

Sulu Çözeltilerden Remazol Brilliant Green 6B Gideriminde Kaolin Kullanımı

Müslün Sara TUNÇ^{1*}, Özge HANAY¹

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ

ÖZET

Bu çalışmada aktif karbona alternatif olarak doğada bol bulunan, ucuz, etkili ve çevre dostu olan kaolin, Remazol Brilliant Green 6B gideriminde adsorbent olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyona pH, adsorbent dozu, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklığın etkisi araştırılarak kaolin ile Remazol Brilliant Green 6B gideriminde optimum şartlar belirlenmiştir. Optimum pH:2 ve kaolin dozu 10 g/L olarak bulunmuştur. Başlangıç boya konsantrasyonu 25 mg/L'den 150 mg/L'e kadar artırıldığında giderim verimi %98'den %71'e düşmüştür. Sıcaklık artış ile giderim veriminde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Adsorpsiyon dataları Langmuir ve Freundlich izotermine uygulanmıştır. Kaolin ile Remazol Brilliant Green 6B adsorpsiyonun Freundlich izotermine daha uygun olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon; adsorpsiyon izotermi; kaolin; Remazol Brilliant Green 6B

Use of Kaolin for Removal of Remazol Brilliant Green 6B from Aqueous Solutions

ABSTRACT

In this study, kaolin, which is abundant in nature, low-cost, effective and environmentally friendly, was used as adsorbent for removal of Remazol Brilliant Green 6B as an alternative to activated carbon. The optimum conditions for removal of Remazol Brilliant Green 6B by kaolin were determined by investigating the effect of pH, adsorbent dosage, the initial dye concentration and temperature. The optimum pH and kaolin dosage were found as pH 2 and 10 g/L, respectively. When the initial dye concentration was increased from 20 mg/L to 150 mg/L, the removal efficiency decreased from 98% to 71%. With increasing temperature, a significant change in the removal efficiency was not observed. The equilibrium data were applied to the Langmuir and Freundlich Isotherm model. The results indicated that the adsorption of Remazol Brilliant Green 6B by kaolin fitted more to Freundlich Isotherm Model.

Keywords: Adsorption; adsorption isotherms; kaolin; Remazol Brilliant Green 6B

1. Giriş

Boyalar, büyük miktarda atıksu üreten tekstil, kağıt, kauçuk, plastik, deri, baskı, gıda, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır [1-3]. Tekstil endüstrisi gelişmekte olan ülkelerin ekonomik gelişmesinde önemli rol oynamakla birlikte çevre üzerinde olumsuz etkiler de yaratmaktadır [4]. Dünya çapında tekstil endüstrisinde toplam boya tüketimi yılda 100000 ton'dan daha fazla olup yılda yaklaşık 100 ton boya su kaynaklarına deşarj edilmektedir [5]. Sularda boya az miktarda bulunsu

* Sorumlu yazar : saratunc@firat.edu.tr (M S Tunç)

bile gözle görülebilmekte ve sularda bulunmaları istenilmemektedir. Az miktarda bile su kaynaklarına boyaların deşarjı sucul yaşamı ve besin zincirini olumsuz etkileyebilmektedir [6]. Boyalar, ışık geçirgenliğini azaltmasından dolayı sucul yaşamın fotosentetik aktivitesini etkileyebilmekte ve metallerin ve aromatiklerin varlığından dolayı sucul canlılar için toksik olabilmektedir. Çeşitli balık türleri için kanserojen, mutajenik veya teratojenik olabilmektedir. Ayrıca, insanlarda böbrek, üreme sistemi, karaciğer, beyin ve merkezi sinir sistemi bozukluğuna neden olabilmektedir [5].

Boylar, aerobik ayrışmaya dirençli organik moleküller oldukları ve ışığa, ısıya ve oksitleme maddelerine karşı stabil oldukları için boya içeren atıksuların arıtımı çok zor olmaktadır [2]. Atıksulardan boya kirleticilerinin giderimi için adsorpsiyon, koagülasyon/flokülasyon, ileri oksidasyon prosesleri, ozonlama, membran filtrasyonu ve biyolojik arıtmayı kapsayan pek çok teknoloji geliştirilmiş ve kullanılmaktadır [7].

Yüksek verim, basit işletim ve kolay geri kazanım ve adsorbentten yeniden kullanım avantajlarına sahip adsorpsiyon prosesi atıksulardan boyaların gideriminde en etkili teknolojilerden biridir. Yüksek adsorpsiyon kapasitesinden dolayı aktif karbon boyaların gideriminde yaygın şekilde kullanılmakta fakat aktif karbonun pahalı olduğu düşünülmektedir. Son yıllarda, etkili fakat pahalı olan aktif karbonun yerini alabilen ekonomik adsorbentler önerilmektedir. Boyaların gideriminde çeşitli tarımsal atıklar [8], kömür [9], uçucu kül [10], kaolinit [11], perlit [12, 13], sepiolit [14, 15], montmorillonite [16] ve zeolit [17] vb. ucuz materyallerin kullanımı üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır.

Kil mineralleri ucuz adsorbent olmasından dolayı artan bir şekilde dikkat çekmektedir. Yüksek yüzey alanı, porozite, termal stabilite, spesifik aktif alanları ve etkin adsorptif özelliklerinden dolayı kil mineralleri endüstrinin birçok alanında uygulama bulmaktadır [3]. Al_2O_3 , SiO_2 , MgO ve CaO gibi metal oksitlerden ibaret olan kaolin kili dünyada bol ve doğal olarak bulunan bir mineraldir. İyi bağlama kabiliyetinden, yüksek beyazlığından, iyi elektriksel yalıtım özelliğinden ve termal stabilitesinden dolayı kaolin kili son birkaç yıldır birçok endüstriyel proses için gerekli bir malzeme olmuştur [18]. Kaolin kauçuk, plastik, kağıt, seramik ve kozmetik gibi materyalleri üretmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır [19]. Ucuz olmasından, bol bulunmasından, toksik olmamasından ve iyon değiştirme potansiyelinden dolayı kil minerallerin kullanımı popüler olmaktadır. Sepolit [14, 15], kaolinit [11], montmorillonit [16], smektit, bentonit ve zeolit [17] kil mineralleri ile boyaların giderimi konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu kil mineralleri yapısal ve yüzey özelliklerinin çeşitliliğinden, yüksek kimyasal stabilitelerinden, yüksek spesifik yüzey alanından ve yüksek adsorpsiyon kapasitelerinden dolayı ilgi görmektedir [7].

Bu çalışmada, atıksulardan boya gideriminde aktif karbona alternatif olarak ucuz, etkili ve çevre dostu adsorbent olarak kaolinin kullanımı araştırılmıştır. Çalışmanın amacı sulu çözeltilerden Remazol Brilliant Green 6B boyarmadde gideriminde adsorbent olarak kaolin kil mineralinin adsorpsiyon kapasitesini değerlendirmektir. Çalışmada başlangıç boya konsantrasyonunun, adsorbent dozajının, pH ve sıcaklık parametrelerinin kaolin kil mineralinin adsorpsiyon kapasitesini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kaolin

Çalışmada Remazol Brilliant Green 6B gideriminde adsorbent olarak kaolin kullanılmıştır. Kaolin 200 mesh'lik elek kullanılarak elenmiş ve elekten geçen kaolin 24 saat süre ile 80 °C'de sabit tartıma gelene kadar etüvde kurutulmuş ve adsorpsiyon deneylerinde kullanılabilecek kadar desikatörde muhafaza edilmiştir.

2.2. Remazol Brilliant Green 6B

Çalışmada adsorbat olarak kullanılan Remazol Brilliant Green 6B (Color Index ismi: Reactive Blue 38) bir tekstil firmasından temin edilmiştir. Distile su kullanılarak 1000 mg/L'lik stok boya çözeltisi hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan çalışma çözeltileri stok çözeltinin uygun şekilde seyreltilmesinden hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH'sı pH metre (Thermo Scientific Orion Star A111) kullanılarak seyreltik sülfürik asit veya sodyum hidroksit çözeltilerinin ilavesiyle ayarlanmıştır.

Remazol Brilliant Green 6B çözeltisinin absorbens değeri 420 nm'den 700 nm'e kadar farklı dalga boylarında ölçülmüştür. 620 nm dalga boyunda Remazol Brilliant Green 6B çözeltisinin maksimum absorbens değeri elde edilmiş ve çalışmada tüm absorbens değerleri 620 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

2.3. Adsorpsiyon Deneyleri

Kesikli adsorpsiyon deneyleri Gallenkamp marka sıcaklık kontrollü orbital çalkalayıcıda 160 rpm karıştırma hızında yürütülmüştür. Adsorpsiyon deneyleri, 250 mL'lik cam erlenlerde 100 mL'lik çalışma hacminde gerçekleştirilmiştir. Belirli zaman aralıklarında alınan numuneleri kaolinden ayırmak için numuneler Nüve NF 800R Model santrifüjde 4000 rpm hızında 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonra çözeltinin absorbens değeri Perkin Elmer Lambda 25 Model UV-Vis Spektrofotometre ile 620 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Adsorpsiyon süresi 180 dakika olarak belirlenmiştir.

2.4. Analitik Metot

Bilinen konsantrasyonlara sahip standart boya çözeltisi kullanılarak bir kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Adsorpsiyon deneylerinde UV-Vis Spektrofotometre kullanılarak maksimum absorbens dalga boyunda (620 nm) boya çözeltinin absorbens değeri ölçülmüş ve kalibrasyon eğrisi kullanılarak boya konsantrasyonu belirlenmiştir.

Denge süresinde kaolinin birim ağırlığı başına adsorblanan boya miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

burada C_0 başlangıç boya konsantrasyonu (mg/L), C_e denge süresinde boya konsantrasyonu (mg/L), V çözelti hacmi (L) ve M kaolin miktarıdır (g).

Boya giderim verimi aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır:

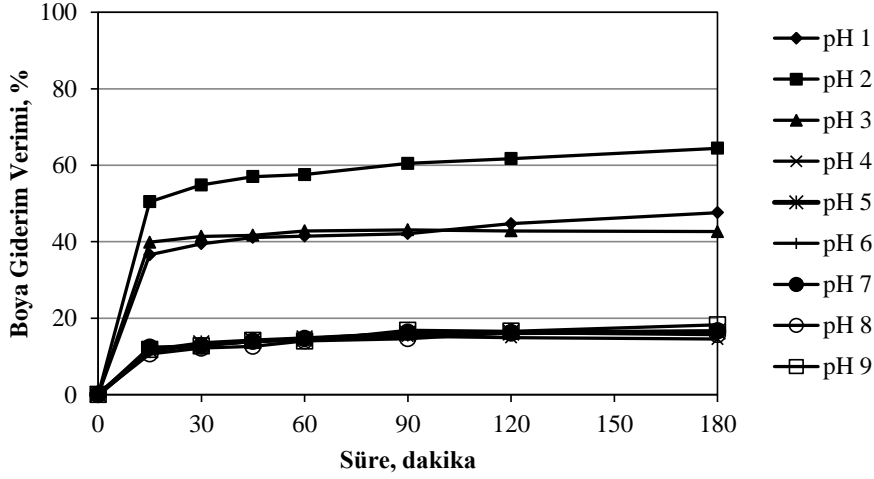
$$Giderim\ verimi\ (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

burada C_t herhangi bir t süresindeki boya konsantrasyonudur (mg/L).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çözelti pH'ının Etkisi

Boya çözeltilisinin başlangıç pH'sı adsorpsiyon proseslerini özellikle adsorpsiyon kapasitesini kontrol eden önemli bir parametredir. Çözelti pH'sı adsorbent yüzey yükünü, adsorptif molekülün iyonlaşma derecesini ve adsorbent aktif bölgelerindeki fonksiyonel grupların ayrışma boyutunu değiştirmektedir [20]. Boya giderim verimi üzerine çözelti pH'sının etkisini belirlemek için 25 °C sabit sıcaklık ve 5 g/L sabit adsorbent miktarında 1'den 9'a kadar değişen farklı pH'larda gerçekleştirilmiştir. Değişen pH aralığında elde edilen giderim verimleri Şekil 1'de verilmiştir.

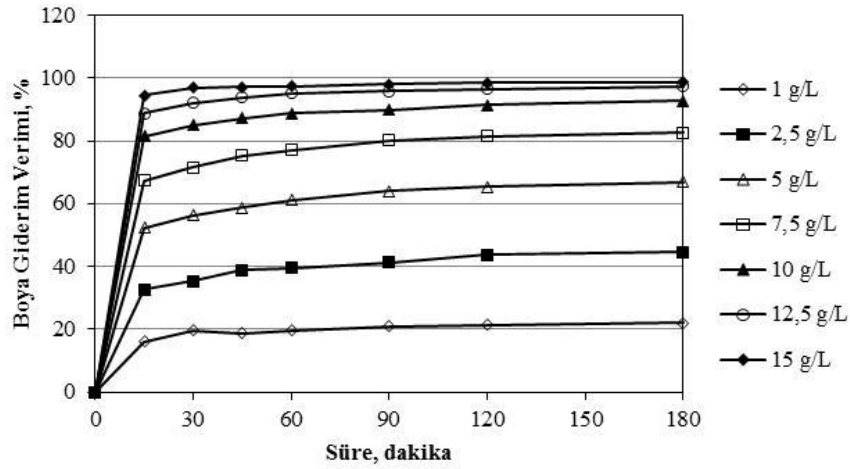


Şekil 1. Başlangıç pH'sının boya giderimi üzerine etkisi (Boya konsantrasyonu: 50 mg/L, adsorbent dozu: 5 g/L, sıcaklık:25 °C, karıştırma hızı:160 rpm)

Şekil 1'den de görüldüğü üzere en düşük giderim verimleri 4'den 9'a kadar olan pH aralığında gözlemlenmiştir. Kaolin üzerine Remazol Brilliant Green 6B'nin adsorpsiyonu ilk 15 dakikada hızlı gerçekleşmiş ve bu süreden sonra adsorpsiyon yavaşlamıştır. En yüksek giderim verimi pH:2'de 180 dakika temas süresinin sonunda %64 olarak elde edilmiştir. pH: 2 optimum pH olarak seçilmiş ve sonraki adsorpsiyon deneyleri pH: 2'de yürütülmüştür.

3.2. Adsorbent Dozunun Etkisi

Boya giderim verimi üzerinde adsorbent etkisi 1 g/L'den 15 g/L'e kadar değişen kaolin dozları kullanılarak araştırılmıştır. Boya giderim verimi üzerine adsorbent dozunun etkisini belirlemek için pH:2'de, 25 °C sıcaklıkta ve 50 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda 1 g/L'den 15 g/L'e kadar değişen yedi farklı kaolin dozunda yürütülmüştür. Farklı kaolin dozlarında elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. 180 dakika temas süresinin sonunda 1 g/L kaolin dozunda %22 giderim verimi sağlanırken 10 g/L ve 15 g/L kaolin dozajında giderim verimi sırasıyla %97 ve %99 olarak elde edilmiştir. Adsorbent dozu 1 g/L'den 10 g/L'e kadar arttığında adsorpsiyon artmıştır. Bu adsorptif artış, daha yüksek adsorbent dozu ile sağlanan daha büyük yüzey alanına ve daha fazla adsorpsiyon bölgelerine bağlanılmaktadır. Kaolin dozu 10 g/L'den 15 g/L'e artırıldığında giderim veriminde kayda değer bir fark gözlemlenmemiştir. Çözeltideki boyanın büyük çoğunluğu kaolin üzerine adsorplandığı için bundan sonra adsorbent dozundaki artış giderim veriminde kayda değer bir artışa neden olmamıştır. 10 g/L ve 15 mg/L kaolin dozu ile elde edilen giderim verimleri arasında kayda değer fark olmadığından dolayı 10 g/L kaolin sonraki deneyler için uygun doz olarak seçilmiştir.

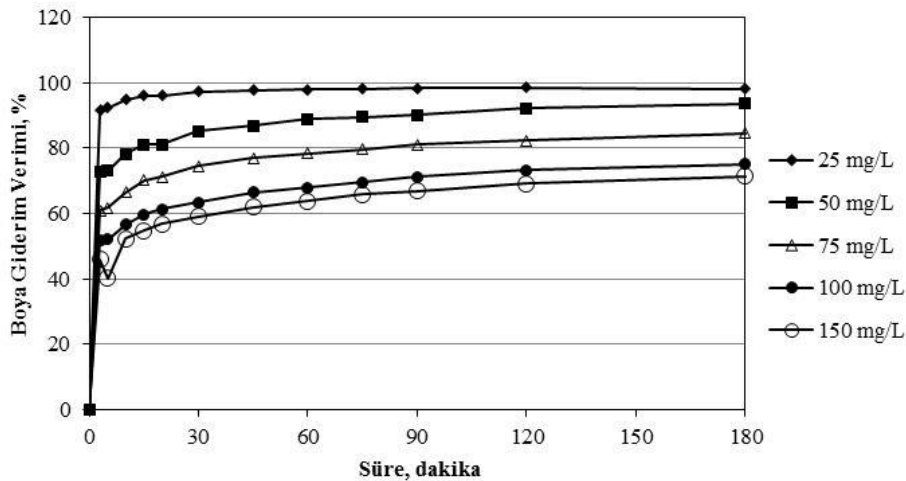


Şekil 2. Adsorbent dozunun boya giderimi üzerine etkisi (Boya konsantrasyonu: 50 mg/L, pH: 2, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 160 rpm)

3.3. Başlangıç Boya Konsantrasyonunun Etkisi

Bilindiği üzere başlangıç konsantrasyonu, sulu faz ve katı faz arasında boyanın kütle taşınım dirençlerinin üstesinden gelecek önemli bir sürücü kuvvet sağlamaktadır. Bu nedenle boyanın daha yüksek başlangıç konsantrasyonu adsorpsiyon kapasitesini artıracaktır [21].

Şekil 3'den görüldüğü üzere boya konsantrasyonu 25'den 150 mg/L'e kadar arttığında, adsorpsiyon verimi %98'den %71'e kadar azalmıştır. Düşük boya konsantrasyonunda giderim verimi adsorbent yüzeyinde işgal edilmemiş mevcut bağlanma alanlarının mevcudiyetinden dolayı daha yüksektir. Ancak boya giderim verimi, daha yüksek boya konsantrasyonlarında adsorbentin bağlanma alanlarının yaklaşık olarak tamamen kaplanmasından dolayı artan boya konsantrasyonu ile azalmıştır [21].



Şekil 3. Başlangıç boya konsantrasyonunun boya giderimi üzerine etkisi (pH: 2, adsorbent dozu: 10 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 160 rpm)

Remazol Brilliant Green 6B'nin adsorpsiyon kapasitesi üzerinde başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi Çizelge 1'de verilmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonu adsorbent ve adsorpsiyon ortamı arasında kütle transfer dirençlerin üstesinden gelecek yüksek sürücü bir kuvvet sağladığı için başlangıç boya konsantrasyonunun artışı adsorpsiyon kapasitesinde artışa neden olmaktadır [22]. Bu nedenle çalışılan tüm sıcaklıklarda daha yüksek konsantrasyonlarda daha yüksek adsorpsiyon kapasiteleri elde edilmiştir. Örneğin 25 °C'de başlangıç boya konsantrasyonu 25 mg/L'den 150 mg/L'e kadar arttırıldığında kaolinin adsorpsiyon kapasitesi 2,35 mg/g'dan 9,60 mg/g'a yükselmiştir.

3.4. Çözelti Sıcaklığının Etkisi

Kaolin ile Remazol Brilliant Green 6B giderim verimi üzerinde sıcaklığın etkisi değişen başlangıç boya konsantrasyonlarında 25-55 °C sıcaklık aralığında araştırılmıştır. Çizelge 1'den de görüldüğü üzere 25 mg/L ve 50 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda 25 °C, 40 °C ve 55 °C sıcaklıkta giderim verimleri hemen hemen aynı olarak elde edilmiştir. 75 mg/L, 100 mg/L ve 150 mg/L başlangıç boya konsantrasyonlarında sıcaklık 25 °C'den 40 °C'e yükseltildiğinde giderim verimlerinde az bir artış gözlenmiştir. 40 °C'den 55 °C'e yükseltildiğinde ise giderim verimi hemen hemen aynı elde edilmiştir.

Çizelge 1. Farklı başlangıç boya konsantrasyonları ve sıcaklıkta denge adsorpsiyon kapasiteleri ve adsorpsiyon verimleri

C ₀ (mg/L)	25 °C		40 °C		55 °C	
	q _e (mg/g)	Adsorpsiyon (%)	q _e (mg/g)	Adsorpsiyon (%)	q _e (mg/g)	Adsorpsiyon (%)
25	2.35	98.2	2.35	98.2	2.32	97.8
50	4.40	93.6	4.40	93.6	4.36	92.6
75	5.89	84.5	6.04	86.7	5.96	84.9
100	6.90	75.1	7.42	80.8	7.34	79.6
150	9.60	71.3	10.01	74.4	9.99	73.6

3.5. Adsorpsiyon İzotermeleri

Adsorpsiyon izotermeleri, adsorpsiyon prosesi denge durumuna ulaştığında sıvı faz ve katı faz arasında adsorbat moleküllerinin nasıl dağıldığını tanımlamada önemlidir. Adsorpsiyon izotermelerinin deneysel dalarını tanımlamak için çeşitli matematiksel modeller kullanılabilir [23]. Bu çalışmada kaolin üzerine Remazol Brilliant Green 6B'nin adsorpsiyonunu tanımlamak için Langmuir model ve Freundlich model kullanılmıştır.

Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermeleri su ve atıksu uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Teorik bir model olan Langmuir adsorpsiyon izotermi yüzeydeki tüm merkezlerin aynı olduğu, adsorplanmış moleküllerin kendi aralarında etkileşmediği, yüzeylerin homojen olduğu ve adsorpsiyonun tek tabaka halinde gerçekleştiği kabulüne dayanmaktadır [24].

Langmuir eşitliği, Eşitlik (3) ile verilmektedir [25].

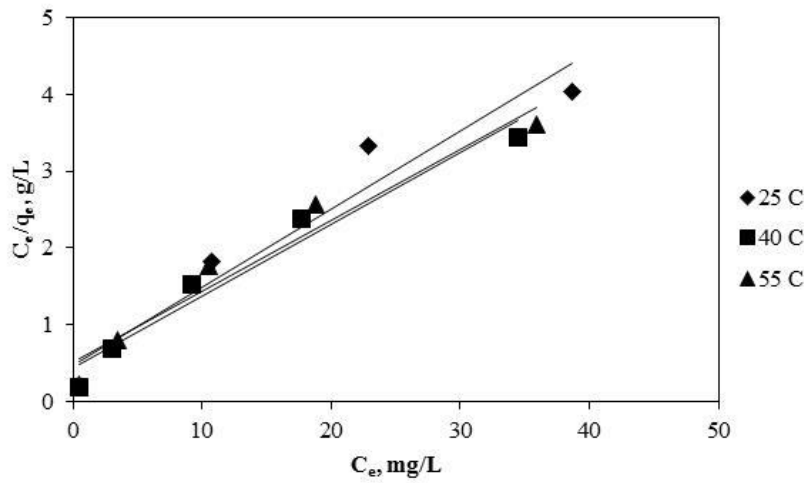
$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'in lineer formu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} \times C_e + \frac{1}{K_L q_{\max}} \quad (4)$$

burada q_e dengede kaolin birim ağırlığı başına adsorplanmış Remazol Brilliant Green 6B miktarı (mg/g), C_e dengede çözeltide adsorplanmamış Remazol Brilliant Green 6B miktarı (mg/L), K_L adsorpsiyon enerjisi ile ilgili Langmuir izoterm sabiti (L/mg), q_{\max} kaolin birim ağırlığı başına Remazol Brilliant Green 6B'nin maksimum miktarıdır (mg/g).

Remazol Brilliant Green 6B'nin kaolin üzerine adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir adsorpsiyon izotermi Şekil 4'te verilmiştir. Grafiğin eğim ve kesim noktasından sırasıyla q_{\max} ve K_L sabitleri hesaplanmıştır. Remazol Brilliant Green 6B adsorpsiyonu için Langmuir adsorpsiyon izotermine ait sabitler ve korelasyon katsayıları Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 4. Remazol Brilliant Green 6B'nin lineerleştirilmiş Langmuir adsorpsiyon izotermi

Langmuir parametreleri, adsorpsiyon prosesinin uygun olup olmadığını belirlemek için de kullanılabilir. Bunun için R_L , Eşitlik (5) ile hesaplanabilir.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (5)$$

Burada K_L Langmuir sabiti (L/mg) ve C_0 başlangıç boya konsantrasyonudur (mg/L). R_L değeri adsorpsiyon prosesinin karakteristiğini aşağıdaki şekilde ifade etmektedir [5, 26]:

- ✓ $R_L > 1$ ise uygun değil
- ✓ $R_L = 1$ ise lineer
- ✓ $0 < R_L < 1$ ise uygun
- ✓ $R_L = 0$ ise tersinmez

Başlangıç boyarmadde konsantrasyonlarına göre hesaplanan R_L değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. R_L değerinin 0 ile 1 arasında olması kaolin ile Remazol Brilliant Green 6B için adsorpsiyon prosesinin uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Başlangıç boyarmadde konsantrasyonlarına göre R_L değerleri

C_o (mg/L)	R_L
25	0.155
50	0.084
75	0.058
100	0.044
150	0.030

Freundlich model heterojenli yüzeyler üzerinde çok tabakalı adsorpsiyonu tanımlamaktadır. Bu model bağlanma alanlarının eşit olmadığını ve bağımsız olmadığını ileri sürmektedir. Bu izoterm aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir [25]:

$$q_e = K_F \times C_e^{1/n} \quad (6)$$

Eşitlik (6)'nın lineerleştirilmiş formu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \times \ln C_e + \ln K_F \quad (7)$$

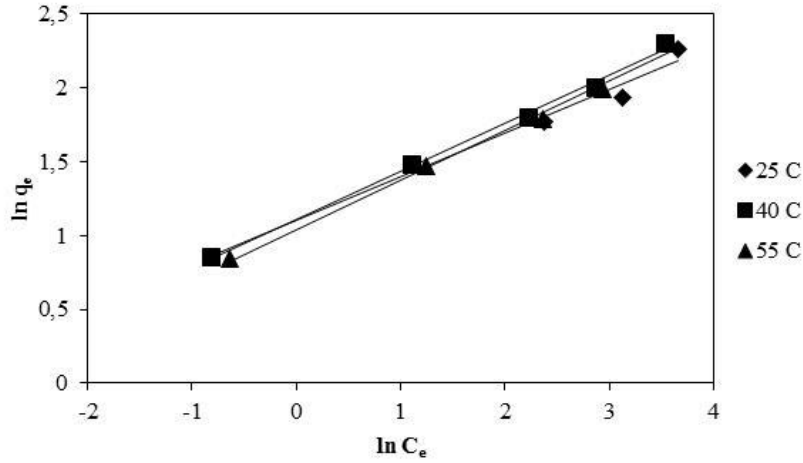
Burada K_F ve n sırasıyla adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon şiddeti ile ilgili Freundlich sabitleridir.

Remazol Brilliant Green 6B'nin kaolin üzerine adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 5'te verilmiştir. $\ln C_e$ karşı $\ln q_e$ 'nin lineer grafiğinin eğim ve kesim noktasından sırasıyla n ve K_F sabitleri belirlenmiştir. Remazol Brilliant Green 6B adsorpsiyonu için Freundlich adsorpsiyon izotermine ait sabitler ve korelasyon katsayıları da Çizelge 3'de verilmiştir.

K_F 'nin daha büyük değerleri adsorpsiyonun daha büyük adsorpsiyon kapasitesini göstermektedir. n adsorbentün boya alım kapasitesi ve adsorplanmamış boya konsantrasyonu arasında non-lineerlik derecesini gösteren heterojenlik derecesi ile değişen amprik bir parametredir. Adsorbent yüzeyi üzerinde bağlanan iyonların dağılımı ile ilgilidir. Genelde $n > 1$ ise adsorbentün adsorbent üzerine uygun bir şekilde adsorplandığını göstermektedir. n değeri ne kadar yüksek olursa adsorpsiyon şiddeti o kadar kuvvetli olmaktadır [21]. Çizelge 3'de görüldüğü üzere mevcut çalışmada n değeri 1'den daha büyüktür. Bu, adsorpsiyon prosesinin uygun olduğunu göstermektedir. Sonuçlar hem Langmuir hem de Freundlich izotermine uymaktadır. Ancak Freundlich izotermine korelasyon katsayısı Langmuir izoterm değerinden daha büyük olduğu için deney sonuçları Freundlich izotermine daha fazla uyum göstermektedir.

Çizelge 3. Kaolin üzerine Remazol Brilliant Green 6B adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich izotermilerin sabitleri

T (°C)	Langmuir model			Freundlich model		
	q_{max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F (mg/g)(L/mg) ^{1/n}	n	R^2
25	9.823	0.2178	0.9454	3.023	3.407	0.9828
40	10.718	0.2142	0.9605	3.042	3.096	0.9961
55	10.787	0.1826	0.9526	2.830	2.974	0.9944



Şekil 5. Remazol Brilliant Green 6B'nin lineerleştirilmiş Freundlich adsorpsiyon izotermi

4. Sonuç

Kaolin ile Remazol Brilliant Green 6B'nin giderim performansı farklı pH, kaolin dozu ve boya konsantrasyonlarında araştırılmıştır. Sonuçlar adsorpsiyonun daha çok pH'a bağlı olduğunu göstermiştir. Optimum pH:2 ve optimum kaolin dozu 10 g/L olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarından elde edilen verilerle adsorpsiyonun Freundlich izotermine daha uygun olduğu belirlenmiştir. Aktif karbona alternatif olarak ucuz, etkili ve çevre dostu adsorbent olan kaolin, Remazol Brilliant Green 6B gideriminde etkin bir şekilde kullanılabilir.

Kaynaklar

- [1] Eren E, Cubuk O, Ciftci H, Eren B, Çağlar B. Adsorption of basic dye from aqueous solutions by modified sepiolite: equilibrium, kinetics and thermodynamics study. *Desalination* 2010; 252(1-3):88-96.
- [2] DíazGómez-Treviño AP, Martínez-Miranda V, Solache-Ríos M. Removal of remazol yellow from aqueous solutions by unmodified and stabilized iron modified clay. *Applied Clay Science* 2013; 80-81:219-225.
- [3] Yavuz Ö, Saka C. Surface modification with cold plasma application on kaolin and its effects on the adsorption of methylene blue. *Applied Clay Science* 2013; 85:96-102.
- [4] Rahman A, Urabe T, Kishimoto N. Color removal of reactive procion dyes by clay adsorbents. *Procedia Environmental Sciences* 2013; 17:270-278.
- [5] Yagub MT, Sen TK, Afroze S, Ang HM. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances in Colloid and Interface Science* 2014; 209:172-184.
- [6] Meroufel B, Benali O, Benyahia M, Benmoussa Y, Zenasni MA. Adsorptive removal of anionic dye from aqueous solutions by algerian kaolin: characteristics, isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Material Environmental Science* 2013; 4(3):482-491.
- [7] Vimonses V, Lei S, Jin B, Chow CWK, Saint C. Kinetic study and equilibrium isotherm analysis of congo red adsorption by clay materials. *Chemical Engineering Journal* 2009; 148:354-364.
- [8] Reddy MCS, Sivaramakrishna L, Reddy AV. The use of an agricultural waste material, jujuba seeds for the removal of anionic dye (congo red) from aqueous medium. *Journal of Hazardous Materials* 2012; 203-204:118-127.

- [9] Hassani A, Alidokht L, Khataee AR, Karaca S. Optimization of comparative removal of two structurally different basic dyes using coal as a low-cost and available adsorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2014; 45:1597-1607.
- [10] Gupta GS, Prasad G, Singh VN. Removal of chrome dye from aqueous solutions by mixed adsorbents: fly ash and coal, *Water Research* 1990; 24(1):45-50.
- [11] Karaoğlu MH, Doğan M, Alkan M. Kinetic analysis of reactive blue 221 adsorption on kaolinite. *Desalination* 2010; 256:154-165.
- [12] Doğan M, Alkan M. Removal of methyl violet from aqueous solution by perlite. *Journal of Colloid and Interface Science* 2003; 267(1):32-41.
- [13] Doğan M, Alkan M. Adsorption kinetics of methyl violet onto perlite. *Chemosphere* 2003; 50(4):517-528.
- [14] Doğan M, Özdemir Y, Alkan M. Adsorption kinetics and mechanism of cationic methyl violet and methylene blue dyes onto sepiolite, *Dyes and Pigments* 2007; 75:701-713.
- [15] Alkan M, Demirbaş Ö, Doğan M. Adsorption kinetics and thermodynamics of an anionic dye onto sepiolite. *Microporous and Mesoporous Materials* 2007; 101:388-396.
- [16] Teng MY, Lin SH. Removal of methyl orange dye from water onto raw and acid activated montmorillonite in fixed beds, *Desalination* 2006; 201:71-81.
- [17] Wang S, Zhu ZH. Characterisation and environmental application of an Australian natural zeolite for basic dye removal from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials* 2006; B136:946-952.
- [18] Deng L, Shi Z. Synthesis and characterization of a novel Mg–Al hydrotalcite-loaded kaolin clay and its adsorption properties for phosphate in aqueous solution. *Journal of Alloys and Compounds* 2015; 637:188-196.
- [19] Gao Z, Li X, Wu H, Zhao S, Deligeer W, Asuha S. Magnetic modification of acid-activated kaolin: synthesis, characterization, and adsorptive properties. *Microporous and Mesoporous Materials* 2015; 202:1-7.
- [20] Nandi BK, Goswami A, Purkait MK. Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science* 2009; 42:583-590.
- [21] Tunç O, Tanacı H, Aksu Z. Potential use of cotton plant wastes for the removal of Remazol Black B reactive dye. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 163:187–198.
- [22] Dursun AY., Tepe O, Dursun G. Use of carbonised beet pulp carbon for removal of Remazol Turquoise Blue-G 133 from aqueous solution. *Environmental Science Pollution Research* 2013; 20:431-442.
- [23] Meziti C, Boukerroui A. Removal of a basic textile dye from aqueous solution by adsorption on regenerated clay. *Procedia Engineering* 2012; 33:303-312.
- [24] Eren Z, Acar FN. Uçucu kül ile reaktif boya giderimi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2004; 10(2):253-258.
- [25] Smith JM. *Chemical engineering kinetics*, 3rd edn. McGraw-Hill, Singapore: 1981.
- [26] Cengiz S, Tanrikulu F, Aksu S. An alternative source of adsorbent for the removal of dyes from textile waters: *Posidonia Oceanica* (L.). *Chemical Engineering Journal* 2012; 189-190:32-40.