



Direct Red BWS tekstil boyası adsorpsiyonunun Taguchi L₉(3⁴) ortogonal deney tasarımı ile araştırılması

Investigations of adsorption of Direct Red BWS textile dye using Taguchi L₉(3⁴) orthogonal experimental design

Erbil Kavcı^{1,*} 

¹Kafkas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 36100, Kars, Türkiye

Özet

Adsorpsiyon, sulu çözümlerden boyar maddelerin giderimi için tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada, tekstil fabrikasından temin edilen Direct Red BWS boyar maddesinin fıstık kabuğu ile adsorpsiyonu incelenmiştir. Sıcaklık, başlangıç boya konsantrasyonu, başlangıç pH'ı ve adsorbent miktarı adsorpsiyona etki eden parametreler olarak seçilmiştir. Parametrelerin etkin seviyeleri Taguchi L₉ ortogonal deney matrisi ile S/N (Sinyal/Gürültü) değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. Daha sonra ham verilerden, parametrelerin görece önemini görmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Çalışma, başlangıç pH'ının en etkili parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Onu, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorbent miktarı ve sıcaklık takip etmektedir. Adsorpsiyon deneylerinde etkisi en az olan parametre sıcaklıktır. Optimum şartlar, sıcaklık 23 °C, başlangıç boya konsantrasyonu 150 mg.l⁻¹, başlangıç pH'ı 2.5, adsorbent miktarı 50 mg olarak bulunmuş ve adsorpsiyon kapasitesi q_e=50.57 mg.g⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Artıma, Fıstık kabuğu, Tekstil atıksuyu, Adsorpsiyon, Taguchi

Abstract

Adsorption is a preferred method for the removal of dyes from aqueous solutions. In this study, Adsorption of Direct Red BWS obtained from the textile plant onto the peanut shell was investigated. Temperature, initial dye concentration, initial pH, and adsorbent dose were selected as affecting parameters for adsorption. S/N (Signal/Noise) values were calculated and the effective level of the parameters were determined using Taguchi L₉ orthogonal array. Then, Analysis of Variance (ANOVA) has been used to identify the significant parameters. The study revealed that initial pH was the most effective parameter followed by initial concentration, adsorbent dose, and temperature. The temperature is found to be the least significant parameter in adsorption experiments. The optimum levels of parameters are temperature 23 °C, initial dye concentration 150 mg.l⁻¹, initial pH=2.5 and, adsorbent dose 50 mg respectively and adsorption capacity is q_e=50.57 mg.g⁻¹.

Keywords: Treatment, Peanut shell, Textile effluent, Adsorption, Taguchi

1 Giriş

Boyar maddeler çok çeşitli endüstrilerde (tekstil, plastik, kâğıt, boya, deri, gıda işlemleri, ilaç sanayisi) kullanılan renklendirici maddelerdir. Bu boyar maddeler kullanıldıktan sonra atık sularla çevreye deşarj edilmektedir. Çevreye verildiğinde kimyasal olarak kararlı yapılar oluşturan bu maddeler her türlü canlı ve bitkinin hayatına zarar vermektedir [1-3].

Boyar maddeler asit boyarmaddeler, reaktif boyar maddeler, bazik boyar maddeler, azo boyar maddeler, direk boyar maddeler, vat ve dispers boyar maddeler olarak sınıflandırılabilir. Daha geniş bir sınıflandırmada ise katyonik, anyonik ve non-iyonik olarak sınıflandırılabilir. Direk, asit, reaktif ve azo boyar maddeler anyonik boyar maddeler sınıfına girmektedir [4]. Direk boyar maddeler ise bir veya daha fazla azo gruplara sahip olan, selülozik elyafların boyama ve baskı işlemlerinde oldukça tercih edilen boya gruplarıdır [5]. Kolay uygulanabilmesi, ucuz olması ve geniş bir uygulama alanına sahip olmasından dolayı çokça kullanılmaktadır [6]. Yapısında azo grupları ve sülfonik gruplar bulunduran bu boyar maddeler oldukça düşük konsantrasyonlarda bile gözle görülebilir. Kanserojendir, insan sağlığı ve sucul ekosistem için de zararlıdır. Kompleks yapıları ve sentetik olması sebebiyle biyo bozunamaz ve doğal yolla parçalanamazlar [7].

Dolayısıyla fiziksel veya kimyasal olarak atık sulardan giderilmesi gerekir.

Boya gideriminde flokülasyon, elektroflokülasyon, çöktürme, iyon değiştirme, membran filtrasyonu, ozonlama, adsorpsiyon yöntemleri kullanılır. Uygulama kolaylığı, prosenin basitliği ve yan ürün oluşmaması adsorpsiyon proseslerini avantajlı hale getirmektedir. Adsorpsiyon için adsorbent seçimi de önemlidir [8]. Doğada kolay bulunabilmeleri, ucuz olmaları, düşük seviyede biyolojik veya kimyasal atık oluşturmaları tercih sebebidir [9, 10]. Boyar maddelerin gideriminde birçok bitkisel atık madde adsorbent olarak kullanılmaktadır.

Boyar maddelerin adsorpsiyon proseslerinde, adsorpsiyonu etkileyen birçok parametre vardır. Bunların arasında başlangıç pH'ı, başlangıç boya konsantrasyonu, temas süresi, adsorbent miktarı, sıcaklık sayılabilir. Bu parametrelerin sayısı arttıkça deney sayısı artar. Buda daha fazla zaman kaybı, daha fazla maliyet demektir [11, 12].

Bir optimizasyon çalışması sistematik bir yaklaşım getirir ve bu sayede performansı etkileyen faktörleri ve etkileri daha az deney yaparak belirlenebilir [13]. Taguchi optimizasyon metodu tek değişkenli optimizasyon tekniklerine nazaran daha güçlü ve avantajlıdır [14]. Bu teknik, varyasyonları ölçerek verileri Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürür [15].

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: erbilkavci@gmail.com (E. Kavcı)

Geliş / Recieved: 03.01.2020 Kabul / Accepted: 20.11.2020 Yayınlanma / Published: 15.01.2021

doi: 10.28948/ngumuh.669972

Bu çalışmada, doğada çokça bulunan ticari bir değeri olmayan fıstık kabuğu adsorbent olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon proseslerinde tutunmayı etkileyen parametreler olarak sıcaklık, başlangıç boya konsantrasyonu, başlangıç pH'ı ve adsorbent miktarı seçilmiştir ve sulu çözeltilerdeki Direct Red BWS (DR-BWS) boyar maddesinin fıstık kabuğuna adsorpsiyonu için L₉ ortogonal deney tasarımı kullanılmıştır. Ayrıca ANOVA analizi yapılarak en etkin parametreler belirlenmiştir.

2 Materyal ve metot

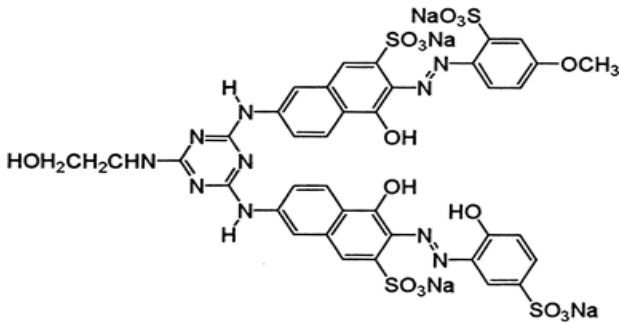
2.1 Adsorbent ve adsorbatın hazırlanışı

Adsorbent olarak kullanılan fıstık kabukları yerel bir marketten alınmıştır. Üzerindeki tozlar, kirler saf suyla yıkanarak temizlenmiştir. Sonra etüvde 80 °C sıcaklıkta 16 saat kurutulmuştur. Daha sonra öğütülmüş ve elenerek 600 meşin altındaki numuneler adsorbent olarak kullanılmıştır.

DR-BWS boyar maddesi bir tekstil fabrikasından temin edilmiş ve molekül yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Dalga boyu 517 nm ve molekül ağırlığı 1116.91 g.mol⁻¹'dir. 1000 mg.l⁻¹ stok çözeltisi hazırlanmış ve istenen diğer konsantrasyonlar bu çözeltilerden seyreltilerek elde edilmiştir. 50 ml DR-BWS çözeltisi, 250 ml'lik behere konulmuş ve deneyler NB-303 model orbital çalkalamalı-sıcaklık ayarlı çalkalayıcıda yapılmıştır. Başlangıçta pH ayarlaması için 0.1 mol.l⁻¹ HCl ve NaOH çözeltileri hazırlanmıştır. Konsantrasyon ölçümleri MAPADA – V1100D marka UV-visible spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. Adsorplanan boyar madde miktarı q_e ise Denklem (1)'den hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

Burada C_o, C_e, sırasıyla boyar maddenin başlangıçta, denge anında boyar madde konsantrasyonunu (mg.l⁻¹), q_e, birim adsorbent miktarı başında adsorplanan boya miktarını (mg.g⁻¹), V çözelti hacmini (l), m ise adsorbent miktarını temsil etmektedir (g).



Şekil 1. Direct Red BWS boyar maddesinin molekül yapısı

2.1.1 Taguchi L₉ deney tasarımı

Taguchi optimizasyon metodu, ortogonal deney tasarımı kullanarak deney sayısında azalma sağlayan bir optimizasyon tekniğidir. Ortogonal deney tasarımının en önemli avantajı çok sayıda faktörü daha az sayıda kullanmak ve seviyelerini eş zamanlı olarak

değiştirebilmektir [16]. Bu teknik elde edilen verileri sinyal/gürültü (S/N) oranına çevirir. S/N oranının kullanıldığı deneyin karakteristiğine bağlı olarak üç tipi vardır. Bunlar “en büyük en iyi”, “en küçük en iyi”, “nominal en iyi” şeklindedir. Özellikle bu çalışmada en fazla boya adsorplanması istendiğinden en büyük en iyi yaklaşımı kullanılmıştır [17, 18]. Bu kritere göre, Taguchi eşitliği aşağıda Denklem (2)'de verilmiştir. Optimum şartlarda doğrulama deneyi yapılmıştır [19].

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2)$$

y_i, performans karakteristik değerini, n tekrar sayısını ifade etmektedir.

2.1.2 ANOVA analizi

Taguchi analizini yaptıktan sonra ham veriler kullanılarak varyans (ANOVA) analizi yapılır. Burada amaç parametrelerin etkinliklerinin derecesini, performans kriterine en çok etki eden parametreyi belirlemektir. Burada Fisher testi (F değeri) ve olasılık (p değeri) parametrenin önemini ve istatistiksel olarak uygunluğunu belirler. F_α(ν₁, ν₂) α, güven aralığı ν₁, parametrelerin serbestlik derecesi, ν₂ hatanın serbestlik derecesidir. Hesaplan F değeri, okunan F değerinden büyük ise parametrenin etkin olduğu söylenir. F değerinin büyüklüğü ise seçilen parametrenin performans karakteristiği üzerinde daha büyük etki yaptığını göstermektedir [20–22].

3 Bulgular ve tartışma

Boya giderimine etki eden parametreler sıcaklık, başlangıç boya konsantrasyonu, başlangıç pH'ı ve adsorbent miktarı olarak seçilmiştir. Bu incelenen değişkenler ve seviyeleri Tablo 1'de, Taguchi L₉(3⁴) ortogonal matrisinin 4 parametrelili 3 seviyeli tasarımına ait deney tasarımına ait deney planı da Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışılan Parametrelerin değerleri ve seviyeleri

Parametre Kodları	Parametre	Seviyeler		
		1	2	3
A	Sıcaklık (°C)	23	30	37
B	Baş. Boya konsantrasyonu (mg.l ⁻¹)	50	100	150
C	Başlangıç pH'ı (±0.03)	2.5	3	3.5
D	Adsorbent miktarı (mg)	50	100	150

Taguchi L₉ deney planına göre yapılan her bir deney iki kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçları ve “en büyük en iyi” kriterine göre hesaplanmış, S/N oranları Tablo 3'de verilmiştir. Sonuçlar Minitab 13 programında analiz edilmiş ve optimum parametre seviyeleri Şekil 2'de ve parametrelerin S/N cinsinden etkinlik değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 2. L₉ ortogonal deney planı

Deney No	Parametreler			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Şekil 2’den sıcaklık parametresinin birinci, başlangıç boya konsantrasyonunun üçüncü, başlangıç pH’ının ve adsorbent miktarının birinci seviyesi optimum parametrelerdir. Adsorpsiyon kapasitesi (q_e) S/N oranı ile ilişkili olduğundan S/N oranları üzerinden adsorpsiyon kapasitelerinin nasıl etkilendiği değerlendirilebilir. Sıcaklık (A) parametresi incelendiğinde, A₁ seviyesi en büyük değeri almıştır. A eğrisinde çok keskin azalmalar olmasa da, sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesinde (q_e) bir azalma gözlenmiştir. Sıcaklığın artışıyla, adsorpsiyon kapasitesindeki azalma, prosesin endotermik olduğuyla açıklanabilir.

Konsantrasyon parametresi (B) incelendiğinde, birinci seviyeden ikinci seviyeye geçerken hızlı bir artış olmuş ve üçüncü seviyede artış devam etmiştir. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi B₃ seviyesidir.

Tablo 3. q_e ve S/N oranları

Deney No	Parametreler				q _{e1}	q _{e2}	S/N
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	32.38	30.43	29.93
2	1	2	2	2	28.69	24.59	28.43
3	1	3	3	3	14.83	11.83	22.33
4	2	1	2	3	12.36	11.05	21.33
5	2	2	3	1	19.88	17.93	25.50
6	2	3	1	2	37.48	33.18	30.91
7	3	1	3	2	9.35	7.01	17.99
8	3	2	1	3	27.07	28.50	28.87
9	3	3	2	1	39.02	43.71	32.29

Konsantrasyonun artışı ile kütle transferi sürükleyici kuvveti artmış, dolayısıyla kütle transferi direnci azalmış ve adsorpsiyon kapasitesi artmıştır. Başlangıç pH’ı (C) eğrisi incelendiğinde, pH’ın artması ile q_e değeri, hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu adsorpsiyon üzerinde en etkin parametrenin pH olduğunu göstermektedir. C₁ seviyesinde en fazla q_e değerine sahip olmuştur.

Ortamın pH’ı düşükçe adsorbent yüzeyi (+) yüklenmiş ve bu sayede anyonik boya ile arasındaki elektrostatik çekim kuvveti artışı daha fazla boyar maddenin tutunmasını

sağlamıştır. Adsorbent miktarı (D) artışıyla adsorpsiyon kapasitesinde azalma gözlemlenmiştir. Adsorbent miktarındaki artış ile adsorbent parçacıkların birbirine teması, birikmesi, topaklanması daha fazla olabilir.

Boyar maddenin adsorbent ile temas eden yüzey alanını azaltan bu durumdan dolayı adsorpsiyon kapasitesi azalmış olabilir. D₁ seviyesinde maksimum q_e değerine sahiptir. Bu durumda en yüksek q_e değeri elde edilecek parametre kodlaması A₁B₃C₁D₁ şeklindedir.

Tablo 4. Parametrelerin S/N cinsinden etkinlik değerleri

Seviyeler	A (Sıcaklık)	B (Baş. Boya Kons.)	C (Başlangıç pH’ı)	D (Adsorbent miktarı)
1	28.5251	27.0675	29.5110	29.2781
2	28.1709	28.8051	28.6122	27.9927
3	28.1636	28.987	26.7364	27.5888

3.1 ANOVA analizi

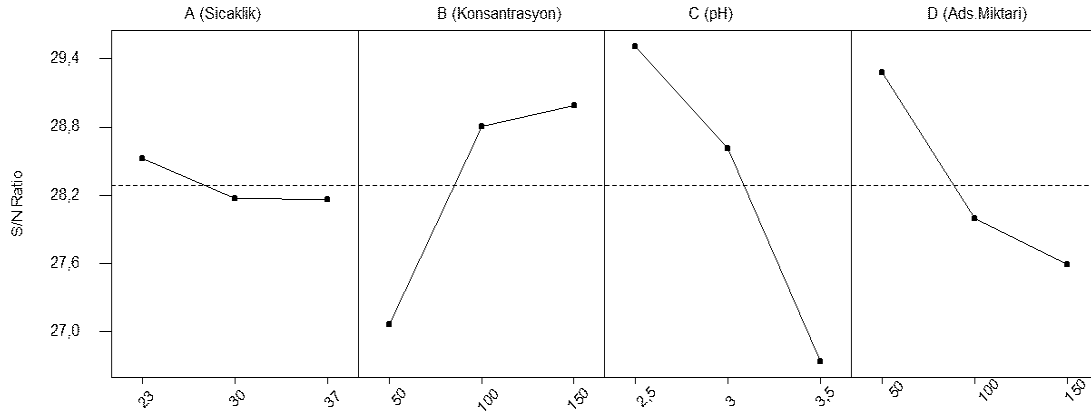
ANOVA analizinde ana amaç bütün parametrelerin toplam varyans ile her bir parametrenin varyansını karşılaştırarak etkisini belirlemektir [23]. Böylece seçilen parametrelerin birbirlerine göre etkisini değerlendirilebilir [24]. Tablo 5’de parametrelerin etkilediği q_e değerlerinden faydalanılarak %95 güven aralığında ANOVA analizi sonuçları verilmiştir.

F tablosundan %95 güven aralığında kritik F değeri (F_{0,05;2;9}) =4.26 olarak okunmuştur [25]. Bu durumda, Sıcaklık (A), başlangıç boya konsantrasyonu (B), başlangıç pH’ı (C) ve adsorbent miktarının (D) parametrelerinin F değerleri F_{kr}=4.26’dan büyük olduğundan bütün parametrelerin etkin olduğu görülmektedir. Tablo 5’den başlangıç pH’ı için F=112.84, adsorbent miktarı için F=54.69, başlangıç boya konsantrasyonu için F=54.49 ve sıcaklık için F=4.68 hesaplanmıştır.

F değerleri karşılaştırıldığında en etkin parametre en büyük F değerine sahip olan başlangıç pH’ıdır. Daha sonra adsorbent miktarı, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklık gelmektedir. Katkı yüzdelerinin ise başlangıç pH’ının %48.82, adsorbent miktarının %23.65, başlangıç boya konsantrasyonunun %23.56, sıcaklığın %2.02 olduğu görülmektedir.

Dolayısıyla en büyük katkıyı en etkin parametre olan başlangıç pH’ı yapmaktadır. Ardından, sırasıyla adsorbent miktarı, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklık gelmektedir. P değerlerinin 0.05 den küçük olması seçilen parametrelerin etkisinin de istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir [26]. Yapılan ön denemelerde, ortamın asitliğindeki çok az değişimin bile adsorplanan madde miktarına çok etki ettiği görülmüş, hatta ortam bazikleştikçe adsorpsiyon gerçekleşmemiştir.

Bu durum, başlangıç pH’ının parametresinin etkisini açıklamaktadır. Başlangıç boya konsantrasyonu ve adsorbent miktarının etkisi birbirine yakındır. Konsantrasyon artışı kütle transferi için itici gücü artırmaktadır. Ayrıca sabit hacimde adsorbent miktarındaki artış adsorbent parçacıklarının birbirlerine yakın temasından dolayı birikmeler, küçük yığınlar oluşturabileceği için



Şekil 2. Farklı seviyelerdeki S/N oranları

Tablo 5. DR-BWS adsorpsiyonu için ANOVA analizi

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler Toplamı	Faktör Katkısı(%)	F değeri	P
Sıcaklık	2	43.27	21.64	2.02	4.68	0.040
Başlangıç kons.	2	503.21	251.65	23.56	54.49	0.000
pH	2	1042.4	521.2	48.82	112.84	0.000
Adsorbent miktarı	2	505.19	254.6	23.65	54.69	0.000
Hata	9	41.57	4.62	1.95		
Toplam	17	2135.74				

adsorbent sitelerinin azalmasına sebep olacaktır [27]. Bu nedenle adsorbent miktarının azalması adsorplanan boyar madde miktarını (q_e) artırmıştır.

Adsorbent miktarının en düşük seviyede (D_1) ve başlangıç boya konsantrasyonun en yüksek seviyede (B_3) olması ile konsantrasyon farkından doğan kütle transferindeki itici güçle artmış ve daha fazla madde adsorplanmıştır. Optimum şartlarda ($A_1B_3C_1D_1$), etkin parametrelerden hesaplanan S/N değeri: $\eta = 28.29 + [(28.987 - 28.29) + (29.511 - 28.29) + (29.278 - 28.29)] = 31.43$ olarak bulunmuştur.

Bu değer, $q_e = 52.54 \text{ mg.g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Optimum şartlarda yapılan doğrulama deneyinde ise $q_e = 50.57 \text{ mg.g}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

4 Sonuçlar

DR-BWS tekstil boya maddesinin kil ile adsorpsiyonu incelenirken seçilen parametreleri optimize edebilmek için Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Adsorplanan madde miktarını artırmak için “en büyük en iyi” performans testi seçilmiştir. Bu durum için en iyi parametre seviyeleri: sıcaklığın birinci seviyesi 23 °C, konsantrasyonun üçüncü seviyesi 150 mg.l^{-1} , başlangıç pH'nın birinci seviyesi 2.5 adsorbent miktarının birinci seviyesi 50 mg olarak tespit edilmiştir ($A_1B_3C_1D_1$). Parametrelerin görece etkilerini incelemek için ANOVA analizi yapılmış ve bu analizden başlangıç pH'nın adsorpsiyonu en çok etkileyen faktör

olduğu bulunmuş ondan sonra ise başlangıç boya konsantrasyonu, adsorbent miktarı ve sıcaklık gelmektedir. Optimum parametre seviyelerinde ($A_1B_3C_1D_1$) yapılan deneyde, 50.57 mg.g^{-1} DR-BWS boya maddesi adsorplanmıştır

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %3

Kaynakları

- [1] A. Khenifi, Z. Bouberka, F. Sekrane, M. Kameche and Z. Derriche, Adsorption study of an industrial dye by an organic clay. Adsorption, 13(2), 149-158, 2007. doi:10.1007/s10450-007-9016-6.
- [2] B. A. Fil, Isotherm, kinetic, and thermodynamic studies on the adsorption behavior of malachite green dye onto montmorillonite clay Particulate Science and Technology, 34(1), 118-126, 2016. doi: 10.1080/ 0272 6351.2015.1052122.
- [3] J. Erkmen, The use of hydroxyethyl cellulose as a transparent filling material in finishing polish. Pigment & Resin Technology, Tem. 2018. doi: 10.1108/PRT-06-2017-0060.
- [4] S. Dawood and T. Sen, Review on dye removal from its aqueous solution into alternative cost effective and

- non-conventional adsorbents. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 1(104), 1-11, 2014. <http://hdl.handle.net/20.500.11937/48131>
- [5] X. He, M. Du, H. Li, and T. Zhou, Removal of direct dyes from aqueous solution by oxidized starch cross-linked chitosan/silica hybrid membrane. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 174-181, 2016. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.11.005.
- [6] E. S. Z. El Ashtoukhy, Loofa *egyptiaca* as a novel adsorbent for removal of direct blue dye from aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2755-2761, 2009, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.03.005.
- [7] N. Liu, H. Wang, C.-H. Weng, and C.-C. Hwang, Adsorption characteristics of Direct Red 23 azo dye onto powdered tourmaline. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1281-1291, 2018, doi:10.1016/j.arabjc.2016.04.010.
- [8] O. Korkut, E. Sayan, O. Lacin, and B. Bayrak, Investigation of adsorption and ultrasound assisted desorption of lead (II) and copper (II) on local bentonite: A modelling study. *Desalination*, 259(1), 243-248, 2010. doi:10.1016/j.desal.2010.03.045.
- [9] Ö. Gök, A. S. Özcan, and A. Özcan, Adsorption behavior of a textile dye of Reactive Blue 19 from aqueous solutions onto modified bentonite. *Applied Surface Science*, 256(17), 5439-5443, 2010, doi:10.1016/j.apsusc.2009.12.134.
- [10] N. K. Amin, Removal of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated carbons developed from pomegranate peel: Adsorption equilibrium and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1), 52-62, 2009, doi:10.1016/j.jhazmat.2008.09.067.
- [11] M. Rahmani, M. Kaykhaii, and M. Sasani, Application of Taguchi L16 design method for comparative study of ability of 3A zeolite in removal of Rhodamine B and Malachite green from environmental water samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 188, 164-169, 2018. doi: 10.1016/j.saa.2017.06.070.
- [12] R. Pundir, G. H. V. C. Chary, and M. G. Dastidar, Application of Taguchi method for optimizing the process parameters for the removal of copper and nickel by growing *Aspergillus* sp. *Water Resources and Industry*, 20, 83-92, 2018. doi:10.1016/j.wri.2016.05.001.
- [13] G. Karacan ve E. Sayilgan, Glukonik asit ve hidroklorik asit ile atık alkali pillerden çinko ve mangan gideriminin incelenmesi: Taguchi deney tasarımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 31-38, 2017, doi: 10.21605/cukurovaummfd.357181.
- [14] J. Li, J. Cai, L. Zhong, H. Cheng, H. Wang, ve Q. Ma, Adsorption of reactive red 136 onto chitosan/montmorillonite intercalated composite from aqueous solution. *Applied Clay Science*, 167, 9-22, 2019. doi: 10.1016/j.clay.2018.10.003.
- [15] M. P. Elizalde-González and L. E. García-Díaz, Application of a Taguchi L16 orthogonal array for optimizing the removal of Acid Orange 8 using carbon with a low specific surface area. *Chemical Engineering Journal*, 163(1), 55-61, 2010. doi: 10.1016/j.cej.2010.07.040.
- [16] H. Serencam ve M. Uçurum, Yeşil Bayburt taşının adsorban olarak kullanılabilirliğinin istatistiksel deney tasarımı ile incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 352-361, 2019. doi: 10.28948/ngumuh.517139.
- [17] C. E. Yılmaz, M. A. A. Aslani, ve C. K. Aslani, *Helianthus Annuus* çekirdeği kabuklarında toryum sorpsiyonunun taguchi metodu kullanılarak incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(63), 741-747, 2019. doi:10.21205/deufmd.2019216306
- [18] B. Bayrak, O. Laçın, ve H. Saraç, Ham manyezit cevherinin glukonik asit çözeltilerinde çözündürülmesinin optimizasyonu. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 16(2), 195-202, 2015. doi: 10.18038/btd-a.35162.
- [19] F. N. Azad, M. Ghaedi, K. Dashtian, S. Hajati, and V. Pezeshkpour, Ultrasonically assisted hydrothermal synthesis of activated carbon-HKUST-1-MOF hybrid for efficient simultaneous ultrasound-assisted removal of ternary organic dyes and antibacterial investigation: Taguchi optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 383-393, 2016, doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.01.024.
- [20] N. Daneshvar, M. Ayazloo, A. R. Khataee, and M. Pourhassan, Biological decolorization of dye solution containing Malachite Green by microalgae *Cosmarium* sp. *Bioresource Technology*, 98(6), 1176-1182, 2007. doi: 10.1016/j.biortech.2006.05.025.
- [21] S. H. Dhawane, T. Kumar, and G. Halder, Biodiesel synthesis from *Hevea brasiliensis* oil employing carbon supported heterogeneous catalyst: Optimization by Taguchi method. *Renewable Energy*, 89, 506-514, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.027>.
- [22] M. K. Bilici, Application of Taguchi approach to optimize friction stir spot welding parameters of polypropylene, *Materials & Design*, 35, 113-119, 2012, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.08.033>
- [23] M. R. Sohrabi, A. Khavaran, S. Shariati, and S. Shariati, Removal of Carmoisine edible dye by Fenton and photo Fenton processes using Taguchi orthogonal array design. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3523-S3531, 2017, doi: 10.1016/j.arabjc.2014.02.019.
- [24] J. Zolgharnein, N. Asanjarani, and T. Shariatmanesh, Taguchi L16 orthogonal array optimization for Cd (II) removal using *Carpinus betulus* tree leaves: Adsorption characterization. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 66-77, 2013, doi: 10.1016/j.ibiod.2013.06.010.
- [25] D. Santra, R. Joarder, and M. Sarkar, Taguchi design and equilibrium modeling for fluoride adsorption on cerium loaded cellulose nanocomposite bead.

- Carbohydrate Polymers, 111, 813-821, 2014. doi: [10.1016/j.carbpol.2014.05.040](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.040).
- [26] U. Morali, H. Demiral, and S. Şensöz, Optimization of activated carbon production from sunflower seed extracted meal: Taguchi design of experiment approach and analysis of variance. Journal of Cleaner Production, 189, 602-611, 2018. doi: [10.1016/j.jclepro.2018.04.084](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.084).
- [27] T. B. Gupta and D. H. Lataye, Adsorption of indigo carmine and methylene blue dye: Taguchi's design of experiment to optimize removal efficiency. Sādhanā, 43, 170, 2018. doi: [10.1007/s12046-018-0931-x](https://doi.org/10.1007/s12046-018-0931-x).

