

Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi

İlgi KARAPINAR KAPDAN, Fikret KARGI
Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe, Buca, İzmir-TÜRKİYE

Geliş Tarihi 16.11.1998

Özet

Bu çalışmada, tekstil boyar maddelerinin bir aktif çamur ünitesinde adsorpsiyonlu biyolojik arıtım ile giderimi incelenmiştir. Adsorban seçimi amacıyla toz (PAC) ve granüller (GAC) aktif karbonun yanı sıra zeolit, odun külü ve odun talaşı gibi ucuz adsorbanlar kullanılarak renk giderim kapasiteleri saptanmıştır. Uygun organizma kültürü seçimi için bazı evsel ve endüstriyel (İzmir Pak-Maya, İzmir DYO Boya Sanayi, Manisa Organize Sanayi Bölgesi) atıksu arıtma tesislerinden alınan aktif çamurlar türlerinin tekstil endüstrisinde kullanılan Direct Yellow FGR-U 200% boyar maddesinin sentetik atıksudan giderim etkinlikleri değerlendirilmiştir.

Çalkalayıcıda kesikli olarak yapılan adsorpsiyon deneyleri sonucunda odun külünün renk giderim kapasitesinin aktif karbonla kıyaslanabilir değerde olduğu ve atıksudan etkin olarak renk giderimi sağladığı görülmüştür. Odun külü için adsorpsiyon izotermi çalışmalarından Langmuir adsorpsiyon izoterm sabitleri (K ve q_{max}) hesaplanmıştır. Odun külü ilavesi ve Pak-Maya aktif çamur kültürü kullanılarak sürekli işletilen bir aktif çamur ünitesinde değişik çamur yaşlarında ($\theta_c=3-30$ gün) biyolojik renk giderimi sağlanmıştır. Maksimum renk giderim verimi $E=37\%$ ile $\theta_c=20$ günde elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tekstil endüstrisi atıksuyu, tekstil boyar maddesi, aktif çamur, adsorpsiyonlu biyolojik arıtma.

Removal of Textile Dyestufes From Wastewater by Adsorptive Biodegradation

Abstract

Removal of dyestuffs from a synthetic wastewater by adsorptive biodegradation was investigated in this study. The dyestuff adsorption capacities of granular, powdered activated carbon (GAC and PAC) and low-cost adsorbents such as zeolite, wood chips and wood ash were evaluated in order to obtain a low-cost adsorbent for use in an activated sludge unit. Then various activated sludge cultures were tested for biodegradation of a selected dyestuff. An activated sludge unit with the selected activated sludge culture and adsorbent was operated at different sludge ages for removal of the dyestuff.

Synthetic wastewater containing dyestuff was prepared by dissolving Direct Yellow FGR-U 200%, a widely used dyestuff in the textile industry, in distilled water. In batch adsorption experiments performed in a gyratory shaker, the adsorption capacity of wood ash was found to be comparable with that obtained by powdered activated carbon. Pak-Maya-activated sludge culture was found to be the most suitable activated sludge type among various types tested for removal of the dyestuff. Adsorption isotherms obtained from batch experiments were described by Langmuir isotherms, and adsorption constants (K and x_{max}) were determined for wood ash. Operation of activated sludge unit with the addition of wood ash at different sludge ages ($\theta_c=3-30$ days) resulted in maximum decolorization efficiency of $E = 37\%$ at a sludge age of $\theta_c=20$ day.

Key Words: Textile wastewater, textile dyestuff, activated sludge, adsorptive biodegradation.

Giriş

Sentetik boyalar tekstil, boya, kağıt ve baskı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde 100.000'in üzerinde sentetik boya ticari olarak kullanılmakta ve yılda 700.000 ton boya üretimi yapılmaktadır. Gerek üretim, gerekse kullanım sırasında arta kalan boya miktarı göz önünde bulundurulduğunda renkli atıksuların çevresel açıdan ne kadar önemli olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Renkli atıksuların doğrudan alıcı ortalama deşarj edilmesinin kontrolsüz anaerobik şartlarda toksik-karsinojenik aromatik aminlerin oluşması gibi birincil çevresel etkisinin yanında estetik açıdan çevreye zarar vermesi gibi ikincil bir etkisi de vardır.

Atıksulardan renk giderimi için flokülasyon/koagülasyon (Stephenson ve Sheldon, 1996), adsorpsiyon (McKay ve arkadaşları, 1987; Gupta ve arkadaşları, 1990; Geundi, 1991) ve kimyasal oksidasyon gibi çeşitli fiziksel/kimyasal metodlarla biyolojik arıtma sistemleri kullanılabilir. Bu yöntemlerle elde edilen renk giderim veriminin atıksudaki boya türüne bağlı olarak değişiklik göstermesi, atıksulardan renk giderimi için en uygun metodun seçimini daha da zorlaştırmaktadır.

Koagülasyonla renk gideriminde özellikle alümin, $FeCl_3$ ve $CaCl_2$ kullanılmaktadır. Arıtma sonrasında, su içeriği yüksek bir çamurun yüksek miktarda oluşması bu yöntemin dezavantajıdır. Ozon (O_3) (Lin ve Liu, 1994), hidrojen peroksit (H_2O_2), Fenton Reagent (Solozhenko ve arkadaşları, 1995), UV/H_2O_2 (Hung ve arkadaşları, 1994), klorlama, ultrafiltrasyon (Calabro ve arkadaşları, 1991), elektrokimyasal (Sheng ve Peng, 1994) gibi yöntemlerle çok yüksek renk giderim verimi elde edilmesine rağmen, bunlar oldukça pahalı yöntemlerdir.

Adsorpsiyonla renk giderimi oldukça etkin bir yöntemdir. En yaygın olarak kullanılan adsorban madde aktif karbon olmakla birlikte, zeolit, bentonit ve odun külü gibi bazı üretimi kolay ve ucuz adsorban maddeler de adsorpsiyonla renk giderimine uygundur. Ancak adsorpsiyonda ilk yatırım maliyeti de yüksektir ve adsorbanın periyodik olarak yenilenmesi gerekmektedir. Bu da işletim maaliyetini arttırmaktadır. Her ne kadar ucuz adsorbanlar için yenilenme gerekirse de, adsorplanan maddenin sıvı fazdan katı faza geçirilmesi arıtma açısından çözüm değildir. Adsorpsiyondan sonra tam arıtma için organik maddenin oksitlenmesi gerekmektedir.

Boyar maddelerin biyolojik parçalanmaya karşı

dayanıklı olması nedeniyle biyolojik yöntemler renk gideriminde yetersiz olarak bilinmektedir. Ancak boyar maddeleri parçalayabilen aerobik-anaerobik bakteri ve "white-rot" fungi türlerinin izole edilmesiyle biyolojik yöntemlerle renk giderimi tekrar önem kazanmıştır (Banat ve arkadaşları, 1996).

Günümüzde hala en yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma sistemi, aktif çamur ünitesidir. Aktif çamur ünitesine PAC ilavesi ile renk, fenol ve krezol gibi klasik aktif çamur sistemlerinde giderimi zor olan maddelerin arıtımında oldukça olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Lee ve arkadaşları, 1989; Marquez ve Costa, 1996; Nayar ve Sylvester, 1979; Orhansky ve Narkis, 1997; Xiaojian ve arkadaşları, 1991; Çeçen, 1994). PAC-aktif çamur olarak isimlendirilen bu sistemde, toz aktif karbon ilavesi ile toksik olan ve biyolojik parçalanabilirliği az olan organik maddeler aktif karbon üzerine adsorplanarak biyolojik sistemi etkilemeden giderilmekte ve sistem performansında artış meydana gelmektedir. Ayrıca, adsorplanan maddenin sistem içerisindeki kalış süresi artarak bakteri tarafından biyodegradasyonu da sağlanmaktadır. Ancak, toz aktif karbonun maliyetinin yüksek olmasından dolayı PAC-aktif çamur sisteminin uygulanabilirliği tartışma konusudur. Toz aktif karbon yerine daha ucuz adsorbanların bulunması bu sistemin gelişmesini sağlayacaktır.

Renkli atıksuların çevreye verdiği zararlar, adsorpsiyonlu biyolojik arıtma ile renk gideriminin verimli bir yöntem olması ve aktif karbonun ekonomik olmaması gibi faktörler gözönünde bulundurularak, bu çalışmada aktif karbona alternatif olabilecek çeşitli ucuz adsorbanların renk giderme kapasiteleri incelenmiş ve seçilen adsorban aktif çamur ünitesinde havalandırma tankına ilave edilerek renk giderimi üzerine çalışılmıştır. Adsorban seçimi amacıyla zeolit, odun talaşı, odun külü gibi eldesi kolay ve ucuz adsorban maddeleri kullanılarak, toz ya da granüler aktif karbon (PAC ve GAC) gibi yaygın olarak kullanılan adsorbanlarla adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Odun külünün en uygun adsorban olduğuna karar verilmiştir. Boyar maddelerin biyodegradasyonunu sağlayabilecek mikroorganizma kültürünü bulmak amacıyla değişik arıtma tesislerinden alınan aktif çamur türleri (İzmir Pak-Maya, Manisa Organize Sanayi, İzmir DYO Boya Sanayi ve evsel atıksu) ile renk giderim çalışmaları yapılmış ve Pak-Maya aktif çamurunun diğerlerine nazaran daha iyi renk giderimi sağladığı görülmüştür. Aktif çamur

ünitesi, odun külü ilavesi ile değişik çamur yaşlarında sürekli olarak çalıştırılarak atıksudan renk giderimi incelenmiştir.

Materyal ve Metod

Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorban Madde: Bu çalışmada kullanılan adsorban maddeler, toz aktif karbon (PAC), granüler aktif karbon (GAC), zeolit, odun külü, ve odun talaşdır. Adsorban parçacık büyüklüğü, adsorban seçimi deneylerinde 210-250 μm ve odun külünün adsorpsiyon izotermelerinin eldesinde $D_p < 210 \mu\text{m}$ 'dir. GAC'un tane büyüklüğü $D_p > 400 \mu\text{m}$ 'dir.

Sentetik Atıksu: Sentetik atıksu, tekstil endüstrisinde kullanılan "Direct Yellow FGR-U 200%", azo boyar maddesinin saf suda çözülmesiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan sentetik atıksu, 72 saat içerisinde tüketilmek üzere soğutucuda bekletilmiştir.

Adsorpsiyon İzotermelerinin Teşkili: Adsorpsiyonla renk giderimi çalışmalarında odun külünün adsorban olarak kullanılmasına karar verilmiş ve karşılaştırmak amacıyla PAC ve odun külünün adsorpsiyon izotermeleri çıkarılmıştır. Çalkalayıcıda kesikli olarak yapılan deneyler 250 mL'lik erlenlerde 100 mL reaksiyon hacminde gerçekleştirilmiştir. Boya derişimi 10-100 mg boyar madde/100 mL arasında değiştirilirken adsorban madde derişimi 1g/100 mL'de sabit tutulmuştur. İzoterm deneylerinde sıcaklık $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 7 \pm 0,5$ ve çalkalama hızı 50 rpm olarak seçilmiştir. Deneyler, denge derişimine ulaşılması amacıyla 24 saat süreyle yapılmıştır.

Aktif Çamur Kültürü Seçimi

Aktif Çamur Kültürleri: Deneylerde İzmir DYO Boya Sanayi, İzmir Pak-Maya Sanayi, Menemen Organize Sanayi Bölgesi ve Evsel atıksu arıtma tesislerinden alınan aktif çamur kültürleri kullanılmıştır. Aktif çamurlar saf su ile renk ve artık madde kalmayınca kadar yıkanmıştır.

Sentetik Renkli Su: Renkli sentetik atıksu, boyar madde ($D_0 = 500 \text{ mg/L}$), karbon kaynağı olarak glikozun (500 mg/L), azot kaynağı olarak ürenin (54 mg/L) ve fosfor kaynağı olarak KH_2PO_4 (22 mg/L)'nin saf suda çözülmesiyle elde edilmiştir. KOİ/N/P oranı 100/5/1 olarak sabit tutulmuştur.

Aktif Çamur Ünitesi: Aktif çamur ünitesinde havalandırma tankı olarak Bioflo IIC Laboratuvar ölçekli ve mikroprosesli reaktör kullanılmıştır. Havalandırma tankı çıkışına konik bir çökeltim tankı bağlanmış ve çamur geri döngüsü sağlanmıştır.

İşletme sıcaklığı ve pH değerleri $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 7 \pm 0,5$ 'de, çözünmüş oksijen derişimi (ÇO) 2-3 mg/L ve karışım hızı 100 rpm'de sabit tutulmuştur. pH ayarı otomatik olarak %5'lik seyreltik H_2SO_4 ve NaOH ilavesi ile yapılmıştır. Sistemde havalandırma tankının hacmi (V_R) 5L ve çökeltim tankı hacmi (V_S) 1.2 L'dir. Sistem çamur geri döngülü ve sürekli olarak $\theta_c = 3-30$ gün aralığında 6 değişik çamur alıkonma süresinde işletilmiştir. Çamur geri döngüsü %100 ($r=1$) ve hidrolik alıkonma süresi $\theta_H = 5$ saatte sabit tutulmuştur. Havalandırma, reaktöre yerleştirilen difüzör ve hava pompası yardımıyla yapılmıştır. Çamur yaşı, havalandırma tankından uzaklaştırılan günlük çamur miktarı ile ayarlanmıştır.

Analitik Yöntemler

Örnekleme: Numuneler 5000 rpm'de bulanıklık kalmayınca kadar santrifüjlenmiş ve renk ölçümü berrak sıvıdan yapılmıştır. Zamana karşı adsorpsiyon deneyleri her saatte bir numune alınarak 24 saat süreyle, adsorpsiyon izotermi çalışmaları ise 4. ve 24. saatin sonunda olmak üzere iki adet numune alınarak gerçekleştirilmiştir. Aktif çamur ünitesinde yapılan deneylerde ise günde iki adet numune alınarak santrifüjlenmiş ve ölçümler berrak sıvıdan yapılmıştır.

Renk Ölçümü: Renk ölçümleri için Pharmacia LKB-Novaspec II model spektrofotometre kullanılmıştır. Renk ölçümleri boyar maddenin maksimum absorbans verdiği $\lambda = 400 \text{ nm}$ dalga boyunda absorbans ölçülerek yapılmıştır. Boyar madde derişimleri absorbans ölçümlerden korelasyonla bulunmuştur ve bütün deneylerde boyar madde derişimi esas alınmıştır.

Hesaplamalar

Langmuir Adsorpsiyon İzotermi

Langmuir adsorpsiyon izotermi doğrusal formda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$1/q = K/q_{max}(1/C_e) + 1/q_{max}$$

$1/q$ değerlerine karşılık $1/C_e$ değerleri grafiğe geçirildiğinde, elde edilen doğrunun eğiminden K/q_{max} ve düşey kesim noktasından $1/q_{max}$ değerleri bulunur. Burada; q_{max} , maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g); C_e adsorbanla dengede olan sıvı faz boyar madde derişimi (mg/L); K, Langmuir adsorpsiyon sabitidir (mg/L).

Freundlich Adsorpsiyon İzotermi

Freundlich adsorpsiyon izotermi de doğrusal formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\ln q = \ln K_f + 1/n \ln C_e$$

$\ln q$ değerlerine karşılık $\ln C_e$ değerleri grafiğe geçirildiğinde, elde edilen doğrunun eğiminden $1/n$ ve düşey eksenin kesim noktasından $\ln K_f$ değeri bulunur. Burada; q , adsorpsiyon kapasitesi (mg/g); C_e , adsorbanla dengede olan sıvı faz boyar madde derişimi (mg/L); K_f ve n , Freundlich adsorpsiyon sabitleridir.

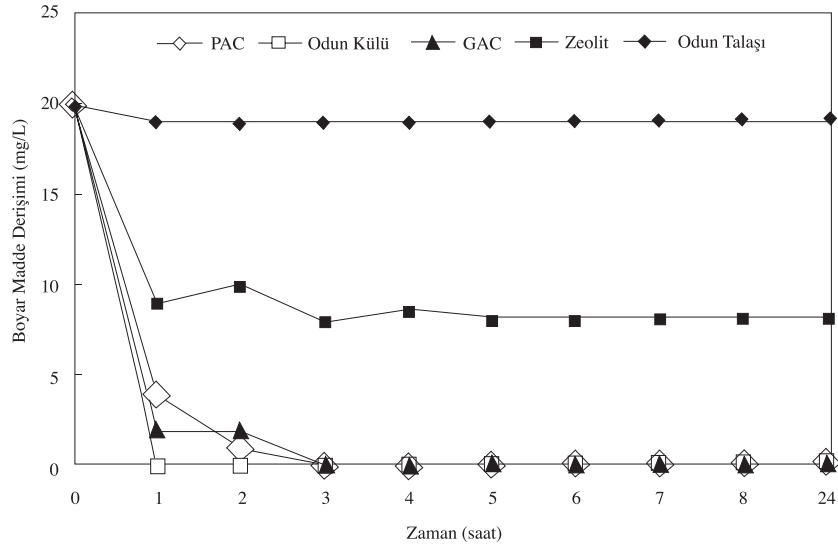
Sonuçların Değerlendirilmesi

DeneySEL çalışmalar üç fazda gerçekleştirilmiştir: (a) boyar madde giderimi sağlayabilen adsorban maddelerin seçimi ve seçilen adsorbanlar için adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi, (b) en fazla renk giderimi sağlayan aktif çamur kültürünün seçimi ve (c) aktif çamur ünitesinde adsorban ilavesi ile renk gideriminin incelenmesi.

Adsorban Madde Seçimi: Adsorban madde seçimi, çalkalayıcıda zamana karşı renk giderimi saptanarak yapılmıştır. Deneyler, başlangıç boyar madde derişimi $D_0=20\pm 2$ mg/L olan renkli suya 1g/100 ml derişiminde adsorban ilave edilerek, 150 rpm sabit çalkalama hızında ve $T=25^\circ C$ 'de 24 saat süreyle yapılmıştır.

Şekil 1'de "Direct Yellow FGR-U 200%" boyar maddesi için değişik adsorbanlarla renk gideriminin zamanla değişimi verilmiştir. Boyar madde derişimi $D_0=20$ mg/L'den GAC, PAC ve odun külü ile bir saat içerisinde sırasıyla $D_e=2$ mg/L, $D_e=4$ mg/l ve $D_e=1$ mg/L'ye kadar düşmüştür. Zeolit ile adsorpsiyonda bir saat sonunda boyar madde derişimi $D_e=20$ mg/L'den $D_e=8$ mg/L'ye düşmüştür. Odun talaşı üzerine direct yellow boyar maddesi adsorpsiyon gerçekleşmiş ve boyar madde derişimi 24 saatin sonunda başlangıç derişimine eşit bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar, kullanılan adsorbanlar içinde en iyi adsorban türlerinin odun külü, GAC ve PAC olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Değişik Adsorbanlar Kullanıldığında Direct Yellow FRG-U Boyar Maddesi Derişiminin Zamanla Değişimi

Adsorpsiyon İzotermelerinin Türetilmesi: Odun külünün adsorpsiyon kapasitesini PAC ile karşılaştırmak amacıyla her iki adsorban için "Direct Yellow" boyar maddesi ile adsorpsiyon izotermi çıkarılmıştır. Deneylerde boyar madde derişimi 100 mg/L ile 1000 mg/L arasında değiştirilirken adsorban derişimi 10 g/L'de sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda, adsorpsiyon izoterminin Langmuir ve

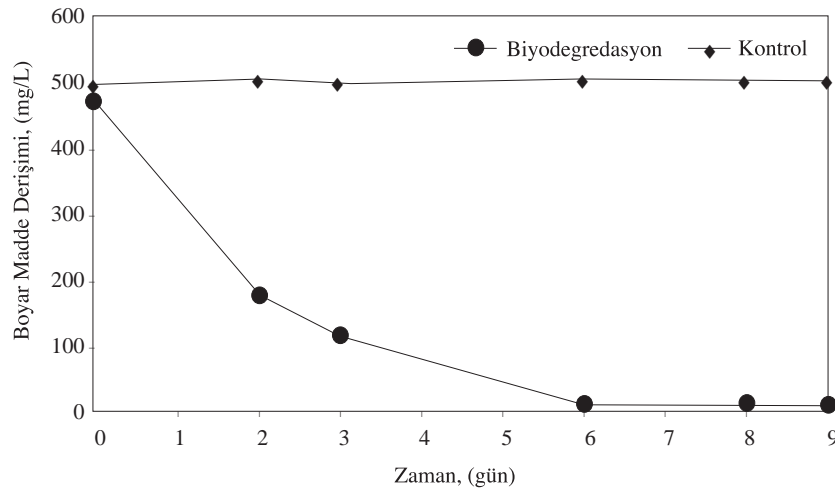
Freundlich izotermelerine uygunluğu grafiklerle test edilmiştir. Tablo 1'de Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitlerinin değerleri ve lineer regresyon katsayıları verilmiştir. Langmuir izoterminin lineer regresyon katsayısının ($r^2=0,99$), Freundlich regresyon katsayısından ($r^2=0,91-0,95$) daha yüksek olması adsorpsiyonun Langmuir izotermine daha uygun olduğunu göstermektedir.

“Direct Yellow” boyar maddesi için odun külü ve PAC ile yapılan adsorpsiyon izoterm çalışmasında her iki adsorban için maksimum adsorpsiyon kapasitesi $q_{max}=83$ mg/g olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak odun külünün PAC’a alternatif ve ucuz bir adsorban olarak renk gideriminde kullanılabilceği söylenebilir.

Aktif Çamur Kültürü Seçimi: Biyolojik olarak parçalanması zor bileşikler olan boyar maddeler özel organizmalar gerektirirler. Boyar maddeyi parçalayabilen mikroorganizma kültürünü elde etmek amacıyla Pak-Maya, DYO boya sanayi, Menemen Organize Sanayi Bölgesi ve evsel atıksu arıtma tesislerinden alınan aktif çamur kültürlerini, söz konusu tekstil boyar maddesinin giderimi için

denenmiştir. Deneysel çalışmalar çalkalayıcıda 150 rpm, $T=25$ °C e $pH=7$ ’de renk giderimi sabitleşinceye kadar yapılmıştır. Alınan numuneler santrifüjlenerek berrak sıvıdan renk ölçümleri yapılmıştır. Sentetik suda boyar madde derişimi 500 mg/L, glikoz derişimi 500 mg/L, üre ve KH_2PO_4 derişimleri de sırasıyla 54 mg/L ve 22 mg/L’dir. Deneylerde KOİ/N/P oramı 100/5/1 olarak ayarlanmıştır. Kontrol deneyleri organizma içermeyip sadece boyar madde ve nutrientlerden oluşmaktadır.

Pak-Maya aktif çamuru kullanılarak yapılan deneylerde boyar madde derişimi 4. günün sonunda $D_0=470$ mg/L’den $D_e=9$ mg/L’ye düşerek %98’lik renk giderim verimi sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Pak-Maya Aktif Çamur Kültürü ile Boyar Madde Giderimi

Tablo 1. Odun Külü için Langmuir ve Freundlich Adsorpsiyon İzoterm Sabitleri

Langmuir Adsorpsiyon İzotermi	q_{max} (mg/g)	K (mg/L)	r^2
Odun Külü	83	13,6	0,99
PAC	83	15	0,99
Freundlich Adsorpsiyon İzotermi	$1/n$	K_f	r^2
Odun Külü	0,1	5,5	0,93
PAC	0,17	30	0,92

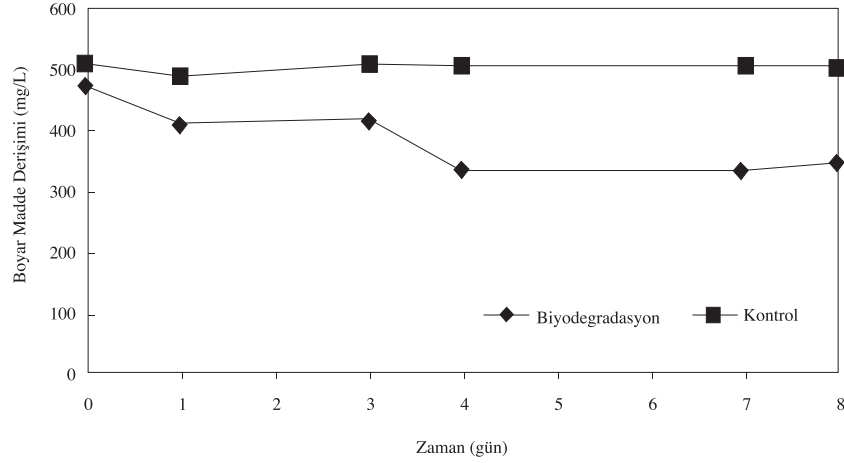
Şekil 3’de DYO aktif çamuru kullanıldığında boyar madde derişiminin zamanla değişimi verilmiştir. Sekiz günlük çalkalama süresi sonunda $D_0=476$ mg/L başlangıç boyar madde derişiminden $D_e=349$ mg/L derişimine düşmüş ve %29 oranında renk giderim verimi elde edilmiştir. Kontrol flasklarında ise boyar madde derişiminde önemli bir düşüş

gözlenmemiştir.

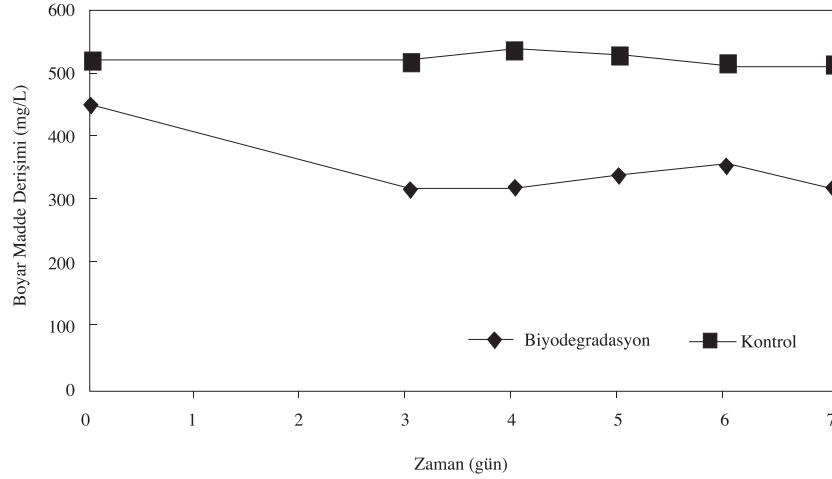
Menemen Organize Sanayin Bölgesi arıtma tesisinden alınan aktif çamur kültürü ile yapılan deneyde boyar madde derişiminin zamanla değişimi Şekil 4’de görülmektedir. Boyar madde derişimi ilk üç gün içerisinde $D_0=451$ mg/L’den $D_e=319$ mg/L’ye düşmüştür. Yedi günlük deney süresi so-

nunda boyar madde derişimi $D_e=325$ mg/L olarak elde edilmiş ve toplam renk giderim verimi %27

olarak bulunmuştur. Kontrol deneylerinde boyar madde derişimi değişmemiştir.



Şekil 3. DYO Aktif Çamur Kültürü ile Boyar Madde Giderimi



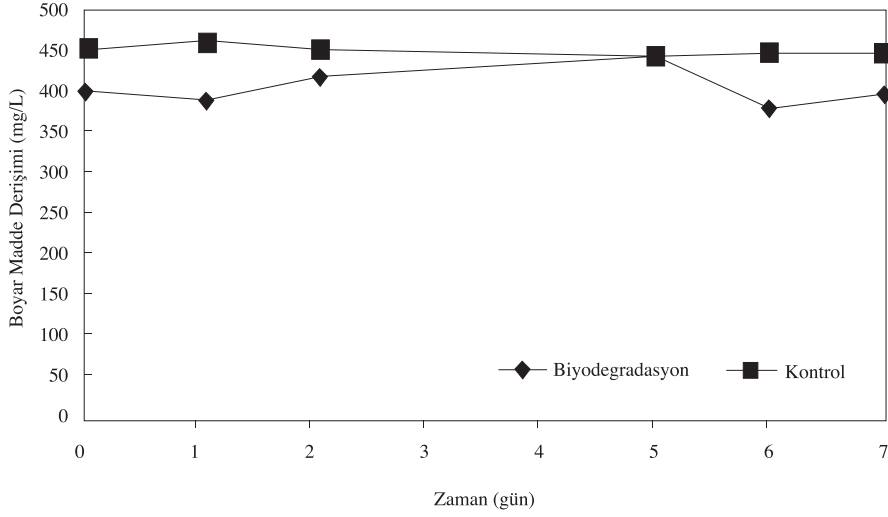
Şekil 4. Menemen Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisi Aktif Çamur Kültürü ile Boyar Madde Giderimi

Evsel atıksu arıtma tesisi aktif çamur kültürü ile yapılan renk giderimi çalışmasında olumlu sonuç elde edilememiştir. Şekil 5'de görüldüğü gibi başlangıç ve çıkış boyar madde derişimleri yaklaşık aynı olup 400 mg/L'dir. Evsel atıksu çamuru içerisindeki mikroorganizma bileşiminin renk giderimi için uygun olmadığı söylenebilir. Evsel nitelikli atıksuda daha çok parçalanması kolay olan maddeler olduğu için çamur içerisinde gelişen bakteri türlerinin de daha çok bunlara uygun türlerin olması ve dolayısıyla boyar madde gibi rekalsitran maddeleri parçalayamaması doğaldır.

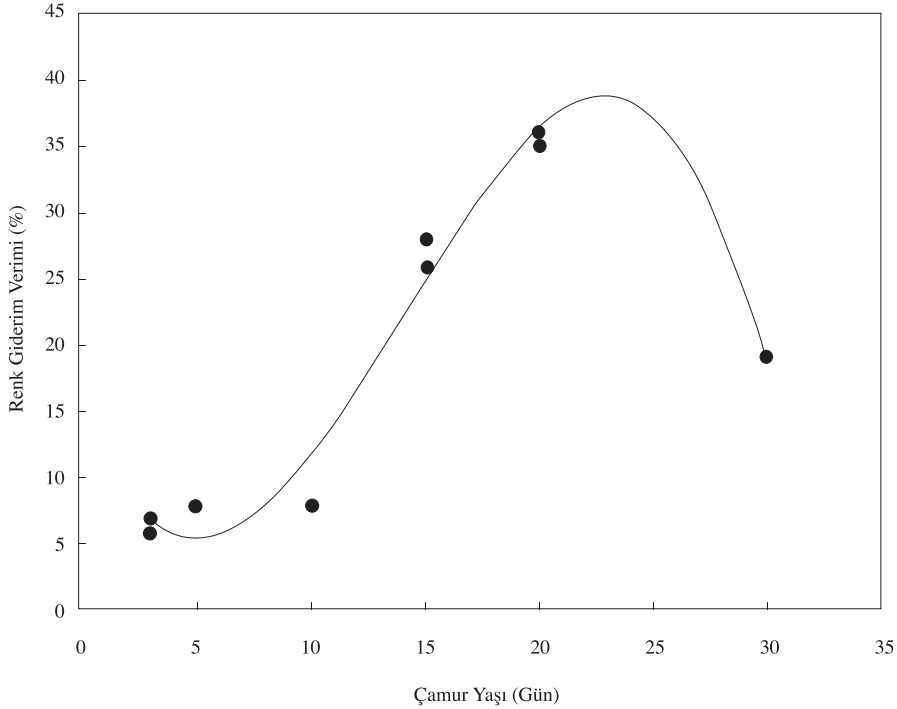
Sonuç olarak üzerinde çalışılan dört değişik aktif çamur kültürü içerisinde en yüksek renk giderim

verimi sağlayan % 98 ile Pak-Maya aktif çamurudur. Bu nedenle çalışmanın devamında bu aktif çamur kültürünün kullanılmasına karar verilmiştir.

Adsorban İlaveli Aktif Çamur Ünitesi Performansı: Laboratuvar ölçekli bir aktif çamur ünitesi $\theta_c=3-5-10-15-20-30$ gün çamur yaşlarında sürekli ve geri döngülü olarak işletilmiştir. Giriş suyu boyar madde derişimi $D_0=200$ mg/L, glukoz, üre ve KH_2PO_4 derişimleri, çalkalayıcı deneylerindeki gibidir (KOİ/N/P=100/5/1). Hidrolik alıkonma süresi $\theta_H=5$ saatte sabit tutulmuştur. Çamur yaşı havalandırma tankından homojen olarak günlük alınan biyokütle miktarı ile ayarlanmıştır.



Şekil 5. Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Aktif Çamur Kültürü ile Boyar Madde Giderimi



Şekil 6. Odun Külü İlaveli Aktif Çamur Ünitesinde Renk Giderim Veriminin Çamur Yaşı ile Değişimi

Adsorban madde olarak odun külü kullanılmış ve havalandırma tankına doğrudan ilave edilmiştir. İlave edilen adsorban miktarı $A=1\text{g/gün}$ 'dür. Pak-Maya aktif çamuru saf suyla yıkandıktan sonra havalandırma tankına ilave edilmiş ve sürekli olarak renkli sentetik atıksu ile beslenmiştir. Sistem yatışkın hale ulaştıktan sonra bu durumda en az dört gün işletilmiştir.

Şekil 6'da değişik çamur yaşları için renk giderim verimleri görülmektedir. $\theta_c=3-10$ gün arasında ortalama olarak %7 civarında renk giderim verimi elde edilmiştir ki bu da boyar maddenin mikrororganizma ya da adsorban madde üzerine adsorpsiyonuyla açıklanabilir. Çamur yaşının 15 güne çıkmasıyla renk giderim verimi de hızlı bir artışla $E=\%25$ seviyesine ulaşmaktadır. $\theta_c=20$ gün olduğu

işletimlerde renk giderim verimi de maksimum seviyeye ulaşarak $E=37\%$ olarak elde edilmiştir. Çamur yaşının 20 günden büyük değerlerinde renk giderimi düşmüştür. $\theta_c=30$ gün için boyar madde giderim verimi 17% olarak bulunmuştur. Bu düşüşün nedeni, 30 gün çamur alkonma süresinde organizmaların aktivitelerini kaybetmesi ve boyar madde biyodegradasyonu sağlayamaması olarak açıklanabilir. Yüksek çamur yaşlarında, ortamda biriken adsorbanın olumsuz etkileri de olabilir. Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen işletim şartlarında optimum çamur yaşı 20 gün olarak bulunmuştur.

Yorumlar

Bu çalışmada, seçilen bir tekstil boyar maddesinin (Direct Yellow FGR-U 200%) adsorpsiyonlu biyodegradasyon yöntemi ile aktif çamur ünitesinde giderimi incelenmiştir. Öncelikle, toz aktif karbona alternatif olabilecek ucuz adsorbanların renk giderim kapasiteleri incelenmiş, odun külünün PAC'a alternatif adsorban olabileceği bulunmuştur. Odun külü için yapılan adsorpsiyon deneylerinden elde edilen Langmuir adsorpsiyon izoterm sabitleri $q_{max}=83$ mg/g ve $K=13,6$ mg/L olup PAC'ın adsorpsiyon izoterm sabitleri ile ($q_{max}=83$ mg/g ve $K=15$ mg/L) yaklaşık olarak aynıdır. Odun külü için elde edilen bu adsorpsiyon kapasitesi değeri, literatürde kul-

lanılan diğer ucuz adsorbanlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Zeolit ve odun talaşının renk giderme kapasiteleri oldukça düşük olduğundan atıksulardan renk giderimine uygun bulunmamışlardır.

Denenen aktif çamur kültürleri içerisinde, Pak-Maya aktif çamur kültürü en yüksek (98%) renk giderim verimi sağlamıştır. Bu da, Pak-Maya aktif çamur kültürü içerisinde renk giderimi sağlayabilen bakteri türlerinin olduğunu göstermektedir. Bakteri türleri, Pak-Maya atıksuyunda bulunan ve atıksuya renk veren melanin maddesine adapte olmalarından dolayı renk giderimini sağlayabilmektedirler. DYO ve organize sanayi bölgelerinden elde edilen aktif çamur kültürlerinde $27-29\%$ oranında renk giderim verimi elde edilmiştir. Bu da kısmi olarak mikroorganizma yüzeyine adsorpsiyon olarak değerlendirilebilir.

Aktif çamur ünitesinde adsorban ilavesi ile yapılan sürekli işletimde $\theta_c=3-30$ gün aralığında en yüksek renk giderim verimi $\theta_c=20$ gün çamur yaşında 37% civarındadır. Sistemin literatürde kullanılan en yüksek boyar madde derişiminde ($D_0=500$ mg/L) çalıştırıldığı düşünülürse, elde edilen sonuç kabul edilebilir orandadır. Daha yüksek çamur yaşlarında mikroorganizmalar aktivitelerini yitirmekte ve boyar maddenin biyolojik giderimi gerçekleşmemektedir.

Kaynaklar

- Banat, M. I., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R. "Microbial Decolorization of Textile Dye Containing Effluents: A Review", *Bioresource Technology*, 58, 217-227, 1997.
- Calabro, V., Drioli, E., Matera, F. "Membrane Distillation in the Textile Wastewater Treatment", *Desalination*, 83, 209-224, 1991.
- Çeçen, F. "Activated Carbon Addition to Activated Sludge in the Treatment of Kraft Pulp Bleaching Wastes", *Wat. Sci. and Tech.*, 30 (3), 183-192, 1994.
- Geundy, M. S. "Color Removal from Textile Effluents by Adsorption Techniques", *Wat. Res.*, 25 (3), 183-192, 1994.
- Gupta, G. S., Prasada, G., Singh, V. N. "Removal of Chrome Dye by Mixed Adsorbent: Fly Ash and Coal", *Wat. Res.*, 24 (1), 45-50, 1990.
- Huang, C. R., Lin, Y. K., Shu, H. Y. "Wastewater Decolorization and TOC Reduction by Sequential Treatment", *American Dyestuff Reporter*. October, 15-18, 1994.
- Lee, S. E., Shin, H. S., Paik, B. C. "Treatment of Cr(VI)-Containing", *Wat. Res.*, 23 (1), 67-72, 1989.
- Lin, S. H., Liu, W. Y. "Continuos Treatment of Textile Water by Ozonation and Coagulation" *J. of Environ Engin ASCE*, 120, 437-446, 1994.
- Lin, S., Peng, C. F. "Treatment of Textile Wastewaters by Electrochemical Method", *Wat. Res.*, 28 (2), 227-282, 1994.
- Marquez, M. C., Costa, C. "Biomass Concentration in PACT Process", *Wat. Res.*, 30 (9), 2079-2085, 1996.
- McKay, G., Ramprasad G., Mowli P. "Desorption and Regeneration of Dye Colors from Low-Cost Materials", *Wat. Res.*, 21 (3), 375-377, 1987.
- Nayar, S. C., Sylvester, N. D. "Control of Phenol in Biological Reactors by Addition of Powdered Activated Carbon", *Wat. Res.*, 13, 201-205, 1979.
- Orhansky, F., N. "Characteristic of Organics Removal by PACT Simultaneous Adsorption and Biodegradation", *Wat. Res.*, 31 (3), 391-398, 1997.

Solozhenko, E. G., Soboleva, N. M., Goncharuk, V. "Decolorization of Azodye Solutions By Fenton Oxidation", *Wat. Res.*, 29 (9), 2-7, 1995.

Stephenson, R. J., Sheldon, J. B. D. "Coagulation and Precipitation of a Mechanical Pulping Effluent By: I Removal of Carbon Color and Turbidity", *Wat. Res.*, 30 (4), 781-792, 1996.

Speccia, V., Gianetto, A. "Powdered Activated Carbon in an Activated Sludge Treatment", *Wat. Res.*, 18 (2), 133-137, 1984.

Xiaojian Z., Zhansheng W., Xasheng, G. "Simple Combination of Biodegradation and Adsorption: The Mechanism of the Biological Activated Carbon Process", *Wat. Res.*, 25 (2), 165-172, 1991.