

Ham ve Modifiye Edilmiş Bentonit Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Remazol Brilliant Blue R Giderimi

Mehtap TANYOL¹

¹Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 62000, Tunceli
mtanyol@munzur.edu.tr

Yayın Kodu (Article Code): 9 -1A-7

Özet: Bu çalışmada, ham bentonit ve kimyasal ve termal olarak modifiye edilmiş bentonit kullanılarak sulu çözeltilerden remazol brilliant blue R giderimi kesikli sistemde araştırılmıştır. Ham ve modifiye bentonit için dengede adsorplanan remazol brilliant blue R miktarları sırasıyla 1.09 ve 1.46 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon verilerinin modellenmesinde Langmuir and Freundlich izotermi kullanılarak sorbentlerin yüzey özellikleri, adsorpsiyon mekanizması ve kapasitesi veya anfinitesini gösteren adsorpsiyon model sabitleri değerleri hesaplanmıştır. Her iki izoterm modelinin korelasyon katsayıları yüksek olmakla birlikte adsorpsiyon verilerinin Langmuir modeli ile daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur. Potansiyel hız kontrol eden basamakları tanımlamak için yapılan kinetik çalışma, her iki sorbent için sorpsiyon prosesinin hız belirleme basamaklarından biri olarak dış taraf kütle transferi ve iç difüzyon ile birlikte pseudo ikinci derece kinetiği ile tanımlanabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada bentonite yapılan kimyasal ve termal işlemin bentonitin remazol brilliant blue R adsorplama kapasitesini arttırdığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bentonit, adsorpsiyon, remazol brilliant blue R, izoterm, kinetik.

Removal of Remazol Brilliant Blue R from Aqueous Solutions Using Raw and Modified Bentonite

Abstract: In the present study, Remazol brilliant blue R removal from aqueous solutions using raw bentonite and chemically and thermally modified bentonite was investigated in a batch system. Remazol brilliant blue R amounts adsorbed at the equilibrium for raw and modified bentonite was found as 1.09 and 1.46 mg/g, respectively. Langmuir and Freundlich isotherms were used in modeling adsorption data and adsorption model coefficients indicating surface properties of sorbents, adsorption mechanism and capacity or affinity were calculated. Although correlation coefficients for both isotherm models were high, it was found that adsorption data were a better fit with Langmuir model. The kinetic study conducted to define the potential rate controlling steps demonstrated that the sorption process for both sorbents could be defined with external mass transfer and intra-particle diffusion, together with pseudo-second-order kinetic. The findings of the present study showed that the chemical and thermal process conducted on bentonite increased the remazol brilliant blue R adsorption capacity of the bentonite.

Keywords: Bentonite, adsorption, remazol brilliant blue R, isotherm, kinetic.

Giriş

Sentetik boyalar tekstil, boyama ve diğer endüstriyel uygulamalar için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dünya’da toplam renklendirici üretiminin yaklaşık olarak 800.000 ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir. 10.000 'den fazla boya ticari olarak temin edilebilmekte ve kullanılan boyaların en az %10'u atık olarak çevreye yayılmaktadır. Boya içeren bu atıksular toksik veya kanserojen olmaları ve yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı. (KOİ)/biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) oranı, fazla

askıda katı madde ve yoğun renk ile karakterize edilirler Ayrıca bu atıksular alıcı ortamın kendi kendini arıtma kapasitesini engellemekte, alıcı suyun renklenmesine, suyun ışık geçirgenliğinin azalmasına, akuatik floranın fotosentez hızının yavaşlamasına neden olmaktadır (Ada et al., 2009).

Remazol brilliant blue R (RBBR) tekstil endüstrisinde çok kullanılan sentetik boyalardan biridir. Kimyasal formülü $C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$ ve

molekül ağırlığı 626.54 g'dır. Bu boya kromoforik gruplardan biri olan antrakinon bir boyadır. Kararlı kimyasal yapıları vardır ve alışlagelmiş kimyasal ve fiziksel proseslerle parçalanması zordur. (Rahmat ve diğ., 2016)

Boya içeren atıksuların arıtımı için kullanılan alışlagelmiş metotlar kimyasal koagülasyon, kimyasal oksidasyon, fotokimyasal degradasyon, membran filtrasyonu, aerobik ve anaerobik biyolojik degradasyondur. Kimyasal koagülasyon prosesi çözünür boyaların arıtımında etkilidir ancak çözünmez boyaların gideriminde etkili değildir. Kimyasal oksidasyon etkili ama oksitleyici gereksinimi çok fazladır ve bu nedenle pahalıdır. Sentetik boyaların fotokimyasal degradasyonu yavaş ilerleyen bir prosestir. Biyolojik arıtım prosesleri BOİ, KOİ ve askıda katı madde gideriminde etkili olmasına rağmen atıksudan renk gideriminde genellikle etkisizdir ve çoğu boya biyolojik proseslerde mevcut olan organizmalara toksiktir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin hiçbiri ekonomik olarak avantajlı değildir. Bu nedenle düşük maliyetli arıtım metodları uzun süreden beri araştırılmaktadır (Kara ve diğ., 2007).

Boya gideriminde adsorpsiyon prosesinin kullanılması nispeten daha kullanışlı ve ekonomik tekniklerden biridir. Adsorbentler; inorganik maddeler, organik maddeler ve silis esaslı gözenekli inorganik/organik hibrit maddeler olabilir. Bentonit kili ülkemizde ve yeryüzünde bol bulunan ve ucuz olarak temin edilebilen ve faklı kirleticilerin gideriminde adsorbent olarak yaygın kullanılan bir mineraldir. Bilindiği gibi, killerin esas yapı taşları Si, Al, Fe ve Mn iyonları ile O-atomları ve OH⁻ gruplarıdır.

Türkiye'nin toplam potansiyel bentonit rezervi yaklaşık 281.000.000 tondur. Ülkemizin en önemli bentonit yatakları Edirne, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Çankırı, Konya, Tokat ve Ordu bölgelerinde bulunmaktadır (İpekoğlu ve diğ., 1997). Doğal bentonite asitle aktifleştirme işlemi yapılmasıyla adsorpsiyon ve katalitik özellikleri iyileştirilebilir. Montmorillonit içeren kil grubu minerallerinden olan bentonitin inorganik asitlerle işleme tabi tutulması sonucu kalsit ve dolomit gibi safsızlıklar yapıdan uzaklaşmakta, değişebilir katyonlar hidrojen iyonu ile yer değiştirmekte ve tetrahedral tabakadaki bazı Al iyonları ile oktahedral tabakadaki bazı Fe, Al ve Mg katyonları çözülmektedir. Uygun aktifleştirme işlemi

sonucunda bentonit yüzeyindeki gözenek çaplarında ve yüzey alanı ve adsorplama kapasitesinde artış meydana gelmektedir.

Bu çalışmanın konusu, adsorbent olarak ham ve modifiye edilmiş bentonit kullanılarak sulu çözeltilerden RBBR giderimini araştırmaktır. Bu amaçla denge izoterm verileri Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmış ve RBBR'nin sorpsiyon mekanizmaları ve potansiyel hız kontrol eden basamaklar dış taraf kütle aktarımı ve partikül içi difüzyon modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Pseudo birinci ve ikinci kinetik modeller adsorpsiyon kinetiklerini analiz etmek için kullanılmıştır.

Materyal ve Metod

1. Adsorbentin hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan bentonit örnekleri Tokat'tan sağlanmıştır. Ham bentonit bir gün için 105 °C'de fırında kurutulmuştur. 25 g ham bentonit 100 mL 0.75 M nitrik asit çözeltisine ilave edilmiştir. Karışım yaklaşık 120 dakika geri soğutucuda kaynatılmıştır. Asit ile aktivite edilmiş bentonit filtrelendi ve filtratın final pH'ı 5 oluncaya kadar deiyonize su ile yıkanmıştır. Daha sonra 180 dakika için kül fırınında 700 °C de tutuldu. Kimyasal ve termal olarak modifiye edilmiş bentonit yanma sırasında üretilen topakların oluşumunu ortadan kaldırmak için öğütülmüştür ve hazırlanmış olan modifiye edilmiş bentonit ve ham bentonit adsorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere kapalı bir şişede saklanmıştır.

2. RBBR çözeltisinin hazırlanması

RBBR'nin stok çözeltisi 1 g/L olacak şekilde distile suda hazırlanmıştır. Test çözeltileri istenilen konsantrasyonlara (25-100 mg/L arasında) stok çözeltinin seyreltilmesi ile hazırlanmıştır. Her bir çözeltinin pH'ı adsorbentle temas etmeden önce seyreltik HCl ve NaOH çözeltileri ile 3'e ayarlanmıştır.

3. Kesikli adsorpsiyon deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri, 250 mL'lik erlenlerde istenilen konsantrasyonda ve pH'ı 3 olan 100 mL RBBR çözeltisine 1 g ham veya modifiye bentonit ilave edilerek 250 rpm çalkalama hızında 45 °C'de gerçekleştirilmiştir. 5 mL'lik numuneler önceden belirlenmiş zaman aralıklarında karıştırma süresince karışımından alınmıştır. Analiz öncesi, RBBR 5000 rpm'de çalışan santrifüj kullanılarak numunelerden ayrılmıştır ve üstte kalan duru kısım

adsorplanmadan kalan RBBR miktarını belirlemek için UV-spektrofotometre kullanılarak 595 nm dalga boyunda analiz edilmiştir.

4. Adsorpsiyon dengesi

Adsorpsiyon prosesinin mekanizmasını anlamak için, deneysel veriler Langmuir ve Freundlich klasik izoterm modellerine uygulanmıştır. Langmuir denklemi aşağıdaki ilişki ile ifade edilir:

$$q_{den} = \frac{q_m b C_{den}}{1 + b C_{den}} \quad (1)$$

Burada, q_{den} denge zamanında adsorplanmış RBBR miktarı (mg/g), C_{den} çözültide RBBR'nin denge konsantrasyonu (mg/L), q_m maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) and b adsorpsiyon enerjisi ile ilgili adsorpsiyon denge sabitidir (L/mg).

Freundlich denklemi ise aşağıdaki gibidir:

$$q_{den} = K_f C_{den}^{1/n} \quad (2)$$

Burada K_f izafi adsorpsiyon kapasitesi, n adsorpsiyon yoğunluğuna bağlı bir sabittir.

5. Adsorpsiyon kinetikleri

Adsorpsiyonu kontrol eden mekanizmaları belirlemek için, dış taraf kütle aktarımı, partikül içi difüzyon, pseudo birinci ve ikinci derece kinetik modeller kullanılmıştır. Dış taraf kütle aktarımı ve partikül içi difüzyon modelleri sırasıyla Eşitlik 3 ve 4'de gösterildiği şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{d(C/C_0)}{dt} = -k_L S \quad (3)$$

$$q = f\left(\frac{Dt}{r_p^2}\right) = K t^{1/2} \quad (4)$$

Burada, C t zamanında RBBR'nin sıvı fazda çözülmüş konsantrasyonu (mg/L), C_0 başlangıç

RBBR konsantrasyonu (mg/L), S kütle transferi için özgül yüzey alanı, k_L sıvı-katı kütle transfer katsayısı (cm/dk), r_p partikül yarıçapı (cm), D partikül içi difüzyon katsayısı ve K partikül içi difüzyon sabitidir (mg/g dk^{1/2}).

Pseudo birinci ve ikinci derece kinetik modellerin denklemi sırasıyla Eşitlik 5 ve 6'daki gibi yazılabilir:

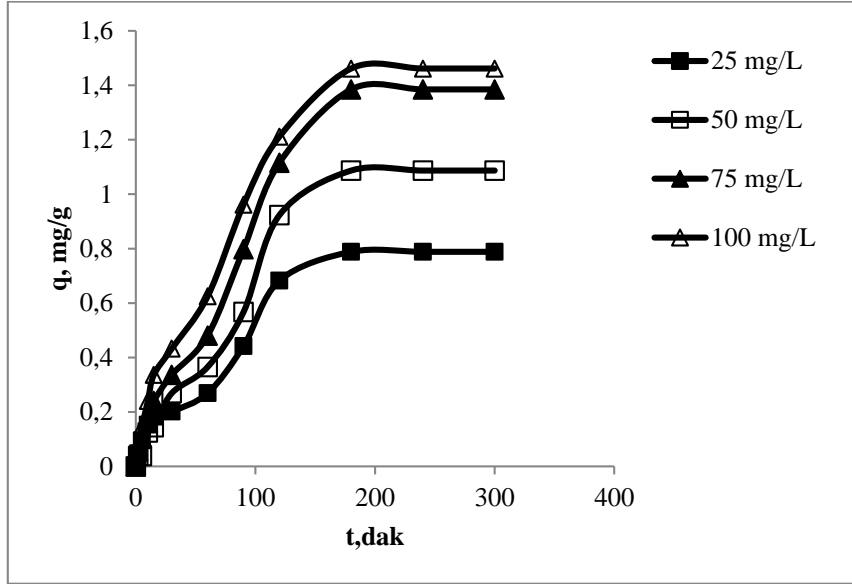
$$\log(q_{den} - q_t) = \log q_{den} - \frac{k_1 t}{2.203} \quad (5)$$

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_{den}^2} + \frac{1}{q_{den}} t \quad (6)$$

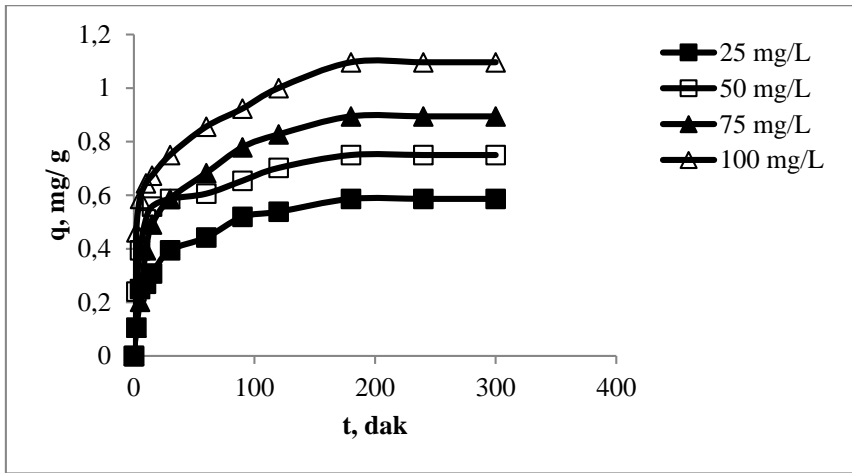
Burada q_{den} ve q_t sırasıyla, dengede ve herhangi bir t zamanında birim adsorbent ağırlığı başına adsorplanan RBBR miktarı (mg/g), k_1 pseudo birinci derece kinetik model hız sabiti (1/dk) ve k_2 pseudo ikinci derece kinetik model hız sabitidir (g/mg dk).

Bulgular ve Tartışma

Şekil 1 ve 2'de, ham ve modifiye bentonit üzerine RBBR birikim kapasitesinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Adsorpsiyon çalışmaları 300 dakika için sürdürülmüştür ve her iki adsorbent içinde adsorpsiyon kapasitesinin artan temas süresi ile arttığı ve dengeye 180 dakikada ulaşıldığı bulunmuştur. Tablo 1'de, ham ve modifiye bentonit üzerine RBBR adsorpsiyonunda başlangıç konsantrasyonunun etkisi ve dengede adsorplanan RBBR miktarları gösterilmiştir. Bir kural olarak, başlangıç RBBR konsantrasyonunun artırılması, başlangıç RBBR konsantrasyonu adsorbent ve adsorpsiyon ortamı arasındaki kütle transferi dirençlerinin üstesinden gelmek için bir itici güç sağladığından, adsorpsiyon kapasitesinde bir artışa yol açar. Bu yüzden her iki adsorbent içinde daha yüksek adsorpsiyon kapasiteleri daha yüksek başlangıç konsantrasyonlarında elde edilmiştir.



Şekil 1. Modifiye bentonit ile RBBR giderimi için adsorpsiyon eğrileri (pH 3, adsorbent miktarı=1 g/100 mL, sıcaklık=45 °C karıştırma hızı = 250 rpm).



Şekil 2. Ham bentonit ile RBBR giderimi için adsorpsiyon eğrileri (pH 3, adsorbent miktarı=1 g/100 mL, sıcaklık=45 °C karıştırma hızı = 250 rpm).

bentonit için adsorpsiyonunda farklı başlangıç konsantrasyonlarında elde edilen dengede adsorplanan RBBR miktarları.

Tablo 1. Ham ve modifiye için adsorpsiyonunda farklı başlangıç konsantrasyonlarında elde edilen dengede adsorplanan RBBR miktarları

C_0 (mg/L)	Ham bentonit q_{den} (mg/g)	Modifiye bentonit q_{den} (mg/g)
25	0.58	0.78
50	0.75	1.08
75	0.89	1.38
100	1.09	1.46

Denge verileri; adsorplanan madde ile adsorbent arasındaki ilişki, adsorbentin kapasitesi hakkında bilgi gibi adsorpsiyon sistemlerin dizaynı için temel gereksinimleri sağlamaktadır. Bu çalışmada adsorpsiyon verilerinin modellenmesinde en çok kullanılan izotermeler olan Langmuir and Freundlich eşitlikleri kullanılarak, sorbentlerin yüzey özellikleri, adsorpsiyon mekanizması ve kapasitesi veya anfinitesini gösteren adsorpsiyon model sabitleri değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2). Freundlich sabitlerinden biri olan K_f adsorpsiyon kapasitesinin izafi ölçümü olarak kullanılır. K_f değerleri ham ve modifiye bentonit için sırasıyla 0.151 mg/g ve 0.306 mg/g olarak belirlenmiştir. Bir diğer Freundlich sabiti olan n değeri, adsorbentin RBBR birikim kapasitesi ve adsorplanmamış RBBR konsantrasyonu arasındaki doğrusal olmayan aşamayı gösteren heterojenliğin derecesi

ile değişen ampirik bir parametredir. Her iki adsorbent için bulunan n değerleri 1'den yüksektir. n değerlerinin 1'den büyük olması çalışılan adsorbentlerin RBBR adsorpsiyonu prosesi için etkin olduğunu göstermektedir. Ham ve modifiye bentonit için Langmuir eşitliğinden bulunan q_m değerleri sırasıyla 1.75 mg/g ve 2.14 mg/g ve b ise 0.024 L/mg ve 0.059 L/mg'dır. Maksimum kapasiteyi gösteren q_m RBBR için adsorbentin toplam kapasitesini veya dengede tek katmanlı doygunluğu gösterir. q_m değerinin q_{den} değerlerinden büyük olması RBBR'nin bentonite

tek tabaka halinde bağlandığının bir göstergesidir. Diğer Langmuir sabiti olan b ise RBBR bağlanması için adsorbentin ilgisini göstermektedir. Ham bentonite göre modifiye edilmiş bentonit için bulunan daha yüksek b değeri RBBR'nin adsorbente daha güçlü bir biçimde bağlandığını gösterir. Tablo 2'den görüldüğü gibi iki izoterm modelinin korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında her iki izoterm içinde korelasyon katsayıları yüksek olmakla birlikte, adsorpsiyon verilerinin Langmuir modeli ile daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur.

Tablo 2. Modifiye edilmiş kil üzerine adsorplanmış RBBR için izoterm sabitleri

	Langmuir model			Freundlich model		
	q_m mg/g	b L/mg	R^2	K_f (mg/g)	n	R^2
Ham bentonit	1.75	0.024	0.99	0.151	1.95	0.95
Modifiye bentonit	2.14	0.059	0.99	0.306	2.73	0.96

Dış taraf kütle aktarımı, partikül içi difüzyon, pseudo birinci ve ikinci derece kinetik modeller sorpsiyon prosesinin dinamiklerini test etmek için kullanılmıştır ve deneyler bu modellerin katsayılarını hesaplamak için yapılmıştır (Tablo 2). Dış taraf kütle transferi çalışılan sistem için çözülmüş madde difüzyonunun başlangıç hızı ile karakterize edilmektedir. Sonuçlar başlangıç RBBR konsantrasyonunun artması ile dış taraf kütle aktarım katsayılarının ve dış taraf kütle aktarımının azaldığını göstermiştir. Bu etki sadece adsorpsiyon süresinin başlangıç periyodunda önemli olmasına rağmen, dış taraf kütle aktarımının ihmal edilemeyeceği de açıktır.

K partikül içi difüzyon sabitini bulmak için çizilen eğriler birkaç basamakta gerçekleşen çoklu doğrusallığa sahip olurlar. Başlangıç periyodunda bulunan eğrinin birinci keskin kısmı, adsorbentin

dış yüzeyine çözülmüş maddenin difüzyonuna veya çözülmüş moleküllerin sınır tabakası difüzyonuna bağlanır. Partikül içi difüzyonun hız sınırlayıcı basamak olduğunu gösteren ikinci doğrusal kısım kademeli tabaka adsorpsiyon evresini göstermektedir. Üçüncü kısım çözülmüş madde difüzyonunun başlangıç hızı ile karakterize edilmektedir. Üçüncü kısım çözülmüş madde difüzyonunun başlangıç hızı ile karakterize edilmektedir (Hameed ve diğ., 2008). Çalışılan tüm RBBR konsantrasyonlarında ikinci kısmın doğrusal eğrileri orijinden geçmemiştir. Bu hızı kontrol eden basamağın sadece partikül içi difüzyonun olmadığını göstermektedir. Eğrilerin bu doğrusal kısımlarından bulunan K değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi K değerleri artan başlangıç RBBR konsantrasyonları ile artmıştır

Tablo 3. Dış taraf kütle transfer katsayısı ve iç difüzyon hız üzerine başlangıç RBBR konsantrasyonunun etkisi

C_0	Ham bentonit		Modifiye bentonit	
	k_L	K	k_L	K
mg/L	cm/dk	mg/g dk ^{1/2}	cm/dk	mg/g dk ^{1/2}
25	0.00087	0.0223	0.00139	0.0260
50	0.00052	0.0358	0.00260	0.0306
75	0.00041	0.0406	0.00695	0.0342
100	0.00035	0.0468	0.01042	0.0628

Pseudo birinci derece ve pseudo ikinci derece modellerinin k_1 , k_2 , q_{den} ve korelasyon katsayıları (R^2) Tablo 2'de karşılaştırılmıştır. Tablodan görüleceği gibi pseudo ikinci derece kinetik model için korelasyon katsayıları daha yüksek olmuştur. Aynı zamanda teorik q_{den} değerleri ile deneysel q_{den} değerleri ikinci derece kinetik ile daha iyi uyum sağlamıştır. Bu sorpsiyon prosesinin hız belirleme basamaklarından biri olarak dış taraf kütle transferi ve iç difüzyon ile birlikte pseudo ikinci derece

kinetiği ile tanımlanabileceğini göstermektedir. Pseudo ikinci derece kinetik model, adsorpsiyon proseslerinde proses mekanizmasının esas olarak kimyasal bağlanma veya kemisorpsiyon ile kontrol edildiği düşüncesine dayanmaktadır. Bu her iki bentonite RBBR adsorpsiyonu oluşumunun adsorbat ile absorbent arasındaki elektron alışverişi veya paylaşımı yoluyla valans kuvvetlerini kapsadığı anlamına gelmektedir (Xiong ve Mahmood, 2010)

Tablo 4. Pseudo birinci ve ikinci derece kinetik parametreler üzerine başlangıç RBBR konsantrasyonunun etkisi

Ham bentonit		Birinci derece kinetik model			İkinci derece kinetik model		
C_0	$q_{den,deneysel}$	k_1	$q_{den,hesap}$	R^2	k_2	$q_{den,hesap}$	R^2
mg/L	mg/g	l/dk	mg/g		g/mg dk	mg/g	
25	0.58	0.0117	0.25	0.94	0.3041	0.60	0.98
50	0.75	0.0111	0.31	0.89	0.2517	0.78	0.99
75	0.89	0.0101	0.34	0.80	0.2348	0.92	0.99
100	1.09	0.0089	0.42	0.82	0.2159	1.06	0.98
Modifiye bentonit		Birinci derece kinetik model			İkinci derece kinetik model		
C_0	$q_{den,deneysel}$	k_1	$q_{den,hesap}$	R^2	k_2	$q_{den,hesap}$	R^2
mg/L	mg/g	l/dk	mg/g		g/mg dk	mg/g	
25	0.78	0.0398	0.29	0.96	0.3954	0.84	0.99
50	1.08	0.0216	0.35	0.96	0.1088	1.12	0.99
75	1.38	0.0152	0.62	0.76	0.0734	1.33	0.99
100	1.46	0.0025	0.81	0.95	0.0434	1.48	0.98

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada ham bentonit ile asit (HNO_3) ve ısı ($700\text{ }^\circ\text{C}$) ile muamele edilerek elde edilmiş olan modifiye bentonitin sulu çözeltilerden RBBR giderim kapasiteleri karşılaştırmıştır. Yapılan kimyasal ve termal işlem bentonitin RBBR adsorpsiyon kapasitesini yaklaşık %25 arttırmıştır. Her iki bentonit ile RBBR adsorpsiyon prosesinin hız belirleme basamaklarından biri olarak dış taraf kütle transferi ve iç difüzyon ile birlikte pseudo ikinci derece kinetiği ile tanımlanabileceği belirlenmiştir.

Kaynaklar

Ada K, Ergene A, Tan Sema, Yalcın E 2009.

Adsorption of remazol brilliant blue R using ZnO fine powder: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies. *J Hazard Mater*, 165:637-644.

Erdoğan Alver B., Sakızcı M, Yörükoğulları E, 2012.

Asitle aktiflenmiş bentonitin termal ve gaz adsorpsiyonu özelliklerinin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16-2:162-166.

Hameed BH, Mahmoud, DK, Ahmad AL 2008.

Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: Coconut (*Cocos nucifera*) bunch waste, *J Hazard Mater*, 158:65-72.

İpekoğlu B, Kurşun İ, Bilge Y, Barut A, 1997.

Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, Türkiye.

Kara S, Aydiner C, Demirbas E, Kobya M, Dizge N, 2007.

Modeling the effects of adsorbent dose and particle size on the adsorption of reactive textile dyes by fly ash. *Desalination*, 212:282-293.

Rahmat NA, Ali AA, S, Hussain N, Muhamad MS, Kristanti RA, Hadibarata T 2016.

Removal of remazol brilliant blue R from aqueous solution by adsorption using pineapple leaf powder and lime peel powder. *Water Air Soil Poll*, 227:105.

Xiong J, Mahmood BQ 2010.

Adsorptive removal of phosphate from aqueous media by peat, *Desalination*, 259: 59-64.