

Atık Sulardan Parasetamol Gideriminde Aktif Çamur Kullanılması

Behzat BALCI¹, Olcayto KESKİNKAN*¹, Ayşe ERKUŞ²

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van

Özet

Parasetamol, analjezik (ağrı kesici) ve antipiretik (ateş düşürücü) olarak yaygın bir şekilde kullanılan farmasotik bir maddedir. Bu çalışmada, kesikli bir sistemde aktif çamur biyokütlesi (AKM) kullanılarak sentetik atık sudan parasetamol giderim yöntemi araştırılmıştır. Çalışmalarda başlangıç parasetamol konsantrasyonları olarak 2,5, 5,0, 7,5, 10,0 ve 12,5 mg/L; biyokütle konsantrasyonları ise 1000, 2000, 3000, 4000 mg/L olarak deney koşullarında denenmiştir. Aktif çamura parasetamolün verilmesiyle birlikte, çamurun fiziko-kimyasal koşullara 11 gün içinde adapte olduğu görülmüştür. Adaptasyon sürecinden sonra yüksek parasetamol giderim oranları elde edilmiştir. Aktif çamur sisteminde biyokütle miktarı artırıldıkça giderim veriminin arttığı görülmüştür. Parasetamolün çalışılan konsantrasyonlarında aktif çamur biyokütlesine genel olarak inhibisyon etkisinin olmadığı görülmüştür. Çalışmada reaksiyon kinetikleri de araştırılmıştır. Bulguların, parasetamol giderim kinetiğinin en iyi birinci derece reaksiyon kinetiğine 0,9928'lik regresyon katsayısı ile uyum sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parasetamol, Aktif Çamur, Atık su

The Use of Activated Sludge for the Removal of Paracetamol from Wastewaters

Abstract

Paracetamol is a common analgesic (pain reliever) and antipyretic (fever reducer). In this study, removal of paracetamol from synthetic wastewater was investigated in a batch activated sludge system. The initial paracetamol concentrations tested in this study were 2,5, 5,0, 7,5, 10,0 and 12,5 mg/L. In addition, biomass concentrations were 1000, 2000, 3000, 4000 mg/L as an experimental conditions. With the addition of paracetamol to the activated sludge system, sludge adapted to the physico-chemical conditions within 11 days. After adaptation period, high paracetamol removal rates were obtained. Higher treatment efficiency was obtained as the concentrations of biomass increased. Generally, no inhibitory effect of paracetamol onto activated sludge system was observed under the operated conditions. Reaction kinetics were also investigated. Among the reaction equations, the data obtained the best fit to first order degree of reaction kinetics with the 0.9928 correlation constant.

Key words: Paracetamol, Activated Sludge, Wastewater

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Olcayto KESKİNKAN, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana. olcayto@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Farmasotik olarak aktif olan madde (FAM)'lerin günümüzde insan kullanımı ve veterinerlik amaçlı kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve kullanım miktarları artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, kirleticiler arasında önemli ve acil önlem alınması gereken gruplar arasına girmiştir. Farmasotik olarak aktif olan bileşikler, insan ve hayvanlarda görülebilen bir takım hastalıkların, düzensizliklerin ve anormal fiziksel durumların veya bunların semptomlarının teşhisi, tedavisi, hafifletilmesi veya engellenmesi amacı ile üretilen bir veya birkaç etken madde karışımını ihtiva edebilen bileşiklerdir [1]. FAM terimi geniş bir spektrumda ele alınmak üzere, değişken yapıda, fonksiyonda, davranışta ve aktivitede olan bileşikleri kapsamaktadır [2].

FAM'lar karaciğer, bağırsak, böbrek, akciğer gibi vücut dokularında bir takım enzimatik transformasyonlara uğrarlar. Vücut kendisine yabancı olan bu maddeleri gidermek ve detoksifikasyon amacıyla metabolize ederek tepki verir. Metabolizmanın önemli bir kısmı karaciğerde gerçekleşir. Her ilaç vücutta, etken maddenin bir kısım veya tüm farmosetik aktivitesini giderecek şekilde farklı seviyelerde daha polar metabolitlerine dönüştürülür. FAM'lar sucul ortamlara geçişindeki en yaygın yol insani tüketim neticesinde vücut tarafından kanalizasyon sistemine atılması buradan atık su arıtma tesislerine ve neticede yüzey sularına ulaşmasıdır. FAM'ların vücuttan atılması neticesinde bu kimyasal maddelerin vücut içersinde oluşan metabolit ürünleri de idrar ve dışkı yoluyla su ortamına karışabilmektedir. FAM'lar bu yüzden toprakta, yüzey sularında, dip çamurlarında, evsel atık sularda, arıtma çamurlarında ve yer altı sularında tespit edilmektedir [3]. FAM'ların vücut tarafından metabolize edilmesi FAM türüne göre değişiklik göstermektedir. Örneğin Carbamazepine %97 metabolize olurken bir antibiyotik olan amoksisilin %80-90 arasında vücuttan ana formda atılmaktadır [4]. Birçok FAM faz 1 ve faz 2 şeklinde metabolize edilip vücuttan atılır. Faz 1 reaksiyonları genelde oksidasyon, redüksiyon ve hidroliz basamaklarından oluşur. Metabolitler esas etken maddeden daha aktif ve toksik olabilir. Faz 2

reaksiyonları, konjugasyon basamağını kapsar böyle madde inaktif bir forma geçer [3]. FAM maddeler vücutta glukoronidasyon ile inaktif konjuge yapıya geldikleri zaman bu konjuge bağlar *Escherichia coli* ve bazı diğer bakteriler tarafından üretilen beta-glukuridaz enzimi sayesinde kanalizasyon şebekelerinde ve arıtma tesislerinde glukonid konjugeleri kolayca parçalanarak esas etken madde ortama verilmiş olur [5].

FAM'ların sucul ortamlardaki davranışları ve metabolitleri henüz tam olarak tanımlanmamıştır. Atık su arıtımında iki önemli giderim prosesi vardır. Bunlar askıdaki katılara (arıtma çamuru) adsorpsiyonu ve biyolojik parçalanmadır. Adsorpsiyon, FAM'ların partiküllerle ve mikroorganizmalarla hidrofobik ve elektrostatik etkileşimlerine bağlıdır. Steroid dışı ateş düşürücü ilaçlar gibi asidik FAM'lar (asetilsalisilik asit, ibuprofen, fenoprofen, ketoprofen, naproksen, diklofenak v.b), 4.9 ila 4.1 arasında değişen pKa değerlerine sahiptirler, nötral pH' da iyonlaşırlar ve arıtma çamuruna adsorplanma eğilimleri düşüktür. Ancak adsorpsiyon düşük pH' da artar. Negatif yüklü asidik FAM'lar nötral pH da, atık suda çözülmüş olarak bulunurlar. Bu nedenle FAM'ların atık sulardan ve yüzeysel sulardan gideriminde asidik FAM'ların arıtma çamuruna adsorpsiyonunun çok önemli olmadığı söylenebilir [6].

Geleneksel evsel atıksu arıtma tesisleri büyük oranda tesise düzenli gelen organik maddeler ile azot ve fosfor gibi nutrientlerin giderimi üzerine projelendirilmiştir. Kullanılan birçok tıbbi ilaç ise atıksu arıtma tesislerinde metabolitleri (ara ürün) ve farklı kimyasal yapılarından dolayı farklı oranlarda arıtmakta veya hiç arıtılmamaktadır [7].

Bu çalışmada, parasetamolün gideriminde aktif çamur biyokütlesinin rolünü ortaya koymak amaçlanmıştır. Araştırmada, birçok arıtma tesisine atık sular vasıtasıyla ulaşan parasetamolün arıtma prosesi sırasında ne kadar giderildiğini ortaya koymak biyolojik arıtım yapan bir çok şehir ve yerleşim merkezlerinde bu tip maddelerin

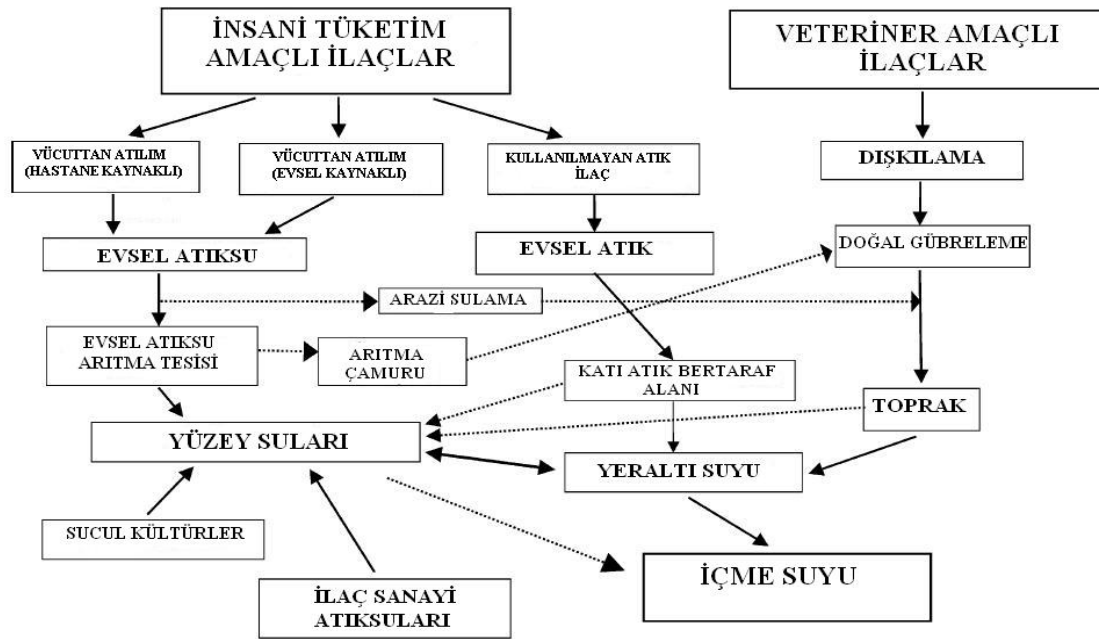
arıtılabilirliği hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Parasetamol

Parasetamolün pKa'sı 9,7 ve oktanol su ayrışma katsayısı (K_{ow}) 2,888'dir [8]. Parasetamol sucul ortamlarda genellikle düşük konsantrasyonlarda

bulunur ($\mu\text{g/L}$) ve nehir ve göller gibi doğal sularda yaklaşık %75 oranında tespit edilmiştir [9]. Kokusuz, beyaz toz halindedir, metanol ve etanol gibi organik çözücülerde kolayca çözünür ancak suda az çözünmektedir. İdrarla parasetamolün %1-3'ü değişmeden atılır, %80'i ise biyolojik olarak glukoronid (%55) veya sülfat (%25) bileşikleri olarak atılır (Johnson ve ark., 2005). Parasetamol Sigma Aldrich'ten %99 saflıkta temin edilmiştir.



Şekil 1. FAM'lerin sucul çevreye transferi [10].

2.2. Sentetik Atık su

Çalışmada 500-550 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahip sentetik atık su kullanılmış olup bileşenleri Çizelge 1'deki gibidir.

2.3. Aktif Çamur

Çalışmada kullanılan aktif çamur Adana'da bir meşrubat üretim tesisinden alınıp 500 mL'lik

erlenmayerlere 250 mL'lik miktarlarda konularak Çizelge 1'de içeriği verilen sentetik atık su ile beslenip havalandırmaya başlanmıştır.

Kesikli reaktör içinde aktif çamur biyokütlesini sentetik atık suya aklimize etmek için parasetamol etken maddesi verilmeden önce 20 gün boyunca 500-550 mg/L KOİ içeren sentetik atık su ile beslenmiştir. Bu süre içerisinde dört ayrı reaktörü sırasıyla 1000, 2000, 3000 ve 4000 mg/L askıda katı madde (AKM) değerlerinde sabit tutmak

Çizelge 1. ISO Standart taslağında verilen sentetik atık su bileşenleri [11].

Bileşen	Kons. (mg/L)
Pepton	192
Et ekstraktı	138
Glikoz monohidrat	19
Amonyum klorit (NH_4Cl)	23
Anhydrous potasyum monohidrojenfosfat (K_2HPO_4)	16
Disodyum hidrojenfosfat dihidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	32
Sodyum hidrojen karbonat (NaHCO_3)	294
Sodyum klorit (NaCl)	60
Demir(III) klorit heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	40
Musluk suyu	1

için günlük olarak her reaktörden çamur atımı gerçekleştirilmiştir.

Parasetamol giderim çalışmalarında aklimize edilmiş bu dört reaktör kullanılmıştır.

Birinci aşamada, biyokütle konsantrasyonunun parasetamol giderimindeki etkisini araştırmak için 1000, 2000, 3000, 4000 mg/L AKM konsantrasyonları içeren kesikli aktif çamur reaktörlerine 5'er mg/L ilaç konsantrasyonu uygulanmıştır. İkinci aşamada, parasetamol konsantrasyonunun giderimdeki etkisini araştırmak amacıyla 2000 mg/L sabit AKM içeren 5 adet reaktöre sırasıyla 2,5, 5, 7,5, 10 ve 12,5 mg/L parasetamol konsantrasyonları uygulanmıştır. Reaktörler, ardışık kesikli reaktör prensibine göre doldurma, havalandırma, çökeltme, üst faz ayırma ve çamur atma aşamaları ile işletilmiştir. Doldurma aşamasında aktif çamur içeren reaktör sentetik atık su ile doldurulmuş, (bu işlem ani ve aşırı organik madde yüklemesinin önüne geçmek için 30 dakika'lık bir zamana yayılarak pompa ile gerçekleştirilmiştir) Havalandırma aşamasında reaktör, havalandırıcılar ile 24 saat boyunca havalandırılmış ve karıştırılmıştır. Çökeltme aşamasında, katı faz ile sıvı fazın birbirinden ayrılması için reaktör 30 dk boyunca çökelmeye bırakılmıştır. Son aşamada, durultulmuş olan üst faz (supernatant) pompa ile 20 dakikalık bir zaman içerisinde boşaltılmıştır. Reaktörler 24 saat'lik hidrolik bekletme süresi (HBS) ile çalıştırılmıştır. Her reaktörde 24 saat'lik HBS nin ardından supernatanttan filtre KOİ ve reaktör karışık sıvısından AKM analizleri yapıp reaktör verimleri sürekli kontrol edilmiştir.

2.4. Analiz Yöntemleri

Bu çalışmada parasetamol analizleri, Altun [12] ile Zhou ve ark. [13]'ün yaptığı çalışmalar göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kaynaklara göre, parasetamol analizi için numuneler katı faz ekstraksiyon işleminin ardından UV detektöre sahip Perkin Elmer marka HPLC/UV (yüksek basınçlı sıvı kromatografisi) cihazı kullanılmıştır. Katı faz ekstraksiyon işleminde Oasis HLB marka kartuşlar kullanılmış olup, bu kartuşlar analizden önce ilk olarak metanol ile 3 mL/dk vakum altında şartlandırmaya tabi tutulmuş, ardından pH'ı 2'ye getirilip ultra saf su ile 3 mL/dk hız ile yıkanmıştır. Daha sonra ilaç içeren atık su 2 mL/dk yükleme hızıyla istenilen miktarda atık su kartuşa yüklenmiştir. İlaç ile birlikte tutunması muhtemel olan maddelerin kartuştan ayrılması için 3 mL %2'lik metanol çözeltisi ile 20 mL/dk hızla kartuş yıkanmış ve son olarak kartuş üzerinde tutulan etken maddenin geri kazanımı için metanol ile 2 mL/dk hızla geri kazanma işlemi uygulanmıştır. Parasetamolün analizleri %100 metanol mobil fazı ile 254 nm dalga boyunda Zorbax Eclipse marka XDB-C18 model 4,6x150mm 5 µm kolon kullanılarak 10µL enjeksiyon hacminde 1,0 mL/dk akış hızında HPLC/UV cihazında analiz gerçekleştirilmiştir.

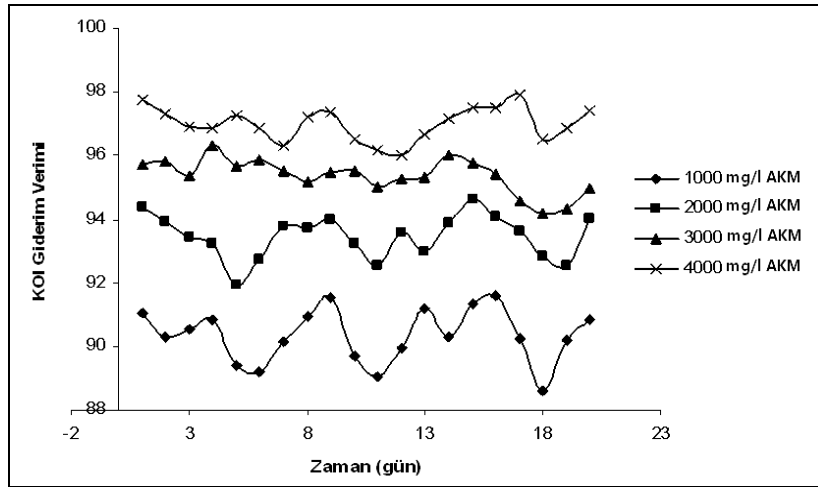
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Reaktörlerin sentetik atık suya aklimizasyon süresi yaklaşık 20 gün sürmüş olup KOİ giderim verimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'den

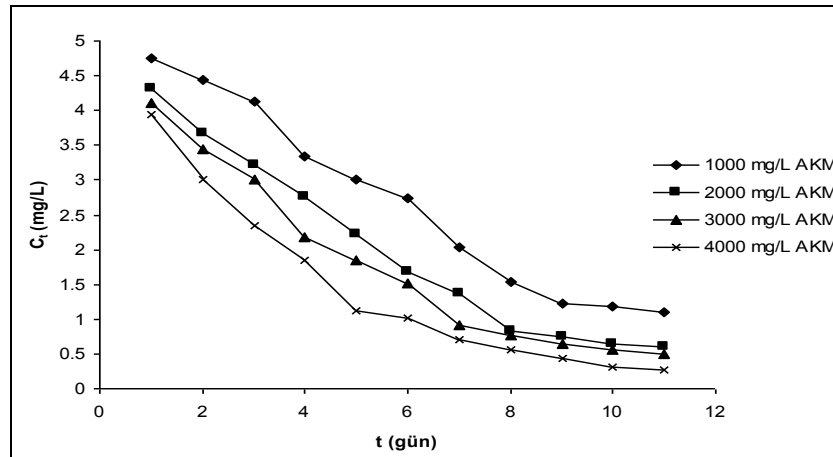
görüldüğü gibi aktif çamur AKM'si arttıkça sentetik atık sudan KOİ giderimi artmaktadır.

Aklimize olmuş reaktörlere parasetamol etken maddesi verildiğinde, 24 saatlik HBS sonunda parasetamol analizleri yapılmış olup, sonuçlar Şekil 2 ve 3'te görülmektedir.

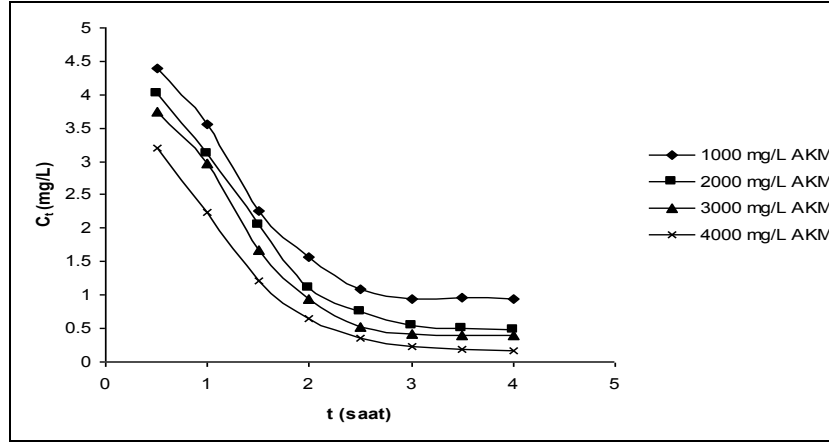
Dört farklı AKM değerinde, parasetamol içeren sentetik atık suyun reaktörlere ilk kez verilmesinden itibaren 11 günlük bir işlem sürecinde sistemin parasetamolü giderme bakımından dengeye ulaştığı görülmüştür (Şekil 3). Bu 11 günlük işlem sürecinin ardından parasetamol gideriminin 3-4 saat içerisinde tamamladığı görülmüştür (Şekil 4).



Şekil 2. Farklı AKM içerikli reaktörlerde KOİ giderim verimleri



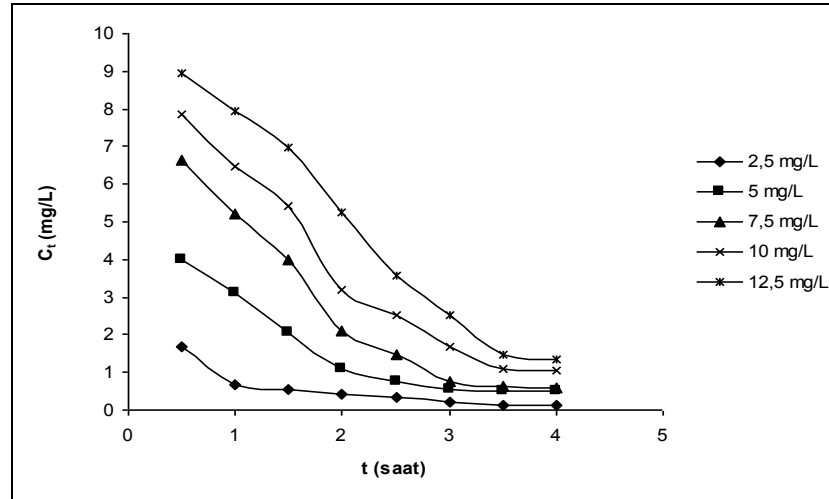
Şekil 3. Farklı AKM değerlerinin etkisi (5 mg/L Parasetamol başlangıç konsantrasyonu için)



Şekil 4. Adapte olmuş aktif çamur ile farklı AKM değerlerinin etkisi

Bu durum adaptasyon sürecinin ardından parasetamolün aktif çamur sistemlerinde hızlı bir şekilde giderilebildiğini göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda uygulanan parasetamol etken maddesinin etkisini gösteren grafik ise Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'ten görüldüğü gibi uygulanan en yüksek parasetamol konsantrasyonunda bile 4 saat içerisinde yaklaşık %90 giderim verimi elde edilmiştir. Uygulanan konsantrasyonların hepsinde de giderim verimleri birbirine yakın görünmektedir.



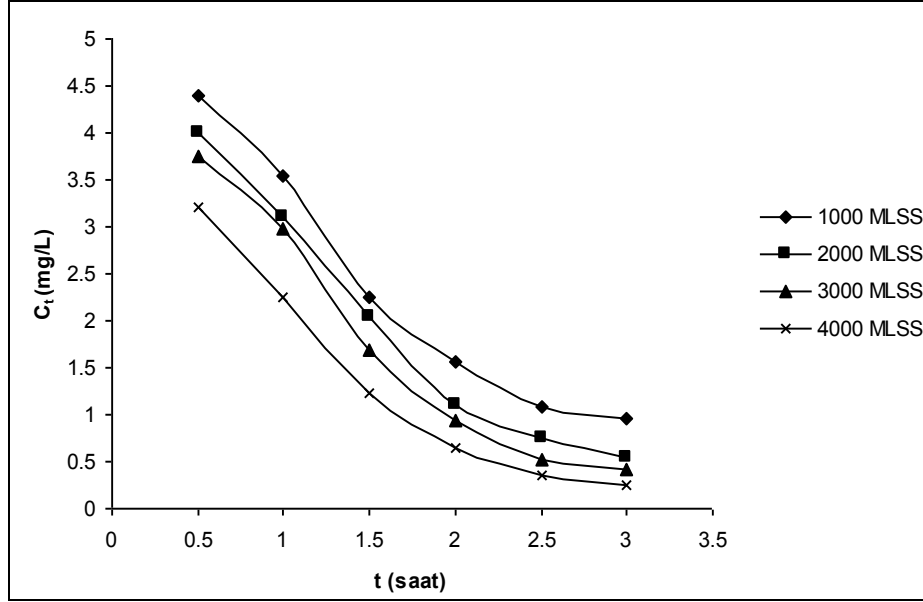
Şekil 5. 2000 mg/L Sabit AKM değeri için farklı parasetamol konsantrasyonlarının etkisi

Buradan anlaşılacağı gibi 12,5 mg/L ye kadar parasetamol artsa bile artıma veriminde önemli bir düşüş olmayacaktır. Dört farklı AKM değerindeki parasetamol giderim kinetiğini ortaya koyabilmek

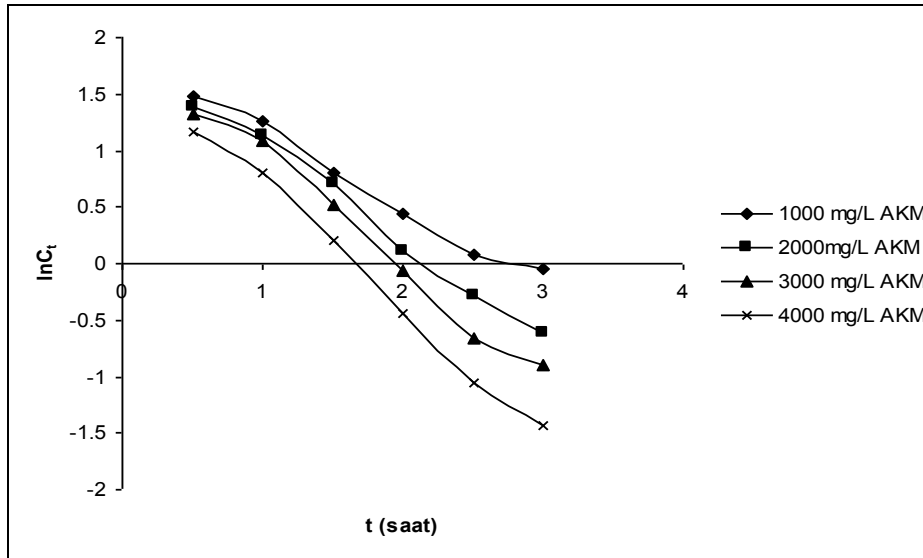
için reaksiyon derecelerini belirleyebilmek amacıyla elde edilen veriler sıfırıncı, birinci ve ikinci derece reaksiyon kinetik eşitliklerine uygulanmıştır. Kinetikler ile ilgili sonuçlar

Şekil 6-8’de görülmektedir. Reaksiyon derecelerinin matematiksel eşitlikleri ise Çizelge 2’de verilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak

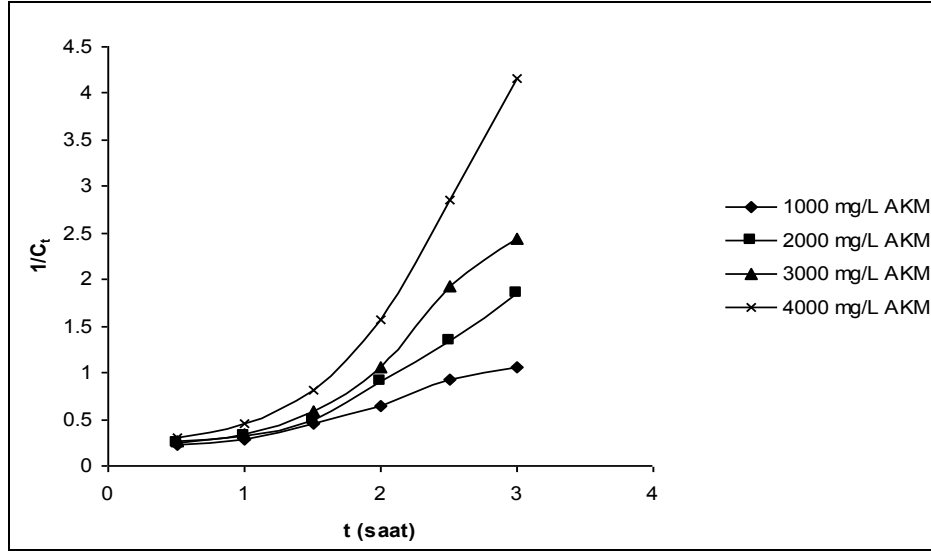
çizilen grafiklerin hangi reaksiyon kinetiklerine daha iyi uyduğunu anlayabilmek için regresyon katsayıları (R^2) hesaplanmıştır (Çizelge 3).



Şekil 6. Farklı AKM değerleri için sıfırıncı derece reaksiyon kinetiği



Şekil 7. Farklı AKM değerleri için birinci derece reaksiyon kinetiği



Şekil 8. Farklı AKM değerleri için ikinci derece reaksiyon kinetiği

Çizelge 2. Reaksiyon dereceleri ile ilgili eşitlikler

Reaksiyon Derecesi	Diferansiyel Hız Yasası	İntegre Edilmiş Eşitlik	Doğrusal Eğri
Sıfırıncı Derece	$-dC/dt = k$	$C_t = -k_0t + C_0$	C_t vs t
Birinci Derece	$-dC/dt = kC$	$\ln(C_t) = -k_1t + \ln(C_0)$	$\ln(C_t)$ vs t
İkinci Derece	$-dC/dt = kC^2$	$1/C_t = k_2 + 1/C_0$	$1/C_t$ vs t

Çizelge 3. Farklı AKM değerleri için reaksiyon dereceleri R² değerleri

Reaksiyon Derecesi	R ²			
	1000 mg/L AKM	2000 mg/L AKM	3000 mg/L AKM	4000 mg/L AKM
Sıfırıncı Derece	0.9336	0.9445	0.9294	0.9088
Birinci Derece	0.9821	0.9887	0.9833	0.9928
İkinci Derece	0.9688	0.9336	0.9236	0.9054

Sıfırıncı derece reaksiyon kinetiğine göre reaksiyon hızı konsantrasyondan bağımsızdır ve hız sabiti herhangi bir zamandaki kalan konsantrasyonun zamana karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilir [14]. Bu çalışmanın birinci

aşamasında, dört farklı AKM içeriğine sahip reaktör için 5'er mg/L parasetamol konsantrasyonunda, giderim kinetiğine bakıldığında regresyon katsayılarının yüksekliğinden dolayı en iyi birinciden

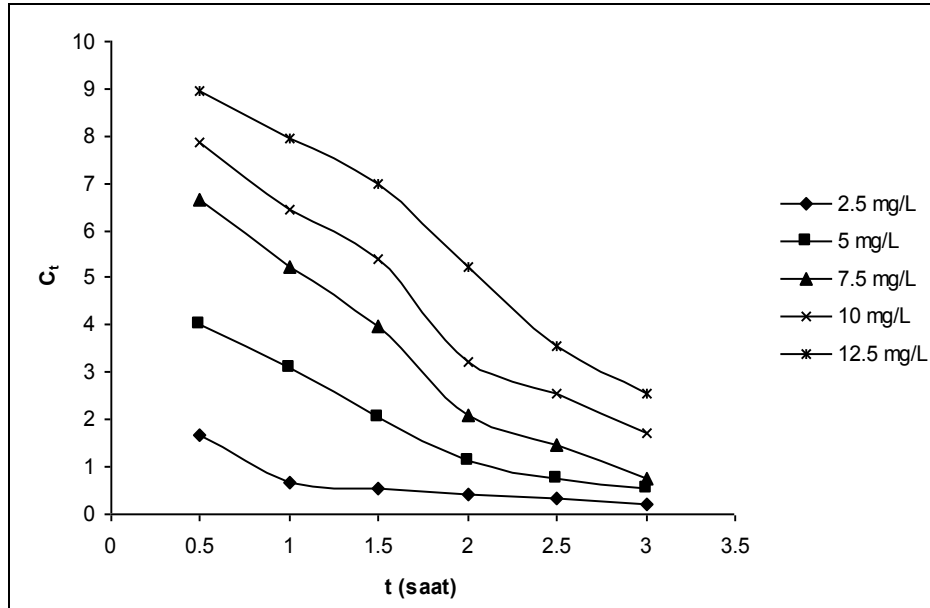
reaksiyon kinetiğine uyduğu görülmektedir. Bu durum Çizelge 2’ de görülen sıfırıncı ve ikinci derece reaksiyonlarının regresyon katsayılarının daha düşük olmasından da anlaşılmaktadır. Buna göre, aktif çamur sistemlerinde parasetamol giderimini AKM konsantrasyonundan bağımsız olmadığı görülmektedir. Birinci derece reaksiyon kinetiğine göre reaksiyon hızı, reaksiyona giren yada oluşan ürünlerden birinin konsantrasyonunun birinci derece kuvvetine bağlıdır. Hız sabiti herhangi bir zamandaki kalan konsantrasyonun ln değerinin (lnCt) zamana karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilir [14]. Sonuç olarak dört farklı AKM içeriğine sahip dört reaktörde yapılan giderim çalışmasında, reaksiyon derecesinin birinci dereceye en iyi uyum gösterdiği görülmektedir (Çizelge 2).

AKM değeri 4000 mg/L olan reaktörde gerçekleşen giderimin birinci derece reaksiyon kinetiğine en iyi uyum sağladığı görülmüştür

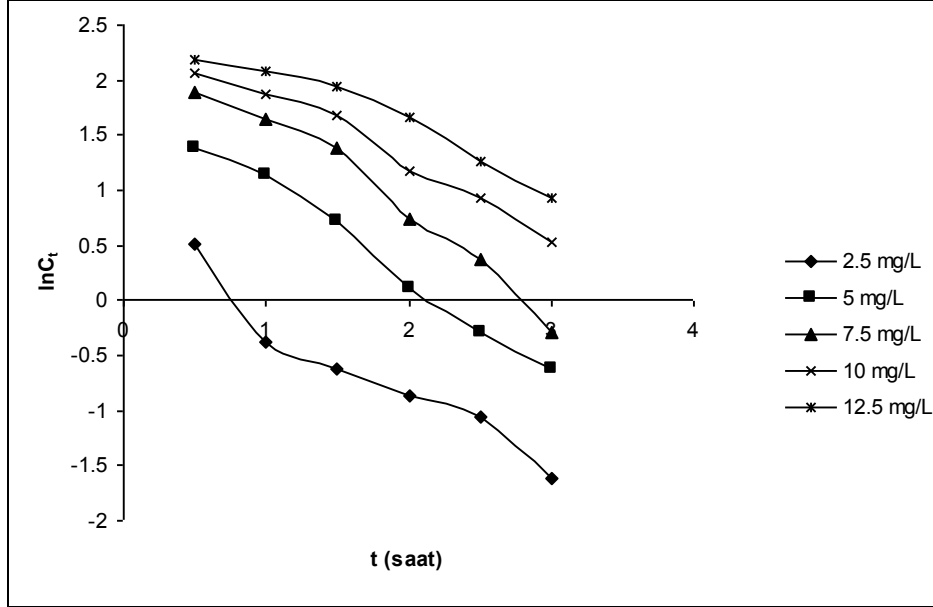
($R^2=0,9928$). Burada biyokütle miktarının artması enzim konsantrasyonunun da artması anlamına geldiğinden reaksiyon hızının enzim konsantrasyonuna bağlı olduğu düşünülmektedir. Sabit substrat değerinde enzim miktarı arttığında substrat/enzim oranı da azalmaktadır. Bu durum reaksiyonu birinci dereceye doğru taşımaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında parasetamol gideriminde konsantrasyonun etkisi araştırılırken elde edilen veriler yukarıda Çizelge 3’te verilen kinetik eşitliklere uygulanmış olup ilgili grafikler Şekil 8-10’da verilmiştir.

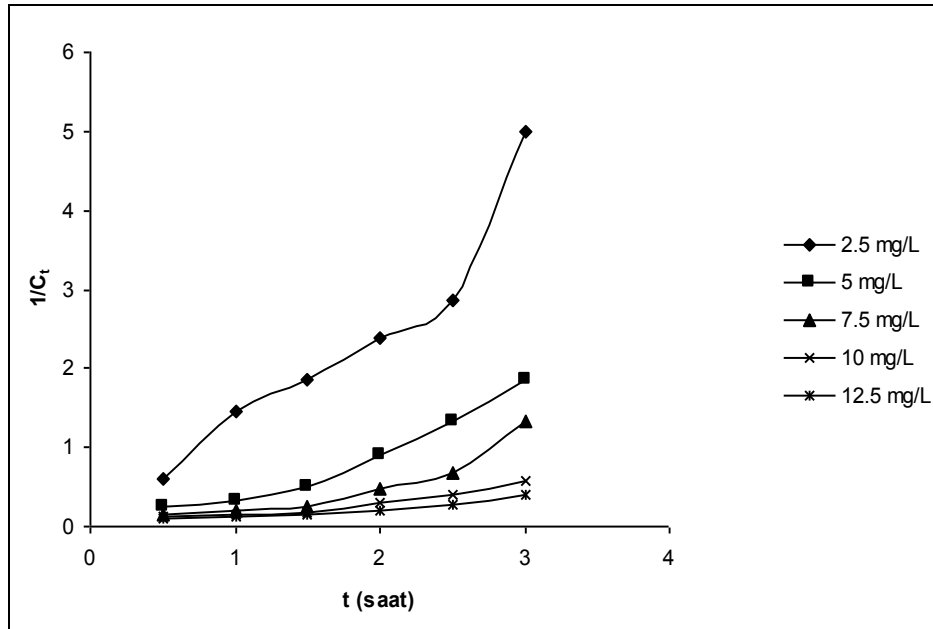
Çizelge 4’te artan parasetamol konsantrasyonuna bağlı olan reaksiyon derecelerinin regresyon katsayıları (R^2) verilmiştir. Bu katsayılara göre parasetamol konsantrasyonu arttıkça reaksiyon derecesinin sıfırıncı dereceye yaklaştığı açıkça görülmektedir.



Şekil 9. Farklı İlaç Konsantrasyonları için Sıfırıncı Derece Reaksiyon Kinetiği



Şekil 10. Farklı İlaç Konsantrasyonları için Birinci Derece Reaksiyon Kinetiği



Şekil 11. Farklı İlaç Konsantrasyonları için İkinci Derece Reaksiyon Kinetiği

Çizelge 4. Uygulanan çeşitli ilaç konsantrasyonlarında reaksiyon derecelerinin R² değerleri

Reaksiyon Derecesi	R ²				
	2.5 mg/L	5 mg/L	7.5 mg/L	10 mg/L	12.5 mg/L
Sıfırıncı Derece	0.7359	0.9445	0.975	0.977	0.9886
Birinci Derece	0.9295	0.9887	0.9725	0.9767	0.9519
İkinci Derece	0.8968	0.9336	0.8246	0.9082	0.8752

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Dört farklı AKM değerinde sentetik atık suyla 20 gün'lük bir işletme sürecinin ardından aklamize olmuş reaktörlere 5 mg/L'lik parasetamolün ilk kez verilmesi ile 11 gün'lük bir süreden sonra reaktörlerin parasetamol giderimi açısından dengeye ulaştığı görülmüştür. Bu 11 gün'lük işletim sürecinin ardından parasetamol reaktörlere verildiğinde gideriminin 3-4 saat içerisinde tamamlandığı görülmüştür. Bu durum, 11 gün'lük bir parasetamol aklamizasyonu sürecinin ardından parasetamolün aktif çamur sistemlerinde kısa bir zaman dilimde giderilebildiğini göstermiştir.

Dört farklı AKM içeriğine sahip dört reaktör için uygulanan 5 mg/L parasetamol konsantrasyonunda gideriminin reaksiyon derecelerinin birinci dereceye uyduğu görülmüştür. Regresyon katsayısı (R²) değerlerine bakıldığında sıfırıncı derece için 0,90-0,94 arasında, birinci derece için 0,98-0,99 arasında, ikinci derece için ise 0,90-0,96 arasında değerler elde edilmiştir. Sabit AKM değerinde artan parasetamol konsantrasyonunda reaksiyon derecesinin konsantrasyon arttıkça sıfıra doğru yaklaştığı görülmüştür. 2,5 mg/L parasetamol konsantrasyonunda regresyon değeri 0,7359 iken 12,5 mg/L konsantrasyonunda regresyon değeri 0,9886 olarak bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmada aktif çamur biyokütlesinin kesikli bir sistemde parasetamolu başarılı bir şekilde giderdiği görülmüştür. Uygulanan en yüksek parasetamol konsantrasyonu olan 12,5 mg/L değerinde bile giderim oranının % 90'dan aşağı düşmediği görülmüştür. Ancak

sentetik atık sudaki parasetamol konsantrasyonları artırılıp hangi düzeyde inhibisyon etkisinin olduğu araştırılabilir. Günümüz şartlarında arıtma tesislerine çeşitli konsantrasyonlarda ulaşan parasetamolün aktif çamur arıtma sistemlerinde giderim açısından bir sorun teşkil etmeyeceği ve aktif çamurun parasetamol gideriminde başarıyla kullanılabilceği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri Birimi tarafından (Proje no: MMF2009BAP16) desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

1. Canadian Food and Drugs Act, 2006 R. S., C. F-27, S.1, Sept 15, 2006
2. Derksen, J. G. M., Rijs, G. B. J., Jongbloed, R. H., 2004. Diffuse pollution of surface water by pharmaceutical products, Water Sci. Technol. 49, 213-221,
3. Halling-Sorensen, B., Nors Nielsen, S., Lanzky, P. F., Ingerslev, F., Luthoft, H. C., Jorgensen, S.E., 1998. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment — a review. Chemosphere, 36:357-93
4. Bound, J. P., Voulvoulis, N., 2004. Pharmaceuticals in the aquatic environment – a comparison of risk assessment strategies. Chemosphere, 56, 1143-1155
5. Baronti, C., Curini, R., D'ascenzo, G., Di Corcia, A., Gentili, A., Samperi, R., 2000. Monitoring natural and synthetic estrogens at activated sludge sewage treatment plants and

- in a receiving river water. *Environmental Science and Technology*, 34(24), 5059-5066
6. Urase, T., Kikuta, T., 2005. Separate estimation of adsorption and degradation of pharmaceutical substances and estrogens in the activated sludge process. *Water Res.* 39 (7), 1289–1300
 7. Kabak, H., Başbüyük, M., 2012. Diklofenak ve Parasetamol'ün Aktif Çamur Tarafından Adsorbsiyonu. *Ekoloji* 21, 85, 41-48
 8. Yu, C. P., Chu, K. H., 2009. Occurrence of pharmaceuticals and personal care products along the West Prong Little Pigeon River in east Tennessee, USA, *Chemosphere* 75; 1281-1286.
 9. Stackelberg, P. E., Gibs, J., Furlong, T. E., Meyer, T. M., Zaugg, D. S., Lippincott, L. R., 2007. Efficiency of conventional drinking-water treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Science of the Total Environment*, 366:255
 10. Heberer, T., 2002. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicol. Lett.* 131 (1/2), 5–17.
 11. ISO (International Standards Organization) 11733, 2004. Water Quality-Determination of the elimination and biodegradability of organic compounds in an aqueous medium-Activated sludge simulation test.
 12. Altun M.L., 2002. HPLC method for the analysis of paracetamol caffeine and dipryone. *Turk.J.Chem.* 26; 521-528.
 13. Zhou J.L., Zhang Z.L., Banks E., Grover D., Jiang J.Q., 2009. Pharmaceutical residues in wastewater treatment works effluents and their impact on receiving water. *J. Hazard. Mater.* 166; 655-661.
 14. Özkan M., Cemeroğlu B., Toklucu A., 2010. "Gıda Mühendisliğinde Reaksiyon Kinetiği" *Gıda. Tek. Der. Yay. No:* 41