



Malahit yeşili boyar maddesinin çam kozalağı ile adsorpsiyonunun Taguchi metodu ile incelenmesi

Investigation of adsorption of malachite green dye on pine cone using Taguchi method

Erbil Kavcı ^{1*}

¹ Kafkas Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kars, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: erbilkavci@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 04.02.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 24.06.2020

Atıf şekli/ How to cite: KAVCI, E. (2021). Malahit yeşili boyar maddesinin çam kozalağı ile adsorpsiyonunun Taguchi metodu ile incelenmesi. DEUFMD, 23(67), 129-135.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236711

Öz

Bu çalışmada Taguchi deney tasarımı kullanılarak Kars-Sarıkamış ormanlarından toplanan çam kozalakları ile malahit yeşilinin adsorpsiyonunun optimizasyonu çalışıldı. Adsorpsiyon üzerine etki edebilecek parametreler, temas süresi, başlangıç konsantrasyonu, başlangıç pH' ı ve tane boyutu olarak seçildi. Optimum seviyeler sırasıyla temas süresi 240 dk, başlangıç konsantrasyonu 100 mg.L⁻¹, pH 5 ve tane boyutu (-425+300) olarak belirlendi. Optimum şartlarda maksimum adsorplanan malahit yeşili miktarı 9,72 mg/g olarak bulunmuştur. Proses parametrelerinin etkisini görmek için ANOVA analizi yapıldı ve başlangıç konsantrasyonu, başlangıç pH'ı ve tane boyutunun etkin olduğu saptandı.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Taguchi, ANOVA, Malahit yeşili, Çam kozalağı

Abstract

In this study, optimization of adsorption of malachite green on pine cones collected from Kars-Sarıkamış forest was studied using Taguchi experimental design. Contact time, initial concentration, initial pH and particle size were selected as affecting adsorption parameters. Optimum levels for adsorption experiments were determined as contact time=240 min, initial concentration=100 mg L⁻¹, pH=5, and particle size = (-425+300), respectively. At optimum levels, the amount of maximum adsorbed malachite green was found to be 9,72 mg/g. ANOVA analysis was performed to understand the effect of process parameters and initial concentration, initial pH and particle size were found to be effective.

Keywords: Adsorption, Taguchi, ANOVA, Malachite green, Pine cone

1. Giriş

Su, dünyada hem doğa hem insan hayatı için en önemli maddedir. Sosyal ve endüstriyel hayat içinde su kaynakları sürekli olarak kirlenmektedir. Artan kirlilik hükümetleri çeşitli düzenlemeler, kurallar getirmeye zorlamıştır. Bu nedenle endüstriyel atık suların temizlenmesi büyük önem arz etmektedir. Boyar maddeleri içeren suların deşarjı, su kaynaklarının kirlenmesine yol açan etkenlerden birisidir[1]. Bu deşarj suları, ekolojik dengeyi bozarak insanoğlundan başka doğadaki birçok canlıya, bitkiye zarar vermektedir. Boyar maddeler tekstil, plastik, boya, deri, gıda işlemleri ve ilaç sanayisi gibi birçok endüstride, üretim prosesinde renklendirici olarak kullanılmaktadır[2].

Bu çalışmada kullanılan boyar madde malahit yeşili (MY) triphenylmethane ailesi içinde yer alan suda çözünebilir bir boyar madde olup, yün, ipek, deri, pamuk gibi ürünlerde boyama materyalidir[3]. Diğer bütün boyar maddeler gibi malahit yeşili de, bağışıklık sistemini, üreme sistemini bozmakta, kanser ve genotoksisteye neden olmaktadır[4]. Organlara zarar vererek gelişme anormallikleri gibi birçok hastalığın sebebi olmaktadır [5].

Adsorpsiyon, boya giderimi yöntemleri içinde çokça tercih edilen etkili fizikokimyasal bir yöntemdir[6]. Bunun yanında flokülasyon, elektroflokülasyon, çöktürme, iyon değiştirme, membran filtrasyonu, ozonlama gibi yöntemler de vardır. Fakat adsorpsiyon, kolay ve basitçe uygulanabilirliği ve yan ürün oluşturmamasından dolayı çokça kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise adsorpsiyon proseslerinde, tarımsal yan ürünlerin kullanıldığı biyoadsorbentler sentetik adsorbentlere alternatif oluşturmaktadır. Doğada kolay bulunabilmeleri, ucuz olmaları, düşük seviyede biyolojik veya kimyasal atık oluşturmaları tercih sebebidir[7,8].

Boyar maddelerin adsorpsiyon proseslerinde, adsorpsiyonu etkileyen birçok parametre vardır. Bunların arasında pH, başlangıç konsantrasyonu, karıştırma hızı, temas süresi, adsorbent miktarı, sıcaklık sayılabilir. Bu parametrelerin sayısı arttıkça parametrelerin etkisini görmek için yapılan deney sayısı da artar. Bu durum daha fazla zaman, daha fazla maliyete neden olmaktadır[9]. Bir optimizasyon çalışması ise sistematik bir yaklaşım getirir ve bu sayede

performansı etkileyen faktörler ve etkileri daha az deney yapılarak belirlenebilir[10]. Optimizasyon tekniklerinden biride Taguchi metodudur. Taguchi metodu tek değişkenli optimizasyon tekniklerine nazaran daha güçlü ve avantajlıdır[11]. Bu teknik varyasyonları ölçerek verileri Sinyal/Gürültü (S/N) oranına dönüştürür[12]. Bu sayede optimum seviyeler bulunur. Parametrelerin etkisini görmek için parametrelerin varyanslarından faydalanılarak ANOVA analizi yapılır[13].

Bu çalışmada ise doğada bol bulunan ticari değeri olmayan çam kozalağı adsorbent olarak seçildi. Sulu çözeltilerden malahit yeşilinin çam kozalağına adsorpsiyonu için L16 ortogonal deney tasarımı kullanıldı. MY'nin giderimine etki eden temas süresi, başlangıç konsantrasyonu, pH ve tane boyutu kontrol edilebilir değişkenler olarak seçildi. Hangi parametrenin ne kadar etkin olduğunu görmek için ise ANOVA analizi yapıldı.

2. Materyal ve Metot

Kars -Sarıkamış ormanlarından toplanan çam kozalaklarının üzerindeki tozlar, kirler saf suyla yıkanarak temizlendi. Etüvde 80 °C sıcaklıkta 48 saat kurutuldu. Öğütüldü ve elek yardımıyla tane boyutuna göre (-300+180) ,(-425+300), (-600+425), (-2+600) meş olarak fraksiyonlarına ayrıldı. Deneylerde kullanılmak üzere kapaklı plastik kaplarda muhafaza edildi.

Malahit yeşili Merck firmasından satın alındı. (C.I.42000). 1000 mg.L⁻¹ stok çözeltisi hazırlanarak istenen diğer konsantrasyonlar bu çözeltiden elde edildi. Başlangıç pH'nın ayarlanması için 0.1 mol.L⁻¹ HCl ve NaOH çözeltileri kullanıldı.

Konsantrasyon ölçümleri 519 nm 'de MAPADA – V1100D marka UV-visible spektrofotometre kullanılarak yapıldı.

Çalışmalarda sıcaklık 25 °C, karıştırma hızı 200 rpm ve adsorbent miktarı 0,5 g sabit parametreler olarak tutulmuştur. 250 ml lik beherler içine başlangıç konsantrasyonu bilinen Malahit yeşili çözeltisinden 50 ml alınmıştır. Boya giderimine etki eden parametreler olarak temas süresi, başlangıç konsantrasyonu, başlangıç pH'ı ve tane boyutu seçilmiştir. Adsorplanan boyar madde miktarı eşitlik 1' den hesaplanmıştır.

$$q_t = ((C_0 - C_t) \times V) / m \quad (1)$$

Burada C_0 , C_t sırasıyla boyar maddenin başlangıçta ve t anında boyar madde konsantrasyon larını(mg.L^{-1}), q_t , birim adsorbent miktarı başına adsorplanan boya miktarını (mg.g^{-1}), V çözelti hacmini (L) , m ise adsorbent miktarını (g) göstermektedir.

Taguchi ortogonal deney tasarımı az sayıda deney yaparak istatistiksel sonuçlar üreten bir yöntemdir[14]. Burada deney sonuçları S/N değerlerine dönüştürülerek parametreler optimize edilir. Bu yöntemde optimizasyon karakteristikleri “en büyük en iyi”, “en küçük en iyi”, “nominal en iyi” şeklindedir[15]. Bu çalışmada birim adsorbent başına daha fazla boyar madde adsorplanması istendiğinden “en büyük en iyi” yaklaşımı tercih edilmiştir. Buna ait formül aşağıda eşitlik 2 de verilmiştir[16].

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

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

Hangi parametrenin proses üzerinde etkin veya etkin olmadığını etkin olanların ise ne kadar etkin olduğunu belirlemek için ANOVA analizinden faydalanılır[17]. Bu analizde parametrelere ait F değerleri bulunur. Bulunan F değerleri, tablodan okunan F değerinden büyük ise parametre etkindir denir. $F\alpha(u_1, u_2)$ α , güven aralığı u_1 , parametrelerin, u_2 hatanın serbestlik derecesidir[18,19].

Deneylerde çalışılan parametreler ve seviyeleri Tablo 1’de verilmiştir. 4 faktör ve 4 seviyeli L16 tasarım matrisi için Minitab 13 programı kullanılmış ve adsorpsiyon deneyleri iki tekrarlı olarak yapılmıştır. Elde edilen q_t değerleri S/N oranlarına dönüştürülmüş ve tasarım matrisi, q_t değerleri ve S/N oranları Tablo 2’de verilmiştir. Daha sonra ANOVA analizi yapılarak parametrelerin etkinlikleri değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Çalışılan Parametreler, Değerleri Ve Seviyeleri

Parametre	Seviyeler			
	1	2	3	4
A.Temas süresi (dk)	60	120	180	240
B.Başlangıç kons. (mg.L^{-1})	25	50	75	100
C.Başlangıç pH’ı	3	5	7	9
D.Tane boyutu (meş)	(-300+180)	(-425+300)	(-600+425)	(-2+600)

Tablo 2. L16 Deney Tasarımı, q_t ve S/N Oranları

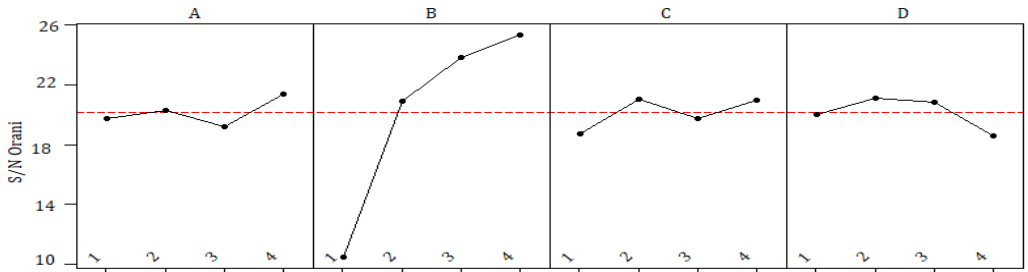
Denev No	A	B	C	D	1.Tekrar	2.Tekrar	S/N
1	1	1	1	1	1,36	1,32	2,55
2	1	2	2	2	4,00	4,22	12,26
3	1	3	3	3	6,65	6,78	16,53
4	1	4	4	4	7,10	7,18	17,07
5	2	1	2	3	1,72	1,57	4,31
6	2	2	1	4	2,66	2,74	8,62
7	2	3	4	1	6,27	6,24	15,92
8	2	4	3	2	9,12	9,30	19,29
9	3	1	3	4	1,26	1,33	2,22
10	3	2	4	3	3,71	3,70	11,37
11	3	3	1	2	5,00	4,93	13,92
12	3	4	2	1	9,33	9,39	19,42
13	4	1	4	2	1,78	1,81	5,07
14	4	2	3	1	4,22	4,39	12,67
15	4	3	2	4	6,24	6,27	15,93
16	4	4	1	3	8,16	8,18	18,25

3. Bulgular

Tablo 2' deki sonuçların analizinden S/N oranları ve ortalamalar için optimum parametre seviyeleri Şekil 1 ve 2' de gösterilmiştir. Şekil 1 ve 2' de verilen S/N oranını ve ortalama değerini maksimum yapan parametre seviyeleri temas süresi için 240 dk, konsantrasyon için 100 mg L⁻¹, başlangıç pH için 5 ve tane boyutu için (-425+300) meş'dir. Optimum parametre kodlaması A₄B₄C₂D₂ şeklindedir. Parametrelerin

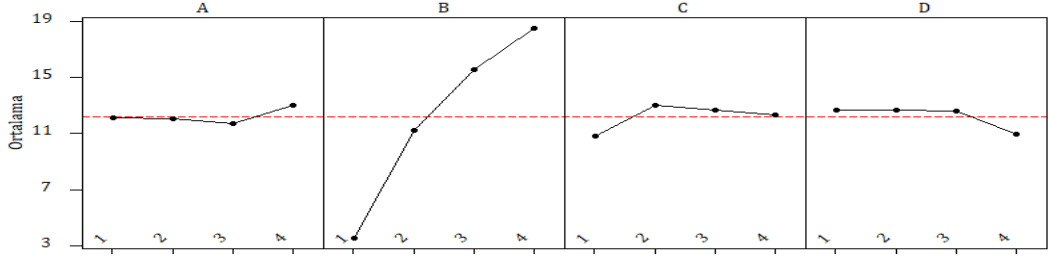
S/N cinsinden etkinlik değerleri Tablo 3 de, ortalamalar için ise Tablo 4' de verilmiştir.

Optimum şartlarda (A₄B₄C₂D₂) Minitab 13 programı kullanılarak tahmini S/N değeri 20,39 olarak bulunmuştur. Bu değer q_t değerine dönüştürüldüğünde 10,45 g/mg karşılık gelmektedir. Yapılan doğrulama deneyinde ise adsorplanan malahit yeşili miktarı $q_t=9,72$ g/mg olarak bulunmuştur.

**Şekil 1.** Farklı Seviyelerdeki S/N Oranları

Tablo 3. Parametrelerin S/N Cinsinden Etkinlik Değerleri

Seviyeler	A (Temas süresi)	B (Başlangıç kons.)	C (Başlangıç pH)	D (Tane boyutu)
1	19,73	10,46	18,73	19,99
2	20,29	20,91	21,07	21,11
3	19,17	23,83	19,76	20,85
4	21,36	25,33	20,97	18,58

**Şekil 2.** Farklı Seviyelerdeki Ortalama Değerleri**Tablo 4.** Parametrelerin Ortalamalar Cinsinden Etkinlik Değerleri

Seviyeler	A (Temas süresi)	B (Başlangıç kons.)	C (Başlangıç pH)	D (Tane boyutu)
1	12,10	3,54	10,84	12,64
2	12,04	11,23	12,98	12,63
3	11,73	15,58	12,68	12,61
4	12,98	18,51	12,36	10,96

ANOVA analizi

Parametrelerin görece etkilerini görmek için yapılan ANOVA analizi sonuçları Tablo 5' de verilmiştir. F değerleri, süre için 9,07, başlangıç konsantrasyonu için 1336,18, pH için 28,62 ve tane boyutu için 21,98 olarak hesaplanmıştır. %95 güven aralığında tablodan okunan F değeri ise ($F_{0,05;2;9}$)=9,28 dir.

Başlangıç konsantrasyonu, pH ve tane boyutuna ait F değerleri 9,28 den büyük olduğu için adsorpsiyon üzerinde etkindir. Temas süresi için

ise F değeri 9,28 den küçük olduğundan adsorpsiyon üzerinde etkinliği yoktur. Ayrıca p değeri 0,05 den büyük olduğu için istatistiksel olarak anlamsız olduğu söylenebilir. Etkin parametreler arasındaki F değerleri büyüklüklerine göre karşılaştırıldığında en etkin parametre başlangıç konsantrasyonudur. Ayrıca p değerinin 0,05'den küçük çıkması istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve hatta sıfır çıkması ise proses üzerinde çok etkin olduğuna dair anlamını kuvvetlendirmektedir[20].

Tablo 5. MY Adsorpsiyonu için ANOVA Analizi

Parametre	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler Toplamı	F değeri	P
Süre	3	3,452	1,151	9,07	0,052
Başlangıç kons.	3	508,617	169,539	1336,18	0,000
pH	3	10,895	3,632	28,62	0,010
Tane Boyutu	3	8,368	2,789	21,98	0,015
Hata	3	0,381	1,27		
Toplam	15	531,714			

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Taguchi L16 deney tasarımı kullanılarak MY'nin çam kozalağı ile adsorpsiyonu incelendi. Adsorpsiyona etki eden parametreler temas süresi, başlangıç konsantrasyonu, pH ve tane boyutu olarak seçildi. S/N değerini en büyük yapan parametre seviyeleri, temas süresi için 240 dk, başlangıç konsantrasyonu için 100 mg.L⁻¹, pH için 5 ve tane boyutu için (-425+300) meş olarak bulundu. Bu optimum şartlarda yapılan doğrulama deneyinde optimum adsorpsiyon kapasitesi 9,72 mg/g olarak hesaplanmıştır. Seçilen parametreler için ANOVA analizi yapıldığında, F değerlerine göre en etkin parametrenin konsantrasyon olduğu, ardından pH ve tane boyutunun geldiği saptanmıştır.

Yüksek konsantrasyon değerlerinde, adsorbent ile adsorbat ara yüzeyinde konsantrasyon farkı arttığından ve kütle transferi açısından itici gücü artmıştır[21–23]. Böylelikle transfer olan boyar madde miktarı da artmış, birim adsorbent başına daha fazla boyar madde adsorplanmıştır. İkinci etkin olan parametre ise pH' dır. Malahit yeşili katyonik bir boya olduğundan artan pH ile adsorbent yüzeyi negatif yüklenmiş, elektrostatik çekim kuvvetinin etkisiyle daha fazla MY tutunmuştur[24,25]. Tane boyutunun azalması ile adsorbent yüzeyinde daha fazla site ortaya çıkmış, bu sayede boyar madde daha fazla site ile temas ederek ve adsorplanan boyar madde miktarı artmıştır[26].

Kaynakça

- [1] Erkmén J. The use of hydroxyethyl cellulose as a transparent filling material in finishing polish. *Pigment & Resin Technology* 2018. <https://doi.org/10.1108/PRT-06-2017-0060>.
- [2] Korkut O, Sayan E, Lacin O, Bayrak B. Investigation of adsorption and ultrasound assisted desorption of lead (II) and copper (II) on local bentonite: A modelling study. *Desalination* 2010;259:243–8. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.03.045>.
- [3] Khattri SD, Singh MK. Removal of malachite green from dye wastewater using neem sawdust by adsorption. *Journal of Hazardous Materials* 2009;167:1089–94. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.101>.
- [4] Mall ID, Srivastava VC, Agarwal NK, Mishra IM. Adsorptive removal of malachite green dye from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon-kinetic study and equilibrium isotherm analyses. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2005;264:17–28. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.03.027>.
- [5] Srivastava S, Sinha R, Roy D. Toxicological effects of malachite green. *Aquatic Toxicology* 2004;66:319–29. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2003.09.008>.
- [6] Lacin O, Bayrak B, Korkut O, Sayan E. Modeling of adsorption and ultrasonic desorption of cadmium(II) and zinc(II) on local bentonite. *Journal of Colloid and Interface Science* 2005;292:330–5. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.05.092>.
- [7] Ahmad MA, Alrozi R. Removal of malachite green dye from aqueous solution using rambutan peel-based activated carbon: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal* 2011;171:510–516.
- [8] Lacin O, Haghghatnia A, Demir F, Sevim F, laçin O. Adsorption Characteristics and Behaviors of Natural Red Clay for Removal of BY28 from Aqueous

- Solutions. vol. Volume-3. 2019. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd21544>.
- [9] Zolgharnein J, Asanjarani N, Shariatmanesh T. Taguchi L16 orthogonal array optimization for Cd (II) removal using *Carpinus betulus* tree leaves: Adsorption characterization. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2013;85:66–77. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.010>.
- [10] Durán-Jiménez G, Hernández-Montoya V, Montes-Morán MA, Bonilla-Petriciolet A, Rangel-Vázquez NA. Adsorption of dyes with different molecular properties on activated carbons prepared from lignocellulosic wastes by Taguchi method. *Microporous and Mesoporous Materials* 2014;199:99–107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.08.013>.
- [11] Pundir R, Chary GHVC, Dastidar MG. Application of Taguchi method for optimizing the process parameters for the removal of copper and nickel by growing *Aspergillus* sp. *Water Resources and Industry* 2018;20:83–92. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.05.001>.
- [12] Elizalde-González MP, García-Díaz LE. 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* 2010;163:55–61. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.040>.
- [13] Gupta TB, Lataye DH. Adsorption of indigo carmine and methylene blue dye: Taguchi's design of experiment to optimize removal efficiency. *Sādhanā* 2018;43:170. <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0931-x>.
- [14] Zolgharnein J, Rastgordani M. Optimization of simultaneous removal of binary mixture of indigo carmine and methyl orange dyes by cobalt hydroxide nano-particles through Taguchi method. *Journal of Molecular Liquids* 2018;262:405–14. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.04.038>.
- [15] Rahmani M, Kaykhaii M, Sasani M. 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* 2018;188:164–9. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.06.070>.
- [16] Bayrak B, Laçın O, Saraç H. Ham Manyezit Cevherinin Glukonik Asit Çözeltilerinde çözündürülmeisinin Optimizasyonu. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik* 2015;16:195–202. <https://doi.org/10.18038/btd-a.35162>.
- [17] Rezaei H, Haghshenasfard M, Moheb A. Optimization of dye adsorption using Fe3O4 nanoparticles encapsulated with alginate beads by Taguchi method. *Adsorption Science & Technology* 2017;35:55–71. <https://doi.org/10.1177/0263617416667508>.
- [18] Serencam H, Uçurum M. Taguchi deney tasarımı kullanılarak uçucu küle ile Ni (II) gideriminde bazı adsorpsiyon parametrelerinin etkinliğinin irdelenmesi. *Performance evaluation of adsorption properties for Ni (II) removal with flying ash using taguchi experimental design* 2019.
- [19] Dhawane SH, Kumar T, Halder G. Biodiesel synthesis from Hevea brasiliensis oil employing carbon supported heterogeneous catalyst: Optimization by Taguchi method - ScienceDirect n.d. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115305310> (accessed December 26, 2019).
- [20] Polat İ, Orhan R. Sabit Yataklı Kolonda Şeftali Çekirdeği Kabuğu Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Basic Yellow 51'in Giderimi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019;561–9. <https://doi.org/10.35234/fumbd.601363>.
- [21] Ertugay N. Buğday Kepeği Kullanılarak Crystal Violet (CV) Boyar Maddesinin Giderimi: Kinetik Çalışmalar. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.414995>.
- [22] Sadat SA, Ghaedi AM, Panahimehr M, Baneshi MM, Vafaei A, Ansarizadeh M. Rapid room-temperature synthesis of cadmium zeolitic imidazolate framework nanoparticles based on 1,1'-carbonyldiimidazole as ultra-high-efficiency adsorbent for ultrasound-assisted removal of malachite green dye. *Applied Surface Science* 2019;467–468:1204–12. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.10.274>.
- [23] Köklü R, Özer Ç. Maliyetsiz bir adsorban olan sigara külü kullanılarak boyarmadde giderimi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018;1–1. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.329234>.
- [24] Kaykioğlu G. Kolemanit ve Üleksit Atığı ile Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisi Giderimi: Kinetik ve İzoterm Değerlendirmesi n.d.;12:11.
- [25] Ertugay N. Basic Violet 10 (BV10) removal from aqueous solutions using sawdust of *Swietenia mahagoni* (Mahogany trees): adsorbent characterization, adsorption isotherm, kinetics, and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment* 2016;57:12335–49. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1056833>.
- [26] Dahri MK, Kooh MRR, Lim LBL. Water remediation using low cost adsorbent walnut shell for removal of malachite green: Equilibrium, kinetics, thermodynamic and regeneration studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2014;2:1434–44. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.07.008>.