

Sonokatalitik Oksidasyon ile Direct Blue 71 Azo Boyasının Renk Giderimi

Neşe ERTUGAY¹ Filiz Nuran ACAR²

ÖZET:Bu çalışmada azo grubuna ait Direct Blue 71 (DB71) boyar maddesinin ileri arıtım proses (İOP) yöntemlerinden olan ultrases (US) ile 20 kHz frekansta aktif karbon ve t-butanol ilave edilerek renk giderimi araştırılmıştır. Yalnız ultrases ile yapılan çalışmalarda yeterli verim elde edilememiştir. İlave edilen aktif karbon ile 100 mg L⁻¹ DB71 boyar maddesi için % 78.1, t-butanol ilavesi ile 50 mg L⁻¹ DB71 için ise % 48.4 renk giderim verimleri elde edilmiştir. DB71 boyar maddesi için yapılan hibrit çalışmada ise H₂O₂ ilave edilerek karşılaştırmalı deneyler yapılmıştır. Bunun sonucunda ise 100 mg L⁻¹ DB71 boyar maddesi için en yüksek renk giderimi US/AC/H₂O₂ kombinasyonunda % 81.9 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ultrases ile DB71 boyar maddesinin renk gideriminde aktif karbonun t-butanol'a göre daha etkili bir katalizör olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ultrases, renk giderimi, direct blue 71



Decolorization of Direct Blue 71 Azo Dye with Sonocatalytic Oxidation

ABSTRACT: In the study, degradation of Direct Blue 71 (DB71) belonging to azo dyestuff category by ultrasound (US) which is one of the advanced oxidation processes (AOP) accompanied by activated carbon and t-butanol was investigated at 20 kHz frequency. Sufficient decolorization could not be obtained with ultrasound alone. The color removal yields obtained by activated carbon for 100 mg L⁻¹ DB71 dyestuffs and by t-butanol for 50 mg L⁻¹ DB71 were 78.1% and 48.4%, respectively. In the hybrid study, the comparative experiments were carried out by addition H₂O₂ for DB71 dyestuff, and the highest color removal was 81.9% by US/AC/H₂O₂ combination for DB71 dyestuff concentration of 100 mg L⁻¹. Consequently, it was found that activated carbon was more effective catalyst than t-butanol in decolorization of DB71 dyestuff with ultrasound.

Keywords: Ultrasound, decolorization, direct blue 71

¹ Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Neşe ERTUGAY, nertugay@atauni.edu.tr

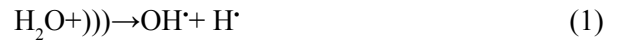
GİRİŞ

Günümüzde yılda 700.000 ile 1.000.000 ton arasında tahmini olarak üretilen 100.000' den fazla ticari boya vardır ve endüstride kullanılan boyaların % 50 sindenfazlası azo boyasıdır (Xu et al., 2004; Gupta and Suhas 2009). İki nitrojen (-N=N-) atomundan ibaret olan bir azo gruba sahip olan azo boyları, tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların en geniş sınıfıdır (Al-Hamadi et al., 2009). Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan azo boyları toksik ve biyolojik olarak parçalanamadıklarından dolayı çevre için zararlıdır (Gül and Özcan-Yıldırım, 2009). Aşırı miktarda renk ve toksisite özelliği gösteren bu atıksular uygun metotlarla arıtılmadığı takdirde deşarjı, ciddi çevresel problemlere neden olmaktadır (Gönder ve Barlas, 2005; Hanay ve Hasar, 2007; Ferreira-Leitao et al., 2007; Behnajady et al., 2009). Özellikle toksik olmalarından dolayı ağız ve solunum yoluyla deri ve cilt problemlerine neden olmakla birlikte, kanserojenik etkiye sahip oldukları için sadece insan sağlığına değil aynı zamanda ekolojik sisteme ve özellikle suda yaşayan canlılara karşı büyük risksler oluşturmaktadır (Xu et al., 2004; Gupta and Suhas, 2009).

Boyar maddelerin sentetik kökenli olması ve karmaşık aromatik yapılar içermesi, boyların kararlı yapıda olmasını sağlamakta ve bundan dolayı biyolojik ve fizikokimyasal arıtma prosesleri ile arıtılması zorlaşmaktadır. Eğer yeteri kadar arıtılamazlarsa, bu tür kimyasal maddeleri içeren atıksular sadece kentsel kanalizasyon sistemlerinin ya da ikincil arıtma ünitelerinin performansının azalmasına neden olmakla kalmaz, alıcı ortamdaki sucul yaşamın olumsuz yönde etkilenmesine ve estetik açıdan problemlerin oluşmasına da neden olurlar. Bunun gibi bir çok zararlı etkilerinden dolayı boyların giderilmesi için renkli atık suların bir işleme tabi tutulması önemlidir. Atıksulardan boyların giderilmesi için bir çok metot çalışılmıştır (Birgül ve ark., 2007).

Boyar maddelerin gideriminde kullanılan ozonlama, kimyasal indirgeme-oksidasyon, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon gibi yöntemler etkin olmalarına karşın yüksek maliyet, zararlı yan ürünlerin oluşumu ve fazla enerji gereksinimi gibi dezavantajlara sahiptir. İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP), toksik ve kalıcı özellikteki organik maddeleri hiçbir ayırım yapmadan zararsız son ürünlere dönüştürebilmektedir. Se-

cici olmayan ve hızlı bir şekilde su ortamındaki organik kirliliği okside eden $\cdot\text{OH}$ gibi reaktif türlerin (Eşitlik 1) oluşumuna dayanan İOP; US; US/ H_2O_2 ; US/ TiO_2 , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (Fenton prosesi), UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (Foto-Fenton prosesi) gibi değişik modifikasyonlarda uygulanabilmektedir (Gül ve Özcan-Yıldırım, 2009). Son zamanlarda ultrasonik yöntemlerle boyların giderim çalışmaları önem kazanmaya başlamış olup tek başına kullanılabildiği gibi, çeşitli kimyasal maddeler ile birlikte de uygulanabilmektedir (Tunç, 2008; Güyer and Ince, 2011).



Yüksek enerjili ses dalgaları bir sıvı içinden geçtikleri zaman baloncuk veya kavitasyon oluştururlar. Ultrases işlemi, sıvı içinde hava kabarcıklarının oluşumu ile sonuçlanan mekanik etkidir. Kısaca kavitasyon, ses dalgalarının oluşturduğu kabarcıkların, çok büyük miktarlarda enerji açığa çıkararak oluşması, büyümesi ve çökmesidir. Bu esnada ise oluşan reaktif türleri ($\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{H}$, $\cdot\text{HO}_2$, H_2O_2) radikal zincir reaksiyonlarını başlatmaktadır. 18 kHz' in üzerindeki frekanslardaki ultrases kısa dalga boylu basınç dalgalarına yol açmaktadır. Bu işlem kirlilik faktörlerinin etkisizleştirilmesinde temel etken olan akustik kavitasyon (yüksek enerjili kabarcık oluşumu ve çökmesi) sonucu oluşan fiziksel etkiler ve pirolitik şartlardan meydana gelmektedir (Suslick, 1990; Thompson and Doraiswamy, 1999).

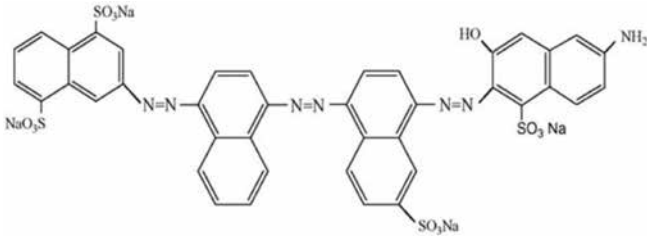
Ultrases ile, sudaki organik bileşiklerin mineralizasyonu tek başına yeterli olmadığı için parçalanma hızını artırabilecek madde ilavesi, $\cdot\text{OH}$ radikal oluşumunu artırır. Bu çalışmada da ultrasesin etkisini artırmak amacıyla 20 kHz'lik ultrases cihazı kullanılarak aktif karbon ve t-butanol ilavesi ile DB71 boya maddesinin renk giderimi sağlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

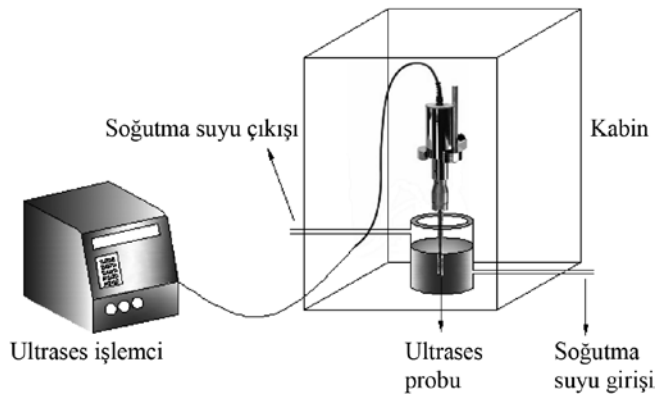
Direct Blue 71 ($\text{C}_{40}\text{H}_{23}\text{N}_7\text{Na}_4\text{O}_{13}\text{S}_4$) kumaş, selüloz, polyester, ipek, deri ve kağıt boyama gibi çeşitli uygulama alanları olan azo grubu bir boyar maddedir. DB71 boyar maddesinin kimyasal yapısı Şekil 1' de özellikleri ise Çizelge 1' de gösterilmiştir. Boyar maddenin stok çözeltisi destile su kullanılarak 1000 mg L^{-1} konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Çalışmalarda istenilen pH aralığı

% 10' luk H_2SO_4 (Merck) ve 0.1 M NaOH (Merck) çözeltileri hazırlanarak sağlanmıştır. Aktif karbon Merck kalitesindedir. Yine Merck kalitesinde olan t-butanol (tersiyer butil alkol ($C_4H_{10}O$)) molekül ağırlığı 74.12 g mol⁻¹, yoğunluğu 0.77 kg L⁻¹ olup oda sıcaklığında katı haldedir.

Ultrases oksidasyonu çalışmaları için 20 kHz, 750 W (Cole Parmer Ultrasonic Processor) prob tipli ultrases cihazı kullanılmıştır. % 90 amplitude, güç seviyesi (Watt) Powmet-230 Power Meter kullanılarak 95 Watt olarak ölçülmüştür. İstenilen konsantrasyonda hazırlanan boyar madde çözeltisi, uygun pH ayarı yapıldıktan sonra soğuk su ceketli reaktöre konulmuştur. Ultrases cihazının probu su içerisine 3 cm daldırılmıştır. Etkinliği araştırılacak katalizör veya katalizörler ilave edilerek cihaz çalıştırılmıştır. Belirlenen deney süresi sırasında belli aralıklarla numune alınarak 0.45mm membran filtreden geçirilerek (UV-160A Shimadzu) spektrofotometrik olarak renk analizleri yapılmıştır. Deney sırasında sıcaklığın sabit tutulması sağlanmıştır. Ayrıca sistem, gürültüyü kısmi olarak önleyici kabin içinde kurulmuştur.



Şekil 1. DB71 boyar maddesinin moleküler yapısı (Saienand Soleymani, 2007)



Şekil 2. US oksidasyonu deney düzeneği

DB71 boyar maddesinin Ultrases ile arıtımı için yapılan oksidasyon çalışmalarındaki deney düzeneği Şekil 2' de verilmiştir.

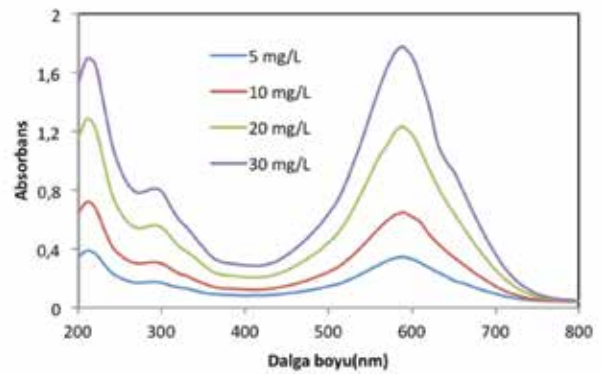
DB71 azo boyar maddesinin 200-800 nm dalga boylarında absorpsiyon taramaları yapılarak maksimum absorpsiyon değerleri tespit edilmiştir. $\lambda=200-400$ nm arasındaki absorpsiyon ölçümleri ile belirlenen maksimum dalga boyu aromatikliği, $\lambda=400-800$ nm arasındaki absorpsiyon ölçümlerinde belirlenen maksimum dalga boyu ise görünür bölgeyi temsil etmektedir. Renk ölçümleri, yapılan spektrum analizi sonucunda görünür bölgede belirlenen 587 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda yapılan spektrum analizi grafiği Şekil 3' de verilmiştir. Bu boyar madde için UV bölgesinde belirlenen maksimum pikler ise 210 ve 290 nm olarak bulunmuştur.

BULGULAR VE TARTIŞMA

DB71' in ultrasonik parçalanmasına aktif karbonun etkisi: Partikül ilavesinin etkisini araştırmak için

Çizelge 1. Direct Blue 71' in genel özellikleri

Sağlayıcı firma	Aldrich
Sınıfı	Three azo boyar madde
Color İndeks Adı	Direct Blue 71
Kimyasal formülü	$C_{40}H_{23}N_7Na_4O_{13}S_4$
Molekül ağırlığı	1029.9 g mol ⁻¹
λ_{max}	587 nm, 290 nm, 210 nm



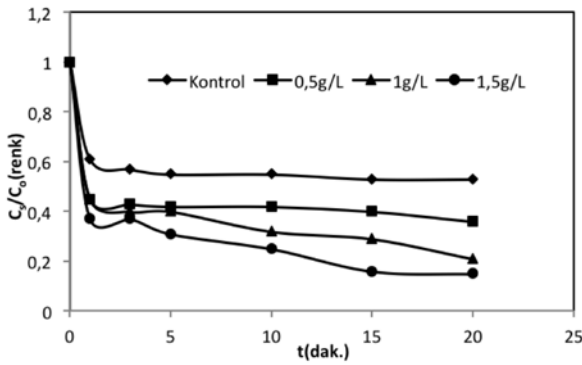
Şekil 3. DB71 boyar maddesi için spektrum analizi

öncelikle Şekil 4’ den de görüldüğü gibi ultrasesin tek başına etkisi araştırılmıştır. Ultrasesin etkisini artırmak için aktif karbon ilave edilmiştir (Edecan, 2006). Aktif karbonun optimum değerini belirlemek için 0,5, 1 ve 1,5 g L⁻¹ dozajlarındaki denemelerin sonucu Şekil 4’ de görüldüğü gibi artan aktif karbon miktarı ile renk giderimi yükselmiştir. 0,5, 1 ve 1,5 g L⁻¹’lık aktif karbon dozajlarındaki renk giderim verimleri sırasıyla % 63,3, % 78,1 ve % 85 olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni ilave edilen aktif karbon ile hem ‘OH radikallerinin hem de kaviteasyon baloncuklarının artmasıdır (Dai et al., 2006).

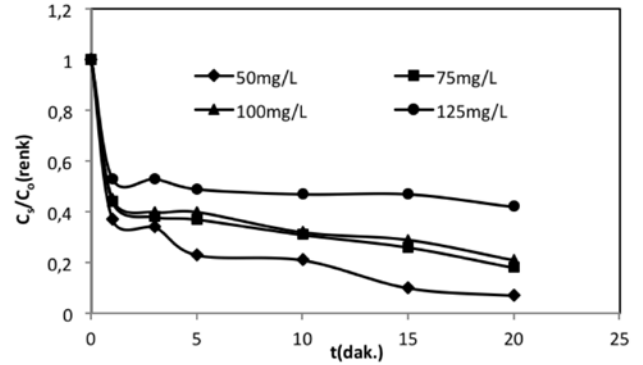
Ultrases üzerine etkili parametrelerden biri olan pH’nın optimum değerini belirlemek için aktif karbonun optimum değeri ile yapılan ultrases çalışmasında pH 5,5 (doğal pH), 2,5 ve 2,0 değerleri denenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5’ de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada giderim verimleri sırasıyla % 27,4, % 61 ve % 78,1 olarak hesaplanmış ve optimum pH değeri 2,0 olarak seçilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki DB71

boyar maddesinin renk giderimine ultrasesin etkisi asidik şartlarda daha yüksektir. Bu hızlanma muhtemelen asidik ortamdane negatif yüklü -SO₃- gruplarının protonlaşması ve ultrases sonucu hidrofobik karakterde elde edilen molekülün tepkimeyi artırması ile ilişkililabilir (Vajnhandl and Le Marechal, 2007).

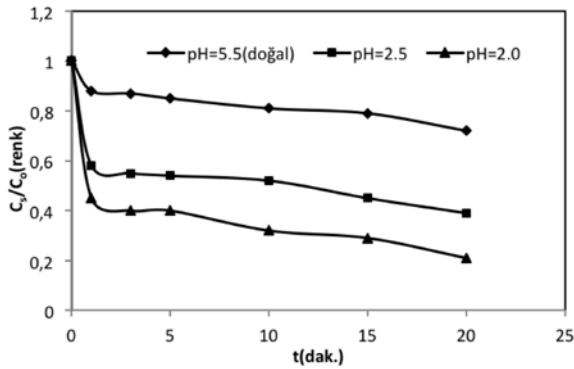
Ultrases üzerine aktif karbon etkisini boya konsantrasyonu üzerinden değerlendirdiğimizde artan boya madde konsantrasyonu ile verim düşmüş fakat giderilen renk miktarı artmıştır. Bu durum, ileri oksidasyon proseslerin özelliklerinden biridir. Boya konsantrasyonunun artması ile azo boya molekülleri ile ‘OH radikalleri arasındaki reaksiyon azalmaktadır. Buna ilaveten ‘OH radikalleri ile özellikle etkileşim halinde olan bütün moleküllerin spesifik olmayan oksidasyonu, ‘OH radikallerinin tükenmesine ve yan reaksiyonların oluşmasına yol açabilir (Zhang et al., 2009). 50, 75, 100 ve 125 mg L⁻¹ boya madde konsantrasyonlarında renk giderim verimleri sırasıyla % 92,5, % 82, % 78,1 ve % 57,5 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).



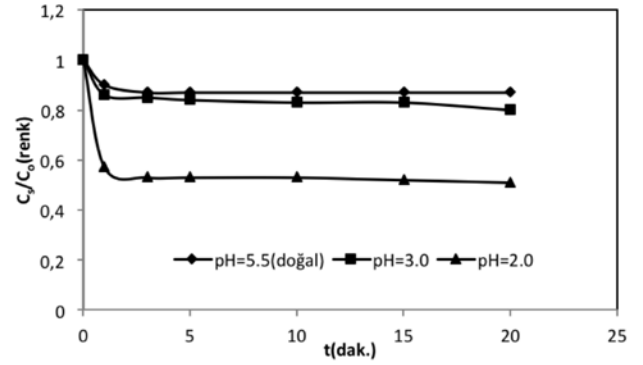
Şekil 4. DB71’ in ultrasonik parçalanmasına aktif karbonun etkisi (C₀=100 mg L⁻¹, pH=2,0, 95 W, T=20 °C, t=20 dak.)



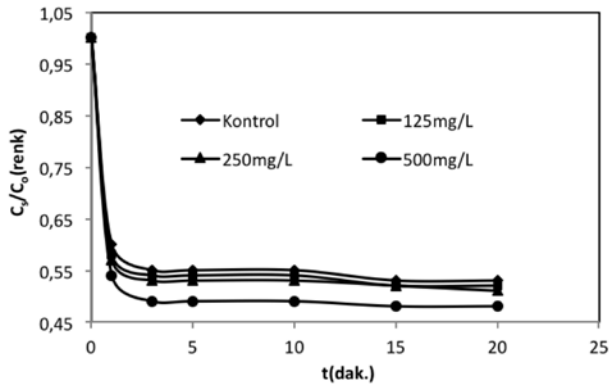
Şekil 6. DB71’ in ultrasonik parçalanmasına boya madde konsantrasyonunun etkisi (aktif karbon=1g L⁻¹, pH=2,0, 95 W, T=20 °C, t=20 dak.)



Şekil 5. DB71’ in ultrasonik parçalanmasına pH’nın etkisi (C₀=100 mg L⁻¹, aktif karbon=1 g L⁻¹, 95 W, T=20 °C, t=20 dak.)



Şekil 7. DB71’ in ultrasonik parçalanmasına pH’nın etkisi (C₀=50 mg L⁻¹, t-butanol= 250 mg L⁻¹, 95 W, T=20 °C, t=20 dak.)



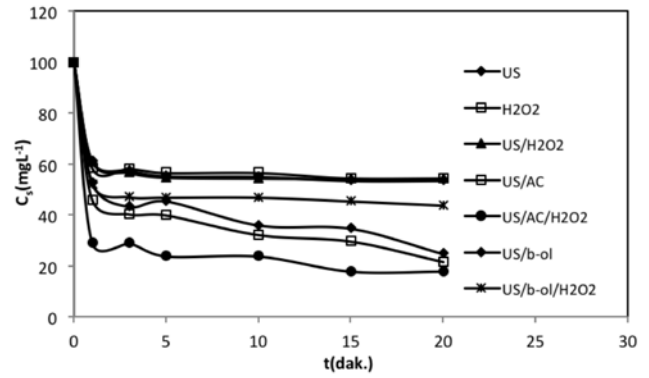
Şekil 8. DB71' in ultrasonik parçalanmasına t-butanol' un etkisi ($C_0=50 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{pH}=2.0$, 95 W , $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t=20 \text{ dak.}$)

DB71'in Ultrasonik Parçalanmasına Tersiyer Butil Alkolün (t-butanol) Etkisi: Şekil 7' de DB71' in butil alkol ile ultrasonik parçalanmasına pH' nın etkisi 5.5 (doğal pH), 3.0, ve 2.0 pH değerlerinde araştırılmıştır. Yapılan denemelerde yine en iyi giderim en düşük pH' da gözlenmiştir. DB71 boyar maddesi katyonik durum içinde olduğu bileşimlerde çok düşük pH değerlerinde hidrofilitik karakterdedir ve parçalanma oranı en düşük pH değerlerinde en yüksektir (Merouani et al., 2010). Renk giderim verimleri sırası ile % 12.8, % 20 ve % 48.4 olarak bulunmuştur.

DB71' in ultrasonik gideriminde 125, 250 ve 500 mg L^{-1} farklı butanol konsantrasyonlarında denemeler yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 8' de verilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda t-butanol konsantrasyonunun artmasıyla verim artmıştır. Elde edilen verimler sırası ile % 46, % 48.4 ve % 51.7 olarak bulunmuştur. Bu artış, boya molekülleri ile reaksiyona giren oksitleyici maddeler sayesinde oluşan kavitasyon baloncuklarındaki pirolitik bölünmeden kaynaklanmaktadır (Merouani et al., 2010).

Çalışmanın bu son kısmında, DB71 boyar maddesinin sonokatalitik parçalanabilirliğini incelemek için 20 kHz ultrasesve H_2O_2 varlığında ve yokluğunda aktif karbon (AC) ve t-butanol (b-ol) ilave edilerek kalan boyar madde miktarları karşılaştırılarak incelenmiştir. Şekil 9' dan görüldüğü gibi tek başına US, H_2O_2 , US/ H_2O_2 uygulamaları ile yeterli giderim elde edilememiştir.

İlave edilen AC daha etkili bir renk giderimi göstermiştir. US/AC kombinasyonunda renk giderim verimi % 78.1 iken US/AC/ H_2O_2 kombinasyonunda % 81.9' a yükselmiştir. US/t-butanol çalışmasında ise ve-



Şekil 9. DB71' in heterojen US oksidasyonu sonucu kalan boyar madde konsantrasyonu ($C_0=100 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{AC}=1 \text{ g L}^{-1}$, t-butanol= 250 mg L^{-1} , $\text{H}_2\text{O}_2=75 \text{ mg L}^{-1}$, $\text{pH}=2.0$, $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t=20 \text{ dak.}$, 95 W)

rim % 75 iken H_2O_2 ilavesi ile verim % 56.1'e düşmüştür. H_2O_2 , t-butanol ile yapılan çalışmada oksidasyon kapasitesini düşürmüştür. Fazla miktardaki H_2O_2 daha az reaktif radikallerin üretimine (HO_2^\cdot gibi) veya güçlü $^\cdot\text{OH}$ radikallerinin tüketimine neden olmaktadır. Diğer taraftan düşük H_2O_2 konsantrasyonunun da ise yetersiz $^\cdot\text{OH}$ radikalleri oluşmaktadır. Bu yüzden optimum H_2O_2 konsantrasyonunu belirlemek çok önemlidir (Elmorsi et al., 2010).

SONUÇ

DB71 boyar maddesinin 20 kHz % 90 dalga genliğinde US ile artırılabilirliğini incelemek ve etkinliğini artırmak üzere 100 mg L^{-1} boyar madde konsantrasyonunda ve 1 g L^{-1} aktif karbon dozunda yapılan pH (2.0, 2.5 ve 5.5) denemesi sonucunda en yüksek verim $\text{pH}=2.0$ 'de % 78.1 olarak bulunmuştur. DB71 boyar maddesinin 20 kHz, 95W gücünde aktif karbon dozu (0.5 , 1 ve 2 g L^{-1}) ve boyar madde konsantrasyon (50, 75, 100 ve 125 mg L^{-1}) denemesi sonucunda ise 1 g L^{-1} aktif karbon, $\text{pH}=2.0$ 'de çalışılan konsantrasyonlarda verimler sırasıyla % 92.5, 82, 78.1 ve 57.5 olarak bulunmuştur.

Son olarak DB71 boyar maddesinin 20 kHz ve 95 W US ile artırılabilirliğini incelemek ve etkinliğini artırmak üzere 50 mg L^{-1} boyar madde konsantrasyonunda, pH (2.0, 3.0 ve 5.5) ve t-butanol miktarının (125, 250 ve 500 mg L^{-1}) etkileri araştırılmıştır ve en yüksek verim $\text{pH}=2.0$ ve 250 mg L^{-1} t-butanol ile % 48.4 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak DB71 boyar maddesinin US ile artırmada t-butanolün etkisi aktif karbona göre daha azdır.

KAYNAKLAR

- AlHamedi, F.H., Rauf, M.A., Salman Ashraf, S., 2009. Degradation studies of Rhodamine B in the presence of UV/H₂O₂. *Desalination*, 239: 159-166.
- Behnajady, M.A., Modirshahla, N., Shokri, M., Vahid, B., 2009. Design equation with mathematical kinetic modeling for photooxidative degradation of C.I. Acid Orange 7 in an annular continuous-flow photoreactor. *Journal of Hazardous Materials*, 165: 168-173.
- Birgöl, A., Kutlu, S., Solmaz, A., 2007. Tekstil endüstrisi atıksuları üzerinde ileri oksidasyon ve kimyasal arıtma prosesleri kullanılarak KOİ ve renk gideriminin araştırılması. *Ekoloji*, 15(62): 72-80.
- Dai, Y., Li, F., Ge, F., Zhu, F., Wu, L., Yang, X., 2006. Mechanism of the enhanced degradation of pentachlorophenol by ultrasound in the presence of elemental iron. *Journal of Hazardous Materials*, B137: 1424-1429.
- Edecan, M.E., 2006. Kombine ultrases/aktif karbon kullanarak tekstil boyar maddesinin renk gideriminin modellenmesi ve optimizasyonu. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Erzurum.
- Elmorsi, T.M., Riyad, Y.M., Mohamed, Z.H., Abd El Bary, H.M.H., 2010. Decolorization of Mordant red 73 azo dye in water using H₂O₂/UV and photo-Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 174: 352-358.
- Ferreira-Leitao, V.S., Andrade de Carvalho, M.E., Bon, E.P.S., 2007. Lignin peroxidase efficiency for Methylene Blue decolouration: Comparison to reported methods. *Dyes and Pigments*, 74: 230-236.
- Gönder, Z.B., Barlas, H., 2005. Fenton prosesi ile renkli atıksulardan renk ve KOİ giderimi. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK İstanbul, 17-19.
- Gül, Ş., Özcan-Yıldırım, Ö., 2009. Degradation of Reactive Red 194 and Reactive Yellow 145 azo dyes by O₃ and H₂O₂/UV-C processes. *Chemical Engineering Journal*, 155: 684-690.
- Gupta, V.K., Suhas, 2009. Application of low-cost adsorbents for dye removal -A review. *Journal of Environmental Management*, 90: 2313-2342.
- Guyer, G.T., Ince, N.H., 2011. Degradation of diclofenac in water by homogeneous and heterogeneous sonolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18: 114-119.
- Hanay, Ö., Hasar, H., 2007. Fenton oksidasyon prosesi ile tekstil endüstrisi atıksuyunda renk giderimi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 19(4): 505-509.
- Merouani, S., Hamdaoui, O., Saoudi, F., Chiha, M., 2010. Sonochemical degradation of Rhodamine B in aqueous phase: Effects of additives. *Chemical Engineering Journal*, 158: 550-557.
- Saien, J., Soleymani, A.R., 2007. Degradation and mineralization of Direct Blue 71 in a circulating upflow reactor by UV/TiO₂ process and employing a new method in kinetic study. *Journal of Hazardous Materials*, 144: 506-512.
- Suslick, K.S., 1990. Sonochemistry. *Science*, 247: 1439-1445.
- Thompson, L.H., Doraiswamy, L.K., 1999. Sonochemistry: Science and Engineering. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 38: 1215-1249.
- Tunç, Ö., 2008. C.I. Reactive Orange 107 tekstil boyar maddesinin ultrasonik ve mikrobiyal gideriminin tekli ve ardışık sistemlerde incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vajnhandl, S., Le Marecha, A.M., 2007. Case study of the sonochemical decolouration of textile azo dye Reactive Black 5. *Journal of Hazardous Materials*, 141: 329-335.
- Xu, X.R., Li, H.B., Wang, W.H., Gu, J.D., 2004. Degradation of dyes in aqueous solutions by the Fenton process. *Chemosphere*, 57: 595-600.
- Zhang, H., Zhang, J., Zhang, C., Liu, F., Zhang, D., 2009. Degradation of C.I. Acid Orange 7 by the advanced Fenton process in combination with ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16: 325-330.