

UÇUCU KÜL ADSORPSİYONU İLE REAKTİF BOYA GİDERİMİ

Zeynep EREN, Filiz Nuran ACAR

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 25240/Erzurum

Geliş Tarihi : 06.06.2003

ÖZET

Uçucu külün sulu çözeltideki reaktif Chemactive D Black N'i adsorplama etkinliği adsorbent dozunun ve başlangıç boyar madde konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Adsorpsiyon verilen Freundlich izotermine oranla Langmuir izotermine daha iyi uyum göstermiştir. Adsorpsiyon kapasitesi ortamın doğal başlangıç pH'inde (pH = 5.40) $Q^0 = 6.75$ mg/g'dır. Boyar madde giderim oranı 5, 10, 25, 50 ve 100 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında sırasıyla; % 100, % 98, % 98, % 82.5, % 66.31 olmuştur.

Anahtar Kelimeler : Uçucu kül, Boyar madde giderimi, Adsorpsiyon izotermi

REMOVAL OF REACTIVE DYE WITH FLY ASH ADSORPTION

ABSTRACT

The effectiveness of fly ash in adsorbing Chemactive D Black N from aqueous solutions has been studied as a function adsorbent dosage and initial dye concentration. The Langmuir adsorption isotherm were found more suitable than Freundlich isotherm. The adsorption capacity Q^0 was 6.75 mg/g at natural initial pH (pH = 5.40). The removal ratio of dye respectively founded % 100, % 98, % 98, % 82.5, % 66.31 at 5, 10, 25, 50 and 100 mg/L initial dye concentration.

Key Words : Fly ash, Dye removal, Adsorption isotherms

1. GİRİŞ

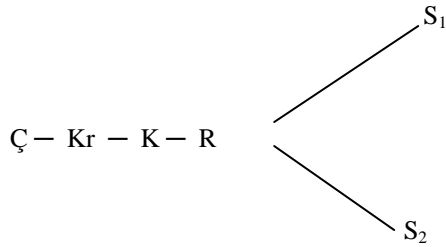
Tekstil endüstrisi Türkiye'nin toplam ihracatı içinde yaklaşık % 25 paya sahiptir ve ihracatta sürekli artış kaydetmektedir. Tekstil sektöründeki hızlı gelişmeler önemli çevre kirliliği problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle ihracata yönelik üretim yapan firmalara ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemi Belgesi alma zorunluluğu getirilmiştir. Son yıllarda buna ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi de eklenmiştir. Böylece yalnızca ihraç edilen tekstil ürünlerinin değil, üretimin de çevreye uyumlu olması ağırlık kazanmıştır. Tekstil endüstrisi biyolojik ya da kimyasal olarak kolay artılmayan, önemli oranda bileşik içeren yüksek

miktarlarda atıksu üretir (Perez et al., 2002). Tekstil endüstrisi üretim bazında pamuklu tekstil, yünlü tekstil ve sentetik tekstil sanayi şeklinde sınıflandırılır. Ancak bu sınıflandırma, atıksu arıtımı açısından yeterli olamamaktadır. Bundan dolayı tekstil endüstrisi, hammaddeler, üretim işlemleri, ürünler, su kullanımı ve atıksu özellikleri gibi kriterler dikkate alınarak daha ayrıntılı alt kategorilere ayrılmıştır (Yılmaz ve ark., 1999). Son yıllarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki tekstil endüstrisinde kullanılan kompleks organik bileşiklerden oluşan boyar maddelerin yaklaşık % 12'si proses uygulamalarında ve imalat sırasında kaybolmaktadır. (Arslan ve ark., 2000). Tekstil endüstrisi atık sularının içerdiği boyarmaddeler alıcı ortamlardaki ışık geçirgenliğini azaltarak bu

ortamlardaki bitkilerin fotosentez hızlarını ve dolayısıyla doğal yoldan oksijen üretimini düşürürler. Boyarmaddeler belirli konsantrasyonların üstünde olduğunda, suda yaşayan canlıların zehirlenmesine neden olurlar. Boyar maddeler aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Mishra and Tripathy, 1993):

- Anyonik : Direkt, asit ve reaktif boyalar
- Katyonik : Bazik boyalar
- Noniyonik : Dispers boyalar

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler arasında en çok problem yaratan grup reaktif boyar maddelerdir (Karcher et al., 2001). Reaktif boyar maddeler, suda çok yüksek oranda çözünürlüğe sahip olduklarından son yıllarda tekstil endüstrisindeki kullanımları artmıştır. Çok parlak renklere sahip reaktif boyar maddeler basit molekül yapılarının sonucu, spektrumlarında çok dar ve şiddetli pikler görülür (Civelek, 2003). Bir reaktif boyar maddenin yapısı aşağıdaki gibidir:



Burada;

- Ç : Çözünürlük sağlayan grup,
- Kr : Kromofor grup,
- K : Köprü grup,
- R : Reaktif grup,
- S₁ : Yer değiştirme reaksiyonu sırasında yer değiştiren grup,
- S₂ : Diğer gruplardır.

Reaktif boyar maddeler çevreye olan zararlı etkileri ve arttırılmış atıksularının endüstride yeniden kullanılabilmesi için tam bir arıtımın sağlanması şarttır (Karcher et al., 2001). Tekstil atıksularındaki reaktif azo boyaların konsantrasyonları 5-1500 mg/L arasında değişim gösterir (Gottlieb et al., 2003). Suda çok iyi çözümlüklerinden dolayı reaktif boyar maddeler belirli adsorbentlere karşı çok az ilgi gösterirler (Arslan ve ark., 2000). Ayrıca reaktif boyar maddelerin % 70'i azo boyar maddeler olduğundan aerobik şartlarda biyolojik arıtım da zayıf olmaktadır. Azo boyar maddeler içeren atıksular toksik ve kanserojen etkiye sahip olduğu için ayrı ve ileri bir arıtımla arıtılıp daha sonra klasik arıtma sistemine verilmesi gerekir (İnce ve Tezcanlı, 2001). Boyar maddeler düşük konsantrasyonlarda bile su hayatını ve besin ağını etkilerler. Boya

moleküllerindeki organik yapılar ve boyar maddenin kararlılığı, alıştırılmış fizikokimyasal ve biyolojik arıtım metotlarının etkisiz kalmasına neden olmuştur. Adsorpsiyon prosesi boyar madde uzaklaştırmada etkili yöntemlerden biridir. Tam bir boyar madde giderimi sağlamada diğer metotlardan daha avantajlıdır (Malik, 2003). Son yıllarda farklı ve alternatif adsorplayıcı maddeler kullanılarak atıksulardan çeşitli organik maddeler ve renk giderilmeye çalışılmıştır. Bunlardan bazıları; bu çalışmada da kullanılan uçucu kül (Banerjee et al., 1997), ağaç materyaller (McKay and Poots, 1980), kil (Gupta et al., 1992), aktifleştirilmiş çamur (Xiaojian et al., 1991; Kapdan ve Kargı, 2000), portakal kabuğu (Sivaraj et al., 2001), elma posası ve buğday samanı (Robinson et al., 2001), hurma ağacı özü (Nassar and Magdy, 1997) gibi çeşitli bitki özleri (Namasivayam and Kanchana, 1993), biosorbentler (Wu et al., 2001) ve daha bir çok özel adsorplayıcı maddelerdir. Bazı araştırmalarda, bu materyallerin bir veya bir kaç bir arada kullanılarak en etkin adsorplayıcı madde belirlenmeye çalışılmıştır. Uçucu külün boyar maddeyi uzaklaştırması üzerine yapılmış çalışmalarda, uçucu külün boyar madde için etkin bir adsorplayıcı olduğu belirlenmiştir. Sentetik olarak hazırlanmış boya çözeltilerinin uçucu kül ile arıtıldığı bir çalışmada uçucu külün kireç içeriğinin boyar maddeyi gidermede etkin olduğu bulunmuş ve uçucu külün tanecik boyutunun düşmesiyle daha yüksek bir giderim verimi sağlandığı tespit edilmiştir (Ramakrishna and Viraraghavan, 1998).

Bu çalışmada ise Soma-Tunçbilek Termik santralinden alınan uçucu kül ile reaktif Chemactive D Black N boyar maddesi adsorpsiyonla giderilmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül Soma-Tunçbilek Termik Santralinden temin edilmiştir. Quantasorb Yüzey Alan Analizatörü (Model QS-17) ile ölçülen uçucu külün BET yüzey alanı 5.35 m²g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Ana içeriği SiO₂ ve Al₂O₃ olan uçucu kül CaO, Fe₂O₃, C, S'de içermektedir. Sentetik çözeltinin hazırlanmasında kullanılan reaktif boyar madde Chemactive D Black N bir tekstil firmasından temin edilmiştir. Reaktif boyar madde saf suda çözülerek 1000 mg/L derişimde stok çözelti hazırlanmış ve istenilen derişimlerde boya çözeltileri stok çözeltinin seyreltilmesi ile elde edilmiştir. Adsorpsiyon denemeleri kesikli olarak yürütülmüştür. Çalışmalar 100 ml'lik çalışma hacmine sahip, 250 ml'lik şilifli erlenlerin kullanıldığı sabit sıcaklık ve karıştırma hızlarında

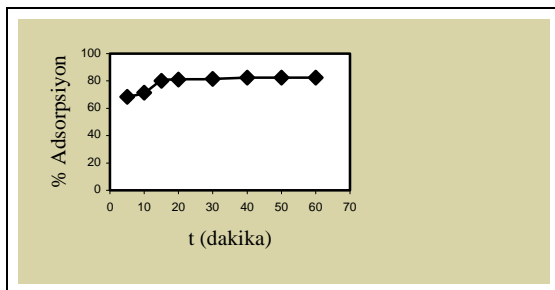
çalışabilen Thermolyn ROSI 1000 marka çalkalayıcıda gerçekleştirilmiştir. İşlem 200 rpm karıştırma hızında ve oda sıcaklığında (20 °C) yürütülmüştür. Deneyler 60 dakikalık adsorpsiyon süresinde ve doğal pH'da (pH = 5.40) gerçekleştirilmiştir. Belirli periyotlarda sulu çözeltilerden alınan numuneler Whatman GF/A filtresi kullanılarak süzölmüştür. Süzöntüdeki boyar madde konsantrasyonu UV-Spektrofotometrede (Shimadzu-160A) maksimum absorbans dalga boyunda ölçölmüştür. Chemactive D Black N için λ_{max} 600 nm'dir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, tekstil atıksularında bulunan Chemactive D Black N reaktif boyar maddesi termik santrallerden çıkan bir atık olan uçucu kül kullanılarak giderilmiştir ve uçucu külün boyar maddeyi adsorplama kapasitesi ölçölmüştür. Adsorpsiyon denemelerinde boyar maddenin sulu ortamdan gideriminde adsorpsiyonun reaksiyon süresi, başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve adsorplayıcı madde dozu ile değişimi incelenmiştir. Deneysel sonuçların Langmuir ve Freundlich izotermine uygunluğu araştırılmıştır.

3. 1. Çalışma Süresinin Etkisi

Chemactive D Black N'in uçucu kül üzerine adsorpsiyonunda sürenin etkisini araştırmak ve adsorpsiyon kapasitesinin en yüksek seviyede bulunduğu alıkonma süresinin belirlemek amacıyla 60 dakika süreyle denemeler yapılmıştır ve yapılan denemelerde adsorpsiyonun yaklaşık olarak 40. dakikadan itibaren dengeye ulaştığı ve bu denge 60. dakikaya kadar devam ettiği daha sonra desorpsiyona geçişin olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle adsorpsiyon deneylerinde çalışma süresi 60 dakika olarak seçilmiştir (Şekil 1).

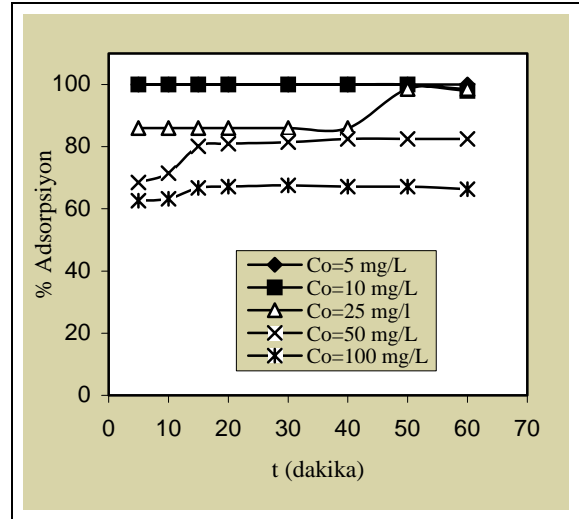


Şekil 1. Zamana karşı adsorpsiyon prosesinin veriminin incelenmesi ve çalışma süresinin belirlenmesi (Chemactive D Black N için Co = 50 mg/L, Soma uçucu külü için M = 10 g/L)

3. 2. Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi

Deneylerde başlangıç boyar madde konsantrasyonunun adsorpsiyon prosesi üzerindeki etkisini belirlemek için, reaktif boyar madde Chemactive D Black N'den 5, 10, 25, 50 ve 100 mg/L başlangıç konsantrasyonlarında numuneler hazırlanmıştır. 60 dakikalık alıkonma süresince belirli zaman aralıklarında numuneler alınarak boyar madde konsantrasyonları ölçölmüştür.

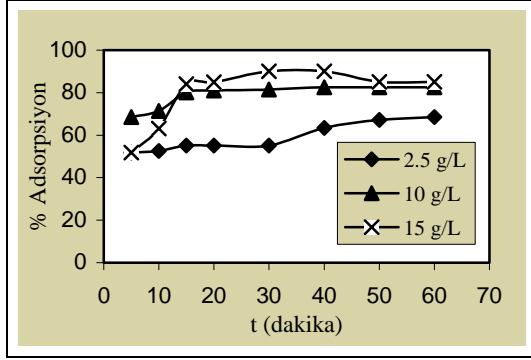
Başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerindeki etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden göröldüğü gibi boyar maddenin konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon verimi azalmıştır. Boyar madde konsantrasyonu 5 mg/L'den 100 mg/L'ye çıktığında, adsorpsiyon verimi % 100'den % 66.3'e düşmüştür.



Şekil 2. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun adsorpsiyon verimi üzerine etkisi (Chemactive D Black N için Co = 50 mg/L, Soma uçucu külü için M = 10 g/L)

3. 3. Uçucu Kül Dozunun Etkisi

Uçucu kül dozunun adsorpsiyona etkisini belirlemek için 50 mg/L başlangıç Chemactive D Black N konsantrasyonunda, 20 °C'de ve ortamın doğal pH'ında 2.5 g/L'den 15 g/L'ye kadar farklı dozlarda çalışmalar yapılmıştır. Farklı adsorpsiyon dozlarında Chemactive D Black N'nin adsorpsiyon verimi Şekil 3'de verilmiştir. Uçucu kül dozu 2.5 g/L'de verim % 68.46, 10 g/L'de % 82.5 ve 15 g/L'de % 85.1 dir. Uçucu kül miktarını 10 g/L'den 15 g/L'ye çıktığında verim çok artmadığı için fazla çamur oluşmasını engellemek amacıyla sonraki çalışmalarda uçucu kül dozu 10 g/L seçilmiştir.



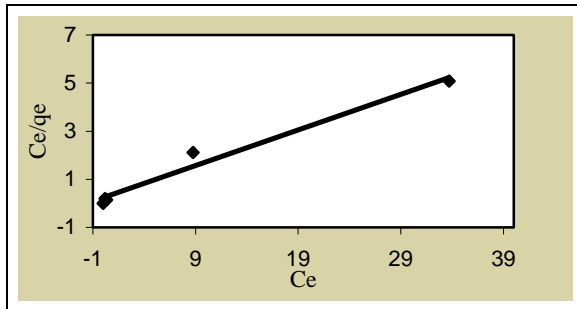
Şekil 3. Uçucu kül dozunun etkisi, Chemactive D Black N için $C_o = 50$ mg/L

3. 4. Adsorpsiyon İzotermi

Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi su ve atıksu uygulamalarında yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Langmuir adsorpsiyon izotermi teorik bir model olup yüzeydeki tüm merkezlerin aynı olduğu, adsorplanmış moleküllerin kendi aralarında etkileşmediği, yüzeylerin homojen olduğu ve adsorpsiyonun tek tabaka halinde gerçekleştiği kabulüne dayanır. Langmuir adsorpsiyon modeline ait eşitlik aşağıda verilmiştir (1).

$$q_e = Q^o b C_e / (1 + b C_e) \quad (1)$$

q_e (mg/g), adsorplayıcının birim ağırlığı başına adsorpladığı madde miktarını, C_e (mg/L), dengede çözeltideki adsorplanmadan kalan boyar madde miktarını, Q^o , yüzeyde tek tabaka oluşturmak için adsorplayıcının birim ağırlığını tamamen doyurmaya yetecek adsorplanan madde miktarını, b (L/mg), adsorplanmış yerlerin etkinliği ile ilgili bir sabiti göstermektedir. Chemactive D Black N'in uçucu kül üzerine adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir adsorpsiyon izotermi Şekil 4'de verilmiştir. Grafiğin eğim ve kesim noktasından Q^o ve b sabitleri hesaplanmıştır.



Şekil 4. Chemactive D Black N'in adsorpsiyonu için Langmuir izotermi, uçucu kül için $M = 10$ g/L, Chemactive D Black N için $C_o = 50$ mg/L

Langmuir adsorpsiyon izotermine ait sabitler (Q^o , b ve R^2) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Langmuir İzotermine Ait Sabitler

Q^o (mg/g)	b (L/mg)	R^2
6.75	0.64	0.98

10 g/L adsorplayıcı madde dozunda değişik başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında birim adsorplayıcı madde başına adsorplanan boyar madde miktarı ($q_e = X/M$) belirlenmiştir. Elde edilen değerler sırasıyla 5, 10, 25, 50 ve 100 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonları için 0.50, 0.98, 2.46, 4.12 ve 6.63 mg/g'dır. Langmuir izoterminden elde edilen Q^o değeri 6.75 mg/g'dır. Q^o değerinin farklı başlangıç konsantrasyonlarından elde edilen q_e değerlerinden yüksek çıkması boyar maddenin uçucu kül üzerine tek tabakalı bağlandığını da bir göstergesidir.

Langmuir izotermine esas sabiti boyutsuz denge parametresi olarak tanımlanan R_L 'dir ve aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (2):

$$R_L = 1 / (1 + b C_o) \quad (2)$$

b (L/mg), Langmuir sabiti, C_o (mg/L), başlangıç boyar madde konsantrasyonunu ifade eder. Bulunan R_L değeri 0 ile 1 arasında olması iyi bir adsorpsiyonun ifadesidir. R_L izoterm tipini aşağıdaki şekilde ifade eder:

R_L değeri	izoterm tipi
$R_L > 1$	uygun değil
$R_L = 1$	lineer
$0 < R_L < 1$	uygun
$R_L = 0$	geri dönüşümlü

Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarına göre hesaplanan R_L değerleri Tablo 2'de verilmiştir. R_L değerlerinin 0 ile 1 arasında çıkması çalışılan bütün konsantrasyonlarda Chemactive D Black N için iyi bir adsorpsiyonun olduğunu göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonlarına Göre R_L Değerleri

C_o (mg/L)	R_L
5	0.238
10	0.135
25	0.059
50	0.030
100	0.015

Langmuir izoterminden elde edilen Q^o sabitinden adsorpsiyon serbest entalpisi de hesaplanmıştır. Adsorpsiyon kendiliğinden yürüyen bir olay

olduğundan adsorpsiyon serbest entalpisinin $\Delta G < 0$ olması gerekir. Bu serbest entalpi değişimi aşağıdaki eşitlik (3) ile açıklanabilir (Gürses ve Bayrakçeken, 1996).

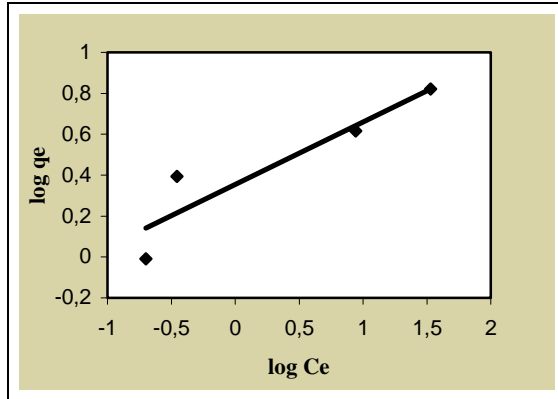
$$\Delta G = -RT \ln K \quad (3)$$

Bu denklemde R gaz sabiti, T (°K) sıcaklık ve K adsorpsiyon denge sabitidir. Denge sabiti olarak Langmuir izoterminden elde edilen $Q^\circ = 6.75$ mg/g değerine göre adsorpsiyon serbest entalpsi $\Delta G = -4.652$ kJ/mol olarak hesaplanmıştır. $Q^\circ > 1$ olması boyar maddenin uçucu kül yüzeyine elektrostatik etki vasıtasıyla adsorplandığını; adsorpsiyon serbest entalpisinin negatif değeri de olayın kendi kendine gerçekleştiğinin bir göstergesidir.

Deney sonuçlarının incelenmesinde kullanılan bir diğer izoterm de Freundlich izotermidir. Bu izoterm çözünen madde konsantrasyonunun sınırlı olduğu değerlerde adsorpsiyonu açıklamaktadır. Heterojen yüzeylerin adsorpsiyonu için tanımlanan Freundlich izotermine ait eşitlik ise aşağıda verilmiştir (4):

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

K_F ve n Freundlich izotermi belirleyen sabitlerdir. K_F adsorpsiyon kapasitesini ve n adsorpsiyon şiddetini ifade eder. Uçucu küle Chemactive D Black N adsorpsiyonundan elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Chemactive D Black N’in adsorpsiyonu için Freundlich izotermi, uçucu kül için $M = 10$ g/L, Chemactive D Black N için $C_0 = 50$ mg/L

Tablo 3’de ise Freundlich izotermine ait sabitler verilmiştir. Bu sabitlerden n grafiğin eğim noktasından, K_F grafiğin kesim noktasından hesaplanmıştır.

Tablo 3. Freundlich İzoterm Sabitleri

K_F	n	R^2
2.26	3.28	0.86

n değerinin 1 ile 10 arasında olması iyi bir adsorpsiyonun göstergesidir (Treybal, 1980). Bu deneyde bulunan n değeri 3.28 ise bu aralıkta olması, iyi bir adsorpsiyon olduğunun ifadesidir. Deney sonuçlarının her iki izoterm modeline uygun olduğu ancak korelasyon katsayıları dikkate alındığında Langmuir modelinin Freundlich modelinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

4. SONUÇ

- Bu çalışmada reaktif bir boyar madde olan Chemactive D Black N içeren sulu çözeltiden uçucu kül ile renk giderimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- Bu şekilde tekstil endüstrisi atıklarının içerdiği boyar maddeler, başka bir endüstri atığı olan uçucu kül kullanılarak arıtmaya çalışılmıştır ve adsorplayıcının boyar maddeyi adsorplama kapasitesi ölçülmüştür.
- Deney sonuçlarının Freundlich izoterm oranla Langmuir izotermine daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuçların Langmuir modeline daha iyi uyduğu belirlenmiştir.
- Sonuç olarak uçucu külün boyar maddeyi etkin bir şekilde adsorpladığı görülmüştür. Uçucu kül, ortamın doğal pH’sinde (5.40) 5 mg/L başlangıç konsantrasyonundaki boyar maddeyi % 100 arıtma kapasitesine sahip olmuştur.

5. KAYNAKLAR

- Arslan, I., Balcioğlu, I. A. and Bahnemann, D.W. 2000. Advanced Chemical Oxidation of Reactive Dyes In Simulated Dyehouse Effluents by Ferrioxalate-Fenton/UV-A and $TiO_2/UV-A$ Processes. *Dyes and Pigments* 47, 207-218.
- Banerjee, K., Cheremisinoff, P. N. and Cheng, S. L. 1997. Adsorption Kinetics of o-xylene by flyash. *Wat. Res.*, 31, No: 2, 249-261.
- Civelek, H. 2003. Ders Notları. Uluslar Arası Türkmen Türk Üniversitesi. www.ittu.edu.tr. Acces date, 03.06.2003.
- Gottlieb, A., Shaw, C., Smith, A., Wheatley, A. and Forsythe, S. 2003. The Toxicity of Textile Reactive Azo Dyes After Hydrolysis and Decolourisation. *Journal of Biotechnology*, 101, 49-56.

- Gupta, G. S., Singh, A. K., Tyagi, B. S., Prasad, Y. and Singh, V. N. 1992. Treatment of Carpet And Metallic Effluents By China Clay. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 55, 277-283.
- Gürses, A. ve Bayrakçeken, S. 1996. Deneysel Fizikokimya. Kültür ve Eğitim Vakfı Yayınları.
- İnce, N. H. and Tezcanlı, G. 2001. Reactive Dyestuff Degradation by Combined Sonolysis and Ozonation. *Dyes and Pigments* 49, 145-153.
- Kapdan, İ. K. ve Kargı, F. 2000. Tekstil Boyar Maddeleri İçeren Atık Suların Aktif Çamur Ünitesinde Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtımı. 1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, 71-78.
- Karcher, S., Kornmüller, A. and Jekel, M. 2001. Screening of Commercial Sorbents For The Removal of Reactive Dyes. *Dyes and Pigments*, 51, 111-125.
- Malik, P. K. 2003. Use of Activated Carbons Prepared From Sawdust and Rice-Husk For Adsorption of Acid Dyes: A Case Study of Acid Yellow 36. *Dyes and Pigments*, 56, 239-249.
- McKay, G. and Poots, V. J. P. 1980. Kinetics and Diffusion Processes in Colour Removal From Effluent Using Wood as an Adsorbent. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 30, 279- 292.
- Mishra, G. and Tripathy, M. 1993. A Critical Review of The Treatment For Decolorization of Dye Wastewater. *Biotechnol. Adv.* 9, 613-622.
- Namasivayam, C. and Kanchana, N. 1993. Removal of Congo Red From Aqueous Solutions By Waste Banana Pith. *Pertanika J. Sci.Technol.*, 1, 32-42.
- Nassar, M. M. and Magdy, Y. H. 1997. Removal of Different Basic Dyes From Aqueous Solutions by Adsorption on Palm-Fruit Bunch Particles. *Chemical Engineering Journal*, 66, 223-226.
- Perez, M., Torrades, F., Domenech, X. and Peral, J., 2002. Fenton and photo-Fenton Oxidation of Textile Effluents. *Water Research*, 36, 2703-2710.
- Ramakrishna, K.R. and Viraraghavan, T. 1998. Dye Removal Using Low Cost Adsorbents. *Water Science Technology*, 36, 2-3, 189-196.
- Robinson, T., Chandran, B. and Nigam, P. 2001. Removal of Dyes From a Synthetic Textile Dye Effluent by Biosorption on Apple Pomace and Wheat Straw. *Water Research*.
- Sivaraj, R., Namasivayam, C. and Kadirvelu. K. 2001. Orange Peel as an Adsorbent in the Removal of Acid Violet 17 (Acid Dye) From Aqueous Solutions. *Waste Management*, 21, 105-110.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations*. 3rd Ed. New York. Mc Graw Hill.
- Wu, F. C., Tseng, R. L. and Juang, R. S. 2001. Kinetic Modeling of Liquid-phase Adsorption of Reactive Dyes and Metal Ions on Chitosan. *Wat.Res.*, 35, No: 3, Water, 613-618.
- Xiaojian, Z., Zhansheng, W. and Xasheng, G. 1991. Simple Combination of Biodegradation and Adsorption: The Mechanism of the Biological Activated Carbon Process. *Wat. Res.*, 25/2, 165-172.
- Yılmaz, T., Başbüyük, M. and Yüceer, A. 1999. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılmasına Alt Kategoriler Bazında Yaklaşılması. 1. Ulusal Çukurova Tekstil Kongresi Üçtek'99.