8±0.6
Serbest klor	mg/L	0.1
Toplam krom	mg/L	0.4
Sülfür	mg/L	<0.1
Sülfid	mg/L	<0.2
Fenol	mg/L	<0.1
pH	-	9.4
Renk	Abs (1/cm)*	1.55
Debi	m ³ /gün	200

*560 nm'de absorban

2.2. Fotokimyasal Reaktör

Deneyler, 2.8 L hacminde, silindirik olarak üretilen ve kesikli olarak çalıştırılan fotokimyasal reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaktörün merkezinde ışık kaynağı olarak, 254 nm dalga boyunda, 15 W gücünde TUV-15 (Philips Lighting, Amsterdam, Netherlands) lamba kullanılmış ve bu lamba 39 mm iç çapında, 390 mm uzunluğunda, quartz kılıf içine yerleştirilmiştir. Reaktörün gövdesi 316-Ti paslanmaz çelikten üretilmiş, iç çapı 98 mm ve uzunluğu 410 mm'dir. Işık yoğunluğu, eksenel uzunluk boyunca radyometre (model 3DCURE of EIT Inc., Sterling, Virginia) ile ölçülmüştür. Bu verileri kullanarak, fotokimyasal reaktörün üç boyutlu ışık şiddetinin dağılımı UVCalc1.05 yazılımı (Bolton Photosciences, Inc., Edmonton, Alberta, Canada) ile hesaplanmış, ortalama ışık şiddeti 0.68 mW/cm⁻² olarak belirlenmiştir. Reaktörün sıcaklığını 22±0.5 °C'de tutmak için, termostat ile kontrol edilen sürekli su devirdaimini sağlayan su banyosu reaktöre ilave edilmiştir. Devirdaim ettirilen soğutma çözeltisi ile atıksu numunesi hiçbir şekilde temas ettirilmemiştir. Reaktörün içeriği manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırılmıştır. Deneyler boyunca pH kontrol edilmiş ve istenen seviyeye getirmek için sodyum hidroksit (Merck) ve sülfürik asit (Merck) kullanılmıştır. pH ayarlandıktan sonra, hesaplanan miktarda H₂O₂ (Merck) ilave edilmiş ve lamba açılmıştır. Optimum pH değerinin belirlenmesinden sonra, UV/H₂O₂ deneyleri için 25-150 mg/L arasında değişen H₂O₂ konsantrasyonları ile optimum pH değerinde benzer işlemler gerçekleştirilmiştir.

2.3. Kimyasallar ve Reaktifler

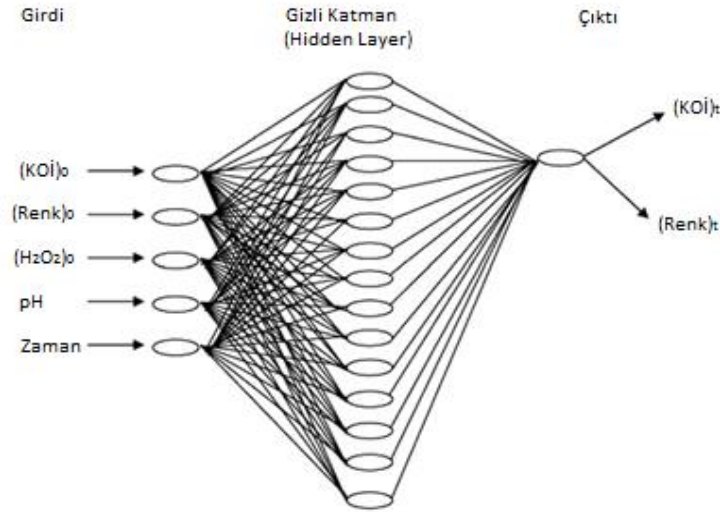
UV/H₂O₂ prosesi ile KOİ ve renk gideriminin gerçekleştirildiği deneylerde kullanılan kimyasallar; hidrojen peroksit (H₂O₂) (%35 w/w; Merck), sodyum hidroksit (NaOH) (Merck) ve sülfürik asittir (H₂SO₄) (Merck).

2.4. Analitik Prosedür

KOİ ölçümünde girişim meydana getiren H₂O₂, MnO₂ tozu ilave edilerek örneklerden giderilmiştir (Arslan ve Akmehtmet Balcioglu, 1999; Azbar ve diğ., 2004). Test çözeltisindeki kalıntı H₂O₂ konsantrasyonu, test çubukları ile (Merck Merckoquant Peroxide Test) kontrol edilmiştir. KOİ, ölçümlerinde Standart Metotlarda tanımlanan Kapalı Reflux Metodu kullanılmıştır (APHA, 1998). Renk parametresi, Standart Metotlarda belirtilen Spektrofotometrik Yönteme (2120 C) göre belirlenmiş, ölçümünde ise UV-Vis Spektrofotometre (Hach Model DR5000; Hach Lange GmbH, Dusseldorf, Germany) kullanılmıştır (APHA, 1998). Tüm ölçümler en az iki kere tekrar edilmiştir.

2.5. Yapay Sinir Ağı Yazılımı

YSA, karmaşık giriş/çıkış ilişkilerini yakalayabilen ve temsil edebilen güçlü bir veri modelleme aracıdır. Sinir ağı teknolojisini geliştirme motivasyonu, milyarlarca nöronun çeşitli karmaşık bilgileri işlemek için birbirine bağlandığı insan beyni tarafından yapılanlara benzer “akıllı” görevleri yerine getirebilecek bir suni sistem geliştirme isteğinden kaynaklanmıştır. Genel olarak, Şekil 1’de gösterildiği gibi bir sinir ağı, (1) nöronların bir girdi katmanı (bağımsız değişkenler), (2) çok sayıda gizli katman ve (3) bir çıktı katmanından (bağımlı değişkenler) oluşmaktadır. Giriş ve çıkış nöronlarının sayısı, sorunun doğasına göre belirlenir. Gizli katmanlar, özellik algılayıcıları gibi davranır ve teorik olarak birden fazla gizli katman olabilir.



Şekil 1:

Optimize edilmiş yapıdaki yapay sinir ağı (YSA)

Bu çalışmada, deneysel çıktılara YSA (NeuroSolutions 5.06, NeuroDimension, Inc., Gainesville, Florida) uygulanmış ve el baskısı tekstil atıksuyu kinetikleri UV/H₂O₂ prosesi için tahminlenmiştir. Tüm veriler YSA programı ile 20 kez test edilmiş ve her biri 1000 defa tekrarlanmıştır. Her 1000 grup ise, programda 3 kez doğrulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. UV/H₂O₂ Prosesi ile Elde Edilen Bulgular

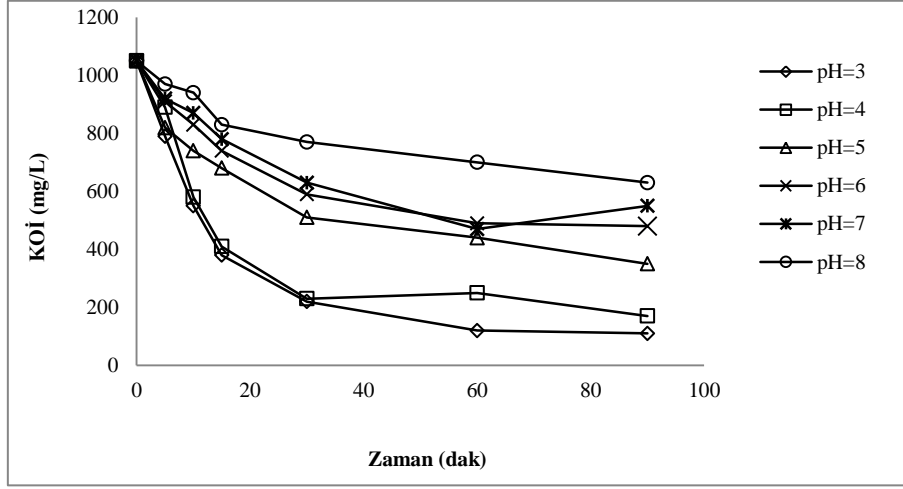
Tekstil atıksularından renk giderimi üzerine pek çok İOP'leri uygulanmıştır (Clarke ve Knowles, 1982; Guittoneau ve diğ., 1990). İOP'lerinde üretilen hidroksil radikalleri, boya molekülleri ve organik maddelerle reaksiyona girer (Yonar ve diğ., 2005). Bu çalışmada, el baskısı işletmelerinden kaynaklanan tekstil atıksularında UV/H₂O₂ prosesinin renk ve KOİ giderme verimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Işık, organik bileşiklerin bağ bölünmesini başlatarak tek başına bir çok bileşiği ayrıştırabilir, ancak parçalanma hızı yavaştır (Malhotra ve diğ., 2005). Azbar ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada 60 dakikalık UV uygulamasıyla KOİ'de %4, renkte ise %7 oranında giderme verimi elde etmişlerdir. UV üzerine H₂O₂ ilavesiyle yapılan çalışmada ise, KOİ ve renk giderme verimleri %90'ın üzerine çıkmıştır (Azbar ve diğ., 2004; Yang ve diğ., 1998; Yonar ve diğ., 2005). Yonar ve Yalili Kilic (2014) tekstil atıksularından UV/H₂O₂ prosesi ile renk gideriminde %97 oranında verim elde ederken, Manikandan ve diğ. (2016) aynı prosesle yine tekstil atıksularında %86 oranında renk giderimi elde etmişlerdir. UV/H₂O₂, güçlü bir oksitleme ajanı olan H₂O₂'nin üretimi ile su arıtımında etkili bir prostestir.

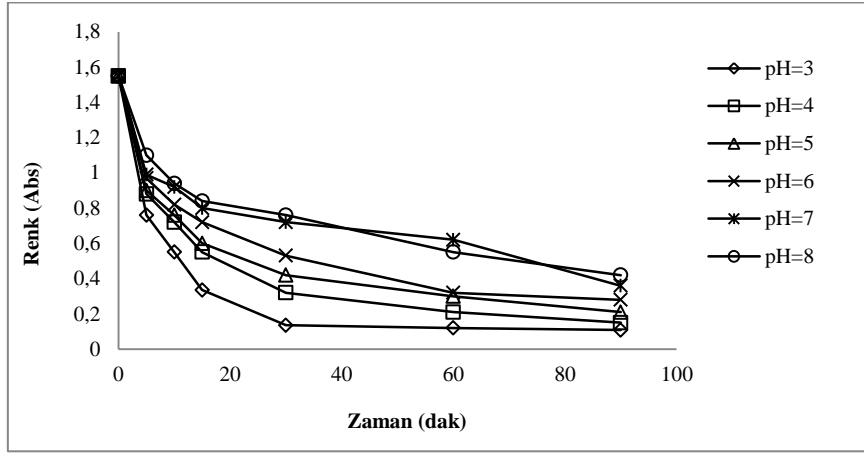
KOİ ve renk giderimleri, pH = 3 – 8 aralığında ve H₂O₂ = 100 mg/L değerinde Şekil 2 a ve b'de gösterilmiştir. pH değerinin düşmesiyle KOİ ve renk giderim verimlerinin arttığı görülmüş ve pH 3'e indirildiğinde KOİ'de %90, renkte ise %93 oranında giderme verimi elde edilmiştir. UV/H₂O₂ prosesinde, asidik pH değerlerinde elde edilen giderim verimleri alkali pH değerlerine göre daha yüksek olmuştur. Düşük pH değerlerinde, H₂O₂ kararlı hale gelir, yüksek pH değerlerinde ise HO₂⁻ ve H⁺ iyonuna dönüşür. Alkali şartlarda, OH[•] radikali azalır ve giderme verimi de düşer (Correia ve diğ., 1994).

Optimum pH değerinin belirlenmesinden sonra, H₂O₂ konsantrasyonları değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3 a ve b'de, farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında ve pH 3'te KOİ ve renk giderimleri gösterilmiştir. UV/H₂O₂ prosesinde, KOİ ve rengin giderilmesinde H₂O₂ konsantrasyonu önemli bir parametredir. Bütün deneyler 15 W'lık UV lambası ile gerçekleştirilmiştir. 25-150 mg/L H₂O₂ konsantrasyonlarının, KOİ ve renk giderimine olan etkisi de ayrıca test edilmiştir (Şekil 3 a ve b). Maksimum KOİ ve renk giderim verimleri, 125 mg/L H₂O₂ konsantrasyonunda, 90 dakikada, KOİ'de %91, renkte ise %93 oranında elde edilmiştir.

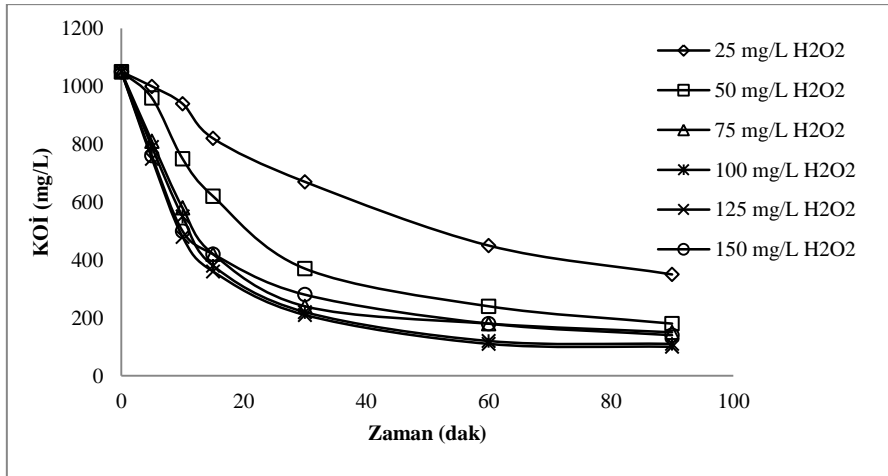
Aşırı miktarda H₂O₂'nin ilave edilmesi durumunda, OH[•] radikalleri ile aşırı H₂O₂'nin reaksiyonu neticesinde, OH[•] radikallerine göre daha zayıf radikaller olan OH₂ radikalleri oluşacağından, KOİ gideriminde olumsuz etkiler meydana gelir (Azbar ve diğ., 2004).



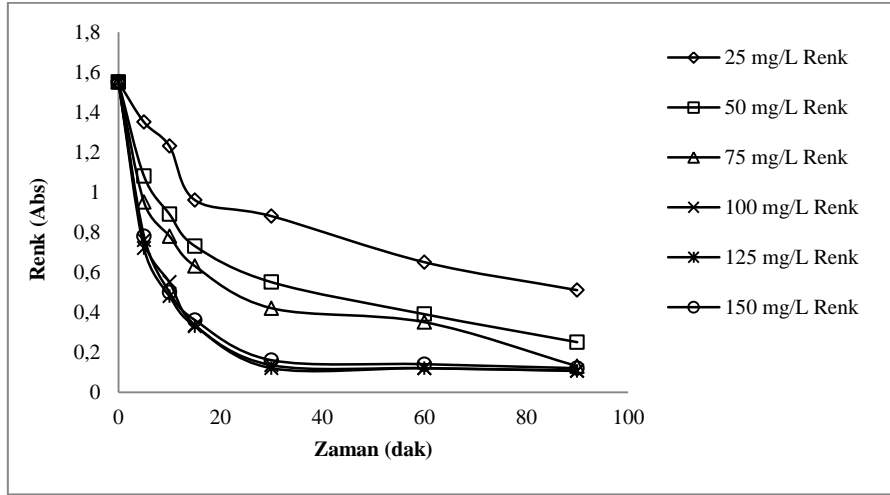
Şekil 2a:
UV/H₂O₂ prosesinde farklı pH değerlerinde KOİ giderimleri



Şekil 2b:
UV/H₂O₂ prosesinde farklı pH değerlerinde renk giderimleri



Şekil 3a:
UV/H₂O₂ prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında KOİ giderimleri



Şekil 3b:

UV/H₂O₂ prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında renk giderimleri

3.2. Yapay Sinir Ağı Modeli ile Elde Edilen Bulgular

YSA modelini geliştirmede en önemli adım, YSA topolojisini optimize etmektir. Bu çalışmada, el baskısı işletmelerinden kaynaklanan tekstil atıksularının arıtımı için kullanılan UV/H₂O₂ prosesinin kinetikleri YSA'nın (NeuroSolutions 5.06a) uygulanması ile geliştirilmiştir. Model giriş değişkenleri, reaksiyon süresi, giriş KOİ konsantrasyonu, giriş renk absorbansı, giriş H₂O₂ konsantrasyonu ve çözeltinin pH değeridir (Tablo 2). Reaksiyon süresinin bir fonksiyonu olarak, KOİ ve renk konsantrasyonları, çıkış değişkenleri olarak seçilmiştir.

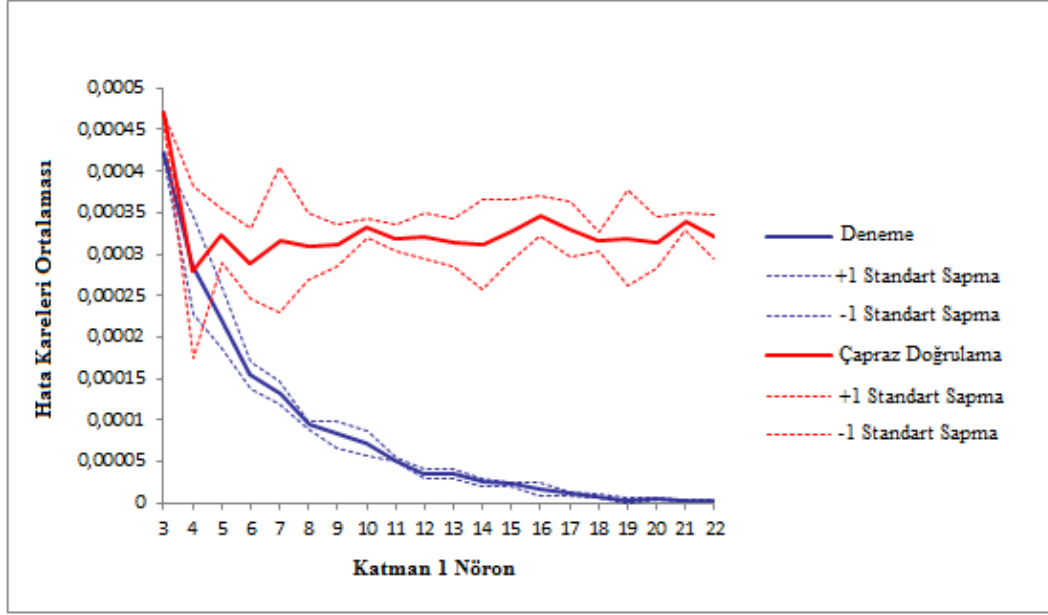
Tablo 2. Model değişkenleri ve bu değişkenlere ait sınır değerler

Değişken	Aralık
Giriş katmanı	
Reaksiyon süresi (dak)	0-60
pH	3-9
Giriş KOİ konsantrasyonu (mg/L)	0-1050 ± 10
Giriş H ₂ O ₂ konsantrasyonu (mg/L)	0-150 ± 20
Giriş renk absorbansı	0-1.55 ± 0.06
Çıkış katmanı	
KOİ konsantrasyonu (mg/L)	0-630 ± 10
Absorbans	0-0.55 ± 0.05

Bu çalışmada bütün veriler NeuroSolutions 5.06 modeli ile 20 kez test edilmiştir. Elde edilen 20 çözeltinin her biri 1000 kez tekrarlanmış ve her 1000 grup programda 3 kez doğrulanmıştır. Hem eğitim değerleri, hem de çapraz doğrulama değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Doğrulama tamamlandığında, standart sapma ve uygulama değerlerinin birbirine benzediği ve yüksek sapmanın olmadığı görülmektedir. Modelin hesaplamaları sonunda elde edilen bütün değerler Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Uygulanan modelin sonuçları

En iyi ağ	Eğitim	Çapraz doğrulama
Katman 1 nöron	22	4
Test sayısı	3	2
Epoch sayısı	1000	761
Minimum HKO	8.28x10 ⁻⁷	0.000218666
Final HKO	8.28x10 ⁻⁷	0.000218666



Şekil 4:
Standart sapma ile hata kareleri ortalaması

Hata kareleri ortalaması (HKO) Şekil 5'te gösterilmiştir. HKO hata fonksiyonu olarak kullanılır. HKO ölçümleri, denklem 4'e göre yapılmıştır.

$$HKO = \frac{1}{Q \sum_{i=1}^Q (y_{nn} - y_{expl})^2} \quad (4)$$

Bu denklemde;

Q : Veri noktası sayısı

y_{nn} : Yazılım tahmini

y_{expl} : Deneysel reaksiyon

i : Veri indeksi

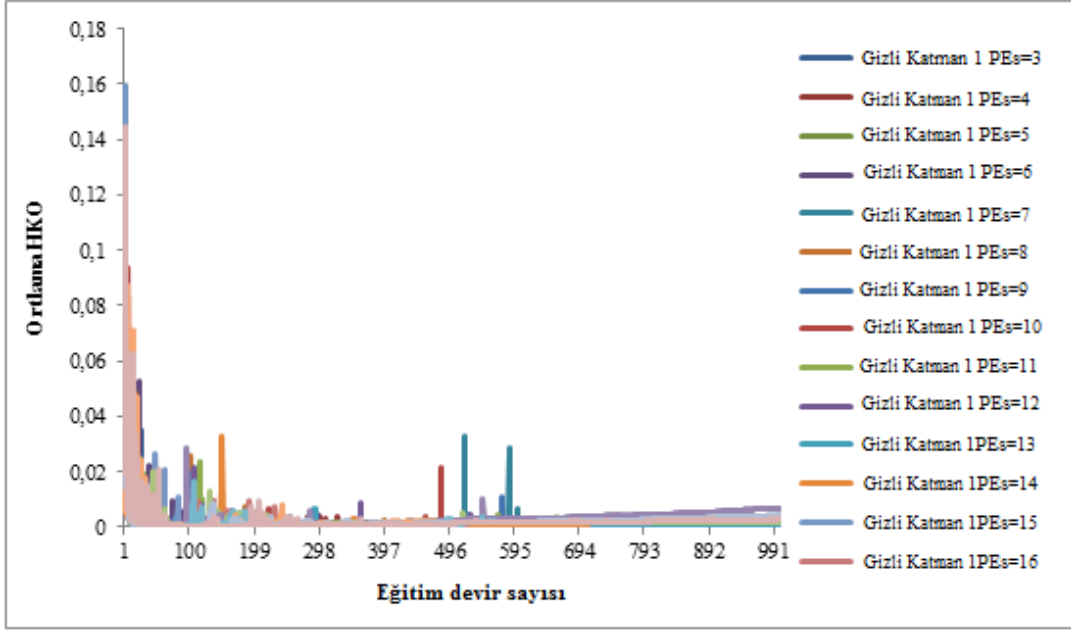
Bu çalışmada, gizli ve çıkış katmanlarındaki transfer yapısı olarak sigmoidal transfer yapısı kullanılmıştır. En sıklıkla kullanılan transfer yapısı denklem 5'te verilmiştir.

$$f_x = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (5)$$

Bu denklemde:

f_x : Gizli sinir çıkışı (Pareek ve diğ., 2002; Salari ve diğ., 2005)

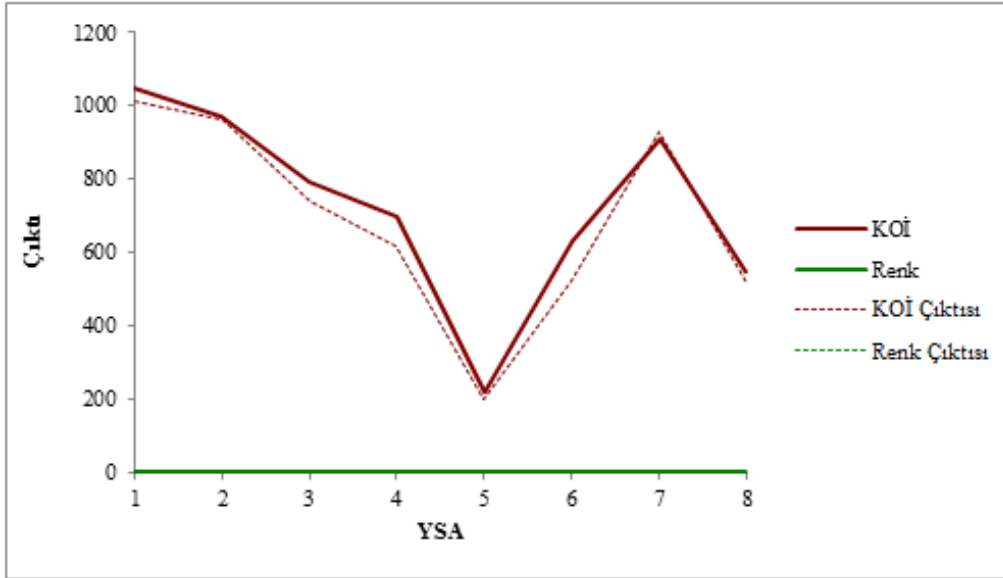
Çıktı değişkenlerinin deneysel değerleri ([KOİ ve renk] t) ile hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması, 15 gizli katmanla YSA modeli kullanılarak Şekil 6'da gösterilmiştir. Tahminlerin başarısını göstermek için, her bir KOİ ve renk için iki çizgi kullanılmıştır. Tahminlenen veri ile deneysel veri birbiriyle uyum içerisindedir. Diğer çizgi ise, programdan elde edilen veriye en iyi şekilde uymuştur. Korelasyon katsayıları (r) Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 6'da, KOİ'nin korelasyon katsayısı 0.9901 ve rengin korelasyon katsayısı 0.9978'dür. Bu katsayıların değerlendirilmesi halinde, hem veri grubunun doğruluğunun ve birbiriyle uyumunun yüksek olduğu, hem de yapay sinir ağının veri grubu içerisinde yüksek bir korelasyon kurduğunu göstermesi açısından önem arz etmektedir.



Şekil 5:

Ortalama çapraz doğrulama

YSA modeline dayanan simülasyonlar, farklı koşullar altında sistemin davranışını tahminler. Bu çalışmadaki tüm parametrelerin (giriş renk, KOİ ve H₂O₂ konsantrasyonları, giriş pH değeri ve reaksiyon süresi) KOİ ve renk giderimi üzerinde önemli etkileri vardır. Sonuçlar YSA modelinin, bu sistemdeki KOİ ve rengin ışıkla ayrışımı hakkında deneysel verilerin yeniden üretilebildiğini doğrulamaktadır ve deneysel aralıktaki verilerin modele adapte edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 6.

Arzu edilen gerçek net çıktılar

Tablo 4. Doğru değerler

Performans	KOİ	Renk
HKO	3106,647225	0,001617343
Normalize edilmiş HKO	0,049771058	0,0093897
Ortalama mutlak hata	45,75203835	0,029724891
Min absorbans hata	9,479777194	0,003994273
Max absorbans hata	107,2360461	0,092091924
r	0,990119114	0,997848278

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, el baskısı işletmelerinden kaynaklanan tekstil atıksularından KOİ ve renk gideriminde UV/H₂O₂ prosesiyle oldukça yüksek verim alınmıştır. Bütün deneyler, pH=3-8 aralığında ve H₂O₂=25-150 mg/L dozlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, KOİ ve rengin foto oksidasyonunda, H₂O₂ konsantrasyonunun ve pH'ın etkili olduğunu göstermiştir. Optimum H₂O₂ konsantrasyonu (125 mg/L) ve pH değerinde (pH=3), KOİ'de %91, renkte ise %93 oranında verim elde edilmiştir.

YSA modeli, KOİ ve rengin foto oksidasyon proseslerinde yaygın olan neden-sonuç ilişkisini araştırmak için kullanılmıştır. YSA modeli, kabul edilen deneysel şartlar aralığında karmaşık sistem reaksiyonlarının (UV/H₂O₂ prosesi) davranışlarını açıklayabilir. Farklı koşullar altında sistemin davranışını tahmin etmek için YSA modeline dayalı simülasyon yapılabilir. Bu bilgi, tekstil atıksuyundaki organik kirleticilerin giderilmesi için endüstriyel ölçekli kesikli reaktörlerin tasarımı, planlanması ve ölçeklendirilmesi için gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Akbostancı, İ. (2004) Anadolu'da yazmacılık sanatı, *SkyLife*, 246, 100-107.
2. AlHamed, F.H., Rauf, M.A. and Ashraf, S.S. (2009) Degradation studies of Rhodamine B in the presence of UV/H₂O₂, *Desalination*, 239, 159-166. doi:10.1016/j.desal.2008.03.016
3. Anonim (2011) Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/04/20110424-9.htm> (erişim tarihi: 31.01.2017)
4. Anonim (2017) Hand painted textiles <http://www.turkishculture.org/pages.php?ParentID=14&ID=109>, (erişim tarihi: 31.01.2017)
5. APHA-AWWA-WEF (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.; American Public Health Association: Washington D.C.
6. Arslan, I. and Akmehtmet Balcioglu, I. (1999) Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study, *Dyes Pigments*, 43, 95-108. PII: S0143-7208(99)00048-0
7. Azbar, N., Yonar, T. and Kestioğlu, K. (2004) Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent, *Chemosphere*, 55, 35-43. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.10.046
8. Behnajady, M.A., Modirshahla, N. and Shokri, M. (2004) Photodestruction of Acid Orange 7 (AO7) in aqueous solutions by UV/H₂O₂: Influence of operational parameters, *Chemosphere*, 55,129-134. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.10.054

9. Bilinska, L., Gmurek, M., Ledakowicz, S. (2015) Application of advanced oxidation technologies for decolorization and mineralization of textile wastewaters, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 18(2), 185-194. doi.org/10.1515/jaots-2015-0202.
10. Clarke, N. and Knowles, G. (1982) High purity water using H₂O₂ and UV radiation, *Effluent Water Treatment Journal*, 23, 335-341.
11. Correira, V.M., Stephenson, T. and Judd S.J. (1994) Characterization of textile wastewater-a review, *Environmental Technology*, 15 (10), 917-929. doi.org/10.1080/09593339409385500
12. Crittenden, J.C., Hu, S., Hand, D.W. and Gren, S.A. (1999) A kinetic model for H₂O₂/UV process in a completely mixed batch reactor, *Water Research*, 33, 2315-2328.
13. Çokay Çatalkaya, E., Bali, U. and Şengül, F. (2004) Fenol'ün fotokimyasal yöntemlerle parçalanması ve mineralizasyonu, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 14(3), 31-41.
14. Dabek, L., Ozimina, E. and Picheta-Oles, A. (2013) Research on removal of coloured organic compounds from textile industry wastewater, *Rocznik Ochrona Srodowiska*, 15, 1164-1176.
15. De Melo, C.F., da Silva, F.T. and de Paiva, T.C.B. (2011) Treatment of wastewater from a cotton dyeing process with UV/H₂O₂ using a photoreactor covered with reflective material, *Water Science and Technology*, 64(2), 460-468. doi: 10.2166/wst.2011.661
16. Despagne, F. and Massart, D.L. (1998) Neural networks in multivariate calibration, *Analyst*, 123,157-178.
17. Gob, S., Oliveros, E., Bossmann, S.H., Braun, A.M., Guardani, R. and Nascimento, C.A.O. (1999) Modeling the kinetics of a photochemical water treatment process by means of artificial neural networks, *Chemical Engineering Processing: Process Intensification*, 38(4), 373-382. PII:S0255-2701(99)00028-8
18. Grau, P. (1991) Textile industry wastewater treatment, *Water Science and Technology*, 24, 97-103.
19. Guittonneau, S., De Laat, J., Duguet, J.P., Bonnel, C. and Dore, M. (1990) Oxidation of parachloronitrobenzene in dilute aqueous solutions by O₃+UV and H₂O₂+UV: a comparative study, *Ozone: Science and Engineering*, 12(1) 73-94. doi.org/10.1080/01919519008552456
20. Kestioglu, K., Yonar, T., Kaplan Yonar, G. and Sen, M. (2008) Toxicity evaluation of raw, physico-chemically pre-treated and to Fenton's oxidation applied textile and Organized Industrial Region (OIR) effluents on activated sludge, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, 969-977.
21. Legrini, O., Oliveros, E. and Braun, A.M. (1993) Photochemical process for water treatment, *Chemical Reviews*, 93(2), 671-698.
22. Malhotra, S., Pandit, M., Kapoor, J.C. and Tyagi, D.K. (2005) Photooxidation of cyanide in aqueous solution by the UV/H₂O₂ Process, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 13-19. doi:10.1002/jctb.1127
23. Manikandan, P., Palanisamy, P.N., Baskar, R., Sivakumar, P. and Sakthisharmila, P. (2016) Optimization of treatment efficiency of UV/H₂O₂ process on simulated textile industry wastewater, *Desalination and Water Treatment*, 57(56), 27169-27180. doi.org/10.1080/19443994.2016.1172983

24. Meriç, S., Kaptan, D. and Ölmez, T. (2004) Color and COD removal from wastewater containing Reactive Black 5 using Fenton's oxidation process, *Chemosphere*, 54, 435-441. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.08.010
25. Moraes, J.E.F., Quina, F.H., Nascimento, C.A.O., Silva, D.N. and Chiavone-Filho, O. (2004) Treatment of saline wastewater contaminated with hydrocarbons by the photo-fenton process, *Environmental Science and Technology*, 38,1183-1187. doi: 10.1021/es034217f
26. Pareek, V.K., Brungs, M.P., Adesina, A.A. and Sharma, R. (2002) Artificial neural network modeling of a multiphase photodegradation system, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 149,139-146. PII: S1010-6030(01)00640-2
27. Perez, M., Torradesa, F., Domenech, X. and Peral, J. (2002) Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents, *Water Research*, 36, 2703-2710. P II: S0043-1354(01) 00506 - 1
28. Salari, D., Daneshvar, N., Aghazadeh, F. and Khataee, A.R. (2005) Application of artificial neural networks for modeling of the treatment of wastewater contaminated with methyl tert-butyl ether (MTBE) by UV/H₂O₂ Process, *Journal of Hazardous Materials B*, 125, 205-210. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.05.030
29. Skodic, L., Vajnhandl, S., Valh, J.V., Zeljko, T., Voncina, B. and Lobnik, A. (2017) Comparative study of reactive dyes oxidation by H₂O₂/UV, H₂O₂/UV/Fe²⁺ and H₂O₂/UV/Fe degrees processes, *Ozone-Science and Engineering*, 39(1), 14-23. doi.org/10.1080/01919512.2016.1229173
30. Stegemann, J.A. and Buenfeld, N.R. (2002) Prediction of leachate pH for cement paste containing pure metal compounds, *Journal of Hazardous Materials B*, 90,169-188. PII: S0304-3894(01)00338-7
31. Torrades, F., García-Montaña, J., García-Hortal, J.A., Domènech, X. and Peral, J. (2004) Decolorization and mineralization of commercial reactive dyes under solar light assisted photo-Fenton conditions, *Solar Energy*, 77, 573-581. doi:10.1016/j.solener.2004.05.004
32. Vandevivere, P.C., Bianchi, R. and Verstraete, W. (1998) Treatment and reuse of wastewater from the textile wetprocessing industry: review of emerging technologies, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 72, 289-302.
33. Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G. (1998) The biotechnology approach to colour removal from textile effluent, *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 114, 38-41. doi: 10.1111/j.1478-4408.1998.tb01943.x
34. Yang, Y., Wyatt, D.T.I. and Bahorshky, M. (1998) Decolorization of dyes using UV/H₂O₂ photochemical oxidation, *Textile Chemists and Colorists*, 30, 27-35.
35. Yonar, T., Kaplan Yonar, G., Kestioglu, K. and Azbar, N. (2005) Decolorisation of textile effluent using homogeneous photochemical oxidation processes, *Coloration Technology*, 121, 258-264. doi: 10.1111/j.1478-4408.2005.tb00283.x
36. Yonar, T. and Yalılı Kilic, M. (2014) Chemical oxygen demand and color removal from textile wastewater by UV/H₂O₂ using artificial neural networks, *Water Environment Research*, 86(11), 2159-2165. doi:10.2175/106143014X14062131178277
37. Zuorro, A. and Lavecchia, R. (2014) Evaluation of UV/H₂O₂ advanced oxidation process (AOP) for the degradation of diazo dye Reactive Green 19 in aqueous solution, *Desalination and Water Treatment*, 52(7-9), 1571-1577. doi.org/10.1080/19443994.2013.787553