



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Tütün Yaprağına Bakır (Cu^{2+}) Biyosorpsiyonu Sonucu Oluşan Organik Kirliliğin (KOİ) Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi

Estimation Of Organic Pollution (COD) Of Copper (Cu^{2+}) Biosorption To Tobacco Leaf With Artificial Neural Network

Mehmet ÇEKİM^{1*}

¹ İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehircilik ve Kentsel Dönüşüm ABD, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet ÇEKİM, cekim.mehmet@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, tütün yaprağına Cu^{2+} biyosorpsiyonun sistem üzerinde yarattığı organik kirliliğin (KOİ) Yapay Sinir Ağı modeli (YSA) ile tahmini araştırılmıştır. Bu kapsamda modelde, biyosorpsiyon prosesinden elde edilen 26 adet veri normalize edilerek modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. YSA modelinin geliştirilmesinde girdi katmanında pH, sıcaklık ve biyosorbent dozajına ait veriler kullanılarak çıktı katmanında KOİ tahmin edilmiştir. Çalışmada 5 farklı model oluşturulmuş ve en uygun 3-4-1 yapıda 0,991 R^2 değerinde belirlenmiştir. Diğer model yapılarında da yüksek R^2 değerleri elde edilmiştir. Oluşturulan YSA modellerinin elde edilen tahminlerin ölçüm sonuçları ile istatistiksel açıdan karşılaştırılması ile modellerin iyi bir tahmin yeteneklerine sahip olduğu ve bu amaçla kullanılabilecekleri görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Biyosorpsiyon, Modelleme, Tütün, Organik Kirlilik.

ABSTRACT

In this study, prediction of Cu^{2+} biosorption to tobacco leaf, and the organic pollution (COD) created by this process on the biosorption system using Artificial Neural Network (ANN) models was investigated. In this scope, 26 data obtained from the biosorption process from the model were normalized and used in the comparison. For the development of the model, data regarding pH, temperature, and biosorbent dosage were used in the input layer, and COD was predicted in the output layer. In this model, five different models were created, and the most suitable model was determined with 3-4-1 structure and 0,991 R^2 value. High R^2 values were also obtained in other model structures. The statistical comparison of the predictions obtained from ANN models with the measurement results shows that the models have good predicting capability and can be used for prediction purpose.

Keywords: Artificial Neural Network, Biosorption, Modelling, Tobacco, Organic Pollution.

1. GİRİŞ

Gittikçe artan nüfusla birlikte gelişen teknoloji, hızlı sanayileşme, yetersiz altyapı ve sanayi kuruluşlarının pek çoğunda arıtma tesislerinin bulunmaması çözülmesi oldukça zor olan çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir (Camcıoğlu ve ark., 2016; Çekim ve Dere, 2014). Gelişen endüstri ile birlikte teknolojik aktivitelerin artması sonucu ağır metal kirliliği oluşmaktadır. Bu kirliliklerin gideriminde, kimyasal çöktürme, koagülasyon, flokülasyon, iyon değişimi, ekstraksiyon, kompleks oluşturarak ayırma, biyolojik işlemler, elektro-kimyasal işlemler, membran işlemleri, adsorpsiyon gibi yöntemler kullanılmaktadır (Kaewsarn, 2002). Bu yöntemler ile ortamda bulunan metaller tam olarak giderilemeyebilir. Bunun dışında bu tekniklerin; pahalı ekipman ve takip sistemleri gerektirmesi, fazla kimyasal ve enerji ihtiyacının olması, toksik çamur ve diğer atık ürünler oluşturması gibi dezavantajları vardır (Hussein ve ark., 2004). Bunun sonucu olarak, son yıllarda biyoteknolojik yaklaşımlar alternatif bir arıtma yöntemi olarak dikkat çekmektedir (Iyer ve ark., 2004; Erdem ve ark., 2016).

Ağır metallerin arıtılmasında kullanılan alternatif yöntemlerin başında biyosorpsiyon prosesleri gelmektedir (Beolchini ve ark., 2004). Biyosorpsiyonda hücre yüzeyindeki metal tutulmasının fizikokimyasal temelini; kompleksleşme, koordinasyon, şelat oluşturma, iyon değişimi, adsorpsiyon ve inorganik mikro çökeltme prosesleri oluşturmaktadır. Genellikle en çok gerçekleşen mekanizmanın iyon değişimi şeklinde olduğu belirtilmektedir (Aksu, 2002).

Atıksulardan herhangi bir kirlleticinin arıtılarak hangi oranda atıksudan uzaklaştırıldığı genellikle deneysel yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Fakat deneysel yöntemler hem çok fazla zaman gerektirmekte hem de deneylerin sürekli yapılmasından dolayı uzun vadede yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Bu nedenle deneysel yöntemlere alternatif olarak, daha önceden elde edilmiş verileri kullanarak olaylar hakkında tahmin yapılmasını sağlayan çeşitli istatistiksel yöntemler ve modelleme teknikleri geliştirilmiştir (Eyupoglu ve ark., 2010). Bunlardan biri olan Yapay Sinir Ağları (YSA) en az geleneksel metotlar kadar, hatta daha iyi neticeler verdiğini göstermiştir. YSA'nın özellikle doğrusal olmayan zaman serilerinde gösterdiği başarı, bir tahmin aracı olarak tercih edilmesini sağlamıştır (Hamzaçelebi ve Kutay, 2004). Son yıllarda bilimin

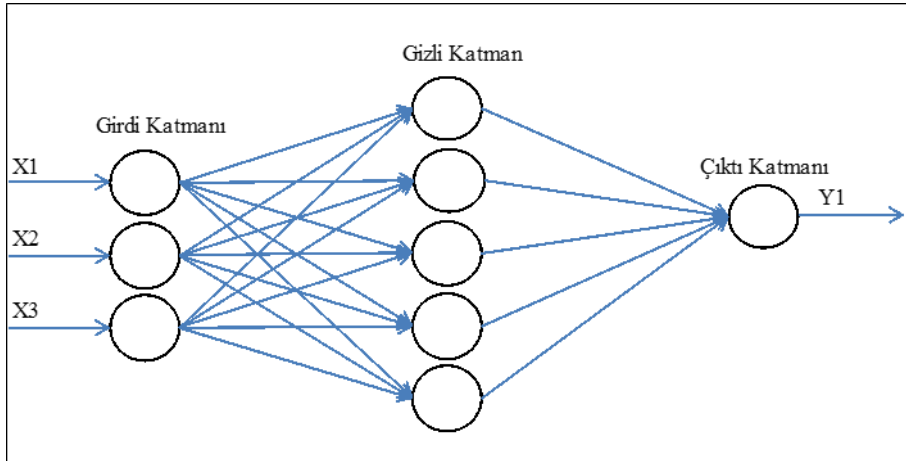
diğer alanlarında olduğu gibi Çevre Mühendisliğinin birçok alanında da bir veri modelleme aracı olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Eyupoglu ve ark., 2010).

Bu çalışmada, tütün biyosorbenti ile Cu^{2+} iyonlarının biyosorpsiyonundan elde edilen veriler iki farklı yapay sinir ağı modellenmesinde kullanılmıştır. Biyosorpsiyon prosesinin değişik şartlar altında Cu^{2+} iyonlarının hangi oranlarda giderildiğini ve bu gerçekleşen süreçte ortamın ne düzeyde kirlendiğini tahmin edebilen YSA modelleri geliştirilmiştir. Modellerin oluşturulmasında MATLAB (R2012a) yazılımındaki yapay sinir ağları modülü (Neural Network FittingTool - nftool) kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İnsan beyin fonksiyonundan esinlenen yapay sinir ağları (YSA), deneme yolu ile öğrenme ve genelleştirme yapabilmektedir. YSA'nın kullanıldığı önemli alanlardan biri de geleceği tahmindir. YSA, veriler arasındaki bilinmeyen ve fark edilmesi güç ilişkileri ortaya çıkartabilir. YSA doğrusal değildir. Doğrusal modeller, önemli detayları anlayabildikleri ve açıklayabildikleri takdirde avantajlı olabilirler. Ancak ilgilenilen problemin temelindeki ilişki doğrusal olmadığı durumlarda doğrusal modeller uygun değildir (Zhang ve ark., 1998). En basit YSA yapısı Şekil 1'de gösterildiği gibi girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere 3 farklı katman ve her bir katmanda nöron ya da işlem elemanı olarak adlandırılan bir ya da daha fazla sayıda basit yapay sinir hücresinden oluşmaktadır (Eren ve Turp, 2011).



Şekil 1. Temel Üç Katmanlı Yapay Sinir Ağı (YSA) Mimarisi

YSA, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan, herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan modellemeyi sağlayabilmektedir. Ağa, girdi bilgileri ve bu girdilere karşılık gelen çıktı bilgileri verilmekte ve ağın girdi-çıkı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanmakta, böylece ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Öğreticili öğrenme olarak adlandırılan bu yöntem genelde tercih edilen bir yöntemdir (Hamzaçelebi ve Kutay, 2004).

YSA yöntemi ile herhangi bir problemin modellenmesindeki en önemli nokta, probleme en iyi çözümü sağlayacak en uygun ağ mimarisini, yani gizli katman sayısını ve gizli katman(lar)daki işlem elemanı sayısının belirlenmesidir. Girdi ve çıktı katmanındaki işlem elemanı sayısı modellemede kullanılacak olan parametre sayısına eşitken, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki işlem elemanı sayısı modellenecek problemin zorluğuna göre değişiklik göstermektedir. Modellenmek istenen problemdeki veriler arasındaki ilişki karmaşıklıktıkça oluşturulacak olan ağ mimarisindeki gizli katman sayısı ve her bir katmandaki işlem elemanı sayısı genel olarak artmaktadır (Eren ve Turp, 2011).

2.2. Deneylerde Kullanılan Biyosorbent ve Analiz Yöntemleri

Biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılan tütün yaprağı Adıyaman'da bulunan tarım arazilerinden alınmıştır. Arazilerden alınan tütün yaprağı toz haline getirildikten (0,5 mm altı) sonra renginden arınması için distile su ile yıkanmış ve ardından 24 saat 105°C'de etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kurutulan tütün tozu % 1'lik H_2SO_4 çözeltisinde 24 saat bekletilerek aktif hale

getirilmiştir. Aktive edilen biyosorbent distile su ile yıkanarak filtre edilmiştir ve sonra da 24 saat 105°C'de etüvde kurutulmuştur. Etüvde kurutulan tütün havan da ezilerek 0,30 mm altına elenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 2).

Deneylerde kullanılan Cu^{2+} çözeltisi, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ kimyasalından gerekli miktar alınarak (3.929 g) 1000 mg/L derişimlerinde 1L hacminde hazırlanmıştır.



Şekil 2. Tütün Yaprağının Toz Haline Getirilmeden Önce ve Sonraki Görüntüleri

Biyosorpsiyon çalışmaları, 250 mL'liklerlenler içine 100 mL metal (Cu) çözeltisi ve biyosorbent konularak kesikli bir sistemde yapılmıştır. Çalışmalarda sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışabilen Wise Shake (SHO-2D) ve çalkalamalı inkibatör kullanılmıştır.

Biyosorbentin metal çözeltisine eklendiği an $t=0$ anı olarak kabul edilip belli aralıklarda analizler yapılmıştır. Alınan numunelerde serbest halde bulunan Cu^{2+} iyonları 478 nm dalga boyunda absorpsiyon okunarak Hach-Lange DR-6000 UV spektrofotometresinde analiz edilmiştir. Çalışma süresince sentetik atıksuların istenilen değerlerde pH ayarları derişik ve seyreltik (1-10 M) H_2SO_4 ve NaOH (1-10 M) ile ayrı ayrı ayarlanmıştır. Biyosorbentin sistem üzerindeki organik kirliliğini incelemek amacıyla kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizleri Hach-Lange hazır kitleri kullanılarak belirlenmiştir. Biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılan biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) ve yüzde giderim verimi aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$q_e = (V \cdot (C_o - C_e)) / X \quad (1)$$

$$\% \text{ Giderim} = (C_o - C_e) \cdot 100 / C_o \quad (2)$$

Bu denklemlerde kullanılan “ q_e ” adsorbent üzerinde tutulan maddelerin konsantrasyonunu (mg/g), “X” kullanılan adsorbentin miktarını (g), “V” solüsyonun hacmi (L), “ C_o ” solüsyonun ilk konsantrasyonunu (mg/L) ve “ C_e ” solüsyonun son konsantrasyonunu (mg/L) ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Cu^{2+} Biyosorpsiyonu ve Biyosorbent Karakteristiği

Tütün biyosorbenti Cu^{2+} iyonlarını gidermede üstün performans sergilemektedir. Ancak bunun yanında biyosorpsiyon sistemi üzerinde organik kökenli kirlenmeye sebep olmaktadır (Çekim ve ark., 2015). Cu^{2+} iyonlarının biyosorpsiyonu için elde edilen optimum ortam şartları Tablo 1'de verilmiştir.

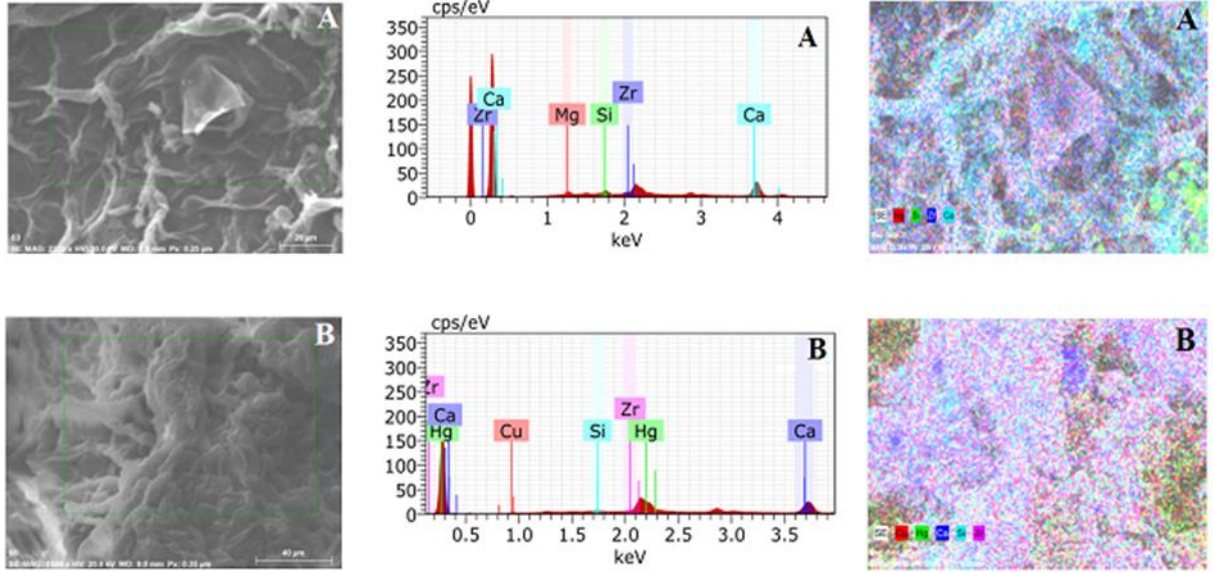
Tablo 1. Biyosorpsiyon Deneylerinde Çalışılan Aralıklar ve Elde Edilen Optimum Şartlar (Çekim ve ark., 2015)

	Temas süresi (dk)	pH	Sıcaklık (°C)	Biyosorbent miktarı (g/L)	Metal konsantrasyonu (mg/L)	Çalkalama hızı (rpm)
Çalışma aralıkları	1-240	2-5	20-50	1-8	5-50	50-300
Optimum şartlar	60	4	20	4	25	200

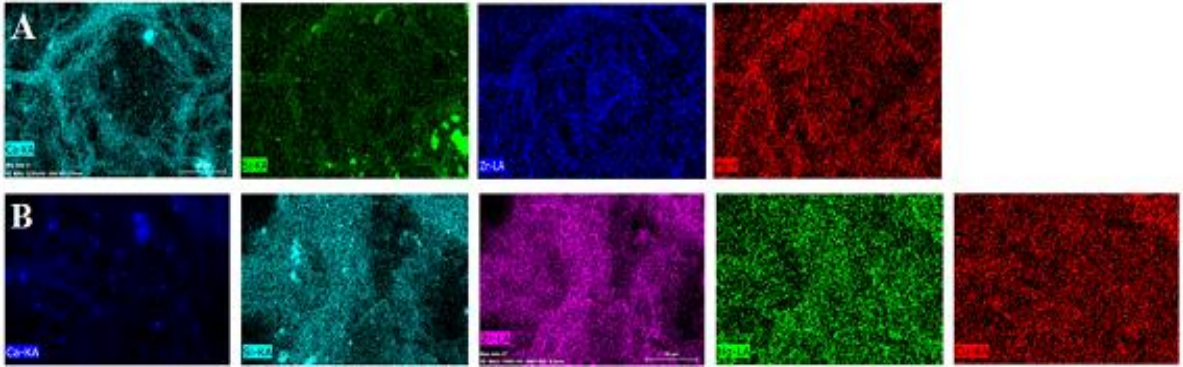
Cu^{2+} iyonlarının tütün biyosorbentine biyosorpsiyonunun belirlenebilmesi için sürecin öncesi ve sonrasında element dağılımlarını tespit edilmiştir. Bunun için biyosorpsiyon öncesi ve sonrasında SEM (Scanning Electron Microscope) ve EDX (Energy dispersive X-ray) analizleri yapılmıştır (Şekil 3). Bu şekiller incelendiğinde biyosorpsiyon öncesi yapılan EDX analizinde Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si, Zr elementlerinin bulunduğu, biyosorpsiyon sonrasında ise Ca^{2+} , Si, Zr, Hg^+ ve Cu^{2+} elementlerinin

bulduğu görülmüştür. Biyosorpsiyon öncesindeki görüntülerde 1.2keV'de bulunan Mg^{2+} metali ise biyosorpsiyon sonrasındaki görüntülerde bulunmamaktadır.

SEM analizinde yeşil dikdörtgen alan içerisinde bulunan bölgedeki elementlerin renk kodlaması ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde 1.0keV'de bulunan Cu^{2+} metalinin kırmızı renk kodu ile biyosorbent yüzeyinde adsorbe olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Tütün Yaprağının Biyosorpsiyon Öncesi (A) ve Sonrası (B) SEM - EDX Sonuçları



Şekil 4. Tütün Yaprağının Biyosorpsiyon Öncesi (A) ve Sonrası (B) EDX Analizi Yapılan Bölgenin Renk Kodlaması

3.2. Organik Kirliliğin Tahmin Edilmesi

Cu^{2+} iyonlarının tütün yaprağına biyosorpsiyonu sonrasında çıkış suyunda organik kökenli kirlenme oluşmaktadır. Bu kirlenmeye etki eden 3 farklı parametre (pH, sıcaklık, biyosorbent miktarı) bulunmaktadır. Bu 3 farklı parametreden elde edilen 26 adet veri 5 farklı YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Modellerde girdi parametresi olarak pH, sıcaklık ($^{\circ}C$) ve biyosorbent miktarı (gr), çıktı parametresi olarak ise KOİ (mg/L) kullanılmıştır. YSA modellerinin geliştirilmesinde denklem 3 kullanılarak veriler normalize edilmiştir.

YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılacak olan ham veriler ağız eğitime başlamadan önce öğrenme süreci ve hataların önlenmesi açısından normalize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ağız eğitime başlamadan önce girdi ve çıktı verileri denklem 3 kullanılarak normalize edilmiştir (Asl ve ark., 2013; Maghsoudi ve ark., 2015).

$$X_{normal} = \left[\frac{X_i - X_{min}}{X_{mak} - X_{min}} \right] \quad (3)$$

Burada, X_{mak} ve X_{min} veri setindeki parametrelerin maksimum ve minimum değerleri, X_{normal} ise X verisinin normalize edilmiş halidir. Normalize edilmiş 81 adet verinin %60'ı ağı eğitmek, %20'si öğrenme ve diğer %20'si ise eğitilmiş ağı test etmek için kullanılmıştır.

Normalize edilmiş 26 adet verinin %60'ı ağı eğitmek, %20'si öğrenme ve diğer %20'si ise eğitilmiş ağı test etmek için kullanılmıştır. Deneysel veriler farklı ortam şartları kullanılarak yapılan laboratuvar çalışmalarından elde edilmiştir. Deneysel verilerle ilgili istatistiksel bilgiler Tablo 2'de özetlenmiştir.

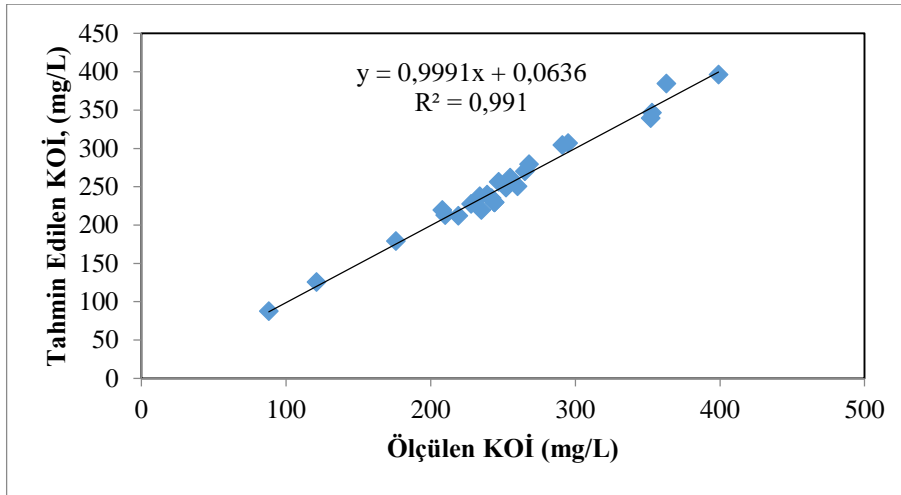
Tablo 2. YSA Modellerinde Kullanılan Deneysel Verilerin İstatistik Analizi

Değişkenler	Maksimum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
Girdiler				
pH	5	2	3,67	0,87
Sıcaklık (oC)	50	20	25,86	4,09
Biyosorbent Dozajı	0,8	0,1	0,4	0,07
Çıktı				
KOİ (mg/L)	399	88	251	67,61

Çıkış suyundaki KOİ tahmini için kullanılan YSA yapıları ve sonuçları Tablo 3'te verildiği şekildedir. Tablodan da görüldüğü üzere giderim verimi tahmini için en uygun YSA modeli 3-4-1 yapıda 0,991 R^2 değerinde elde edilmiştir. Modelleme sonucunda elde edilen veriler ile deneysel çalışmalarda elde edilen veriler Şekil 5'teki grafikte gösterilmiştir. Tablo 4'te ise YSA modellerinin eğitim, öğrenme ve test aşamalarındaki performans sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. Çıkış KOİ'nin Tahmin Edilmesinde Kullanılan Model Yapıları Ve Sonuçları

Model No	Yapı	Girdiler	Çıktı	R^2	Standart Sapma	Standart Hata	Ortalama (μ)
I	3-6-1			0,987	64,86	10,78	1,012
II	3-5-1	pH, Sıcaklık	KOİ	0,985	69,42	13,16	0,992
III	3-4-1	(oC), Biyosorbent		0,991	68,77	10,04	1,000
IV	3-3-1	Dozajı (gr)		0,967	65,54	11,48	1,010
V	3-2-1			0,986	61,80	16,21	0,994



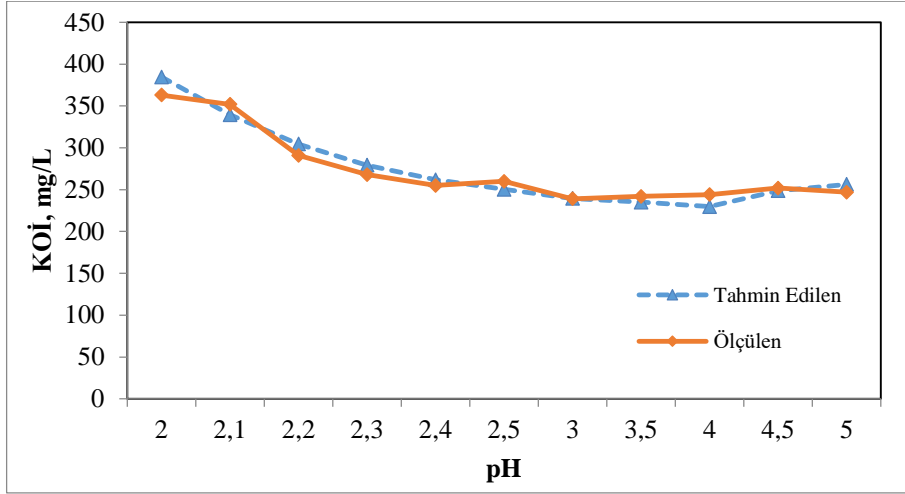
Şekil 5. Tahmin Edilen ve Deneysel Olarak Ölçülen Verilerin Karşılaştırılması

Tablo 4. Çıkış KOİ Tahmini İçin Oluşturulan Modellerin Eğitim, Öğrenme ve Test Sonuçları

Nöron Sayısı		Veri Sayısı	MSE	R ²
6	Eğitim	16	8,45379 x 10 ⁻⁴	9,92126 x 10 ⁻¹
	Öğrenme	5	2,40632 x 10 ⁻³	9,67901 x 10 ⁻¹
	Test	5	1,09176 x 10 ⁻³	9,96326 x 10 ⁻¹
5	Eğitim	16	1,59027 x 10 ⁻³	9,80127 x 10 ⁻¹
	Öğrenme	5	1,51911 x 10 ⁻³	9,95151 x 10 ⁻¹
	Test	5	2,55113 x 10 ⁻³	9,56668 x 10 ⁻¹
4	Eğitim	16	6,65912 x 10 ⁻⁴	9,94086 x 10 ⁻¹
	Öğrenme	5	1,06240 x 10 ⁻³	9,73754 x 10 ⁻¹
	Test	5	1,99453 x 10 ⁻³	9,84915 x 10 ⁻¹
3	Eğitim	16	8,28936 x 10 ⁻⁴	9,91588 x 10 ⁻¹
	Öğrenme	5	1,99565 x 10 ⁻³	9,90343 x 10 ⁻¹
	Test	5	2,20900 x 10 ⁻³	9,52482 x 10 ⁻¹
2	Eğitim	16	1,85037 x 10 ⁻³	9,82206 x 10 ⁻¹
	Öğrenme	5	2,71837 x 10 ⁻³	9,70865 x 10 ⁻¹
	Test	5	5,58712 x 10 ⁻³	9,5747 x 10 ⁻¹

3.2.1. pH Etkisi Sonucu Meydana Gelen Kirlilik Tahmini

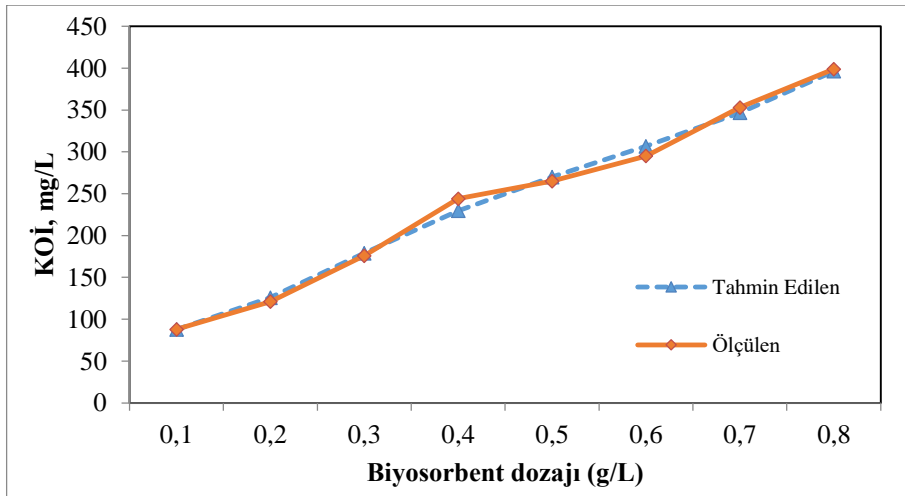
Biyosorpsiyon prosesinde pH 2'de ortamın asidik olması sebebi ile çözeltiye ilave edilen biyosorbentin parçalandığı ve ortamda KOİ'nin artmasına sebep olduğu saptanmıştır. Ancak pH 2.5'ten sonra ortama verilen KOİ miktarında önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Biyosorpsiyon sisteminde organik kirlenmeye pH etkisinin deneysel verileri ve 3-4-1 yapılı YSA modelinden tahmin edilen verilerin karşılaştırması Şekil 6'da verilmiştir. Yapılan karşılaştırmadan da görüldüğü üzere oluşturulan YSA modelinin çok performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 6. pH etkisi ile oluşan KOİ kirliliğinin tahmin edilen değerler ile karşılaştırılması

3.2.2. Biyosorbent Dozajı Sonucu Meydana Gelen Kirliliğin Tahmini

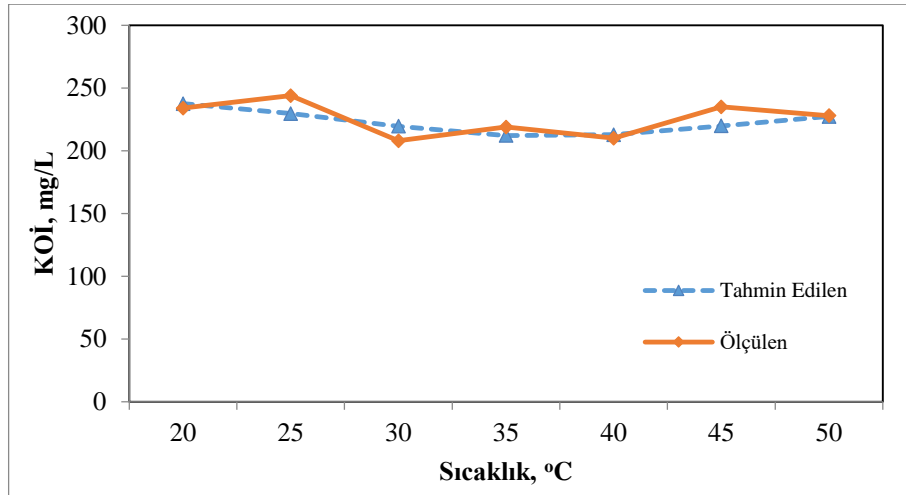
Biyosorbent dozajı arttıkça biyosorpsiyon sisteminde organik kirlenmenin arttığı tespit edilmiştir. Biyosorpsiyon sisteminde organik kirlenmeye biyosorbent miktarının etkisinin deneysel verileri ile 3-4-1 yapıya YSA modelinden tahmin edilen verilerin karşılaştırması Şekil 7’de verilmiştir. Yapılan karşılaştırmadan da görüldüğü üzere oluşturulan YSA modelinin gerçek değerlere çok yakın salınımlar gösterdiği görülmektedir.



Şekil 7. Biyosorbent Dozajı ile oluşan KOİ kirliliğinin tahmin edilen değerler ile karşılaştırılması

3.2.3. Sıcaklık Değişimi Sonucunda Meydana Gelen Kirliliğin Tahmini

Biyosorpsiyon sisteminde sıcaklığın artmasıyla çıkış suyunda meydana gelen organik kirlenmenin çok fazla değişmediği tespit edilmiştir. Biyosorpsiyon sisteminde organik kirlenmeye sıcaklık etkisinin deneysel verileri ile 3-4-1 yapıya YSA modelinden tahmin edilen verilerin karşılaştırması Şekil 8’de verilmiştir. Yapılan karşılaştırmadan da görüldüğü üzere oluşturulan YSA modelinin gerçek değerlere yakın salınımlar gösterdiği görülmektedir.



Şekil 8. Sıcaklık Etkisi İle Oluşan KOİ Kirliliğinin Tahmin Edilen Değerler İle Karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada tütün biyosorbentinin çıkış suyundaki organik kökenli kirlenmeyi (KOİ) tahmin etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Bu kapsamda modelde organik kirlenmeye sebep olan 3 farklı ortam şartı (pH, sıcaklık, biyosorbent dozajı) sonucu laboratuvar deneylerinden elde edilen 26 adet veri 5 farklı nöronlu YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmış ve en uygun YSA modeli 3-4-1 yapıda 0,991 R² değerinde belirlenmiştir. Geliştirilen her modelde verilerin %60'ı eğitimde, %20'si öğrenmede ve %20'si test aşamasında kullanılmıştır. Modelleme sonuçlarında elde edilen tahmin sonuçları ile ölçüm sonuçlarının istatistiksel açıdan karşılaştırılması sonucunda geliştirilen YSA modelinin tahmin kabiliyetinin iyi olduğu, geliştirilen modelin Cu²⁺ iyonlarının biyosorpsiyonu sonrası çıkış suyunda meydana gelen kirlilik (KOİ) düzeyini tahmin etmede etkili olarak kullanılabileceği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- Aksu, Z. (2002). Determination of The Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Parametres of the Biosorption of Nickel (II) Ions Onto Chlorella Vulgaris”, *Process Biochem.*, Cilt 38, No 1, 89-99.
- Asl, SMH., Ahmadi, M., Ghiasvand, M., Tardast, A., Katal, R. (2013). Artificial Neural Network (ANN) Approach For Modeling Of Cr(VI) Adsorption From Aqueous Solution By Zeolite Prepared From Raw Fly Ash (ZFA), *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19, 1044–1055.
- Beolchini, F., Pagnanelli, F., Toro, L., Veglio, F.(2004), Copper Biosorption By Sphaerotilus Natans Confined İn UF Membrane Module: Experimental Study And Kinetic Modeling, *Hydrometallurgy*, Cilt 72, No 1-2, 21-30.
- Camcıoğlu Ş., Özyurt B., Zeybek Z., Hapoğlu H.(2016). Aeroacoustics Investigation Of Unsteady Incompressible Cavity Flow, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (3), 655-664.
- Çekim, M., Dere, T.(2014). Eğri Çayı'na Deşarj Edilen Endüstriyel Atıksularının Karakterizasyonu ve Kirlilik Yüklerinin Belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 30, Sayı 3, 207-213.
- Çekim, M., Yildiz, S., Dere, T. (2015) Biosorption of Copper from Synthetic Waters by Using Tobacco Leaf: Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Tests, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Cilt 23, No 3, 172-182.
- Erdem, F., Tosun, A., Ergün, M. (2016). Saccharomyces Cerevisiae İle Remazol Sarı (RR) Boyasının Kesikli Sistemde Biyosorpsiyonu, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 971-978.
- Eren, B., Turp, M.S. (2011). Sızıntı Suyundan Nikel (II) İyonları Giderim Veriminin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi, *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0161, 6, (1), 398-405.

Eyupoglu, V., Eren, B., Dogan, E. (2010). Prediction of Ionic Cr (VI) Extraction Efficiency in Flat Sheet Supported Liquid Membrane Using Artificial Neural Networks (ANNs). *Int. J. Environ. Res.*, Volume:4, Number:3, 463-470.

Hamzaçelebi, C., Kutay, F. (2004). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 19 (3), 227-233.

Hussein, H., Ibrahim, S. F., Kandeel, K., Moawad, H. (2004). Biosorption Of Heavy Metals From Waste Water Using *Pseudomonas sp.*, *Electronic Journal of Biotechnology*, Cilt 1, No 7, 38-46.

Iyer, A., Mody, K., Jha, B. (2004). Accumulation Of Hexavalent Chromium By An Exopolysaccharide Producing Marine Enterobacter Cloaceae, *Marine Pollution Bulletin*, Cilt 49, No 11-12, 974-977.

Kaewsarn, P. (2002). Biosorption Of Copper (II) From Aqueous Solutions By Pre-Treated Biomass Of Marine Algae *Padina sp.*, *Chemosphere*, Cilt 47, No 10, 1081-1085.

Maghsoudi, M., Ghaedi, M., Zinali, A., Ghaedi, A.M., Habibi, M.H. (2015). Artificial Neural Network (ANN) Method For Modeling Of Sunset Yellow Dye Adsorption Using Zinc Oxide Nanorods Loaded On Activated Carbon: Kinetic And Isotherm Study, *Spectrochimica*, 134, 1-9.

Zhang, G., Patuwo, B.E., Hu, M.Y. (1998). Forecasting With Artificial Neural Networks: The State of the Art, *Inter. Journal of Forecasting*, Cilt 14, 35- 62.