

**Atıf İçin:** Gümüş D, Gümüş F, 2021. Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi Kullanılarak Bromfenol Mavisini Biyosorpsiyonunun Modellenmesi ve Denge İzotermi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(2): 960-968.

**To Cite:** Gümüş D, Gümüş F, 2021. Modeling of Bromphenol Blue Biosorption Using Taguchi Experimental Design Method and Equilibrium Isotherms. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(2): 960-968.

### Taguchi Deneysel Tasarım Yöntemi Kullanılarak Bromfenol Mavisini Biyosorpsiyonunun Modellenmesi ve Denge İzotermi

Dilek GÜMÜŞ<sup>1\*</sup>, Fatih GÜMÜŞ<sup>2</sup>

**ÖZET:** Su ortamında boyaların varlığı, ekosistem kalitesini olumsuz etkilediği için küresel bir sorundur. Tehlikeli boyaların biyosorpsiyon yöntemiyle ayrılması düşük maliyetli ve etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada *Fomes fomentarius* (L.) Fr. ve *Trametes versicolor* (L.) Lloyd biyosorbent olarak kullanılarak sulu çözeltiden Bromfenol Mavisinin giderimi çalışılmıştır. Taguchi deney tasarımı L<sub>9</sub> (3<sup>3</sup>) ortogonal dizi (OD) kullanılarak başlangıç pH değeri (2, 7, 12) başlangıç boya konsantrasyonu (25, 50, 75 mg L<sup>-1</sup>) ve temas süresi gibi (30, 150, 270 dk) kontrol edilebilir 3 faktör ve her faktörün 3 farklı seviyesinin biyosorpsiyon sürecindeki istatistiksel ilişkileri araştırılmış ve sistemin optimizasyonu yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda parametrelerin optimum değerleri *F. fomentarius* ile biyosorpsiyonda temas süresi 270 dk, başlangıç pH değeri 2 ve başlangıç boya konsantrasyonu 50 mg L<sup>-1</sup>, *T. versicolor* ile biyosorpsiyonda temas süresi 150 dk, başlangıç pH değeri 2 ve başlangıç boya konsantrasyonu 50 mg L<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum koşullardaki boya giderim verimleri *F. fomentarius* için %78.34, *T. versicolor* için %69.28 olarak bulunmuştur. Biyosorpsiyon izotermi Langmuir ve Freundlich denklemleri kullanılarak modellenmiştir. *F. fomentarius* ile yapılan deneylerde en iyi model uyumu Freundlich izotermi ile *T. versicolor* ile yapılan deneylerde en iyi uyum Langmuir izotermi ile sağlanmıştır. Giderim performansları göz önünde bulundurulduğunda her iki biyosorbent de boya endüstrisi atıksularının gideriminde düşük maliyetli ve etkili biyosorbentler olarak değerlendirilebilecekleri sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyosorpsiyon, Bromfenol Mavisini, *Fomes fomentarius*, deney tasarımı, doğrusal olmayan izoterm, *Trametes versicolor*.

#### Modeling of Bromphenol Blue Biosorption Using Taguchi Experimental Design Method and Equilibrium Isotherms

**ABSTRACT:** The presence of dyes in the aquatic environment is a global problem because of the negative consequences on the ecosystem quality. Adsorption process is used as a low cost and effective method for removing hazardous dyes. This study investigated removal of Bromophenol Blue from aqueous solutions by *Fomes fomentarius* and *Trametes versicolor*. The statistical relationships of the parameters in the biosorption process by considering three controllable factors including initial pH value (2, 7, 12), initial dye concentration (25, 50, 75 mg L<sup>-1</sup>) and contact time (30, 150, 270 minutes) were investigated at three different levels and the biosorption process was optimized using Taguchi orthogonal array (L<sub>9</sub> OA) experimental design. As a result of experimental studies, the optimal dye removal conditions were determined as the contact time of 270 minutes, pH: 2 and initial Bromophenol Blue concentration of 50 mg L<sup>-1</sup> for *F. fomentarius*. The optimal dye removal conditions were determined as the contact time of 150 minutes, pH: 2 and initial Bromophenol Blue concentration of 50 mg L<sup>-1</sup> for *T. versicolor*. For *F. fomentarius* and *T. versicolor*, the removal efficiencies at optimum conditions were 78.34% and 69.28%, respectively. Biosorption isotherms were modeled using the Langmuir and Freundlich models. The biosorption of Bromophenol Blue on *F. fomentarius* and *T. versicolor* fitted better in the Freundlich and Langmuir models by non-linearized equations, respectively. Both biosorbents can be promising for dyes removal from aqueous environment.

**Keywords:** Biosorption, Bromophenol Blue, *Fomes fomentarius*, experimental design, non-linear isotherm, *Trametes versicolor*.

<sup>1</sup> Dilek GÜMÜŞ (Orcid ID: :0000-0001-7665-3057), Sinop Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, 57010 Sinop-Türkiye

<sup>2</sup> Fatih GÜMÜŞ (Orcid ID: 0000-0002-4660-7591), Sinop Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Bbiyoloji Bölümü, Sinop-Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Dilek GÜMÜŞ, e-mail: dilek.gumus@gmail.com

## GİRİŞ

Canlı yaşamı için hayati öneme sahip su kaynakları çeşitli endüstrilerin zararlı kimyasal atıklarını uygun şekilde bertaraf etmemesi neticesinde hızla kirlenmekte ve küresel çapta oluşacak su krizlerine de zemin hazırlamaktadır (Zare ve ark., 2018). Bu endüstriler arasında ticari boya kullanan tekstil, deri, kozmetik, gıda, baskı ve kağıt endüstrileri de yer almakta ve 100 000'den fazla ticari boya türü içeren renkli atıksu alıcı ortama deşarj edilmektedir (Katheresan ve ark., 2018). Boya endüstrisi atıksuları canlı organizmalar üzerindeki toksik etkilerinin yanı sıra çok düşük konsantrasyonlarda bile güneş ışığı ve oksijen girişini engelleyerek sucul sistemlerin fotosentetik faaliyetleri üzerinde ciddi hasara neden olabilmektedir. Üstelik boyalar karmaşık kimyasal yapılarından dolayı buldukları ortamda stabilitelelerini uzun süre koruyabilmektedirler (El-Gamal ve ark., 2015). Tüm bunlardan dolayı boya kullanan endüstrilerin atıksularını deşarj etmeden önce renklendirici maddeleri elimine etmeleri son derece önemlidir.

Boya endüstrisi atıksularının arıtılmasında adsorpsiyon, elektrokoagülasyon, membran filtrasyon, fotodegradasyon, ozonlama gibi birçok yöntem önerilmiştir (Seow ve Lim, 2016). Ancak tüm bu yöntemlerin çoğu maliyetli ve pratikte uygulanabilirlikleri sınırlıdır. Bu noktada adsorpsiyon işlemleri tasarım ve kullanım kolaylıklarının yanı sıra farklı karakterdeki boyaların giderimine elverişli olmaları ve nispeten daha düşük maliyetleri nedeniyle tercih sebebi olmuştur. Bu bağlamda sürdürülebilir ve doğa dostu biyosorbent araştırmaları halen popülerliğini yitirmemiştir.

Bu çalışmada biyosorbent olarak *Fomes fomentarius* ve *Trametes versicolor* makro mantarları kullanılarak başta tekstil endüstrisi olmak üzere birçok endüstride sıklıkla kullanılan bir boya türü olan Bromfenol Mavisi giderimi çalışılmıştır. Yerel olarak elde edilebilen mantar atıklarının doğal haliyle kullanılabilmesi, ucuz ve bol bulunabilir olması hem maliyet hem de sürdürülebilirlik açısından bir avantaj olarak görülmüş ve alternatif bir biyosorbent olabilecekleri girişimiyle araştırma yapılmıştır. Literatürde daha önce *F. fomentarius* ile Metilen Mavisi ve Rhodamine B boyalarıyla (Maurya ve ark., 2006) *T. versicolor* ile kadmiyum, kurşun gibi çeşitli ağır metaller ve boyalarla ilgili biyosorpsiyon çalışmaları yapılmış (Subbaiah ve ark., 2011) ancak Bromfenol Mavisi ile bu kapsamda bir çalışma yapılmamıştır.

Çalışmada pH, biyosorpsiyon süresi ve kirletici konsantrasyonu gibi en önemli parametrelerin giderim verimi üzerine etkileri araştırılmış ve Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak proses optimizasyonu sağlanmıştır. İstatistiksel tekniklere dayanan deney tasarım yöntemlerinin kullanımının, sağlam tasarım çözümleri sunmanın yanı sıra maliyetleri düşürme ve kaliteyi iyileştirmede de avantajlar sağladığı bilinmektedir (Googerdchian ve ark., 2018). Deneysel veriler denge izoterm modelleri açısından da analiz edilerek değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

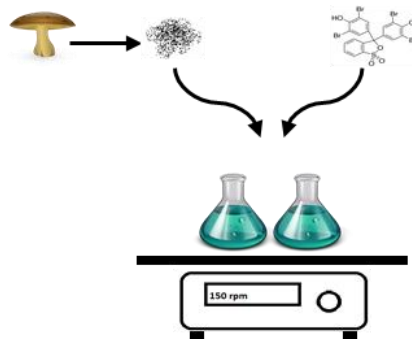
## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Çalışmada kullanılan aromatik boya Sigma (Aldrich) firmasından temin edilmiştir. Tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Çift damıtılmış su ile stok boya çözeltisi ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ) hazırlanmış ve karanlık koşullarda saklanmıştır. Çözeltilerin ilk pH'ları 0.1 N hidroklorik asit (HCl) ve 0.1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileriyle ayarlanmıştır. Çalışmada kullanılan biyosorbentler Sinop bölgesindeki ormanlık alandan toplanmıştır.

Mantarlar ilk önce distile su ile yıkanmış daha sonra  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Kurutulan biyosorbentler Waring marka laboratuvar tipi öğütücüde öğütülerek standart bir elek yardımıyla  $250 \text{ }\mu\text{m}$  partikül boyutuna getirilmiştir. Kullanıma hazır olarak uygun bir cam şişede muhafaza edilmiştir.

Kesikli biyosorpsiyon deneyleri oda sıcaklığında 100 mL hacimli bir dizi erlenmeyer şişesine 50 mL boya çözeltisi ve ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ) biyosorbent ilave edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Şişeler 150 rpm hızında periyodik olarak çalkalanmıştır. Biyosorpsiyondan sonra, biyosorbenti çözülden ayırmak için, çözelti santrifüjlenmiştir ve boya konsantrasyonu UV–visible spektrofotometre kullanılarak 433 nm’de ölçülmüştür (Zeroual ve ark., 2006). Boya çözeltisi için hazırlanan kalibrasyon eğrisi yardımıyla konsantrasyonlar hesaplanmıştır. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Kirleticinin molekülleri ile biyosorbentin yüzeyi arasındaki etkileşimi tanımlayabilmek için denge verileri Langmuir ve Freundlich izoterm denklemleri kullanılarak MS Excel veri çözücü (solver) ile modellenmiş ve hata değerleri (SSE) programda hesaplanmıştır. Tutarlı ve tekrarlanabilir deneysel veriler elde edebilmek için deneysel çalışmalar iki tekrarlı yapılmış ve ortalama değerler kullanılmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi

### Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi deney tasarımı yöntemi en aza indirgenmiş deney sayısı ile optimize edilmiş en uygun parametre kombinasyonlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Googerdehian ve ark., 2018; Taguchi, 1990). Ortogonal dizilerden (OD) yararlanılan tasarım metodunda  $L_9 (3^3)$  OD kullanılmış pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve biyosorpsiyon zamanı gibi kontrol edilebilir üç önemli faktörün etkisi incelenmiştir. Her faktör için üç farklı seviye belirlenmiştir. Bu belirlemeler yapılırken literatürde daha önce yapılan çalışmalar ve ön deneylerin sonuçları dikkate alınmıştır.

Deney planı Çizelge 1’de sunulmuştur. Bu plan doğrultusunda 9 farklı deney yapılmıştır (Çizelge 2). Tasarım yönteminde değerlendirme ölçütü sinyal/gürültü (S/N) faktörü oranıdır. Giderim performansı değerlendirilirken hedef maksimum giderim kapasitesi olduğu için “daha büyük daha iyidir” performans istatistiği tercih edilmiştir. Taguchi’nin ve önemli parametrelerin etkisi ve süreçteki katkısı varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Tasarım ve değerlendirme çalışmaları Minitab 17 istatistiksel yazılım programı ile yapılmıştır.

Çizelge 1. Tasarımının faktörleri ve seviyeleri

Faktör	Birim	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
Başlangıç pH değeri		2	7	12
Boya konsantrasyonu	mg L <sup>-1</sup>	25	50	75
Biyosorpsiyon zamanı	dk	30	150	270

Çizelge 2. Taguchi L<sub>9</sub> OD deneysel dizaynı

Deney no	t (dk)	pH	C (mg L <sup>-1</sup> )
1	30	2	25
2	30	7	50
3	30	12	75
4	150	2	50
5	150	7	75
6	150	12	25
7	270	2	75
8	270	7	25
9	270	12	50

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi ile Biyosorpsiyon Prosesinin Optimizasyonu

Biyosorbentlerin boya giderme verimliliği (%) materyalin Taguchi L<sub>9</sub> OD yaklaşımında bir performans parametresi olarak seçilmiş ve elde edilen yanıt verileri S/N oranına dönüştürülmüştür (daha büyük daha iyidir). Boya giderimi yüzdeleri (% giderim) ve S/N oranları *F. fomentarius* ve *T. versicolor* için sırasıyla Çizelge 3 ve Çizelge 4’te verilmiştir. Önemli parametrelerin etkisi ve süreçteki katkısı varyans analizi ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. *F. fomentarius* ile biyosorpsiyon prosesinde Taguchi L<sub>9</sub> OD deneysel tasarımında boya giderimi yüzdeleri ve S/N oranları

No	t (dk)	pH	C (mg L <sup>-1</sup> )	% giderim	S/N
1	30	2	25	44.75	33.01
2	30	7	50	9.56	19.61
3	30	12	75	1.07	0.57
4	150	2	50	82.20	38.30
5	150	7	75	9.71	19.75
6	150	12	25	3.09	9.80
7	270	2	75	75.66	37.58
8	270	7	25	10.6	20.50
9	270	12	50	5.42	14.68

Çizelge 4. *T. versicolor* ile biyosorpsiyon prosesinde Taguchi L<sub>9</sub> OD deneysel tasarımında boya giderimi yüzdeleri ve S/N oranları

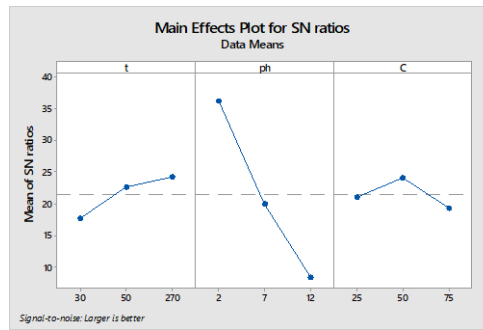
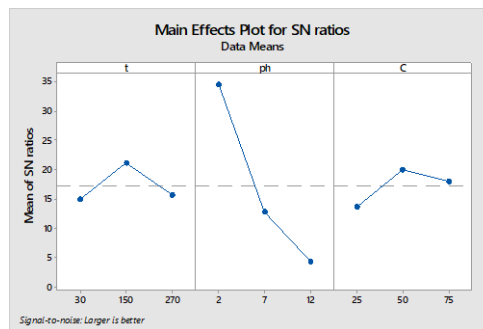
No	t (dk)	pH	C (mg L <sup>-1</sup> )	% giderim	S/N
1	30	2	25	31.65	30.01
2	30	7	50	6.71	16.53
3	30	12	75	0.82	-1.72
4	150	2	50	69.28	36.81
5	150	7	75	8.69	18.78
6	150	12	25	2.46	7.82
7	270	2	75	68.82	36.75
8	270	7	25	1.45	3.23
9	270	12	50	2.21	6.89

**Çizelge 5.** *F. fomentarius* ile biyosorpsiyon prosesinde boya gideriminde ANOVA çalışmasının sonuçları

kaynak	df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
t (dk)	2	68.94	68.94	34.47	5.06	0.165
pH	2	1182.33	1182.33	591.167	86.75	0.011
C	2	36.73	36.73	18.364	2.69	0.271
hata	2	13.63	13.63	6.815	-	-
toplam	8	1301.63	-	-	-	-

**Çizelge 6.** *T. versicolor* ile biyosorpsiyon prosesinde boya gideriminde ANOVA çalışmasının sonuçları

Kaynak	df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	p
t (dk)	2	16.33	16.33	8.163	0.23	0.811
pH	2	1949.68	1949.68	974.842	27.83	0.035
C	2	412.23	412.23	206.115	5.88	0.145
Hata	2	70.06	70.06	35.031	-	-
Toplam	8	2448.30	-	-	-	-

**Şekil 2.** *F. fomentarius* ile biyosorpsiyon prosesi optimizasyonunda parametrelerin etkileri**Şekil 3.** *T. versicolor* ile biyosorpsiyon prosesi optimizasyonunda parametrelerin etkileri

En yüksek yanıt değeri her değişkenin en iyi seviyesini belirlemiştir ve çalışılan parametreler arasında optimum olarak yorumlanmış ve seçilmiştir. Şekil 2 ve 3 incelendiğinde *F.fomentarius* için zamanda en iyi yanıt 3. seviye olan 270 dk, başlangıç pH değeri için 1. seviye olan 2 ve başlangıç boya konsantrasyonu için 2. seviye olan 50 mg L<sup>-1</sup> belirlenmiştir. *T. versicolor* için zamanda en iyi yanıt 2. seviye olan 150 dk, başlangıç pH değeri için 1. seviye olan 2 ve başlangıç boya konsantrasyonu için 2.

seviye olan  $50 \text{ mg L}^{-1}$  belirlenmiştir. Çizelge 5 ve 6'da verilen ANOVA sonuçlarından hesaplanan F ve p değerleri doğrultusunda başlangıç pH değerlerinin ( $p < 0.05$  olduğu için) biyosorpsiyonda istatistiksel olarak anlamlı ve etkili bir parametre olduğu söylenebilir. Analiz sonucunda *F. fomentarius* ile biyosorpsiyonda 270 dk sonunda, başlangıç pH değeri 2 ve  $50 \text{ mg L}^{-1}$  başlangıç boya konsantrasyonu koşullarında %76.7 giderim, 41.68 (S/N) oranı ve *T. versicolor* ile biyosorpsiyonda 150 dk sonunda, başlangıç pH değeri 2 ve  $50 \text{ mg L}^{-1}$  başlangıç boya konsantrasyonu koşullarında %66.77 giderim 41.27 (S/N) oranı belirlenmiştir. Belirlenen koşullar için yapılan doğrulama deneylerinde *F. fomentarius* ile biyosorpsiyonda %78.34 boya giderimi ve *T. versicolor* ile biyosorpsiyonda %69.28 boya giderimi edilmiştir. Elde edilen değerlerin birbirleri ile tutarlı olması modelin parametrelerin etkisini açıklamada oldukça başarılı olduğunun göstergesidir.

Her iki biyosorbent için de düşük pH değerinde çok daha iyi sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür. Boyanın kimyasal yapısına da bağlı olarak çözelti pH'sı düştüğünde  $\text{H}^+$  iyonları artışıyla boyanın adsorplanma kabiliyetinde artış olmuştur. Benzer bulgulardan literatürde bahsedilmektedir. Bromfenol Mavisi giderimi için mantar biyokütlesi ile adsorpsiyonda ve grafen oksit fonksiyonlu manyetik kitosan kompozit ile adsorpsiyonda maksimum giderimler asidik pH (2) değerinde olmuştur (Zeroual ve ark., 2006; Sohni ve ark., 2018). Boyanın asidik pH'da alımının artması, biyosorbent ve boya arasındaki elektrostatik etkileşimler açısından açıklanabilir. Azalan pH ile biyosorbentte fazlaca zayıf baz grubu protonlanır ve net bir pozitif yük elde edilir. Bu yüklü bölgeler, Bromfenol Mavisi boyası gibi anyonik gruplara bağlanmak için kullanılabilir hale gelir. Hidrojen iyonları ayrıca biyosorbent ile boya molekülü arasında bir köprü ligandı olarak işlev görür (Zeroual ve ark., 2006). Mantar hücre duvarı, boya moleküllerini bağlayabilen çeşitli fonksiyonel gruplarla (amino, karboksil, tiol ve fosfat grupları gibi) polisakkaritler (kitin ve kitosan), proteinler, lipitler ve melaninden oluşmaktadır. Ayrıca mantar biyokütlesi pürüzlü ve gözenekli bir yüzeye sahiptir. Bu yüzey özelliği, toplam yüzey alanında artış sağlayan bir faktör olarak düşünülmektedir (Bayramoğlu ve Arıca, 2007).

### Biyosorpsiyon Prosesinin İzoterm Modellemesi

Biyosorpsiyon sisteminin denge verileri Freundlich (1906) ve Langmuir (1918) izotermleri kullanılarak modellenmiştir. Deneyler, Taguchi tasarımı kullanılarak belirlenen parametrelerin optimum seviyesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *F. fomentarius* için 270 dk ve başlangıç pH değeri 2 ile *T. versicolor* için 150 dk ve başlangıç pH değeri 2 olarak başlangıç konsantrasyon 25, 50 ve  $75 \text{ mg L}^{-1}$  olarak değişen oranlarda çalışılmıştır.

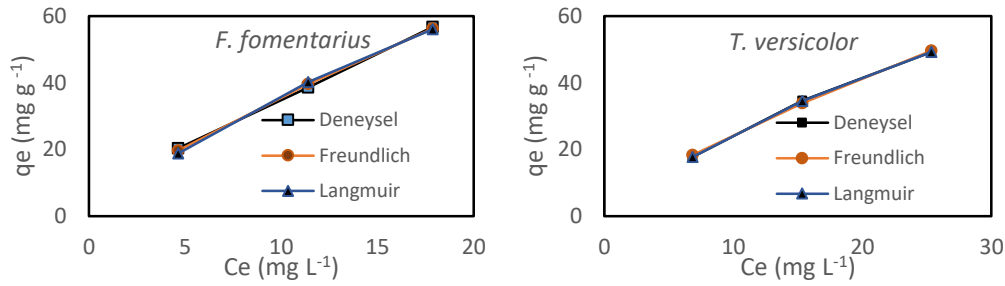
$$\text{Freundlich} \quad qe = K_F C_e^{1/n_F} \quad (1)$$

$$\text{Langmuir} \quad qe = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

$q_e$  ve  $q_m$  denge ve maksimum biyosorpsiyon kapasiteleri ( $\text{mg g}^{-1}$ ),  $K_F$ ,  $n_F$  ve  $K_L$  Freundlich ve Langmuir model sabitleri ve  $C_e$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) kirletici konsantrasyonudur. Lineer olmayan model denklemleriyle hesaplanan biyosorpsiyon kapasiteleri Çizelge 7'de verilmiştir. En küçük hata değeri ve en yüksek  $R^2$  değeri en uygun modeli belirlemiştir. Her iki modelde de yüksek  $R^2$  değeri ile uyum elde edilmiştir. *F. fomentarius* ile yapılan deneylerde en iyi model uyumu Freundlich izoterminde sağlanırken *T. versicolor* ile yapılan deneylerde en iyi uyum en düşük hata değeri ile Langmuir izotermi ile sağlanmıştır. Langmuir denklemiyle maksimum biyosorpsiyon kapasitesi *F. fomentarius* için  $182.23 \text{ mg g}^{-1}$ , *T. versicolor* için  $142.33 \text{ mg g}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Langmuir ve Freundlich lineer olmayan izoterm denklemleri ile modelleme uyumu Şekil 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7. Model parametreleri

Model parametreleri	<i>F. fomentarius</i>	<i>T. versicolor</i>
<b>Freundlich izoterm modeli</b>		
$K_F$ ( $\text{mg}^{1-1/n} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$ )	5.94	4.24
$1/n_F$	0.779	0.761
Hata (SSE)	1.67	1.026
$R^2$	0.9975	0.9999
<b>Langmuir izoterm modeli</b>		
$q_m$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	182.23	142.33
$K_L$ ( $\text{L mg}^{-1}$ )	0.0249	0.021
$R_L$	(0.35-0.62)	(0.39-0.66)
Hata (SSE)	5.26	0.008
$R^2$	0.9931	0.9971



Şekil 4. Langmuir ve Freundlich lineer olmayan izoterm denklemleri ile modelleme

### Karşılaştırma Çalışması

Literatürde yer alan çeşitli adsorbanların Bromfenol Mavisi giderim kapasitelerinin karşılaştırılması Çizelge 8'de verilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan biyosorbentlerin doğrusal olmayan Langmuir model denklemiyle hesaplanan maksimum giderim kapasiteleri de hesaplanarak çizelgede sunulmuştur. Her iki biyosorbent de Bromfenol Mavisi gideriminde literatürdeki birçok adsorbana göre yüksek bir adsorplama kabiliyeti sergilemiştir.

Çizelge 8. Çeşitli adsorbanların Bromfenol Mavisi giderme kapasitelerinin karşılaştırılması

( $q_{max}$ ) ( $\text{mg g}^{-1}$ )	Adsorbent	Referans
30.32	Nano CuO	Rashad ve Al-Aoh 2019
22.72	$\alpha$ -chitin	Dhananasekaran ve ark.,2016
1.89	Aktif karbon	Dada ve ark., 2012
182.23	<i>Fomes fomentarius</i>	Bu çalışma
142.33	<i>Trametes versicolor</i>	Bu çalışma

### SONUÇ

Bu çalışmada kolay erişilebilir ve çevre dostu sorbentler olan *F. fomentarius* ve *T. versicolor* kullanılarak sulu çözeltiden Bromfenol Mavisi giderimi çalışılmıştır. Biyosorpsiyon için optimum koşullar Taguchi yöntemi ile tasarlanmış ve deneysel olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda *F. fomentarius* ile 270 dk sonunda, başlangıç pH değeri 2 ve başlangıç boya konsantrasyonu  $50 \text{ mg L}^{-1}$  koşullarında %76.7 giderim verimi, 41.68 (S/N) oranı ve *T. versicolor* ile 150 dk sonunda, başlangıç pH değeri 2 ve başlangıç boya konsantrasyonu  $50 \text{ mg L}^{-1}$  koşullarında %66.77 giderim verimi, 41.27 (S/N) oranı belirlenmiştir. Belirlenen koşullar için yapılan doğrulama deneylerinde *F. fomentarius* ile

biyosorpsiyonda %78.34 boya giderim verimi ve *T. versicolor* ile biyosorpsiyonda %69.28 boya giderim verimi elde edilmiştir. Denge izotermi Langmuir ve Freundlich izoterm denklemleri kullanılarak modellenmiştir. *F. fomentarius* ile yapılan deneyler Freundlich izotermi ile *T. versicolor* ile yapılan deneyler Langmuir izotermi ile daha iyi uyum sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında deneysel tahminler ve doğrulama sonuçları birbirine çok yakın değerler olduğu için Taguchi ( $L_9 (3^3)$  OD) deney tasarımının boya endüstrisi atıksularının arıtımında biyosorpsiyon prosesi tasarımında kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte *Fomes fomentarius* ve *Trametes versicolor*'un literatürdeki çoğu adsorbente kıyasla oldukça yüksek boya giderim kapasitesi sergilediği belirlenmiştir.

### Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Bayramoğlu G, Arıca MY, 2007. Biosorption of benzidine based textile dyes Direct Blue 1 and Direct Red 128 using native and heat-treated biomass of *Trametes versicolor*. *Journal of Hazardous Materials*, 143, 1-2, 135-143.
- Dada AO, Inyinbor AA, Oluyori AP, 2012. Comparative adsorption of dyes onto activated carbon prepared from maize stems and sugar cane stems. *Journal of Applied Chemistry*, 2: 38-43.
- Dhananasekaran S, Palanivel R, Pappu S, 2016. Adsorption of methylene blue, bromophenol blue, and coomassie brilliant blue by  $\alpha$ -chitin nanoparticles. *Journal of advanced research*, 7: 113-124.
- El-Gamal SMA, Amin MS, Ahmed MA, 2015. Removal of methyl orange and bromophenol blue dyes from aqueous solution using Sorel's cement nanoparticles. *Journal of environmental chemical engineering*, 3(3): 1702-1712.
- Freundlich H, 1906. Over the adsorption in solution. *Zeitschrift für physikalische Chemie*. 57: 385-470.
- Googerdchian F, Moheb A, Emadi R, Asgari M, 2018. Optimization of Pb (II) ions adsorption on nanohydroxyapatite adsorbents by applying Taguchi method. *Journal of hazardous materials*, 349: 186-194.
- Katheresan V, Kansedo J, Lau SY, 2018. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(4): 4676-4697.
- Langmuir I, 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical society*. 40(9): 1361-1403.
- Maurya NS, Mittal AK, Cornel P, Rother E, 2006. Biosorption of dyes using dead macro fungi: effect of dye structure, ionic strength and pH. *Bioresource technology*, 97(3): 512-521.
- Rashad M, Al-Aoh, HA, 2019. Promising adsorption studies of bromophenol blue using copper oxide nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 139: 360-368.
- Seow TW, Lim CK, 2016. Removal of dye by adsorption: a review. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(4): 2675-2679.
- Sohni S, Gul K, Ahmad F, Ahmad I, Khan A, Khan N, Bahadar Khan S, 2018. Highly efficient removal of acid red-17 and bromophenol blue dyes from industrial wastewater using graphene oxide functionalized magnetic chitosan composite. *Polymer Composites*, 39(9): 3317-3328.
- Subbaiah MV, Yuvaraja G, Vijaya Y, Krishnaiah A, 2011. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on biosorption of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solution by fungus (*Trametes versicolor*) biomass. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(6): 965-971.
- Taguchi G, 1990. *Introduction to Quality Engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.



Zare EN, Motahari A, Sillanpää M, 2018. Nanoadsorbents based on conducting polymer nanocomposites with main focus on polyaniline and its derivatives for removal of heavy metal ions/dyes: a review. *Environmental research*, 162: 173-195. 3.

Zeroual Y, Kim BS, Kim CS, Blaghen M, Lee KM, 2006. Biosorption of bromophenol blue from aqueous solutions by *Rhizopus stolonifer* biomass. *Water, air, and soil pollution*, 177(1-4): 135-146.