



Ekoloji  
16, 64, 43-48  
2007

# Arıtma Tesisi Çamurlarından Piroliz ile Elde Edilen Adsorbentlerin Tekstil Atık Sularından KOİ ve Renk Giderimi için Kullanımının Araştırılması

Serdar AYDIN, Sinan GÜNEYSU, Semiha ARAYICI

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü,  
Çevre Bilimleri A.D., Avcılar Kampüsü, 34320 Avcılar-İSTANBUL

## Özet

Bu çalışmada, tekstil boyama endüstrisi atıksularından KOİ ve renk giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan adsorbentler piroliz işlemi ile spesifik yüzey alanı geliştirilmiş atık arıtma çamurlarından, tekstil atıksuları ise son terbiye ve boyama-yıkama proseslerinden alınmıştır. Öncelikle ham arıtma çamurlarının spesifik yüzey gelişimini etkileyen faktörler belirlenmiş ve optimum koşullarda üretilen adsorbentlerin adsorpsiyon prosesi ve biyolojik aktif çamur sistemine ilavesiyle KOİ ve renk giderim verimleri tespit edilmiştir. Arıtma çamurlarının pirolizi sonucunda en yüksek spesifik yüzey alanı, endüstriyel atık arıtma çamurlarının 2M ZnCl<sub>2</sub> ilavesiyle 500°C'de pirolizi ile 814,48 m<sup>2</sup>/g olarak belirlenmiştir. Tekstil boyama atıksularının arıtıldığı reaktörlerde ise, artan katkı konsantrasyonu ile %82 olan KOİ giderim verimi %96 seviyelerine çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, arıtma çamuru, piroliz, renk giderimi.

## Investigation of Using Adsorbents Obtained from Sewage Sludge with Pyrolysis for Removal of COD and Dye from Textile Industry Wastewater

### Abstract

In this study, COD and dye removal from wastewater of textile dying process was investigated. The adsorbents used in treatment experiments produced from domestic and industrials sewage sludge. After chemical activation with 0.5 - 3.0 M ZnCl<sub>2</sub> solution, sludge was subjected to pyrolysis treatment at 500°C in order to provide materials has great porosity and high surface area. Textile industry wastewater samples were supplied from dying and finishing process. The pyrolysis treatment test showed that highest specific surface area; 814.48 m<sup>2</sup>/g could be achieved with the treatment of industrial waste sludge at 2M ZnCl<sub>2</sub> solution, thereafter pyrolysis at 500°C. Adsorbents produced at this condition were added into the adsorption and biological activated sludge treatment system to find out the effect of adsorbent addition on the COD and dye removal efficiency. In reactors of treating of textile dying wastewater, COD removal efficiency increased with increasing additive concentrations from 82% to 96%.

**Keywords:** Adsorption, sewage sludge, pyrolysis, dye removal.

## GİRİŞ

Tekstil endüstrisinde kullanılan hammaddeler ve uygulanan işlemler sonucu değişen özellik ve miktarlarda atıksular oluşmaktadır. Özellikle son terbiye ve boyama-yıkama işlemleri sırasında kullanılan su miktarları ve ilave edilen katkı maddeleri ile oluşan atıksuların arıtılmasında problemler ortaya çıkmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında KOİ ve renk giderimi başlıca amaç olmakta ve bu amaçla kimyasal ve biyolojik arıtma kombinasyonları kullanılmaktadır. Atıksulardan KOİ giderimi amacıyla biyolojik aktif çamur sistemleri kullanılırken, renk giderimi için adsorpsiyon, filtrasyon ve kimyasal prosesler tercih edilmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, biyolojik aktif

çamur sistemlerinde KOİ ve renk giderimi amacıyla ortama farklı katkı maddeleri ilavesi yapılmış ve giderim verimleri araştırılmıştır. Bu çalışmalarda adsorbent özelliği taşıyan bentonit, aktif kil, toz aktif karbon gibi maddeler tercih edilmektedir. Aktaş ve Çeçen (2001) tarafından yürütülen çalışmalarda, atıksuların toz aktif karbon ilavesi ile biyolojik aktif çamur sisteminde arıtımı araştırılmış ve uygun KOİ ve renk giderim verimleri elde edilmiştir.

Yeni kurulan endüstriler ve gelişen çevre standartları ile sayıları gün geçtikçe artan atıksu arıtma tesislerinde dikkate değer miktarlarda arıtma çamuru oluşmaktadır. Arıtma çamurlarının bertarafı için çoğunlukla düzenli depolama ve yakma teknikleri kullanılmaktadır. Arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesi amacıyla ise, yeni

teknolojiler geliştirilmektedir. Bu amaçla, çamurların gübre, yakıt, yapı ve yol kaplama malzemesi ve çimento sanayi için hammadde olarak kullanımı araştırılmaktadır. Bu araştırma çalışmalarında arıtma çamurlarının hammadde olarak değerlendirilmesinde, yapı malzemesi, çimento hammaddesi ve adsorban olarak kullanımı ön plana çıkmaktadır (Krogmann ve ark. 1997).

Son yılların araştırılan bir diğer güncel konusuda çamurların pirolizidir. Arıtma çamurlarının çevresel etkilerini en aza indirmek, gelişen çevre koruma sistemleri çerçevesinde atık minimizasyonu sağlamak amacıyla, söz konusu çamurların pirolizine yönelik olarak yapılan çalışmalar, elde edilen katı ürünün adsorbent özelliğini geliştirmede yoğunlaşmıştır. Arıtma çamuru uygun koşullar altında bazı kimyasallar ile ön aktivasyon sonrası pirolizi yapıldığında aktif karbona dönüşebilmektedir.

Martin ve ark. (1996) tarafından yürütülmüş bir çalışmada, ağırlıkça 1:1 konsantrasyonunda  $H_2SO_4$  ve  $ZnCl_2$  kullanılarak yapılan kimyasal aktivasyon sonrasında,  $500^\circ C$ 'de pirolizi ile sırasıyla  $257 m^2/g$  ve  $171 m^2/g$  yüzey alanı elde edilmiştir. Tay ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, arıtma çamurunun  $5M ZnCl_2$  ile ön aktivasyonu ve  $500^\circ C-10^\circ C/dakika$  ısıtma hızında gerçekleştirilen pirolizinde  $541,7 m^2/g$  yüzey alanı, %43,2 karbon içeriği ve %38,3 kül oranı ile uygun adsorbent özelliği taşıyan ürün elde edildiği belirtilmiştir. Arıtma çamurlarının pirolizinde başlangıçta  $H_2SO_4$  veya  $ZnCl_2$  kullanılırken, son yıllarda ön aktivasyon için kullanılan kimyasal madde miktarının azaltılması ve optimum piroliz koşullarının belirlenmesiyle birlikte  $ZnCl_2$  ön aktivasyonu ile daha yüksek yüzey alanı değerlerine ulaşılmıştır.

Çalışmamızın başlangıcında, literatürden farklı olarak hem evsel hem de endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurlarının pirolizi ve yüzey alanı gelişimi araştırılmıştır. Arıtma çamurlarının değişken yapısı nedeniyle ülkemizde arıtma çamurlarının pirolizine ilişkin çalışma bulunmadığından, bu çalışmanın arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesine yönelik çalışmalara yön vereceğine inanılmaktadır.

Çalışmamızın devamında, tekstil boyama endüstrisi atıksularından KOI ve renk giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan tekstil atıksuları, son terbiye ve boyama-yıkama proseslerinden alınmıştır. Adsorbentler ise, piroliz işlemi ile yüzey alanı geliştirilmiş atık arıtma çamurlarından

elde edilmiştir. Öncelikle ham arıtma çamurlarının spesifik yüzey gelişimini etkileyen faktörler belirlenmiş ve optimum koşullarda üretilen adsorbentlerin adsorpsiyon prosesi ve biyolojik aktif çamur sistemine ilavesiyle KOI ve renk giderim verimleri belirlenmiştir.

### MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık arıtma çamurları, İstanbul'da değişik evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden (gıda, ilaç, alkol-bira, alkol-rakı) alınan arıtma çamurlarından seçilmiştir. Çamurlar  $103^\circ C$ 'de kurutulmuş ve 0,5-2,0 mm boyutu elde edilecek şekilde elenmiştir. Örneklere ait elementel analiz ve kül içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. Piroliz öncesi yüzey alanını arttırmak amacıyla çamur örneklerinin 10'ar gramı 0,5-3,0 M arası değişen konsantrasyonlarda  $ZnCl_2$  çözeltisinde oda sıcaklığında 24 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra  $103^\circ C$ 'de fazla suyu kurutulan örnekler düşey bir fırında (Lenton)  $500^\circ C$  piroliz sıcaklığı ve  $10^\circ C/dk$  ısıtma hızıyla  $100 cm^3/dk$  azot gazı akımı altında pirolizi yapılmıştır. Isıtma hızı, piroliz sıcaklığı, bekletme süresi ve aktivasyon koşulları kokun oluşumunu ve özelliklerini etkilemektedir.

Piroliz işleminin ardından, üretilen kok 3 M HCl ile yıkanmış ve destile su ile durulanmış ardından  $103^\circ C$ 'de kurutulmuştur (Tay ve ark. 2001). Bu işlem ile piroliz sırasında kararlı bir yapıya dönüşen kokun, yüzey alanı ölçümü öncesinde  $ZnCl_2$ 'den arındırılması sağlanmıştır. Üretilen kokların spesifik yüzey alanları yüzey alanı ölçüm cihazında (Micromeritics Flowsorb II-2300) azot adsorpsiyonu ( $77^\circ K$ 'de) metoduna göre ölçülmüş ve BET eşitliğinden spesifik yüzey alanı belirlenmiştir.

Çamur ve piroliz koku örneklerindeki karbon, hidrojen ve azot miktarları, Carlo Erba 1106 elementel analiz cihazı (LECO, CHNS 932) ile, yarı kantitatif elementel analizi ise (XRF) Philips PW-2404 Model dalga boyu dağılımlı X-ışını Floresan Spektrometre cihazı ile yapılmıştır.

Tekstil boyama atıksuyu, İstanbul Avcılar'da kurulu bir tesise ait atıksu arıtma tesisi girişinden alınmıştır. Tekstil endüstrisi atıksularının kimyasal analizi yapılmış ve kullanılan atıksuyun, Anonymous (1978) tarafından yapılan tekstil endüstrisi atıksularının sınıflandırılması kriterlerine göre, son terbiye ve boyama-yıkama işlemlerinden kaynaklanan atıksuların genel özelliklerine uyduğu görülmüştür (Tablo 2).

Atıksulardan KOI ve renk giderimi amacıyla kesikli biyolojik reaktörler kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında PVC den yapılmış ve 5 noktadan örnek alınmasına olanak sağlayan 4 adet ø15 cm x 25 cm boyutlarında reaktörler kullanılmıştır. Bu reaktörlerde devir ayarlı bir karıştırıcı ile tam karışım sağlanmıştır. Sistem, uygun çözünmüş oksijen değerlerinin sağlanması amacıyla difüzörler ile havalandırılmıştır. Reaktörlerde pH 6,5-8,0, sıcaklık ise 22-23°C değerlerine ayarlanmıştır. Biyolojik arıtmalarda F/M (mg KOI/mg UAKM) oranı 0,5 ve 1 için araştırılmış ancak birincisinde kısa sürede yeterli arıtımın sağlanması üzerine piroliz kokunun etkisinin izlenebilmesi için F/M= 1 oranı seçilmiştir. Böylece kesikli olarak işletilen biyolojik sistemde, tekstil boyama ve yıkama prosesine ait atıksulardan KOI ve renk giderimi, seçilen işletme koşullarında (F/M= 1,0,  $\Theta_{\zeta}$ = 10 gün) yürütülmüştür. Çalışmada reaktörlerden birincisinde sadece havalandırma, ikincisinde piroliz koku ile adsorpsiyon, üçüncüsünde aktif çamur ile biyolojik arıtım ve dördüncüsünde ise aktif çamur+piroliz kok ürün birlikte arıtım çalışmaları yürütülmüştür. Havalandırma, piroliz koku, aktif çamur ve aktif çamur+piroliz kok ürünler ile işletilen reaktörler, tekstil boyama-yıkama tesisi atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzundan alınan aktif çamur ile beslenmiştir. Dört reaktörde de eş zamanlı çalışılmıştır.

KOI deneyleri, Standard Methods 5220 B de belirtilen standart yöntem (open reflux) uygulanarak yapılmıştır (Anonymous 1995). Renk parametresi belirlenirken, Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre belirlenen standartlar temel alınmış, RES ölçümleri görünür ışık Novespec II spektrofotometresi ile 436 nm (sarı), 525 nm (kırmızı) ve 620 nm (mavi) de ölçülerek Renklilik Sayısı (RES) hesaplanmıştır. İşlem için atıksu numunesi 11000 devir/dakika'da 10 dakika süre ile santrifüj edilmiş, distile suya karşı numunelerin ölçümleri yapılmıştır.

Adsorpsiyon testleri ise, Freundlich ve Langmuir İzotermi kullanılarak yapılmıştır. Freundlich izotermi,

$$q_e = k_F C_e^{1/n_e}$$

eşitliği ile ifade edilir ve  $q_e$ ; dengede yüzeyin adsorban konsantrasyonu (mg/g),  $C_e$ ; dengede çözelti konsantrasyonu (mg/L),  $k_F$  ve  $n_e$ , izoterm sabitleridir. Langmuir İzotermi, aşağıdaki bağıntı ile

ifade edilmektedir;

$$q_e = \frac{Q^0 b C_e}{1 + b C_e}$$

Eşitlikte,  $C_e$ ; denge konsantrasyonunu (mg/L),  $q_e$ ; adsorplanan madde miktarını (mg/g),  $Q^0$ ; tam bir tek tabaka için  $q_e$  (mg/g) ve  $b$  ise adsorpsiyon denge sabitini (L/g) ifade etmektedir.

### BULGULAR

Arıtma çamurlarından elde edilen adsorbentler ile tekstil boyama atıksularından KOI ve renk giderimi çalışmalarında, ilk olarak atık arıtma çamurunun kimyasal analizi ve adsorbent özelliği araştırılmıştır (Tablo 1). Piroliz ile adsorbent özelliği kazandırılmış koklar, evsel ve endüstriyel arıtma tesisi çamurlarından üretilmiştir. Evsel ve endüstriyel arıtma tesisi çamurlarıyla aynı koşullarda değişen  $ZnCl_2$  konsantrasyonlarında yapılan çalışmalarda, en yüksek yüzey alanı 2 M  $ZnCl_2$  ön aktivasyonu ile alkol-rakı endüstrisi arıtma çamurundan elde edilmiştir (814,48 m<sup>2</sup>/g). Belirlenen koşullarda yapılan çalışmalarda  $ZnCl_2$  ön aktivasyonu ile evsel nitelikli çamurlarda 3 M  $ZnCl_2$  kullanılarak 337,4 m<sup>2</sup>/g, gıda endüstrisi çamurlarında 2 M  $ZnCl_2$  kullanılarak 689,85 m<sup>2</sup>/g, ilaç endüstrisi çamurlarında 3 M  $ZnCl_2$  kullanılarak 596,33 m<sup>2</sup>/g ve alkol-bira endüstrisi çamurlarında 2 M  $ZnCl_2$  kullanılarak 482,30 m<sup>2</sup>/g spesifik yüzey alanına ulaşılmıştır.

Tablo 3'de, artan  $ZnCl_2$  konsantrasyonlarında uygulanan ön aktivasyon ile farklı başlangıç çamurlarının yüzey alanı değişimi verilmiştir. Piroliz öncesinde,  $ZnCl_2$  ile ön aktivasyon uygulanan çamur örneklerinin yüzey alanı, kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir.

Tekstil boyama endüstrisi atıksularından KOI ve renk giderimi için yapılan çalışmaların devamında, tesisten alınan atıksu örneklerinin kimyasal analizi yapılmış ve 4,0 L'lik reaktörlere arıtma çamurundan elde edilen piroliz kokunun ilavesiyle, atıksuyun aerobik biyolojik arıtımında KOI ve renk parametrelerinin değişimi izlenmiştir.

Değişen miktarlarda (1000-1500-2000 mg/L) piroliz kokunun ilavesi+mikroorganizma ve mikroorganizma+piroliz koku ile eş zamanlı olarak işletilen 4 kesikli reaktörde gerçekleştirilen ve F/M= 1,0 olan arıtımın, izleme parametrelerinden KOI değişimleri Şekil 1 ve üç dalga boyuna ait RES değişimleri ise Şekil 2-3-4 'de verilmiştir.

Eş zamanlı işletilen reaktörlerde, farklı katkı oranlarında elde edilen KOİ giderim verimleri, 6 saatlik arıtım işlemi sonunda havalandırma ile %20, 1000-1500-2000 mg/L piroliz koku ile %27,5-%31-%40, mikroorganizma ile %70 ve biyolojik sisteme 1000-1500-2000 mg/L piroliz koku katkısı ile %72-%73-%87 olarak belirlenmiştir. 24 saat boyunca izlenen reaktörlerde, gerçek bir sisteme uygulanabilirlik ve yüksek giderim verimlerinin elde edilmesi açısından ilk 6 saatlik veriler karşılaştırılmıştır.

Biyolojik sisteme, 2000 mg/L piroliz koku ilavesiyle 24 saat boyunca KOİ' deki giderim %87,94'den %97,94'e yükselirken, renkteki değişim 436 nm'de 3,3'den 1'e; 525 nm'de 4,1'den 1,1'e; 620 nm'de 1'den 0,7'e düşmüştür.

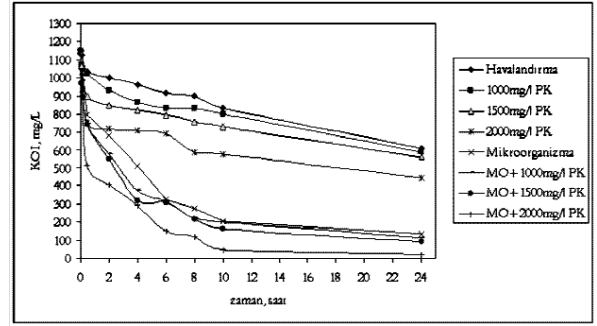
Tekstil atıksuyunun piroliz koku ile adsorpsiyonu sonucunda elde edilen verilerin Freundlich ve Langmuir izotermlerine uyumluluğu araştırılmış ve izoterm değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

### TARTIŞMA

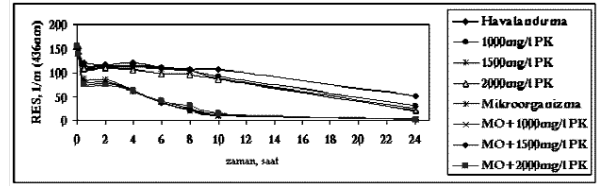
Çalışmamızda, evsel ve endüstriyel kaynaklı arıtma çamurlarının pirolizi ve yüzey alanı gelişimi incelenmiş, karbon içeriği yüksek kül içeriği düşük atık arıtma çamurlarından alkol-rakı endüstrisi atıksu arıtma tesisi çamurlarının 2 M ZnCl<sub>2</sub> ile ön aktivasyonu ve 500°C' de 2 saat süreyle, 10°C/dk ısıtma hızında azot ortamında pirolizi yapıldığında en yüksek yüzey alanı 814,48 m<sup>2</sup>/g olarak belirlenmiştir. Literatürde, Tay ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmalarda çürütülmemiş evsel atıksu arıtma çamuru örnekleriyle 5M ZnCl<sub>2</sub> katkısında 500°C de ve 10°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilen pirolizinde 541,7 m<sup>2</sup>/g yüzey alanına ulaşılmış ve çalışmamızda daha düşük ZnCl<sub>2</sub> katkısı ile daha yüksek yüzey alanı elde edilmiştir.

Evsel kaynaklı arıtma çamurlarının pirolizi çalışmalarında ise, yüzey alanı gelişimi sağlanmasına rağmen elde edilen adsorpsiyon verimlerinin düşük olması nedeniyle, giderim çalışmalarında tercih edilmemektedir (Aydın 2004, Jeyaseelan ve ark. 1996).

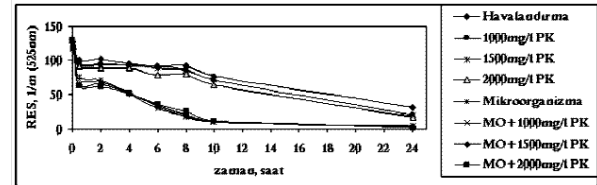
Ticari aktif karbon için spesifik yüzey alan değerlerinin 600-1100 m<sup>2</sup>/g aralığında değiştiği göz önüne alındığında, özellikle kül içeriği düşük olan arıtma çamurlarının kimyasal aktivasyon ile uygun özellikte adsorbent olacağı görülmektedir. Arıtma çamuru kaynaklı piroliz koku diğer kaynaklardan üretilen koka göre umut verici olmuştur. Elde edilen kokun sahip olduğu yüksek yüzey alanı, ticari aktif



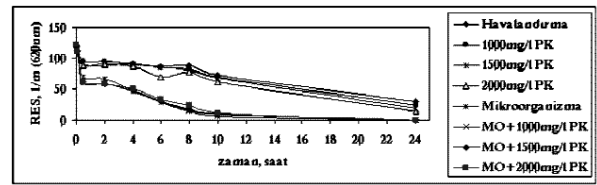
Şekil 1. Tekstil atıksularının kesikli aerobik reaktörde piroliz koku ilavesi ile KOİ gideriminin değişimi.



Şekil 2. Piroliz koku miktarına bağlı RES<sub>436</sub> değişimleri.



Şekil 3. Piroliz koku miktarına bağlı RES<sub>525</sub> değişimleri.



Şekil 4. Piroliz koku miktarına bağlı RES<sub>620</sub> değişimleri.

karbonun kullanıldığı arıtma sistemlerine ucuz bir alternatif sunmaktadır.

Halen klasik aktif çamur sistemi ile arıtılmakta olan tekstil endüstrisi boyama yıkama atıksularının piroliz koku katkısıyla kesikli biyolojik sistemde arıtılması, KOİ ve renk parametrelerinin izlenmesiyle yürütülmüştür. Literatürde (Pala ve ark. 2002, Martin ve ark. 2003) adsorbent özelliği taşıyan bentonit, aktif kil, toz aktif karbon gibi maddeler ilavesi ile sentetik olarak hazırlanan atıksu örnekleri kullanılmakta ise de, çalışmamızda gerçek bir tesis ve atıksu örneği tercih edilmiştir.

DeneySEL çalışmalarda, sadece havalandırma uygulanan reaktörde gerek KOİ ve gerekse renk parametrelerinin giderimi çalışılan atıksuda uçucu bileşenlerin varlığının göstergesidir. Giderim her iki parametre için piroliz koku miktarına bağlı olarak

**Tablo 1.** Arıtma çamurlarının kimyasal bileşimi ve kül içerikleri.

Örnek	Kül (% ağırlıkça)	Elementel Analiz (% ağırlıkça)			
		C	H	N	P
Tuzla- Evsel	53	22,1	3,45	3,07	-
Gıda	31	33,59	5,43	5,19	25,9
İlaç	30	33,64	4,55	5,72	0,26
Alkol-bira	30	36,55	5,29	6,53	0,24
Alkol-rakı	9	48,79	6,68	9,54	0,24

**Tablo 2.** Tekstil son terbiye, boyama ve yıkama endüstrisi atıksularının özellikleri.

Parametre	Değer	Anonymous ,1978
KOI, mg/L	1150 – 1550	800 – 1200
BOI <sub>5</sub> , mg/L	320 – 360	250 – 650
BOI <sub>5</sub> /KOI	0.28 – 0.32	0.31 – 0.54
TKN, mg/L	28 – 35	-
Toplam Fosfor, mg/L	3.4 – 4.2	-
Ortofosfat, mg/L	1.05 – 1.29	-
AKM, mg/L	75 – 125	75 – 300
pH	9 – 10	8 – 11
Renklilik Sayısı RES <sub>436</sub>	52 – 198	-
Renklilik Sayısı RES <sub>525</sub>	41 – 189	-
Renklilik Sayısı RES <sub>620</sub>	34 – 122	-

**Tablo 3.** ZnCl<sub>2</sub> ön aktivasyonu ile yüzey alanı değişimi.

	Spesifik yüzey alanı, m <sup>2</sup> /g				
	0,5 M ZnCl <sub>2</sub>	1,0 M ZnCl <sub>2</sub>	1,5 M ZnCl <sub>2</sub>	2,0 M ZnCl <sub>2</sub>	3,0 M ZnCl <sub>2</sub>
Tuzla Evsel	-	135,49	298,75	307,76	337,4
Gıda	130,4	559,43	444	689,85	225,33
İlaç	35,7	280	425	519,35	596,33
Alkol Bira	140	289,29	390	482,3	326,67
Alkol Rakı	255,34	438,73	624,2	814,48	778,79

**Tablo 4.** Freundlich ve langmuim izoterm sabitleri

	Freundlich			Langmuir		
	k <sub>f</sub>	1/n	R <sup>2</sup>	Q <sup>o</sup>	b	R <sup>2</sup>
KOI	0.0283	1.0675	0.86	3.33.10 <sup>3</sup>	0.0085	0.85
RES <sub>436</sub>	6.57.10 <sup>-12</sup>	6.0918	0.96	0.9600	0.0092	0.99
RES <sub>525</sub>	9.89.10 <sup>-9</sup>	4.6195	0.95	1.1479	0.0104	0.91
RES <sub>620</sub>	3.19.10 <sup>-12</sup>	6.4835	0.92	0.6705	0.0114	0.96

artmakta ve renk oluşturan boyar maddeler kok üzerinde %40-50, KOİ ise %28-50 oranında adsorplanmaktadır. Piroliz koku üzerinde bu iki parametrenin adsorpsiyonunun Freundlich ve Langmuir izotermine uygunluğu araştırılmıştır.

Tablo 4'de verilen değerler incelendiğinde, KOİ için Freundlich izotermi ile belirlenen adsorpsiyon kapasitesi, deneysel verilerle uygunluk göstermekte ve literatürde belirtildiği gibi adsorpsiyonda dengeyi ifade etmektedir (Otero ve ark. 2003).

Kesikli sistemlerde yürütülen çalışmamızda, mikroorganizma ve piroliz koku kullanılarak elde edilen verimlerin yalnız mikroorganizma kullanılması durumunda da büyük oranda değişmediği görülmektedir. Ancak sürekli bir sistemde ve değişen atıksu içeriğinde, ortamdaki piroliz kokunun daha etkin ve verime katkısının daha yüksek olacağı düşünülmektedir. Ayrıca piroliz kokunun aktif karbona benzer yapısı ile hem biyolojik sistemlerde karşılaşılabilecek inhibisyonlara engel olacağı hem de atık minimizasyonu çerçevesinde ekonomik olduğu göz ardı edilmemelidir.

Artan katkı konsantrasyonu aktif çamur içeren reaktörde %82 olan KOİ giderim verimini %96 seviyelerine çıkarmakta ancak renk parametreleri için ek bir arıtım görülmemektedir. Bu durum biyolojik bozunma son ürünlerinin adsorbent yüzeyinde tutulduğu şeklinde yorumlanmakta ve literatür bilgileriyle de desteklenmektedir (Aktaş ve Çeçen 2001).

Sonuç olarak biyolojik aktif çamur uygulanan atıksu arıtma sistemlerine atık çamurların pirolizi ile elde edilen adsorbentin ilavesi sistemin kararlılığını ve performansını artırmaktadır. Çalışmamıza konu edilen tekstil endüstrisi atıksularının çok değişken özellikte olması nedeniyle sistem performansı yanı sıra sistemin kararlılığı önem kazanmakta, bu bağlamda piroliz koku ilavesiyle yapılacak biyolojik arıtımın ilgili işletmeler için alternatif olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aktaş Ö, Çeçen F (2001) Addition of activated carbon to batch activated sludge reactors in the treatment of landfill leachate and domestic wastewater. J Chem Technol Biotechnol 76, 793-802.
- Anonymous (1995) Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> edition, APHA-AWWA-WEF, New York.
- Anonymous (1978) Textile Processing Industry. USA Environmental Protection Agency, Washington.
- Aydın S, (2004) Atıksu arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Filibeli A (2002) Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Üçüncü Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 255, İzmir.
- Jeyaseelan S, Lu G Q, (1996) Development of adsorbent/catalyst from municipal wastewater sludge. Water Science and Technology 34, 499-505.
- Krogmann U, Boyles L S, Martel C J, McComas A K (1997) Biosolids and sludge management. Water Env Res 69, 534-549.

Martin M J, Artola A, Balaguer M D, Rigola, M (1996) Feasibility of activated carbon production from biological sludge by chemical activation with  $ZnCl_2$  and  $H_2SO_4$ . *Environmental Technology* 17, 667-672.

Otero M, Rozada F, Calvo L F, Garcia, A I, Moran A (2003) Elimination of organic water pollutants using adsorbents obtained from sewage sludge. *Dyes and Pigments* 57, 55-65.

Pala A, Tokat E (2002) Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives. *Water Research* 36, 2920-2925.

Tay J H, Chen X G, Jeyaseelan S, Graham N (2001) A comparative study of anaerobically digested and undigested sewage sludges in preparation of activated carbons. *Chemosphere* 44, 53-57.