



İLAÇ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIMINDA AKTİF ÇAMURA TOZ AKTİF KARBON İLAVESİNİN ETKİSİ

Ferhan ÇEÇEN, Özgür AKTAŞ

Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, 80815, Bebek, İstanbul

Öz: Bu çalışmada ilaç endüstrisinden kaynaklanan kimyasal sentez atıksuyunun biyolojik arıtımında toz aktif karbon ilavesinin etkileri üzerinde çalışılmıştır. Aktif çamura toz aktif karbon eklenmesinin amacı zor ayrışan ve toksik organik maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Deneysel çalışmaların ilk basamağında toz aktif karbon aktif çamura doğrudan eklenmiştir. İkinci basamakta ise, atıksu önce aktif karbonla temas ettirildikten sonra aktif çamur reaktörüne beslenmiştir. Performans değerlendirmesi KOİ, oksijen tüketim hızı (OTH) ve UV-Vis spektrumunda ölçülen değerler kullanılarak yapılmıştır. Toz aktif karbonun doğrudan ilavesi ile toz aktif karbonla ön arıtma benzer sonuçlara yol açmıştır. Ancak, aktif karbonun doğrudan ilavesi, aktif karbonla ön arıtma seçeneğine nazaran daha pratik bulunmuştur. Aktif karbon ilavesi ile atıksudaki zor ayrıştırılan maddeler ve renk önemli ölçüde azaltılmıştır. Aktif karbon ilavesi durumunda aktif çamurun oksijen tüketim (OTH) hızı yükselmekte olup, bu durum inhibisyonun azaltılabildiğini göstermiştir. Sistemin performansını değerlendirmek açısından, OTH, spektral parametreler ve KOİ'nin beraber yorumlanması sadece KOİ'yi esas almaktan dahaiyi sonuç vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, aktif çamur, ilaç atıksuyu, spektral ölçümler, oksijen tüketim hızı

THE IMPACT OF POWDERED ACTIVATED CARBON ADDITION ON THE TREATMENT OF A PHARMACEUTICAL MANUFACTURING WASTEWATER IN AN ACTIVATED SLUDGE SYSTEM

Abstract The impact of powdered activated carbon (PAC) on the biotreatment of a chemical synthesis wastewater emerging from a pharmaceutical industry was studied. The aim of activated carbon addition to activated sludge was to decrease inhibitory and non-biodegradable organics. In the first stage of experimental studies, PAC was directly added to activated sludge. In the second stage, the wastewater was first contacted with PAC and then treated in an activated sludge reactor. COD, oxygen uptake rate (OUR) and ultraviolet-visible (UV-Vis) spectral measurements were carried out for the evaluation of performance. Direct PAC addition and PAC pretreatment led to similar results, but direct PAC addition was considered more practical than pretreatment with PAC. With the addition of PAC, the level of non-biodegradable matter and the colour of the wastewater were significantly reduced. In any case, the addition of PAC increased the OUR of activated sludge, indicating that inhibition could be decreased. The combined evaluation of OUR, spectral parameters and COD gave a better insight into the processes taking place than the COD parameter alone.

Keywords: Activated carbon, activated sludge, oxygen uptake rate, pharmaceutical wastewater, spectral measurements.

GİRİŞ

Çeşitli endüstrilerde ilaç sektörü için kimyasal ham madde üretilmektedir. Bu kimyasalların bir kısmı biyolojik olarak ayrışmayan, toksik veya inhibitör özellikler göstermektedir. Aktif çamur sistemlerinde, toksisite ya da inhibisyon oksijen

tüketim hızı (OTH) ölçümleri ile de belirlenebilmektedir. Toz aktif karbonun aktif çamura ilavesi sayesinde zor ayrışan, toksik veya inhibitör organik maddeler adsorplanarak giderim verimi artırılabilir (Çeçen ve Aktaş, 2001; Aktaş ve Çeçen, 2001). Birçok araştırmacı bu sistemlerde organik bileşiklerin gideriminin,

biyolojik arıtım ve adsorpsiyonun ayrı ayrı uygulanmasının toplamından daha fazla olduğunu (sinerjistik) ileri sürmektedir (Orshansky ve diğ., 1997). Bazı araştırmacılar ise bu sistemlerde giderimin adsorpsiyon ve biyolojik giderimin basit bir bileşimi olduğunu saptamışlardır (Xiaojian ve diğ., 1991; Çeçen, 1994).

Bu çalışmanın amacı, bir endüstriyel atıksuyun aktif karbon ilaveli biyolojik arıtımını incelemektir. Atıksuyun kaynaklandığı endüstride, kimyasal sentez yoluyla ilaç bileşenleri üretilmektedir. Söz konusu fabrikada fizikokimyasal ve biyolojik ünitelerden oluşan bir arıtma tesisi de bulunmaktadır. Arıtılmış atıksuların kanalizasyona deşarjı sırasında çıkış suyu genellikle renkli olmakta ve KOİ sınır değerleri aşılmaktadır. Ayrıca aktif çamur reaktöründe nitrifikasyon sağlanamamaktadır. Literatürde bazı tekil solventlerin aktif çamur proseslerinde yol açtığı toksisiteyle ilgili çalışmalar bulunmakla beraber, tüm ilaç atıksuları hakkında ve toz aktif karbon ilavesinin yararları hususunda fazla çalışma yoktur (Kilroy ve diğ., 1992; Hall ve diğ., 1996).

MATERYAL VE METOD

Endüstri ve Atıksuyun Özellikleri

Söz konusu endüstri, antibiyotik üretiminde kullanılan çeşitli aktif ilaç bileşenleri üretmektedir. Üretim esnasında izopropil alkol, aseton, etil asetat, izopropil eter, metilen klorür, N, N dimetil formamid, N, N dimetil asetamid, etanol, metanol, kloroform, toluen ve tetrahidrofuran gibi solventler kullanılmaktadır. Solventlerin geri kazanımından sonra, atıksu fizikokimyasal arıtıma tabi tutulmaktadır. Atıksu daha sonra fabrikanın evsel atıksuyuyla birlikte aktif çamur sisteminde arıtılmaktadır. Biyolojik arıtmadan çıkan atıksu ise kanalizasyona deşarj edilmektedir. Öte yandan çıkış suyu genellikle renkli olmakta ve KOİ sınır değerleri aşılmaktadır. Ayrıca aktif çamur reaktöründe nitrifikasyon sağlanamamaktadır.

Bu çalışmanın amacına bağlı olarak endüstriyel atıksu fizikokimyasal arıtım sisteminin çıkışından alınmıştır ve özellikleri şu şekildedir: Toplam KOİ (TKOİ) :26040 mg/l, Çözünmüş KOİ (ÇKOİ): 25890 mg/l, Toplam Kjeldahl Azotu (TKA): 306 mg N/l, NH₄-N: 206 mg/l, NO_x-N: 28 mg/l, BOI₅: 13300 mg/l, Toplam Alkalinite: 8050 mg CaCO₃/l, Bikarbonat alkalinitesi: 7500 mg CaCO₃/l, Karbonat alkalinitesi: 550 mg CaCO₃/l, pH: 9.52.

Laboratuvar ölçekli bu çalışmada yukarıda özellikleri verilen atıksu tesiste olduğu gibi 1:1 (v/v) oranında evsel atıksuyla karıştırılmış ve toplam atıksuyun KOİ'si 12500 mg/l düzeyine gelmiştir. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda, evsel atıksuyun sentetik olarak hazırlanması diğer bir makalede açıklanmıştır (Çeçen ve Aktaş, 2001).

Deneysel Prosedür

İlk olarak, toz aktif karbon (Norit SA4) ile adsorpsiyon çalışmaları yapılmış, çözülmüş KOİ ve spektral parametreler (UV₂₅₄, UV₂₈₀, A₄₀₀, A₄₃₆) cinsinden Freundlich izotermeleri belirlenmiştir. Bu çalışmada yeni bir yaklaşım olarak, toplam bir parametre olan çözülmüş KOİ ile spektral parametreler birlikte değerlendirilmiştir. A₄₀₀ ve A₄₃₆ suyun renk yoğunluğunu göstermektedir. Kullanılan toz aktif karbonun özellikleri başka bir çalışmada verilmektedir (Aktaş ve Çeçen, 2001). Kesikli adsorpsiyon deneyleri için bir çalkalayıcı kullanılmıştır. Bu deneylerde başlangıç çözülmüş KOİ konsantrasyonu 14130 mg/l ve aktif karbon dozu 1000-15000 mg/l arasındadır. Denge durumuna çözülmüş KOİ cinsinden 48, spektral parametreler ölçüldüğünde ise 24 saatte ulaşılmıştır. Adsorpsiyon aşağıdaki Freundlich eşitliği kullanılarak ifade edilmiştir:

$$q = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (1)$$

q: adsorplanan miktar (mg ÇKOİ/mg aktif karbon)
C_e: Denge konsantrasyonu (mg ÇKOİ/l)
K_f ve 1/n: Freundlich sabitleri (adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon yoğunluğu)
ÇKOİ cinsinden adsorpsiyon kapasitesi K_f (K_f: 8*10⁻¹⁶ mgÇKOİ/mg aktif karbon) spektral parametrelerle kıyaslandığında çok küçük olarak tespit edilmiş ve adsorpsiyon yoğunluğu (1/n: 3.56) çözülmüş KOİ'nin çoğunun adsorbe olmayan bileşiklerden kaynaklandığını göstermiştir. En iyi adsorpsiyon bir renk parametresi olan A₄₃₆ cinsinden tesbit edilmiştir (K_f: 0.0012m⁻¹/mg PAC, 1/n:0.74). Bu durum aktif karbon ile rengin etkili bir şekilde giderildiğini göstermektedir.

Bir sonraki aşamada, toz aktif karbon kesikli aktif çamur reaktörlerine ilave edilmiştir. Çalışmalar karşılaştırma amacı ile gerek kesikli aktif çamur (AS), gerekse aktif karbon ilaveli (doz:1000 - 5000 mg/l) kesikli aktif çamur reaktörlerinde (AS+PAC) gerçekleştirilmiştir. Aktif karbon ilaveli arıtma iki değişik biçimde yapılmıştır, reaktör koşulları ve sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

İlaç Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Aktif Çamura Toz Aktif Karbon İlavesinin Etkisi

Tablo 1. Aktif çamur (AS), doğrudan aktif karbon ilaveli aktif çamur (AS+PAC) ve aktif karbon ile ön arıtmalı aktif çamur (PACpret.+AS) reaktörlerinin özellikleri

Prosedür A: AS ve AS+PAC reaktörlerinin performans karşılaştırması								
Deney No.	Endüstriyel Atıksu Oranı (% hacim)	Reaktör Tipi	Aktif karbon (PAC) dozu (mg/l)	Başlangıç ÇKOİ (mg/l)	Başlangıç AKM (mg/l)	24 saat sonra Kalan ÇKOİ (mg/l)	Başlangıç UV ₂₅₄ (m ⁻¹)	24 saat sonra kalan UV ₂₅₄ (m ⁻¹)
A1	50	AS	-	11854	1150	-	1120	1342
	50	AS+PAC	2000	11854	1270	7572	1120	1010
A2	50	AS	-	11950	1090	9010	1162	1230
	50	AS+PAC	2000	11950	1070	8102	1162	904
A3	50	AS	-	12805	1210	8102	1150	1102
	50	AS+PAC	3000	12853	1180	7388	1150	808
A4	50	AS	-	12973	1130	7427	1208	1000
	50	AS+PAC	3000	12973	1180	6753	1208	700
A5	50	AS	-	13697	1320	7960	1218	1063
	50	AS+PAC	3000	13697	1250	7137	1218	663
A6	50	AS	-	13110	1050	8071	1254	986
	50	AS+PAC	5000	13110	1080	7034	1254	540
A7	50	AS	-	13110	1080	7517	1254	997
	50	AS+PAC	5000	13110	1100	6559	1254	530
A8	5	AS	-	1585	1670	480	1255	127.8
A9	25	AS	-	7049	1350	3624	591	620
	25	AS+PAC	3000	7049	1350	3624	591	294
Prosedür B: AS, AS+PAC ve PACpret.+AS reaktörlerinin performans karşılaştırması								
B1	50	AS	-	12518	1350	9849	1255	1082
	50	AS+PAC	5000	12641	1350	8416	1255	654
	50	PACpret.+AS	5000	11890	1350	7675	1255	624
B2	50	AS	-	12888	1020	10640	1246	1266
	50	PACpret.+AS	3000	12542	1020	8466	1246	648

Prosedür A: İlk basamakta kesikli aktif çamur reaktörleri (AS) endüstriyel ve evsel atıksu karışımı ile beslenmiştir. Aktif karbon ilaveli kesikli aktif çamur reaktörlerine (AS+PAC) ise her deneyin başında doğrudan aktif karbon ilavesi yapılmıştır. Deneyler 22-25°C sıcaklıkta ve 2 litrelik havalandırılmalı kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. A1-A7 deneylerinde endüstriyel atıksuyun toplam atıksuya hacimsel oranı %50 iken, bu oran A8’de %5’e A9’da %25’e düşürülmüştür.

Prosedür B: Bu deneylerde, endüstriyel atıksu ilk olarak 72 saat boyunca bir çalkalayıcıda aktif karbon ile temas ettirilmiş ve adsorbe olabilen tüm maddeler uzaklaştırılmıştır. Ön arıtması yapılmış bu atıksu daha sonra evsel atıksuyla karıştırılmış ve kesikli aktif çamur reaktörüne verilmiştir (PACpret.+AS). Amaç aktif karbonla ön arıtma ile aktif karbonun doğrudan ilavesini karşılaştırmaktır. Ön arıtmadan sonra aktif karbon endüstriyel sudan

ayrılmamıştır. B1 ve B2 deneylerinde karşılaştırma yapabilmek için ayrıca AS ve AS+PAC konfigürasyonları da test edilmiştir. Bütün biyolojik reaktörlerde (aktif karbonlu ve aktif karbonsuz) 24 saatlik havalandırma sonunda pH değerlerinin 6-7 aralığından 9 civarına yükseldiği görülmüştür. Bu pH artışının biyolojik reaktörlerde nitrifikasyonun gerçekleşmemesinde payı olduğu düşünüldüğünden, B2 deneyinde pH değerleri sürekli olarak ayarlanmıştır. Her iki prosedürde (A ve B) de, zamana bağlı olarak çözünmüş KOİ ve spektral parametreler ölçülmüş, biyolojik aktivite ayrıca OTH ölçümleriyle de izlenmiştir.

Analizler

Tüm analizler Standard Methods’a (1989) uygun olarak yapılmıştır. Çözünmüş KOİ analizleri için numune 0.45 mm kartuş filtreye süzülümüştür. NH₄-N ve TKA analizleri için Gerhardt Vapodest 12 cihazıyla distilasyon yapılmış, TKA için ayrıca Gerhardt Kjeldatherm kullanılmıştır.

Nitrifikasyonun belirlenebilmesi için Hach DR/3 Spectrofotometre ve Nitriver 2 ile Nitriver 5 test kitleri kullanılarak $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonları ölçülmüştür. Askıda katı madde (AKM) ve uçucu AKM ölçümleri başka bir çalışma izah edildiği gibi yapılmıştır (Aktaş ve Çeçen, 2001). Periyodik olarak aktif çamur karışımından alınan numunelerin WTW 3000 oksijenmetre ile oksijen Tüketim Hızı (OTH) ölçümleri yapılmıştır. Filtre edilmiş numunelerde spektral parametreler Shimadzu UV-vis 1208 spektrofotometre ile ölçülmüştür. UV_{254} aromatik bileşiklere karşılık gelirken, UV_{280} komplike aromatik bileşikler işaret etmektedir (Sontheimer ve diğ., 1985). Endüstriyel atıksuyun koyu sarı rengi 400 (A_{400}) ve 436 nm (A_{436}) dalga boylarında ölçülmüştür.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Biyolojik Arıtımda Aktif Karbonun KOİ Giderimi Üzerine Etkileri

Her iki etapdaki deneylerde elde edilen KOİ profilleri Şekil 1a ve b' de gösterilmektedir. Tablo 1'de de 24 saatlik havalandırma sonunda kalan çözünmüş KOİ ve UV_{254} değerleri verilmiştir, zira gerçek sistemlerde bekleme süresi genellikle 24 saati aşmamaktadır. Endüstriyel atıksu hacimsel olarak karışımın %50'sini oluşturduğunda (Deney no A1-A7, Tablo 1), AS reaktörlerinde kalan çözünmüş KOİ 3500 mg/l'nin üzerinde olmuştur (Şekil 1a). Buna göre karışımın yaklaşık %30'u biyolojik olarak ayrıştırılamayan organik maddelerden oluşmaktadır. Karışım KOİ'sinin yaklaşık %20'si uçmayla uzaklaşmıştır. Ancak UV_{254} , UV_{280} , A_{400} and A_{436} değerlerinin çok az değiştiği görülmektedir, bu durum bu ölçümlere karşılık gelen bileşiklerin uçucu olmadıklarına işaret etmektedir.

Öte yandan, aktif karbon ilaveli reaktörlerde çözünmüş KOİ 3000 mg/l'nin altına inmiştir (Şekil 1b). Ancak endüstriyel atıksuyun oranının %50 olduğu durumlarda, çözünmüş KOİ kanalizasyona deşarj standardı olan 800 mg/l'nin altına inememiştir. Deşarj standartları altına inebilmek yalnızca endüstriyel atıksu oranının daha az olduğu A8 ve A9 deneylerinde mümkün olmuştur. AS ve AS+PAC reaktörleri arasında istatistiksel karşılaştırma da yapılmış ve bu iki reaktörde elde edilen sonuçların %95 güvenilirlikle birbirinden önemli ölçüde farklı olduğu tespit edilmiştir.

Reaktörlerde karşılaşılan pH artışları aktif karbon ilaveli reaktörlerde daha kolay kontrol edilebilmiştir. pH ayarının yapıldığı durumda KOİ ve spektral parametrelerin profillerinde dalgalanmalar görülmemiştir. Atıksuyun pH'ının 9 yerine 7-8 dolayında tutulmasına rağmen nitrifikasyon gerçekleşmemiştir. Aktif karbonla ön arıtma yapmak da bu durumu değiştirmemiştir. Muhtemelen, endüstriyel atıksuda adsorbe olmayan nitrifikasyon inhibitörleri bulunmaktadır.

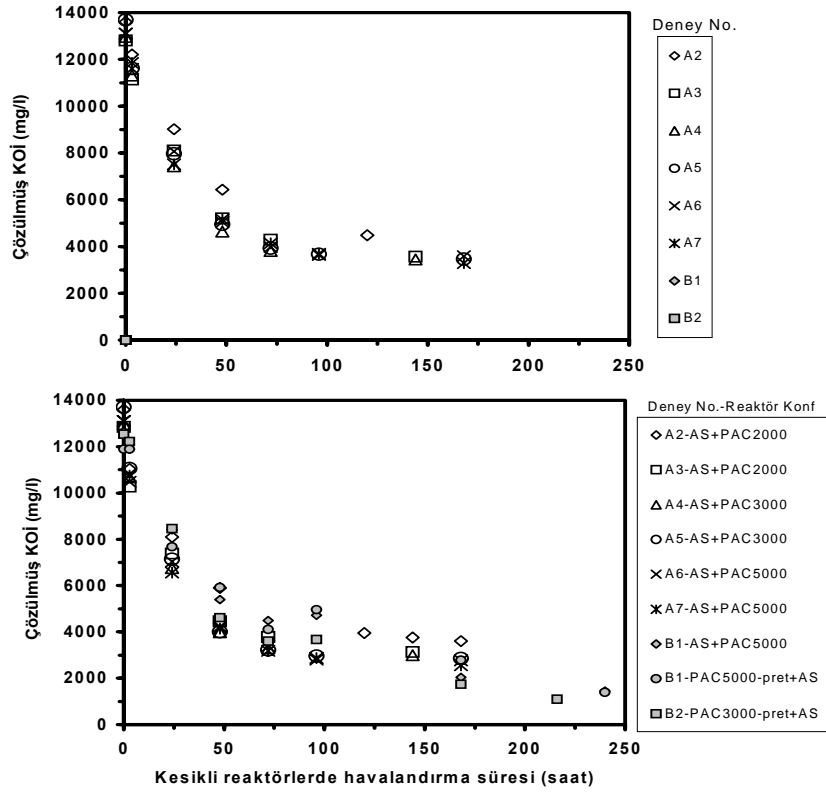
Aktif Karbon İlavesiyle Oksijen Tüketim Hızında (OTH) Değişim

Prosedür A'da, aktif karbon ilaveli reaktörlerde AS reaktörlerine oranla önemli ölçüde yüksek OTH değerleri elde edilmiştir. Ancak, endüstriyel atıksu oranının daha az olduğu A8 ve A9'da AS ve AS+PAC reaktörlerinde OTH değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Bu durum endüstriyel atıksuyun oranının azaldıkça inhibisyonun da azalacağına işaret etmektedir.

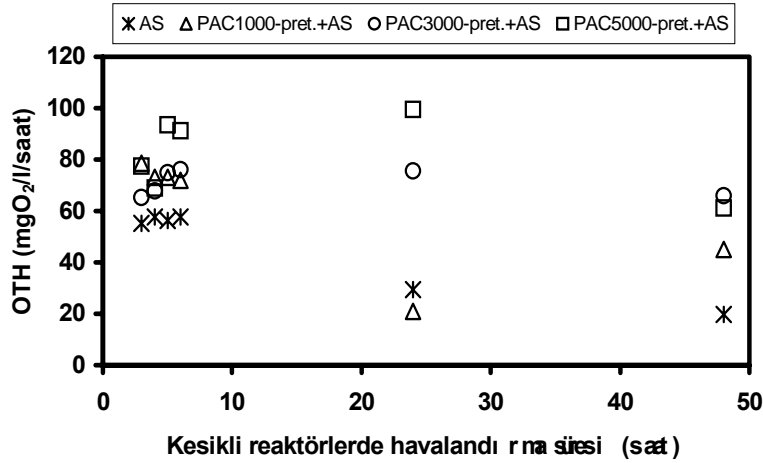
Şekil 2'de aktif karbonla ön arıtmanın aktif çamurda ölçülen OTH değerleri üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Aktif karbonla (PAC) ön arıtma yapılan durumlarda OTH değerleri kontrol AS reaktörüne kıyasla daha yüksek saptanmıştır. ANOVA testiyle yapılan istatistiksel analiz de farklılıkların önemli olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, inhibitör bileşiklerin önceden adsorpsiyonuyla veya aktif karbonun doğrudan ilavesiyle aktif çamurun inhibisyonu azaltılabilmektedir.

Aktif Karbonun Spektral Parametreler Üzerine Etkisi

A ve B kademelerinde aktif karbon ilavesi yapılmadığı durumlarda aktif çamur reaktörlerinde UV_{254} , UV_{280} and A_{436} değerlerinde önemli azalmalar görülmemiştir. Bu parametrelerdeki değişimler en iyi şekilde AS, AS+PAC ve PACpret.+AS konfigürasyonlarının yer aldığı B1 nolu deneyde görülmektedir. AS reaktöründe, çözünmüş KOİ'de azalma olmuştur (Şekil 3a), öte yandan UV_{254} , UV_{280} ve A_{436} değerlerinde neredeyse hiç değişim görülmemiştir (Şekil 3 c-e).



Şekil 1. Arıtma esnasında çözünmüş KOİ profilleri (a) aktif çamur (AS) reaktörlerinde (b) aktif karbonlu aktif çamur reaktörlerinde (A ve B prosedürleri için detaylar Tablo 1’den görülebilir)



Şekil 2. Çeşitli dozlarda aktif karbonla ön arıtmanın oksijen tüketim hızı (OTH) üzerine etkisi

Bir başka renk parametresi olan A400 profilleri de A436'ninkilere çok benzerdir. Aktif karbonun doğrudan ilave edildiği durumda (AS+PAC) ise, UV₂₅₄, UV₂₈₀, A₄₀₀ ve A₄₃₆ değerleri AS reaktörüne kıyasla çok önemli ölçüde azaltılmıştır.

AS reaktöründe KOİ ve spektral parametrelerin profillerinde gözlenen küçük yükselmeler çözünmüş mikrobiyel ürünlerin oluşumu ve giderimine bağlı olabilir. Aktif karbon ilaveli durumlarda çözünmüş mikrobiyel ürünlerin oluşumu ya daha az olmaktadır, ya da literatürde

değindiği gibi aktif karbon üzerine adsorblanmaktadır (Schultz ve Keinath, 1984).

Aktif karbonla ön arıtma sonunda endüstriyel atıksuyun orijinal UV₂₅₄, UV₂₈₀, A₄₀₀ ve A₄₃₆ değerleri sırasıyla 2385 m⁻¹, 1755 m⁻¹, 75 m⁻¹, 30 m⁻¹'den 1305 m⁻¹, 680 m⁻¹, 20 m⁻¹, 10 m⁻¹'ye inmiştir. Buna rağmen, KOİ değeri çok az azalmıştır (27280 mg/l'den 24870 mg/l'ye). Bu durum endüstriyel atıksudaki organik bileşiklerin

önemli bir bölümünün adsoplanır nitelikte olmadığını göstermiştir. Atıksuyun aktif karbonla ön arıtmasını takiben yapılan biyolojik arıtmayla (PACpret.+AS) çözülmüş KOİ'de düşüş sağlanabilmiştir (Şekil 3a). Dolayısıyla, adsorbe olamayan organik maddelerin önemli bir bölümü biyolojik olarak ayrışabilmektedir. Öte yandan, biyolojik reaktörde UV₂₅₄, UV₂₈₀ ve A₄₃₆ değerlerinde neredeyse hiç azalma görülmemiştir (Şekil 3c-e). Çünkü bu maddelerin önemli bir bölümü ön arıtma sırasında adsoblanmış olup, kalan kısmı da muhtemelen biyolojik olarak ayrıştırılabilir değildir. Şekil 3c-e'de görüldüğü üzere, ön arıtma prosedürü (PACpret.+AS) ile doğrudan aktif karbon ilavesi (AS+PAC) çok benzer sonuçlara yol açmaktadır. Sonuçlar istatistiksel olarak da karşılaştırıldığında KOİ, OTH ve spektral parametreler cinsinden farklılıkların önemli olmadığı saptanmıştır.

Aktif karbon ilavesi halinde , UV dalga boylarındaki spektral ölçümlerde elde edilen ek giderim toplam bir parametre olan KOİ'ye göre daha fazla olmuştur. Aktif karbon adsorpsiyonu ve aktif çamur prosesinin bileşimi UV₂₅₄ değerinde maksimum %54 azalmaya yol açmıştır. UV₂₅₄'e tekabül eden bileşiklerin yalnızca küçük bir kısmı (yaklaşık %10) biyodegradasyonla giderilmiştir. UV₂₈₀ cinsinden ise maksimum giderilebilir oran %70 civarında tesbit edilmiştir. Adsorpsiyon başlangıç UV₂₈₀ değerini yaklaşık %61 oranında azaltabilirken, biyolojik arıtım tek başına yalnızca %6 kadar giderime yol açmıştır.

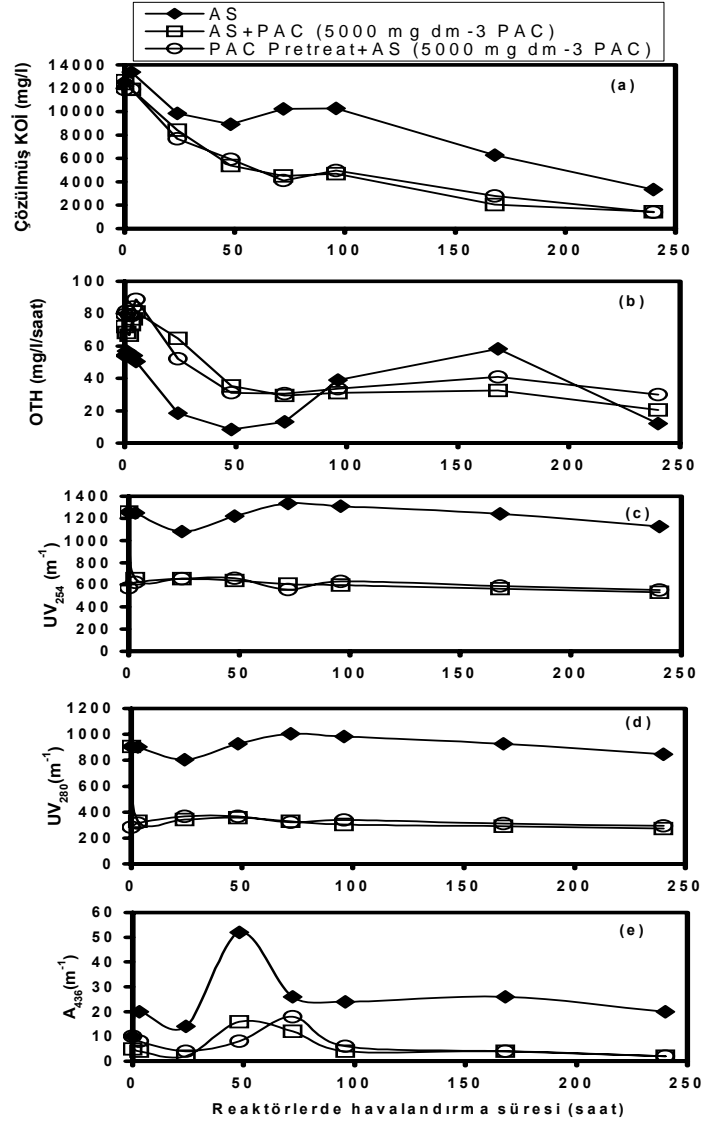
UV₂₅₄ ve UV₂₈₀ ile ölçülen organik maddelerin tamamının giderilememesine rağmen, aktif karbon ilaveli durumlarda A₄₀₀ and A₄₃₆ değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmüştür. Atıksuyun rengine katkı yapan organik maddeler, özellikle 3000 mg/l'nin üzerindeki aktif karbon dozlarında etkili bir biçimde giderilebilmiştir. Atıksuyun rengi 24 saat arıtma sonunda (A₄₃₆ cinsinden) 22-26 m-1'lik değerlerden 2 m-1'nin altına indirilebilmiştir. Nitekim, önceki izotermeler de renk veren maddelerin aktif karbon dozuna bağlı olarak tamamıyla adsorblanabildiğini göstermiştir.

Kapalı çalkalıyıcılardaki adsorpsiyon deneylerine kıyasla, adsorpsiyonun aktif karbon ilaveli aktif çamur reaktörlerinde (AS+PAC) aynı aktif karbon dozlarında biraz daha fazla olduğu ve daha hızlı gerçekleştiği tesbit edilmiştir. Bu durum kesikli aktif çamur reaktörlerinin iyi karıştırılması

yüzünden, karbon taneleri ile atıksudaki bileşiklerin daha iyi temas etmelerine bağlanmıştır. Havalandırmanın başlarındaki bu hızlı adsorpsiyon, en iyi şekilde UV dalga boylarında ölçülen (Şekil 3c-d) ve renk veren (Şekil 3e) bileşikler cinsinden görülmektedir. Çözülmüş KOİ giderimi de bu durumda adsorpsiyon deneylerinden daha hızlı gerçekleşmiştir (Şekil 3a). Bu çalışmanın koşullarında aktif karbon biyorejenerasyonu gerçekleşmemiş gibi gözükmemektedir, zira adsorplanan bileşikler desorbe olmamıştır. Toplam giderimin, aktif karbon adsorpsiyonu ve biyolojik giderimin toplamı kadar olması sinerjistik bir etki olmadığını göstermiştir.

SONUÇ VE YORUMLAR

Bu çalışmanın sonuçları biyolojik sistemlere aktif karbon ilavesinin kimyasal sentez atıksularının arıtımında etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Aktif karbon eklenmesiyle, endüstriyel kirleticilerin aktif çamur prosesinde inhibisyon etkileri azaltılabilmiş ve biyolojik olarak giderilemeyen organik maddeler uzaklaştırılabilmştir. Ancak aktif karbon ilavesi durumunda dahi nitrifikasyon sağlanamamıştır. KOİ parametresi esas alındığında adsorpsiyon izotermeleri aktif karbona adsorpsiyonun düşük olduğunu göstermiştir. Aktif karbon dozuna bağlı olarak çözülmüş KOİ, kontrol aktif çamur reaktörlerine göre % 10-50 daha düşük seviyelere indirilebilmiştir. Aktif karbonun pozitif etkisi, ayrıca oksijen tüketim hızı (OTH) ölçümleri ile de belirlenmiştir. Oksijen tüketim hızları aktif karbon ilaveli reaktörlerde daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, toksik maddelerin adsorpsiyonu ile biyolojik giderimin artırılabilirliğini göstermektedir. Aktif çamur reaktörlerinde (AS) havalandırma sırasında spektral parametreler cinsinden giderim sağlanamazken, aktif karbon ilaveli reaktörlerde (AS+PAC) adsorpsiyon nedeniyle çok hızlı ve etkili giderim sağlanmıştır. Aktif karbonla ön arıtmalı (PACpretreat+AS) yapılması ile doğrudan aktif karbon ilavesi (AS+PAC) arasında toplam giderim açısından istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Bu endüstriyel atıksuyun gideriminde, aktif karbonla ön arıtma yerine, aktif karbonun aktif çamura doğrudan eklenmesi önerilmektedir. Ayrıca spektral parametrelerle belirlenen organik maddelerin (UV₂₅₄, UV₂₈₀, A₄₀₀, A₄₃₆) büyük bölümünün biyolojik olarak



Şekil 3. B1 deney sonuçları (AS, AS+PAC ve PACpret.+AS reaktörlerinde) (a) Çözünmüş KOİ, (b) Oksijen Tüketim Hızı (OTH), (c) UV₂₅₄, (d) UV₂₈₀, (e) A₄₃₆

ayrıştırılmadığı; biyolojik olarak ayrıştırılabilen ve KOİ cinsinden ölçülebilen maddelerin ise çok azının aktif karbona adsorplanabildiği belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, aktif karbonun etkilerini tam olarak ortaya koyabilmek için, KOİ parametresinin tek başına yorumlanması yerine, OTH ölçümleri ve spektral parametrelerle birlikte değerlendirilmesinin çok daha aydınlatıcı olacağını göstermiştir. KOİ parametresi tek başına bir kriter olarak alınırsa aktif karbonun etkisi tam olarak anlaşılabilir. Bu arıtma sonucu atıksuda kalan biyolojik olarak ayrıştırılmayan ve inhibitör maddelerin giderimi için ozonlama ve ileri oksidasyon yöntemleri uygulanması düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Aktaş, Ö., Çeçen, F. (2001) Activated carbon addition to batch activated sludge reactors in the treatment of landfill leachate and domestic wastewater. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **76**, 793-802.
- Çeçen, F. (1994) Activated carbon addition to activated sludge in the treatment of kraft pulp bleaching wastes. *Wat. Sci. Tech.*, **30**(3), 183-192.
- Çeçen, F., Aktaş, Ö. (2001) Effect of PAC addition in combined treatment of landfill leachate and domestic wastewater in semi-continuously fed batch and continuous-flow reactors. *Water SA*, **27**(2), 177-188.

- Hall, E., Sun, B., Prakash, J., Nirmalakhandan N. (1996) Toxicity of organic chemicals and their mixtures to activated sludge microorganisms. *J. Environ. Eng.*, **122**(5), 424-429.
- Kilroy, A. C., Gray N. F. (1992) The toxicity of four organic solvents commonly used in the pharmaceutical industry to activated sludge. *Water Res.*, **26**, 887-892.
- Orshansky, F., Narkis, N., (1997) Characteristics of organics removal by PACT simultaneous adsorption and biodegradation. *Water Res.*, **31**, 391-398.
- Schultz, J. R., Keinath, T. M. (1984) Powdered activated carbon treatment process mechanisms, *Journal WPCF*, **56** (2), 143-151.
- Institut der Universität Karlsruhe (TH). Druckerei G.Braun GmbH, Karlsruhe.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1989). 17th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Xiaojian, Z., Zhansheng, W., Xiasheng, G. (1991) Simple combination of biodegradation and carbon adsorption - mechanism of the biological activated carbon process. *Water Res.*, **25**, 165-172.

Sontheimer, H., Frick, B.R., Fettig, J., Hörner, G., Hubele, C., Zimmer, G. (1985) *Adsorptionsverfahren zur Wasserreinigung*. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-