
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 18-07-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.329234	
	<u>Kabul/Accepted</u> 18-09-2017	<u>Online Access</u>	

Remazol Brilliant Blue R (RBBR) boyarmaddesinin düşük maliyetli bir adsorban olan sigara külü ile giderimi

Rabia Köklü*¹, Çiğdem Özer¹

ÖZ

Boyarmaddelerin geniş kullanımı sebebiyle ortaya çıkan boyalı atıksuların artırılması önemli bir çevre sorunudur. Sigara kullanımı da günümüzde birçok kişinin sahip olduğu zararlı bir alışkanlıktır. Sigara kullanımı sırasında ortaya çıkan atık küllere bir kullanım alanı yaratmak ve boyarmaddelerin adsorpsiyon yöntemi ile gideriminde yeni, alternatif ve düşük maliyetli bir adsorban ortaya koymak amacıyla yola çıkılan bu çalışmada, sigara külünün Remazol Brilliant Blue R (RBBR) boyarmaddesini adsorplama yeteneği araştırılmıştır. Bu amaçla, RBBR boyarmaddesinin maliyetsiz bir adsorban olan sigara külü üzerine adsorpsiyon şartları pH, başlangıç boyarmadde konsantrasyonu, karıştırma süresi ve adsorbent dozuna bağlı olarak incelenmiş ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi 178,57 mg/g olarak belirlenmiştir. Bunun yanında deneysel verilerin izoterm ve kinetik modellere uygunluğu araştırılmış ve bu modellere ait parametreler hesaplanmıştır. RBBR boyarmaddesinin sigara külü ile adsorpsiyonunun Langmiur izotermi ile daha iyi ifade edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: RBBR, adsorpsiyon, sigara külü, izoterm ve kinetik

Removal of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) dyes with a low cost adsorbent, cigarette ash

ABSTRACT

The treatment of wastewaters contaminated with dye from the widespread use of dyestuff is an important environmental issue. Smoking is also a harmful habit that many people have nowadays. This study aimed to investigate the Remazol Brilliant Blue R (RBBR) adsorb ability of the cigarette ash to gain a use area for waste ash generated during smoking and to introduce a new, alternative and low cost adsorbent in the removal of dyestuff by adsorption method. For this purpose, the conditions of RBBR adsorption on the cigarette ash, which is a costless adsorbent, were investigated according to pH, initial dyestuff concentration, contact time and adsorbent dose and maximum adsorption capacity was determined as 178,57 mg/g. In addition, the suitability of experimental data with isotherm and kinetic models was analyzed and the parameters of these models were calculated. Adsorption of RBBR dye with cigarette ash has been shown to be better expressed by Langmuir isotherm.

Keywords: RBBR, adsorption, cigarette ash, isotherm and kinetic

¹ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Esentepe Kampüsü, 54187, Sakarya Türkiye
cozer@sakarya.edu.tr *rkoklu@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tekstil, kağıt, gıda ve ilaç gibi endüstriyel sektörlerde çeşitli boyarmaddeler kullanılmakta ve bu kullanımlardan çevreye ve insan sağlığına zararlı etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu etkilerden korunmak için de uygun arıtma teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Endüstriyel atıksulardan renk gideriminde kullanılan geleneksel uygulamalar; iyon değişimi, adsorpsiyon, membran teknolojileri, elektrodializ, filtrasyon, çöktürme, koagülasyon, oksidasyon olarak sıralanabilir [2], [3]. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon, yüksek verimlilik, tasarımın sadeliği, kullanım kolaylığı ve çeşitli boyalar için uygunluğu nedeniyle atık suların içerdiği tehlikeli inorganik / organik kirleticileri azaltmak için kullanılan ileri atık su arıtımının en etkin metotlarından biridir [4], [5].

Adsorpsiyon tekniğinin etkinliğini belirleyen önemli unsurlardan birinin kullanılan adsorbent olduğu bilinmektedir. Bu nedenle en düşük maliyetli ve en etkin adsorbenti belirleyebilmek amacıyla doğal malzemelerle çok sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin; çam kozalağı, çay atığı, pirinç kabuğu, çam yaprağı, elma kabuğu, mısır püskülü, muz, kahve, portakal kabuğu, tütün kökü külü [5], yaprak tozu, palmye külü, buğday kepeği, okaliptüs kabuğu, mısır atıkları, saman [6], palmye yağı, badem kabuğu, fıstık gövdesinin [7] yanısıra karbon/aktif karbon bazlı ve kül temelli [8] diğer adsorbanlar da çeşitli boyarmaddelerin giderimi için kullanılmıştır.

Dünyada 100.000'den fazla boya üretimi yapılmaktadır. Yaklaşık olarak, sentetik boyaların % 10-15'i atık olarak çevreye doğrudan bırakılmaktadır [9]. Remazol Brilliant Blue R, tekstil endüstrisinde en çok kullanılan sentetik boyalardan biridir. RBBR, genellikle toksik ve reaktif özelliklere sahip önemli bir sınıfı temsil eden, anyonik bir boya, kimyasal bozunmaya karşı dirençli organik bir kirleticidir [7], [9].

Bu çalışmada, RBBR boyarmaddesinin maliyetsiz bir adsorban olan sigara külü ile adsorpsiyon şartları pH, başlangıç boyarmadde konsantrasyonu, karıştırma süresi ve adsorbent dozuna bağlı olarak incelenmiş ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir. Bunun yanında deneysel verilerin izoterm ve kinetik

modellere uygunluğu araştırılmış ve bu modellere ait parametreler hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Adsorbent Olarak Sigara Külü (Cigarette Ash as Adsorbent)

Çalışmada adsorbent olarak kullanılan sigara külü, sigara odalarından kontrollü bir şekilde toplanmıştır. Toplanan küller, 2 L saf su ile 12 saat karıştırılmış ve bu işlem 3 defa tekrar edilmiştir. Safsızlığından arındırılan küller 60 °C'de 24 saat etüvde kurutulmuş ve kullanıma hazır haldeki kül desikatörde saklanmıştır.

2.2. Kullanılan Cihaz ve Kimyasallar (Instruments and Chemicals)

Kurutma işlemleri için etüv (Binder FD 23), pH ayarlaması için pH metre (WTW pH 720), karıştırma işlemleri için orbital çalkalayıcı (KS4000i, IKA Werke GmbH, Germany), boyarmadde konsantrasyonunun belirlenmesi için spektrofotometre (Hitachi, U-1800, Tokyo, Japan) kullanılmıştır.

pH ayarlaması için sodyum hidroksit (NaOH), hidroklorik asit (HCl) (Merck KGaA Darmstadt, Germany) kullanılmıştır. Boyar madde olarak molekül ağırlığı 626.54 g/mol ve kimyasal formülü $C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$ olan anyonik boyarmadde RBBR (Sigma-Aldrich, Germany) kullanılmıştır.

2.3. Deneysel Çalışmalar (Experimental Studies)

Deneylerde kullanılan RBBR için 1000 mg/L stok çözelti hazırlanmıştır. Çalışma çözeltileri stok çözeltinin gerekli miktarlarda seyreltilmesi ile elde edilmiştir.

Sulu çözeltilerden boyarmadde giderimi için 2-9 aralığında değişen pH, 25-350 mg/L aralığında boyarmadde konsantrasyonu, 15-360 dk aralığında temas süresi ve 50-200 mg aralığında adsorbent dozu çalışmaları yapılmıştır. Çözeltide kalan boyarmadde konsantrasyonu 593 nm dalga boyunda ölçülmüş ve çözelti ortamından uzaklaştırılan boyar madde miktarlarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$Q_e = (C_0 - C_e)V/W \quad (1)$$

Burada;

Q_e : Adsorbentin birim ağırlığı başına adsorplanan RBBR miktarı (mg/g),

C_0 : RBBR başlangıç konsantrasyonu (mg/L),

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan RBBR konsantrasyonu (mg/L),

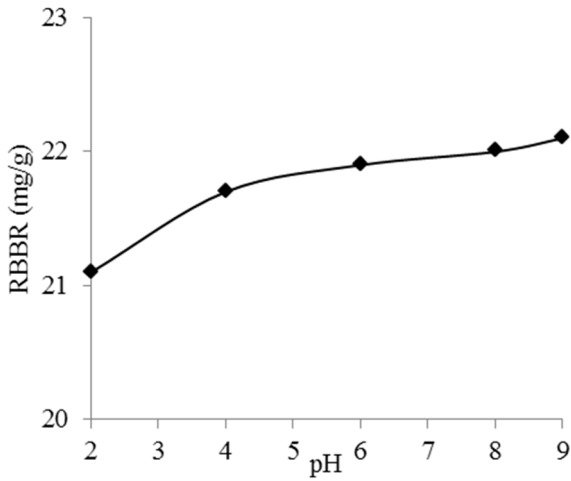
V : Kullanılan çözelti hacmi (mL),

W : Sigara külünün miktarı (mg) dir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. RBBR Giderimine pH Etkisi (pH Effect on RBBR Removal)

Sulu çözeltiden boyarmadde gideriminde optimum pH'ı belirlemek üzere sulu çözeltinin (100 mg/L) pH'ı 2,4,6,8,9'a ayarlanmıştır ve 200 mg sigara külü eklenmiştir. 180 dakika boyunca 150 rpm hızında karıştırılmıştır.



Şekil 1. RBBR giderimine pH etkisi (pH effect on RBBR removal)

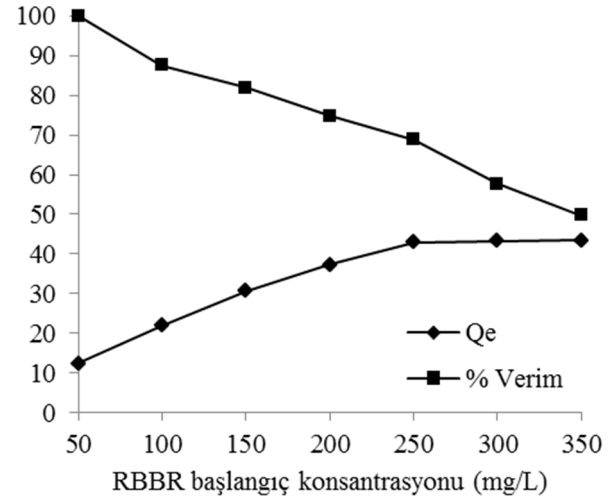
Şekil 1 de görüldüğü üzere genel olarak pH artışına bağlı olarak sigara külü üzerine RBBR adsorplanma miktarı önemsiz bir artış göstermiştir. pH 2 değerinde 21.1 mg/g olan adsorplanma miktarı, pH 9 olduğunda 22.1 mg/g değerine yükselmiştir. RBBR anyonik (asidik) boyalar grubunda yer almakta ve sulu çözeltilerinde en fazla sülfonik (-SO₃) grup içermektedirler. Bu sülfonik gruplar sulu fazda negatif yük taşırlar. Yüksek pH değerlerinde artış gösteren adsorplanma miktarı, boya yapısında negatif yük taşıyan sülfonik gruplar ile pozitif yüklendiği düşünülen adsorban yüzeyinin

elektrostatik etkileşiminden kaynaklanacağı gibi pH artışına bağlı olarak ortamda azalan H⁺ iyonu rekabetinin azalmasından da kaynaklanabilir. pH arttıkça adsorpsiyon miktarında gözlenen artış bu şekilde açıklanabilir [10]–[12].

Orijinal pH değeri (6.0) ve denenen maksimum pH değeri (9.0) arasında RBBR adsorplanma miktarı açısından önemsenecek bir fark gözlenmemesi sebebi ile, bundan sonraki çalışmalar orijinal pH değerinde sürdürülmüştür.

3.2. RBBR Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi (Effect of Initial RBBR Concentration)

Boyar madde başlangıç konsantrasyonu için gerekli seyreltmeler yapılarak konsantrasyonu 25-350 mg/L aralığında değişen çözeltiler hazırlanmıştır. Her biri için 200 mg sigara külü tartılıp çözeltilere ilave edilmiştir. Daha sonra 180 dk boyunca 150 rpm'de çalkalanmıştır.

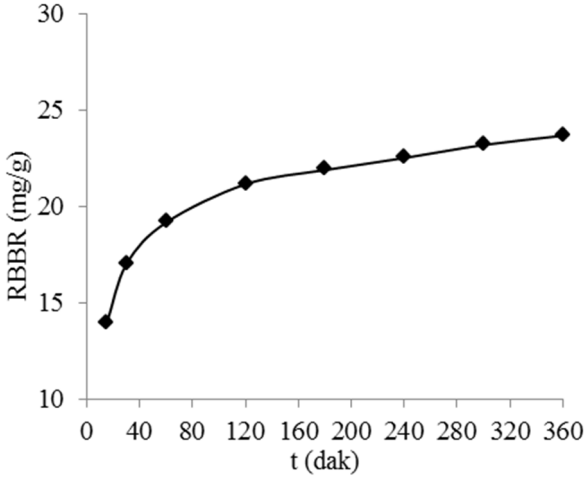


Şekil 2. RBBR başlangıç konsantrasyonunun etkisi (Effect of initial RBBR concentration)

Şekil 2'de gösterildiği üzere, başlangıç RBBR konsantrasyonunun 50 ila 250 mg/L arasında artması, adsorpsiyon miktarında önemli bir artışa neden olurken, 250 ila 350 mg/L aralığında değiştiğinde ise adsorpsiyon miktarı neredeyse değişmemektedir. Düşük başlangıç konsantrasyonlarında tüm RBBR molekülleri, adsorptif alanlara adsorbe edilmiş ve RBBR'nin daha yüksek verimde (%100-%68) adsorplandığı görülmüştür. Daha yüksek boya konsantrasyonlarında daha düşük uzaklaştırma yüzdesi, adsorbanın adsorpsiyon alanlarının doymuşluğundan kaynaklanmaktadır [13]

3.3. Temas Süresi Etkisi (Effect of Contact Time)

Sigara külü kullanılarak adsorpsiyonla renk gideriminde optimum karıştırma süresini belirlemek üzere 100 mg/L konsantrasyonundaki boya çözeltilerine 200 mg kül ilave edilmiştir. 150 rpm karıştırma hızında değişen sürelerde (15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360 dk) karıştırılmış, çözeltilerde kalan RBBR konsantrasyonu spektrofotometrede ölçülmüştür.

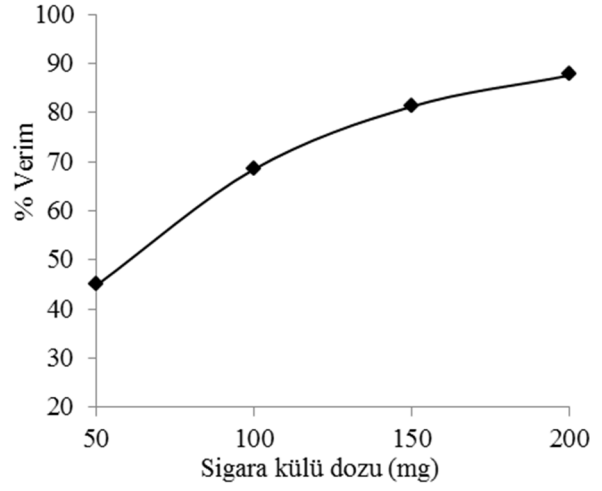


Şekil 3. Temas süresi etkisi (Effect of contact time)

Sigara külü ile RBBR giderimi 180 dakikaya kadar olan temas süresi ile hızla artmış ve 180 dakikadan sonraki artışlar önemsenmeyecek kadar azalmıştır. Bu sonuç, ilk adsorpsiyon hızının, adsorpsiyon için kullanılan adsorbanın bol miktardaki boş alanlarına bağlı olduğunu ve daha sonra adsorpsiyon için aktif bölgelerin azalmışlığını göstermektedir [14], [15]. Ek olarak bu durum, adsorbanın yüzey özelliklerinin küresel düzgün yapıda değil ince kanalcıklar şeklinde olmasından da kaynaklanıyor olabilir.

3.4. Adsorbent Dozu Etkisi (Effect of Adsorbent Dose)

Optimum sigara külü dozunu belirleyebilmek amacıyla 100 mg/L konsantrasyonundaki boya çözeltilerine 50, 100, 150, 200 mg kül ilave edilmiş ve 180 dk 150 rpm hızla karıştırılmıştır.



Şekil 4. Adsorbent dozunun adsorpsiyon verimine etkisi (Effect of adsorbent dose on adsorption yield)

Şekil 4, sigara külü dozu artışına bağlı olarak RBBR giderim veriminin arttığını göstermektedir. Artan yüzey alanı nedeniyle adsorbent dozu artırılarak adsorpsiyonda bir artış gözlemlenmiştir. Ancak adsorbent birim kütlesi için adsorbe edilen miktar azalmaktadır [16]. 50 mg sigara külü kullanıldığından 44,85 mg/g olan adsorplanma miktarı 200 mg sigara külü için 21,9 mg/g olarak bulunmuştur.

3.5. İzoterm ve Kinetik Çalışmaları (Isotherm and Kinetic Studies)

Boya giderimi için kullanılan adsorpsiyon sisteminin optimizasyonunda, denge verileri arasındaki en uygun korelasyonun oluşturulması önemlidir. RBBR boyar maddesinin sigara külü üzerine adsorpsiyon prosesinden elde edilen deneysel verilerin Langmuir (Denklem 2) ve Freundlich (Denklem 3) izoterm modelleri ile Pseudo birinci (Denklem 4) ve ikinci derece (Denklem 5) kinetik modelleri ile uygunlukları araştırılmıştır.

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_{mak}} + \left(\frac{1}{K_L Q_{mak}} \right) \quad (2)$$

$$\text{Log} Q_e = \text{Log} K_F + n \text{Log} C_e \quad (3)$$

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \quad (4)$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (5)$$

Denklemlerde;

Q_e : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarını (mg/g),

C_e : Dengede, adsorplanmadan çözeltide kalan RBBR konsantrasyonunu (mg/L),

K_L : Langmuir izoterm modelinin sabitini,

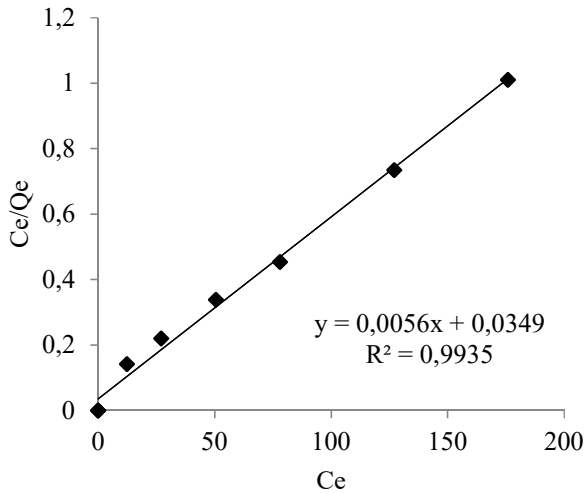
Q_{mak} : Maksimum adsorpsiyon kapasitesini (mg/g),

K_F ve n : Freundlich izoterm modelinin sabitlerini, k_1 ve k_2 ise sırasıyla pseudo birinci ve ikinci derece hız sabitlerini ifade etmektedir.

Şekil 5’de C_e ve C_e/Q_e arasında çizilen grafikteki doğrunun eğim noktasından Q_{mak} , kesim noktasından da K_L hesaplanmıştır [17]. RBBR boyarmaddesinin sigara külü ile adsorpsiyonu Langmuir izotermi ile daha iyi ifade edilmiştir ($R^2=0,9935$) ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi 178,57 mg/g olarak bulunmuştur. Değişik adsorbanlar kullanılarak RBBR boyar maddesinin adsorpsiyonu çalışmaları incelenmiş ve maksimum adsorpsiyon kapasiteleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. RBBR maksimum adsorplanma kapasiteleri (Maksimum adsorption capacities for RBBR)

Kullanılan Adsorban	RBBR Q_{mak} (mg/g)	Referans
Aktif Karbon	33,47	[18]
Kemik tozu	20,60	[1]
Ananas yaprağı	9,66	[7]
Aktif çamur	9,38	[19]
Su kabağı	100,50	[20]
Bu çalışma	178,57	

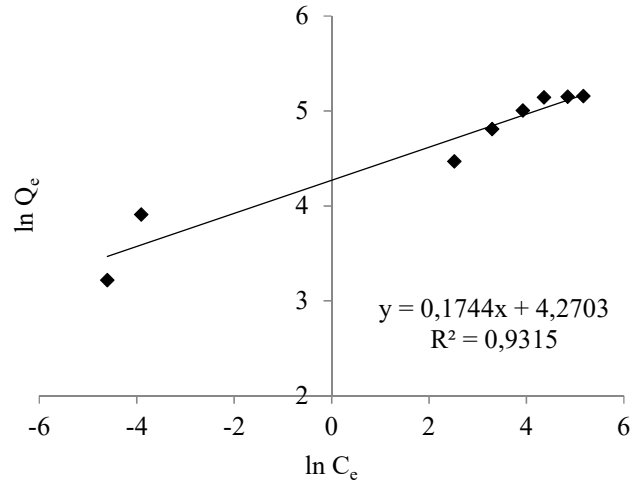


Şekil 5. Langmuir izoterm grafiği (Langmuir isotherm graph)

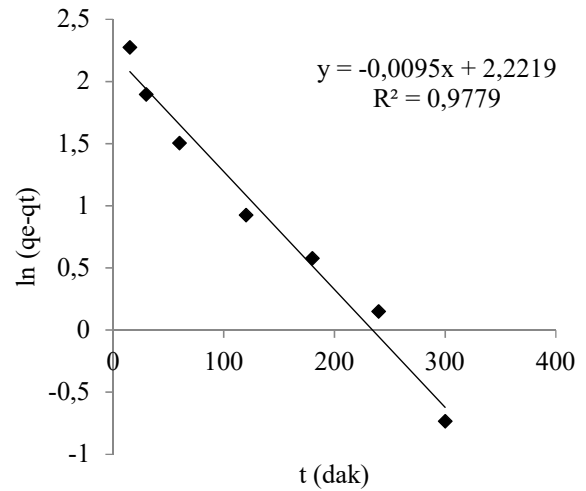
Şekil 6’da verilen Freundlich izoterm grafiğinde de doğrunun eğiminden $1/n$, kesim noktasından K_F

hesaplanmıştır [21]. Hesaplanan değerler Tablo 2’de verilmiştir.

RBBR’nin sigara külü üzerine adsorpsiyon kinetiği Pseudo birinci ve ikinci derece kinetik modelleri kullanılarak belirlenmiştir. Pseudo birinci derece model için $\ln (q_e - q_t)$ ile t arasında çizilen grafiğin (Şekil 7) kesim noktasından k_1 ve eğiminden Q_e değeri elde edilmiştir. Aynı şekilde, Pseudo ikinci mertebeden model için k_2 ve Q_e değerleri Şekil 8’de gösterilen grafiğin kesim noktası ve eğiminden hesaplanmıştır [22], [23].



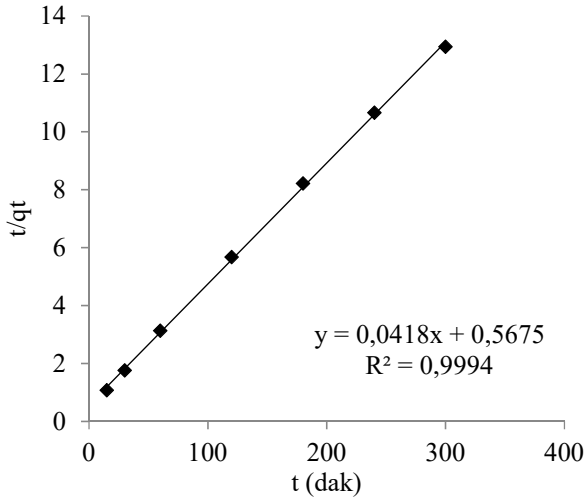
Şekil 6. Freundlich izoterm grafiği (Freundlich isotherm graph)



Şekil 7. Pseudo birinci derece kinetik grafiği (Pseudo first order kinetic chart)

Her iki kinetik modele ait Q_e değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen Q_e (23,68 mg/g) değeri ile Pseudo ikinci derece denklemi ile elde edilen değer birbirine yakınlığı, bu prosesin kinetiğinin Pseudo ikinci derece denklemi ile ifade edilebildiğini göstermektedir. Grafikler üzerinde

gösterilen R^2 değerleri de bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 8. Pseudo ikinci derece kinetik grafiği (Pseudo second order kinetic chart)

Tablo 2. Kullanılan izoterm ve kinetik modellere ait sabitler (Constants of used isotherm and kinetic models)

Langmuir		Freundlich	
Q_{mak} (mg/g)	K_L	K_F	n
178,57	0,16	71,54	5,70
Pseudo Birinci derece		Pseudo İkinci derece	
k_1	Q_c (mg/g)	k_2	Q_c (mg/g)
$9,50 \cdot 10^{-3}$	9,22	$4,51 \cdot 10^{-5}$	23,92

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, RBBR boyarmaddesinin maliyetsiz bir adsorban olan sigara külü ile adsorbsiyon şartları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda maksimum RBBR giderimi için optimum pH değeri 6.0 ve karıştırma süresi 180 dakika olarak belirlenmiştir. Çalışmanın kinetik karakteri Pseudo ikinci derece modeli ile izoterm karakteri ise Langmuir modeli ile uyumlu bulunmuştur. Langmuir izoterm modeline bağlı olarak maksimum adsorbsiyon kapasitesi 178,57 mg/g olarak belirlenmiştir. Yüksek giderim kapasitesi ve maliyetsiz olması sebebi ile sigara külünün, sulu çözeltilerden boyar madde gideriminde etkili olduğu belirlenmiş, atıksulardan boyarmadde için de alternatif bir adsorban olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] K. C. Bedin, S. P. de Azevedo, P. K. T. Leandro, A. L. Cazetta, and V. C. Almeida, "Bone char prepared by CO₂ atmosphere: Preparation optimization and adsorption studies of Remazol Brilliant Blue R," *J. Clean. Prod.*, vol. 161, pp. 288–298, 2017.
- [2] K. Chinoune, K. Bentaleb, Z. Bouberka, A. Nadim, and U. Maschke, "Adsorption of reactive dyes from aqueous solution by dirty bentonite," *Appl. Clay Sci.*, vol. 123, pp. 64–75, 2016.
- [3] G. C. Upadhye and R. S. Yamgar, "Analytical study of agricultural waste as non-conventional low cost adsorbent removal of dyes from aqueous solutions," *Int. J. Chem. Stud.*, vol. 4, no. 1, pp. 128–133, 2016.
- [4] M. A. A. El-kawi, A. M. Hafez, I. G. A. Rashed, and E. E. Aboelnaga, "Removal of reactive blue 19 from aqueous solution using rice straw fly ash," *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 1023–1036, 2016.
- [5] M. T. Yagub, T. K. Sen, S. Afroze, and H. M. Ang, "Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 209, pp. 172–184, 2014.
- [6] M. Dehvari, M. Ghaneian, A. Ebrahimi, B. Jamshidi, and M. Mootab, "Removal of reactive blue 19 dyes from textile wastewater by pomegranate seed powder: Isotherm and kinetic studies," *Int. J. Environ. Health Eng.*, vol. 5, no. 1, p. 5, 2016.
- [7] N. A. Rahmat, A. A. Ali, Salmiati, N. Hussain, M. S. Muhamad, R. A. Kristanti, and T. Hadibarata, "Removal of Remazol Brilliant Blue R from Aqueous Solution by Adsorption Using Pineapple Leaf Powder and Lime Peel Powder," *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 227, no. 4, 2016.
- [8] R. K. Ghosh and D. D. Reddy, "Tobacco stem ash as an adsorbent for removal of methylene blue from aqueous solution: Equilibrium, kinetics, and mechanism of adsorption," *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 224, no. 6, 2013.
- [9] E. Mourid, M. Lakraimi, E. El Khattabi, L. Benaziz, and M. Berraho, "Removal of Remazol Brilliant Blue R From Aqueous Solution by Adsorption Using a Calcined Layered Double Hydroxides [Zn₂-Al-CO

- 3],” *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 921–930, 2017.
- [10] M. A. Moreira, K. J. Ciuf, V. Rives, M. A. Vicente, R. Trujillano, A. Gil, S. A. Korili, and E. H. De Faria, “Applied Clay Science Effect of chemical modification of palygorskite and sepiolite by 3-aminopropyltriethoxysilane on adsorption of cationic and anionic dyes,” vol. 135, pp. 394–404, 2017.
- [11] M. Wawrzkiwicz, P. Bartczak, and T. Jesionowski, “International Journal of Biological Macromolecules Enhanced removal of hazardous dye from aqueous solutions and real textile wastewater using bifunctional chitin / lignin biosorbent,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 99, pp. 754–764, 2017.
- [12] K. Z. Elwakeel, A. Ismail, and A. M. Morshidy, “Magnetic chitosan grafted with polymerized thiourea for remazol brilliant blue R recovery: Effects of uptake conditions,” *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 7, pp. 943–952, 2017.
- [13] A. Asfaram, M. Ghaedi, F. Yousefi, and M. Dastkhoo, “Ultrasonics Sonochemistry Experimental design and modeling of ultrasound assisted simultaneous adsorption of cationic dyes onto ZnS : Mn-NPs-AC from binary mixture,” *Ultrason. - Sonochemistry*, vol. 33, pp. 77–89, 2016.
- [14] T. Maneerung, J. Liew, Y. Dai, S. Kawi, C. Chong, and C. Wang, “Bioresource Technology Activated carbon derived from carbon residue from biomass gasification and its application for dye adsorption: Kinetics, isotherms and thermodynamic studies,” vol. 200, pp. 350–359, 2016.
- [15] D. Robati, M. Rajabi, O. Moradi, F. Naja, I. Tyagi, S. Agarwal, and V. Kumar, “Kinetics and thermodynamics of malachite green dye adsorption from aqueous solutions on graphene oxide and reduced graphene oxide,” vol. 214, pp. 259–263, 2016.
- [16] A. R. Omran, M. A. Baiee, S. A. Juda, J. M. Salman, and A. F. Alkaim, “Removal of Congo red dye from aqueous solution using a new adsorbent surface developed from aquatic plant (*Phragmites australis*),” vol. 9, no. 4, pp. 334–342, 2016.
- [17] C. Muthukumaran and V. Murugaiyan, “Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Adsorption isotherms and kinetic studies of crystal violet dye removal from aqueous solution using surfactant modified magnetic nanoadsorbent,” vol. 63, pp. 354–362, 2016.
- [18] T. L. Silva, A. Ronix, O. Pezoti, L. S. Souza, P. K. T. Leandro, K. C. Bedin, K. K. Beltrame, A. L. Cazetta, and V. C. Almeida, “Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R,” *Chem. Eng. J.*, vol. 303, pp. 467–476, 2016.
- [19] D. Özçimen and T. Salan, “Uklanjanje reaktivne boje remazol brilliant blue R IZ vodenih rastvora adsorbentom NA bazi otpadnog mulja IZ anaerobne digestije,” *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, vol. 22, no. 2, pp. 167–179, 2016.
- [20] X. Xie, X. Li, H. Luo, H. Lu, F. Chen, and W. Li, “The adsorption of reactive blue 19 dye onto cucurbit[8]uril and cucurbit[6]uril: An experimental and theoretical study,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 120, no. 17, pp. 4131–4142, 2016.
- [21] M. A. Tahir, H. Nawaz, and M. Iqbal, “Journal of Environmental Chemical Engineering Solar Red and Brittle Blue direct dyes adsorption onto Eucalyptus angophoroides bark: Equilibrium, kinetics and thermodynamic studies,” *Biochem. Pharmacol.*, vol. 4, no. 2, pp. 2431–2439, 2016.
- [22] N. Khairuladli, A. Fisal, H. Mohdsukri, N. Khairunisa, and A. Ma, “Adsorption of Chemically Prepared Cocoa Nibs Based Activated Carbon Onto Methylene Blue: Equilibrium and Kinetic Studies,” vol. 1, no. 1, pp. 15–18.
- [23] S. Mohammadreza, S. Kordmirza, and G. McKay, “Methylene blue adsorption via maize silk powder: Kinetic, equilibrium, thermodynamic studies and,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 106, pp. 191–202, 2017.