

ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖRLER İLE ARITILMASI VE KİNETİĞİ

Handan GEZER, Recep İLERİ

Özet - Bu çalışmada, endüstriyel atıksuların ardışık kesikli reaktörler ile arıtılması, tasarımı, mekanizması, performansı ve kinetiği araştırılmıştır. Tekstil endüstrisi atıksuyunun çıkış BOI_5 konsantrasyonu kinetiği deneysel ve teorik olarak karşılaştırılmıştır. Teorik model ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında yakın olduğu gözlemlenmiştir. Yurt içi ve yurt dışında kullanılan bazı endüstriyel atıksuların ardışık kesikli reaktörler ile arıtılması örnekleri ele alınmış ve verimlilikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Endüstriyel atıksu, ardışık kesikli reaktör, arıtma, performans, kinetik, model.

Abstract - In this study, treatment design, mechanism, performance of industrial wastewaters by sequencing batch reactors and kinetics have been researched. Kinetics of effluent BOI_5 concentration of textile industrial wastewater by sequencing batch reactor has been compared experimentally and theoretically.

It has been closely observed when comparing theory with experimental results. Some examples have been obtained and their performance evaluated for industrial wastewater treatment by sequencing batch reactor in domestic and foreign industries.

Key Words – Industrial wastewater, sequent batch reactor, treatment, performance, kinetics, model.

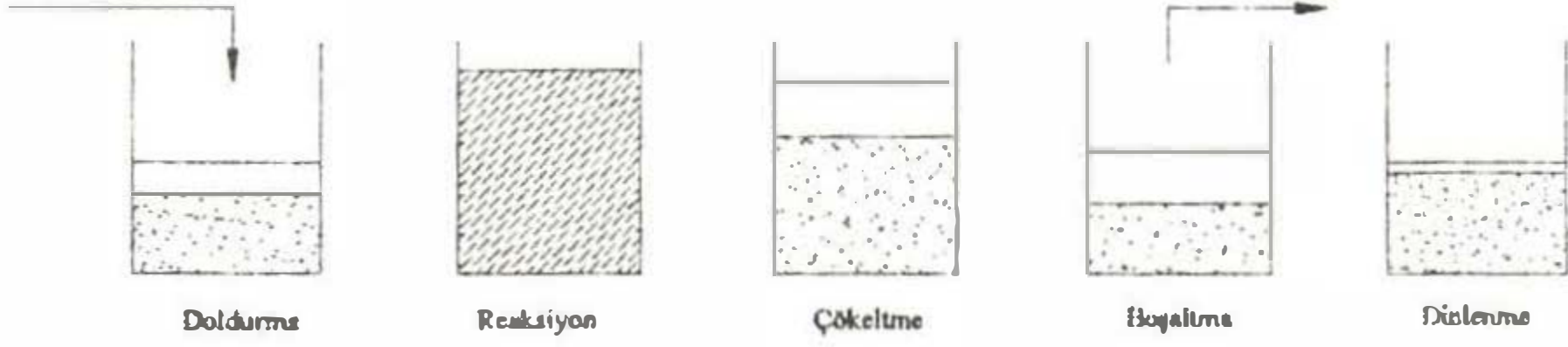
Gezer, Çamsan A.Ş. Hendek, Sakarya. hgezer@yahoo.com

İleri, SAÜ. Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
Etiler Çarşısı, ileri@sakarya.edu.tr

I. GİRİŞ

Endüstriyel sektörler bir çok ülkenin kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda endüstrilerdeki teknolojik gelişmeler, faydalarının yanında, yeni ve önemli çevre problemlerinin oluşumuna da neden olmuştur. Bu sektörlerdeki farklılıklarla birlikte atıksu karakterizasyonu, miktarı da değişmektedir. Bu nedenle, arıtımı zor olabilen atıksular meydana gelmektedir. Türkiye’de önemli bir yer tutan tekstil endüstrisi atıksu karakteri; boyanın kimyasal yapısına fabrikanın proses tipine ve atık su içerisindeki boyarmadde konsantrasyonuna bağlı olarak saatlik ve hatta günlük olarak değişebilmektedir. Dolayısıyla bu atıksuların arıtım alternatifleri de atık suyunun karakterine bağlıdır. Yerleşim merkezlerine yakın, özellikle büyük şehirlerdeki tekstil ve diğer endüstri kuruluşlarının çoğunun atıksuları, evsel atıksular ile karışmakta ve daha sonra alıcı ortamlara verilmektedir. Çevreye bu şekilde atıksuların kontrolsüz ve arıtma sisteminden geçmeyip deşarj edilmesi, bu atıksularla birlikte gelen çok fazla miktarda kirletici, özellikle su hareketlerinin çok yavaş olduğu koy ve körfez gibi bölgelerde çeşitli çevre problemlerine neden olmaktadır. Bunlardan en önemlileri güneş ışığının su ortamına nüfuz etmesini engellemesi, alıcı su ortamlarının kalitesini düşürmesi ve arıtım proseslerinde organizmaların besin zincirini, sucul yaşamı ve estetik görünümü olumsuz yönde etkilemesi olarak sıralanabilir. Bu nedenle bu tip atıksular çevreye verildiğinde yüzey sularında, sığ akiferlerde, yer altı sularında ve sedimentlerde kirliliğe neden olurlar. Gerek üretim, gerekse kullanım sırasında arta kalan endüstriyel atıksuların çevresel açıdan ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda endüstriyel atıksuların biyolojik arıtma uygulamalarında Ardışık Kesikli Reaktörlerin (AKR, SBR) kullanılması yaygınlık kazanmıştır. Endüstriyel atıksular için de başarılı bir şekilde uygulanan bu sistemle ilgili bilgiler incelenmiştir.

Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) sistemi, aktif çamurlu biyolojik arıtma yöntemlerinden biri olup; çözülmüş madde, askıda katı madde ve nutrient gideriminde kullanılabilir. Yağ, şeker, karbonhidrat ve proteinlerin gideriminde %99 etkinliğe sahip olabilmektedir [1]. AKR prosesi, birbirini takip eden 5 fazdan oluşmaktadır. Bunlar sırası ile; doldurma, reaksiyon, çökeltme, boşaltma ve bekleme fazlarından oluşmakta ve Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tipik bir ardışık kesikli reaktör mekanizması akış diyagramı [2]

Ardışık kesikli reaktörler, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında kolaylıkla kullanılabilir. Yüksek miktarda karbon oksidasyonu, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi sağlanır. Bu giderime ait değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ardışık kesikli reaktörlerin performans değerleri [3]

Parametreler	Değerler (%)
BOİ Giderimi	85-98
TSS Giderimi	85-98
NH ₄ -N Oksidasyon	90-95
Toplam Nitrojen Giderimi	85-90
Toplam Fosfor	< 1 mg/l

Özellikle endüstriyel atıksulara ardışık kesikli reaktör prosesinin uygulanmasının en büyük avantajı, işletme ve tasarım esnekliğinin yanında, atıksu karakterlerinin değişken olması durumunda da ardışık kesikli reaktörlerin işletme şartlarında değişiklikler yapılarak sistemin kontrol edilmesidir.

1.1 Ardışık Kesikli Reaktörlerin Tasarım Esasları

Ardışık Kesikli Reaktörlerin (AKR) tasarımında herkes tarafından kabul edilmiş standartlar yoktur. Aksine tasarım parametrelerinde ve uygulanan işletme koşullarında çok büyük ölçüde farklılıklar görülmektedir. Ardışık kesikli reaktörlerin tasarım esasları aşağıdaki gibidir:

- Atıksu karakteri ile birlikte bölgenin ve sektörün deşarj standartına göre arıtma ihtiyacı tespit edilir.
- Öncelikle atıksuyun ön arıtma gerek olup olmadığına karar verilir.

- Uygulanacak arıtma stratejisine göre F/M (Besi/Mikroorganizma) oranı seçilir. F değeri, BOİ veya KOİ yükü olarak hesaplanır.
- Boşaltım süresinin sonundaki bir Askıda Katı Madde (AKM) konsantrasyonu seçilir. Çevrim süresi boyunca AKM konsantrasyonu değiştiğinden F/M oranında da çevrim süresince azalma olur.
- AKR tanklarının sayısı belirlenir. Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonuna uygun reaktör hacmi hesaplanır. En az iki tank seçilmesi önerilir.
- Çevrim sayısı ve çevrim süresine karar verilir. Bir çevrim için toplam süre çevrimde yer alan fazların sürelerinin toplamıdır. Doldurma süresi, tank sayısı ve atıksu akımına göre belirlenirken çökeltme süresi, bu süreden bağımsız ve çökeltme için gerekli minimum süre belirlenmeli ve buna uygun olarak bir çökeltme süresi seçilmelidir. Boşaltım süresi, doldurma ve çökeltme fazlarında olduğu gibi fiziksel şartlara bağlı olarak dizayn edilir. Reaksiyon süresi ise, atıksu karakterine göre belirlenir.
- Herbir tankta, bir çevrimde boşaltılacak sıvı hacmi hesaplanır.
- Tank hacmi hesaplanır. Bu hacme uygun bir tank derinliği seçilir.
- Havalandırma ekipmanları boyutlandırılır.
- Tasarlanan boşaltım süresini sağlayacak uygun boşaltım sistemi seçilir ve boyutlandırılır.

II. MATERYAL VE METOT

II.1 Ardışık Kesikli Reaktör Kinetiği

Doldurma fazı sonunda kalan substrat (besin) konsantrasyonu, hacim ve doldurma süresince uzaklaştırılan substratın kinetik ifadesinin değişken bir fonksiyonudur [4]. Bu fonksiyonu formüle etmek için, doldurma sürecindeki kütle değişiminin eşitliği yazılırsa ;
Giren – Çıkan + Üretilen = Biriken

$$QS_0 - 0 + r_{sf}V = \frac{d}{dt}(VS) \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dT} + \frac{Q}{V}S + kS = \frac{Q}{V}S_0 \quad (2)$$

Diferansiyel denklem çözüldüğü zaman, doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (S_f) ;

$$S_f = \frac{S_0 Q}{k V_b} + \left[\frac{V_1}{V_b} S_e - \frac{Q S_0}{V_b k} \right] e^{-k \left(\frac{V_{AB}}{Q} \right)} \quad (3)$$

denklemini elde edilmiştir. Reaksiyon sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (S_e) aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir.

$$S_e = S_f e^{-k t_r} \quad (4)$$

Burada,

Q , Doldurma sürecindeki akış debisi.

S_f , Doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu

S_e , reaksiyon sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu

V_b , Kesikli reaktörün boşken (toplam) hacmi.

V_{ab} , Kesikli reaktörün doldurma süreci başlamadan önceki aktif hacmi.

t_r , Reaksiyon süresi.

II.2 Ardışık Kesikli Reaktör Kinetik Teorisi ve Deneysel Kıyaslaması

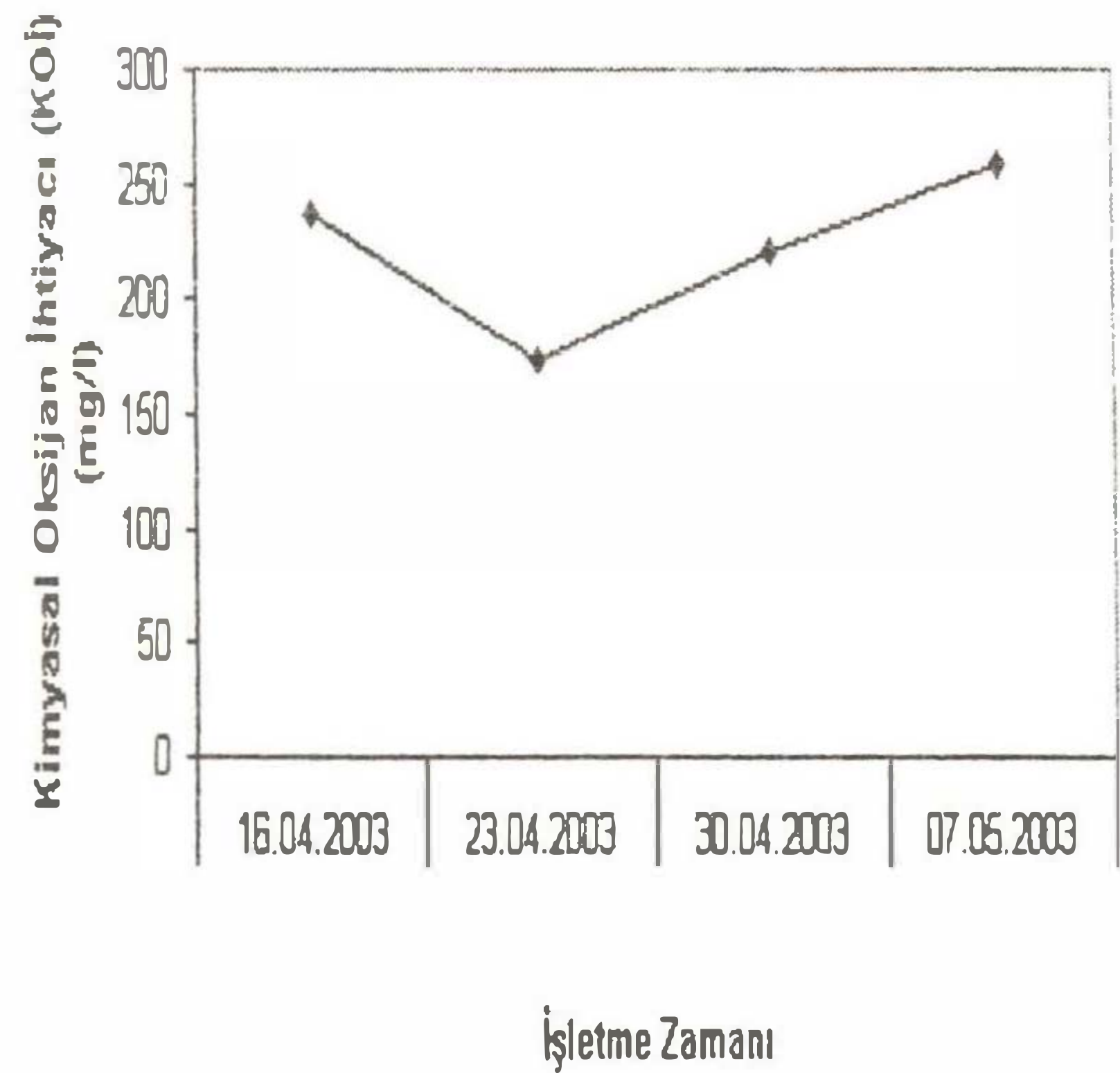
Sakarya ili, Akyazı ilçesinde imalatı bulunan Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri [5]

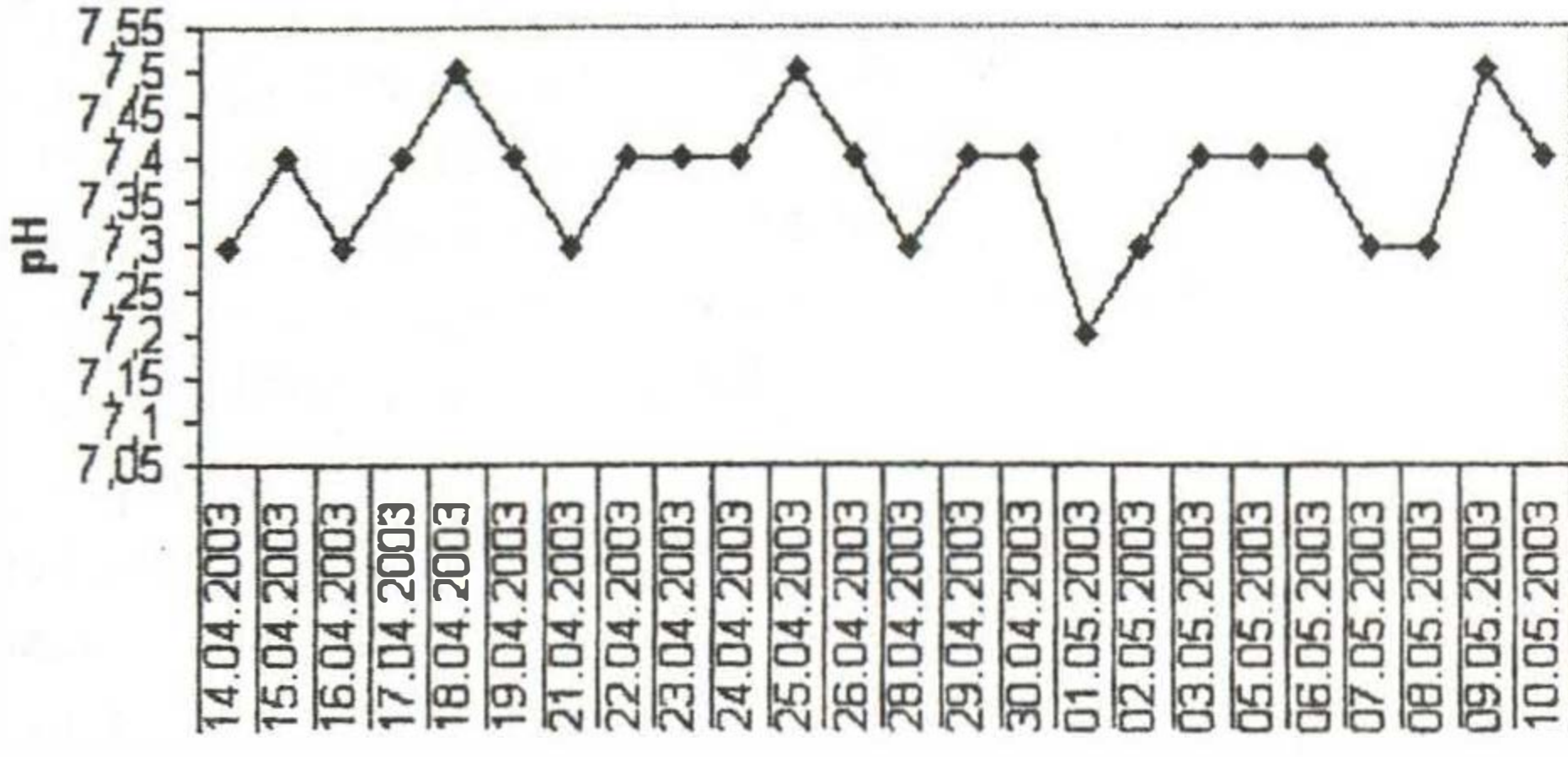
Parametreler	16.04.2003	23.04.2003	30.04.2003	07.05.2003	SKKY (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Standart Çıkış Değerleri
BOİ ₅ (mg/l)	59	44	55	65	100
(KOİ) (mg/l)	237	174	221	259	400
Sülfür (S ⁻²) (mg/l)	-	-	-	-	0.1
Fenol (C ₆ H ₅ OH) (mg/l)	1.52	0.54	0.53	0.68	1
Çinko (Zn) (mg/l)	1.27	1.17	1.53	1.5	12
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	-	-	-	3
pH	7.3	7.4	7.3	7.2	6-9

Atıksu arıtma tesisi Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l) çıkış değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör çıkış suyu KOİ değerleri 150-332 mg/l arasında değişmektedir. Şekil 2'de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama KOİ değerleridir. Tüm ölçümlerin ortalama KOİ değeri 223 mg/l olarak hesaplanmıştır. Atıksu arıtma tesisi pH çıkış değerleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör çıkış suyu pH 7.1-7.9 değerleri arasında değişmektedir. Şekil 3'de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama pH değerleridir.

Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi işletme parametreleri Tablo 3'de verilmiştir. Atıksu arıtma tesisi Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) (ml/g) değerleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör ÇHİ değerleri 144-200 ml/g arasında değişmektedir. Şekil 4'de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama ÇHİ değerleridir. Tablo 3 de görülen ölçüm tarihleri arasındaki en yüksek ortalama ÇHİ değeri 164 ml/g olup, bu değer tavsiye edilen değerler aralığına düşmediği görülmektedir. Bunun için arıtma tesisi işletmesinin haftada bir numune alarak ÇHİ ölçülmesi ve bu değerler (100ml/g-150 ml/g) arasına düşecek şekilde tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bununla birlikte en yüksek ortalama değer olan 164 ml/g da çıkış standartlarını zorlaması açısından büyük problemler oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Atıksu arıtma tesisi hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l) değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör AKM 3460-6090 mg/l arasında değişmektedir. Şekil 5'de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama AKM değerleridir.



Şekil 2. Atıksu arıtma tesisi Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) değerleri

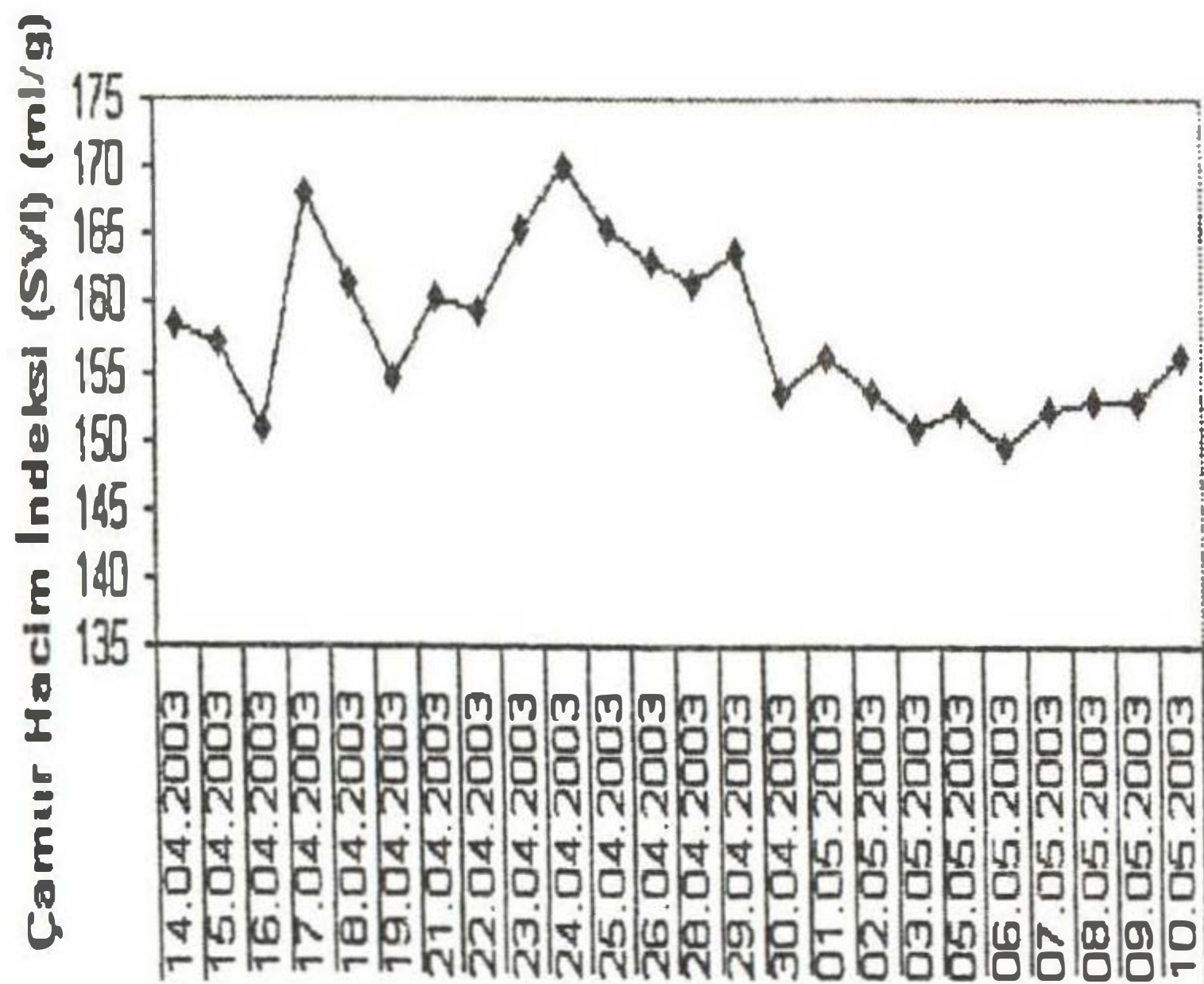


İşletme Zamanı

Şekil 3. Atıksu arıtma tesisi pH çıkış değerleri

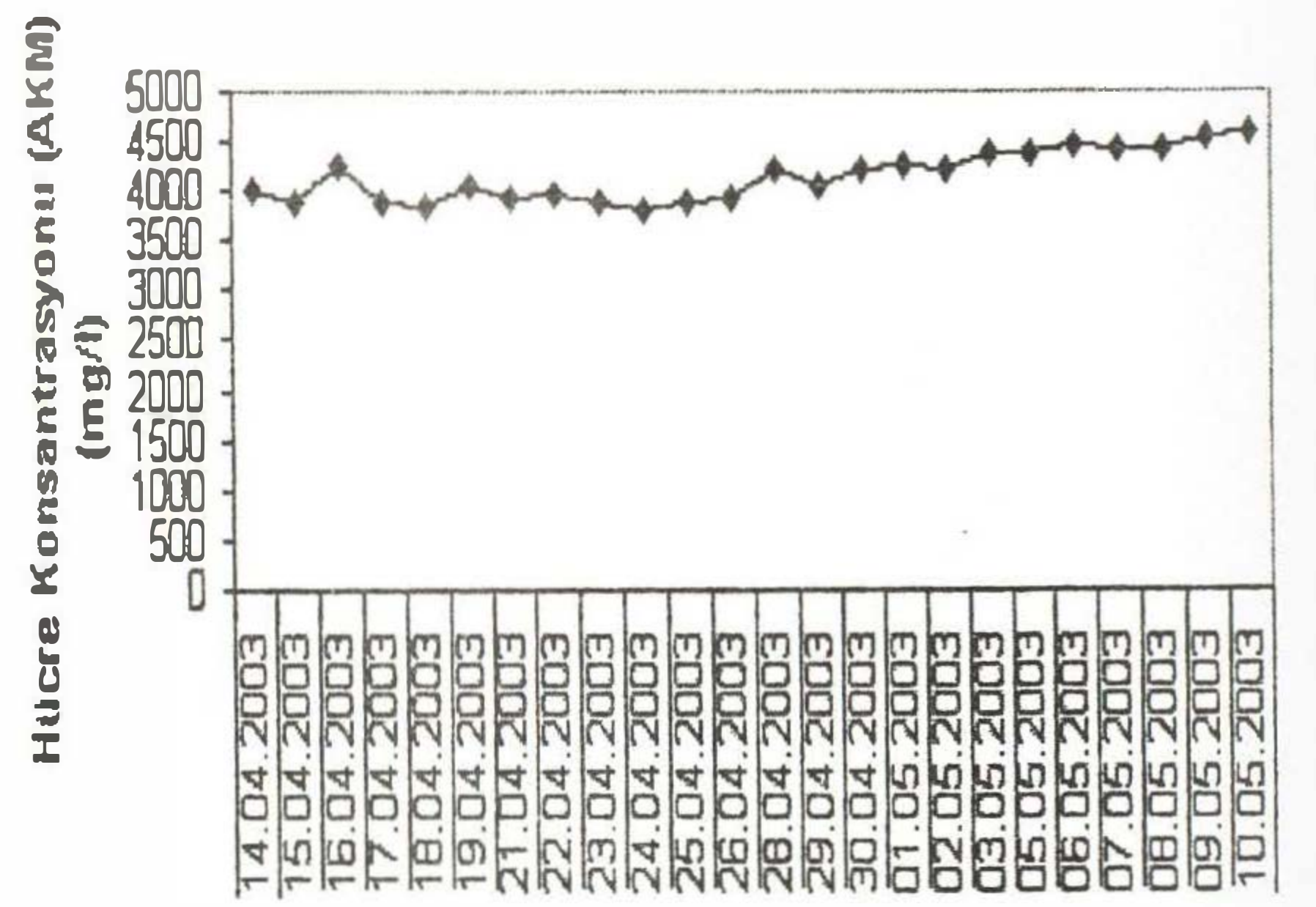
Tablo 3. Aydın Örmek tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi işletme parametreleri

İşletme Parametreleri	14.04.2003- 19.04.2003		21.04.2003- 26.04.2003		28.04.2003- 03.05.2003		05.05.2003- 10.05.2003		Tavsiye Edilen Değerler
	Aralık değer	Ortalama değer	Aralık değer	Ortalama değer	Aralık değer	Ortalama değer	Aralık değer	Ortalama değer	
Çözünmüş Oksijen (Ç.O) (mg/l)	1-3	2	1-3	2	1-3	2	1-3	2	1-3
Çamur Hacim İndeksi (ÇHI) (ml/g)	147- 200	159	147- 183	164	144- 172	157	148- 160	153	100-150
Hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l)	3460- 4600	3991	3550- 6090	4008	3920- 4900	4223	3820- 5300	4467	3000- 6000



İşletme Zamanı

Şekil 4. Atıksu arıtma tesisine ait üç adet havuzun ortalama Çamur Hacim İndeksi(SVT) (ml/g) değerleri



İşletme Zamanı

Şekil 5. Atıksu arıtma tesisine ait üç adet havuzun ortalama hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l) değerleri

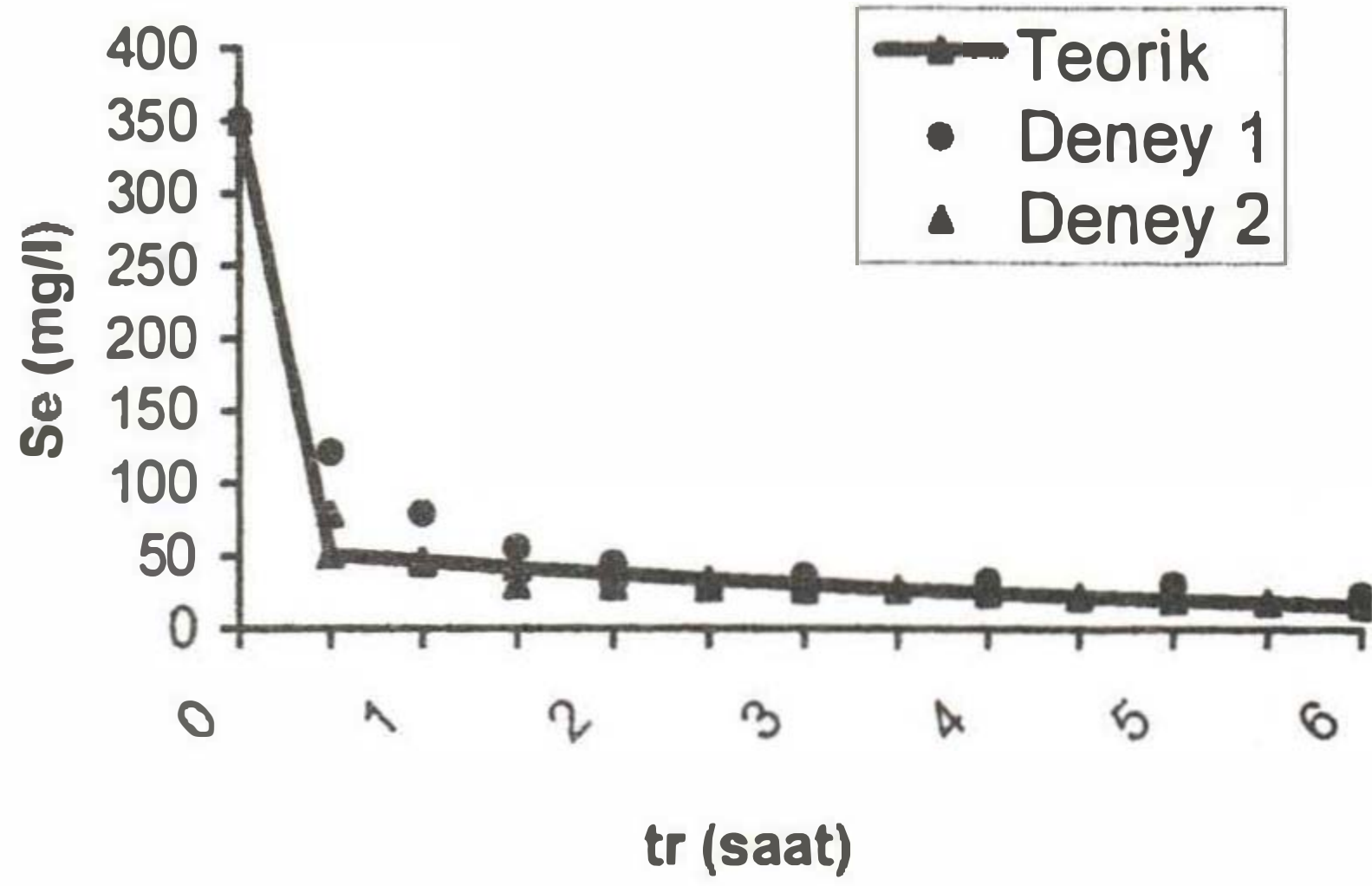
Aydın Örme tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisine ait S_0 , Q , V_b , V_a , V_{ab} , S_e parametrelerinin ortalama değerleri belirlenmiş ve (3) denkleminde doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (S_f) elde edilmiştir. Elde edilen değerler doğrultusunda (4) denkleminde farklı reaksiyon süreleri (t_r) uygulanarak çıkış suyu (S_e) konsantrasyonları elde edilmiştir. Bulunan sonuçların; AKR çıkış suyunun (S_e), reaksiyon süresi (t_r) ile değişimine etkisi, grafiklere aktarılmıştır. Çalışılan tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin literatürden [4] seçilerek adapte edilen teorik Ardışık Kesikli Reaktör (AKR,) kinetiği ile uyumunu anlayabilmek amacıyla, 3 adet kinetik deneyi çalışması mevcut tesiste yapılmıştır. Deney 1 ve Deney 2'de başlangıç substrat konsantrasyonu (S_0) 350 mg BOI_5/l iken, Deney 3'de bu değer 2700 mg BOI_5/l 'dir. Bu çalışmalara ait veriler Tablo 4'de verilmiştir. Bu değerlere dayanılarak üretilen grafikler ise Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.

Burada deney 1,2,3 değerleri ölçümlerle, teori 1,2,3,4 değerleri ise hesap yolu ile bulunmuştur. Seçilen değerler deneysel sonuçlara uygun teorik sonuçlar verebilen k reaksiyon sabitleri değerlerini kapsamaktadır. Deney 1,2 de başlangıç S_0 konsantrasyonu 350 mg/l olduğu durumda giderme verimi % 94 bulunmuştur. Başlangıç S_0 konsantrasyonu 2700 mg/l olduğunda ise yaklaşık % 98'lik giderme verimi elde edilmiştir. Bu durum genellikle arıtma tesisinin optimum işletme şartlarında işletilip işletilmemesi ile ilgilidir. İşletmede optimum şartların sağlanması durumunda her iki konsantrasyon için yüksek verimler elde edilebilmektedir.

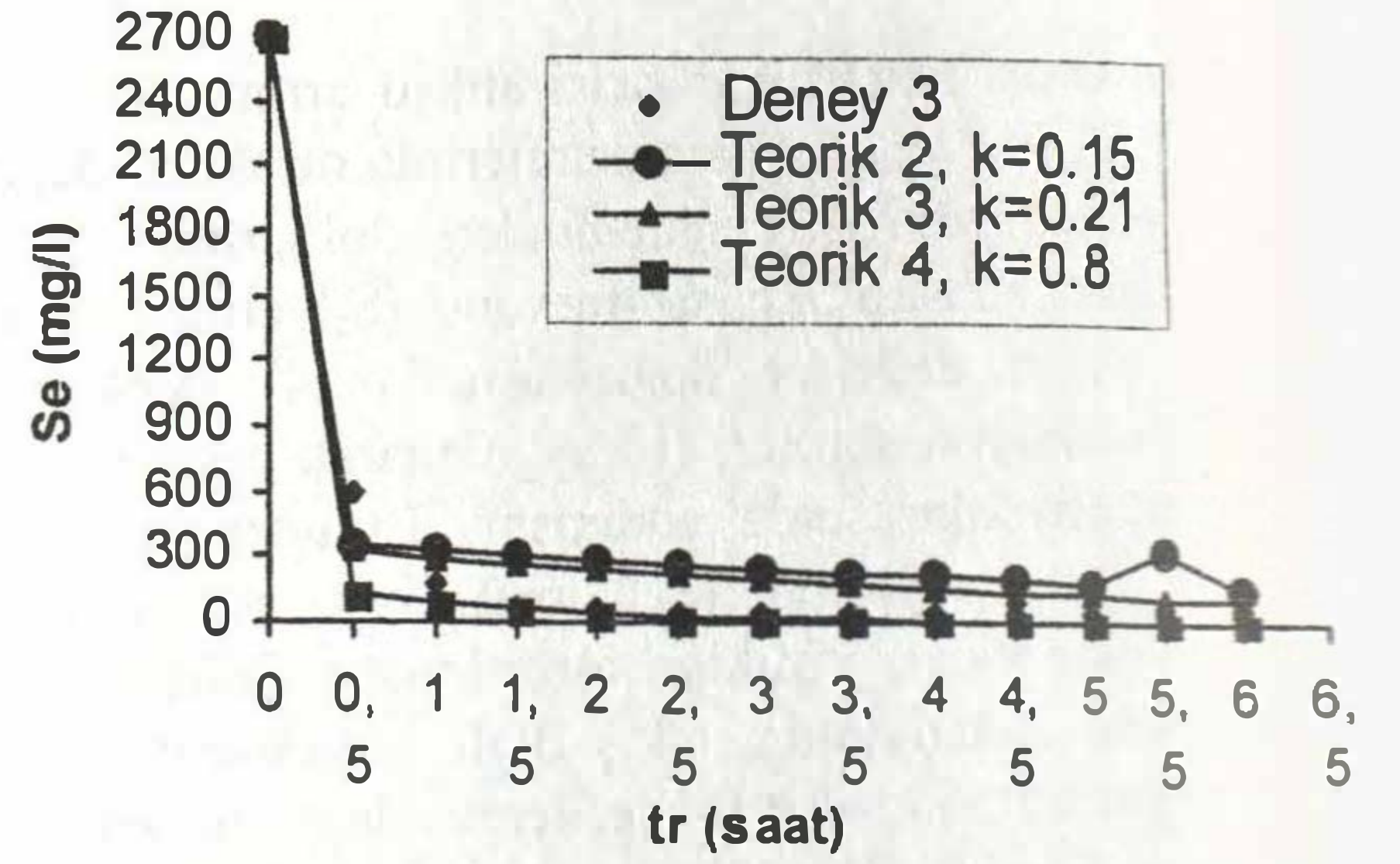
Deney 1-2 de başlangıç konsantrasyonu aynı olmasına rağmen değişik sürelerde farklı giderme verimlerinin elde edilmesi arıtma tesisi işletmelerinde sıkça rastlanabilen bir durumdur. İstenen esas durum reaksiyon sonundaki çıkış değerlerinin deşarj standartları değerinin altında olmuş olmasıdır.

Tablo 4. Tekstil endüstrisi atıksuyunun çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin deneysel ve teorik karşılaştırılması

	$k=0.21$ saat ⁻¹ $S_f=56.9$ mg/l			$k=0.15$ saat ⁻¹ $S_f=386.9$ mg/l	$k=0.21$ saat ⁻¹ $S_f=358.5$ mg/l	$k=0.8$ saat ⁻¹ $S_f=189.5$ mg/l	
t_r (saat)	Teorik1	Deney1	Deney2	Teorik 2	Teorik 3	Teorik 4	Deney3
	S_e (mg/l)	S_e (mg/l)	S_e (mg/l)	S_e (mg/l)	S_e (mg/l)	S_e (mg/l)	S_e (mg/l)
0	350	350	350	2700	2700	2700	2700
0.5	51.2	121	79	359.3	322.8	127	600
1	46.1	79	45	333.4	290.5	85.2	172
1.5	41.5	55	30	309.3	261.6	57.1	59
2	37.4	44	29	287	235.5	38.3	55
2.5	33.6	-	28	266	212	25.7	54
3	30.3	36	27	247	191	17.2	50
3.5	27.2	-	-	228.9	172	11.5	-
4	24.6	32	26	212.4	154.7	7.7	53
4.5	22.1	-	-	197	139.4	5.2	-
5	19.9	30	25	182.7	125.4	3.5	52
5.5	17.9	-	-	319.2	113	2.3	-
6	16.1	23	20	157.3	101.7	1.5	50



Şekil 6. Tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin deneysel ve teorik karşılaştırılması ($S_0=350$ mg/l, $Q=60$ m³/saat, $k=0.21$ saat⁻¹, $V_b=955$ m³, $V_{ab}=160$ m³, $V_a=500$ m³, $S_r=56.9$ mg/l)



Şekil 7. Tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğine reaksiyon sabiti (k) nin etkisi ($S_0=2700$ mg/l, $Q=60$ m³/saat, $V_b=955$ m³, $V_{ab}=160$ m³, $V_a=500$ m³)

Çalışma alanı olarak seçilen Sakarya ili, Akyazı ilçesinde faaliyet gösteren Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş.'ne ait atıksuların ardışık kesikli reaktör ile 1.5 saatlik reaksiyon süresi ve 1.5 saatlik çökeltme süresi sonucunda çıkış suyu BOI_5 konsantrasyonu (S_e) ortalamalarının yaklaşık 43 mg BOI_5 /l olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik ve 24 saatlik kompozit numuneler için standart BOI_5 değerleri (SKKY Tablo 10.7) sırası ile, 100 ve 80 mg BOI_5 /l'dir. $t_r=1.5$ saat'lik süre içerisinde standart değerler sağlandığından dolayı, uygulamada reaksiyon süresinin 1.5 saat seçilmesinin uygun olduğu görülmüştür. 1.5 saat reaksiyon süresi; 1.5 saat çökeltme süresi; 1 saat boşaltma süresi olmak üzere toplam 4 saatlik bir seans zamanı seçilmiştir. Bu durumda sistem günde 6 seans olarak çalıştırılmaktadır. Her seansta ortalama 160 m³ atıksu arıtılmak suretiyle, 6 seansta toplam 960 m³/gün atıksu bir ardışık kesikli reaktörde arıtılmaktadır.

Teorik çalışmada ($S_0=350$ mg/l, $k=0.21$ sa⁻¹) ise, ardışık kesikli reaktörün kinetiğini temsil edecek şekilde oluşturulan teorik denklemden aynı reaksiyon süresi ($t_r=1.5$ saat) için elde edilen BOI_5 değeri 41.5 mg BOI_5 /l bulunmuştur. Faaliyette olan sistemin BOI_5 değeri (43 mg BOI_5 /l) ile teorik denklemden elde edilen BOI_5 değerinin (41.5 mg BOI_5 /l) birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Diğer bir teorik çalışmada ise ($S_0=2700$ mg/l, $k=0.8$ sa⁻¹), ardışık kesikli reaktörün kinetiğini temsil edecek şekilde oluşturulan teorik denklemden aynı reaksiyon süresi ($t_r=1.5$ saat) için elde edilen BOI_5 değeri 57.1 mg BOI_5 /l bulunmuştur. Faaliyette olan sistemin BOI_5 değeri (59 mg BOI_5 /l) ile teorik denklemden elde edilen BOI_5 değerinin (57.1 mg BOI_5 /l) birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, ardışık kesikli reaktörün (AKR, SBR), tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında ve teorik çalışmada kullanılan denklemin de ardışık kesikli reaktör kinetiğini temsil etmede kullanılabileceği görülmektedir.

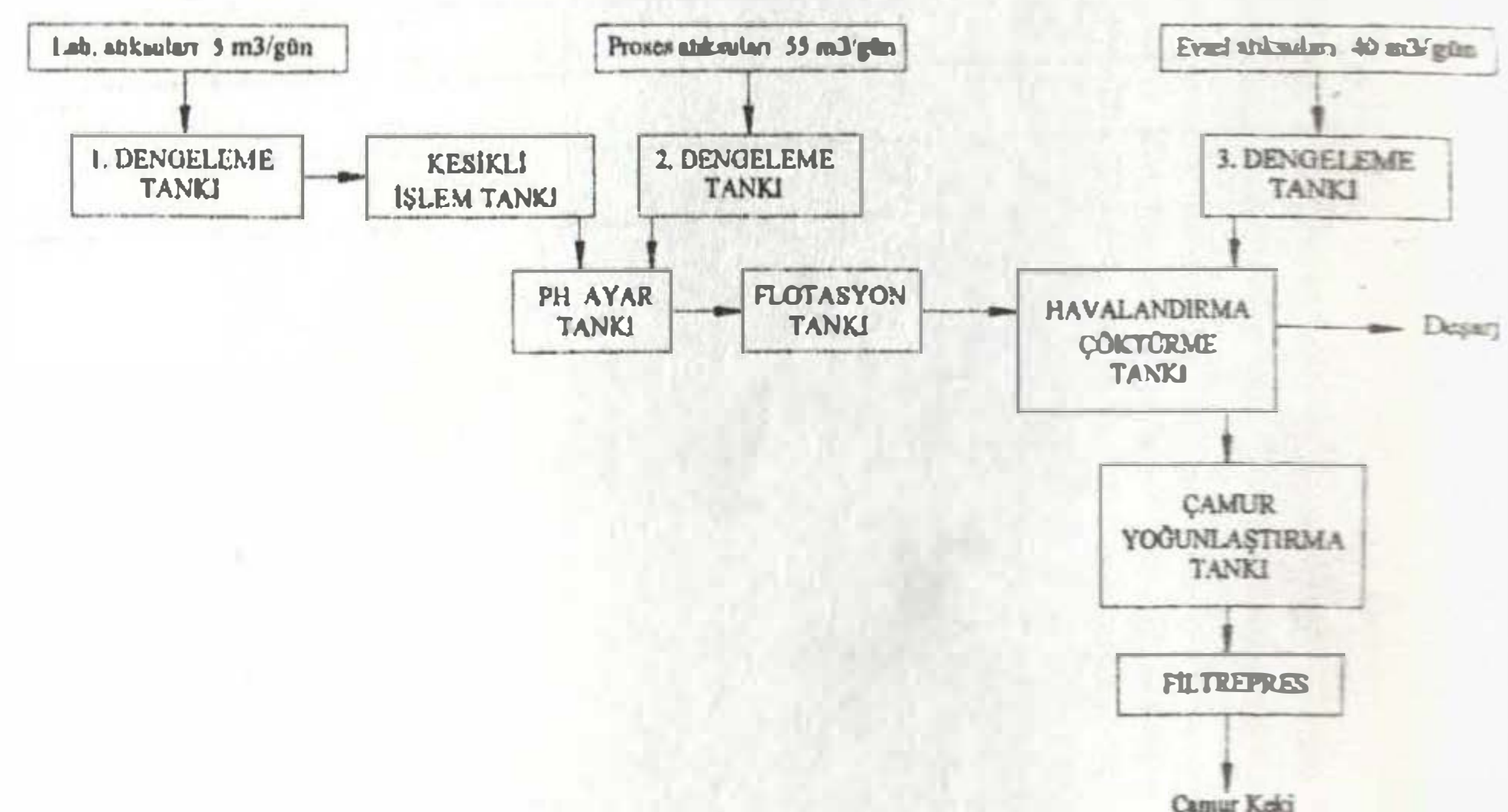
III. ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖRLER İLE ARITILMASI UYGULAMALARI

III.1 Türkiye'deki uygulamaları

Endüstriyel atıksuların ardışık kesikli reaktörler ile arıtılması uygulamaları için Türkiye'den seçilen değişik endüstriler; Gemsan Kimya Sanayi, Teklas Kauçuk Sanayi, Aydın Örme Tekstil Sanayi ve Tuzla Organize Deri Sanayi Bölgesi atıksu arıtma tesisidir.

III.1.1 Gemsan kimya endüstrisi

Tesise gelen ve toplanan tüm atıksuların pH'ı, pH metreyle bağlı olarak otomatik çalışan dozaj pompalarından dozlanan asit ve bazla ayarlanarak, 3. dengeleme tankından seviye kontrolüne bağlı olarak biyolojik üniteye basılmaktadır. Herbir biyolojik ünite günde 1 ila 3 kez doldurulup, boşaltılabilmektedir. Havalandırma işlemi tamamlandıktan sonra hava üfleme kapatılarak, aktif çamurun çökmesi sağlanmakta ve arıtılan su deşarj edilmektedir. Tesise ait atıksu arıtma akım şeması Şekil 8, değerler ise Tablo 5'de verilmiştir.



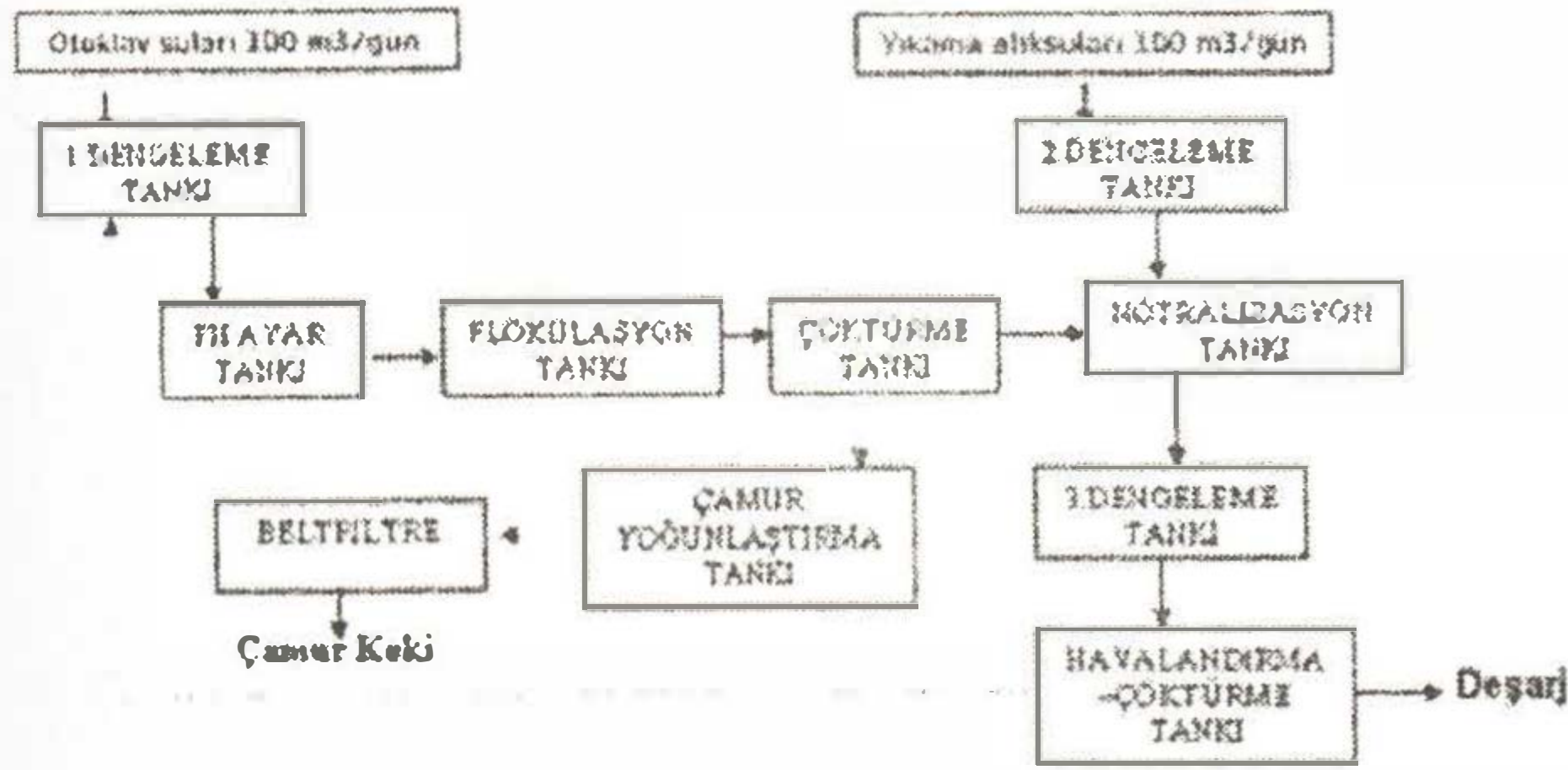
Şekil 8. Gemsan Kimya Sanayi Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

Tablo 5. Gemsan Atıksu Arıtma Tesisi 17.11.2003 tarihine ait değerler

Parametre	Kimyasal Giriş	Kimyasal Çıkış	Biyolojik Giriş	Biyolojik Çıkış
AKM (mg/l)			256	< 10
KOİ (mg/l)	8075	5340	558	35
pH	6.35	6.79	6.92	7.30

III.1.2 Teklas kauçuk endüstrisi

Tüm atıksular seviye kontrollü olarak ardışık kesikli biyolojik üniteye basılır. Biyolojik arıtımın çalışabilmesi için atıksu sıcaklığı 35 °C üstünde olmayacaktır. Bu ünite de havalandırma ve çöktürme işlemi aynı tankta yapılmaktadır. Ardından atıksular 3.dengeleme tankından biyolojik üniteye basılır. Ardışık kesikli sistemde her bir ünite 30 dakika çöktürülecek, 60 dakika doldurulacak ve 270 dakika havalandırılmak üzere 4 kez doldurulup, boşaltılacaktır. Oluşacak fazla çamur pompa yardımıyla 2. dengeleme tankına alınıp, kimyasal çamur içine katılacaktır. Tesise ait arıtma akım şeması Şekil 9, değerler ise Tablo 6'de verilmiştir.



Şekil 9. Teklas Kauçuk Sanayi Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

Tablo 6. Teklas Arıtma Tesisi 17.11.2003 tarihine ait değerler

Parametre	Kimyasal Giriş	Kimyasal Çıkış	Biyolojik Giriş	Biyolojik Çıkış
AKM (mg/l)	240	< 10	85	< 10
KOİ (mg/l)	2076	328	1150	210
pH	7.28	8.40	8.10	7.90

III.1.3 Aydın örme tekstil endüstrisi

Bu fabrikada, sentetik tekstil terbiyesi ve üretimi yapılmaktadır. Oluşan boyalı atıksu arıtımı AKR ile sağlanmaktadır. Üç adet paralel olarak yapılmış olan reaktörden oluşan bu sistemde ihtiyaca göre biri veya diğerleri de çalıştırılabilmektedir.

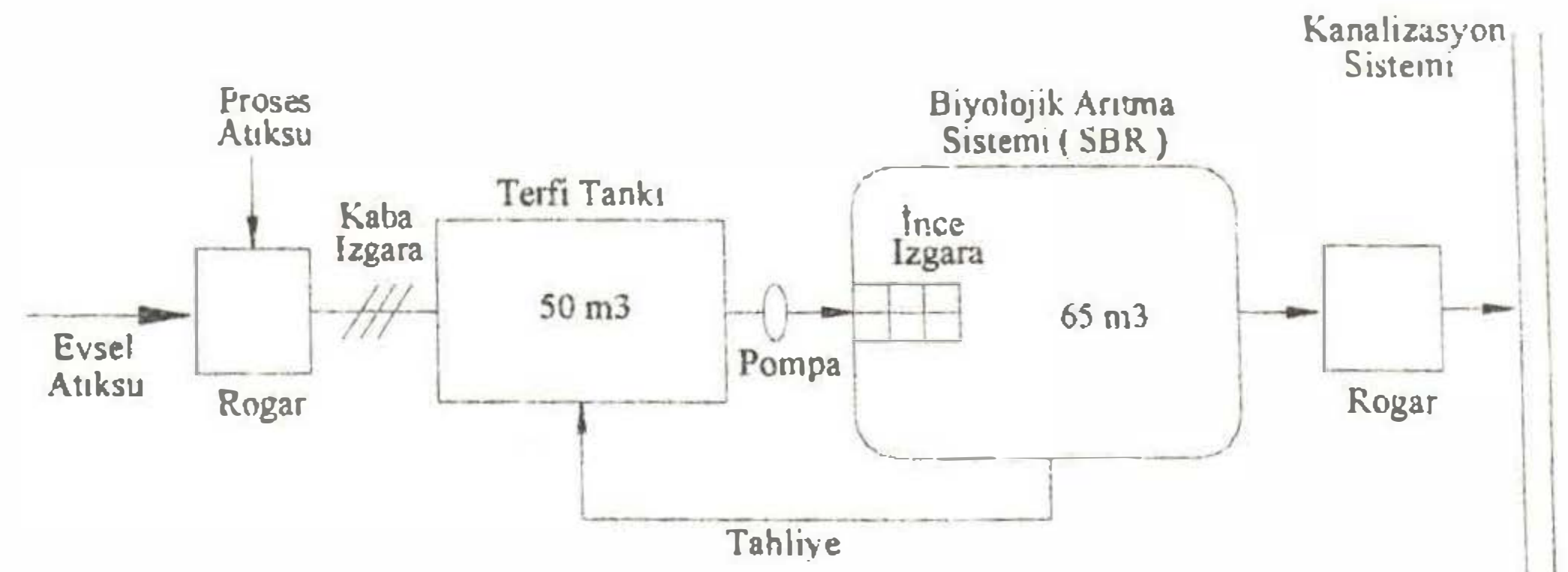
Atıksular ızgaradan geçirildikten sonra pH ayarlaması yapılır. İçindeki kirlilik kaynağı çözülmüş karbonun biyolojik olarak arıtılması için atıksu havalandırma havuzuna alınır. Ardışık kesikli olarak dizayn edilen bu havuzlarda aeratörler durdurularak havuz içindeki bakteriler çöktürülür. Çökme zamanı zaman ayarlayıcı aracılığı ile kontrol edilmektedir. Tanklar günde üçer kez dolup boşalarak günlük toplam atıksuyu arıtır. Sistemde üreyen fazla çamur yoğunlaştırılmak üzere yoğunlaştırıcıya basılır. Burada hacmi azalan atık sıkıştırılarak su içeriği düşürülen çamur katı (kek) olarak uzaklaştırılmaktadır. Filtre presten çıkan süzöntü suları ise tekrar arıtılmak üzere arıtma tesisi girişine verilir. Tesise ait çıkış suyu değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Aydın Örme Tekstil Fabrikası Arıtma Tesisi 05.11.2003 Tarihine Ait Çıkış Değerleri

Parametreler	I.Hav. Havuzu Çıkış Suyu	II.Hav. Havuzu Çıkış Suyu	III.Hav. Havuzu Çıkış Suyu
BOİ ₅ (mg/l)	45	50	51
KOİ (mg/l)	230	226	230
pH	6.8	7.1	7.4

III.1.4 Toprak ilaç endüstrisi

Tesise ait atıksu arıtma şeması Şekil 10, giriş ve çıkış değerleri Tablo 8'de gösterilmiştir. Endüstriyel ve evsel karışık olan atıksuların fabrika laboratuvarında yapılan deneyler sonucu ardışık kesikli reaktörlerin verimi % 80' dir.



Şekil 10. Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Akım Şeması [6]

Tablo 8. Toprak İlaç Endüstrisine Ait Giriş ve Çıkış Değerleri

Parametreler	Giriş	Çıkış
BOİ ₅ (mg/l)	90-130	13-18
KOİ (mg/l)	200-300	25-37
AKM (mg/l)	900	9-21
pH	6.4-6.8	7.3-7.6
NH ₃ (mg/l)	26	1
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	8.5	8.1

III.1.5. Tuzla organize deri endüstrisi

Tarihi Kazlıçeşme'deki dericilerin Tuzla'ya taşınmasıyla oluşturulan organize sanayi bölgesinin arıtma tesisi 36000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Şu anda 107 dericiden gelen atıksuları arıtan tesis 13000-14000 m³/gün'lük kapasite ile çalışmaktadır [7]. Deri endüstrisi atıksuyu karakterizasyonu Tablo 9, çıkış değerleri ise Tablo 10'da gösterilmiştir. Tesis üç ayrı atıksu akımına göre tasarım ve inşa edilmiştir. Buna göre kromlu atıksulara kimyasal oksidasyon uygulandıktan sonra genel atıksularla birleştirilerek ve bu şekilde sırasıyla dengeleme, basit çöktürme ve aktif çamur birimlerinde arıtılması planlanmaktadır. Henüz akım ayırımı sağlanamadığından basit çöktürme ve biyolojik arıtma birleşik atıksulara uygulanmaktadır [8].

Tablo 9. Deri atıksuyu karakterizasyonu [9]

.Parametreler	Değerler
Toplam KOİ (mg/l)	1050-2900
Süzülmüş KOİ (mg/l)	750-1810
pH	7,2-8,4
AKM (mg/l)	790-1170
NH ₄ -N (mg/l)	130-154
Sülfür	27-77
Klor (mg/l)	1080
Krom (mg/l)	46

Tablo 10. Kimyasal çöktürme sonrası parametrelerin değişim aralıkları [10]

Parametreler	Değerler
KOİ (mg/l)	845-1932
KOİ giderimi (%)	55-81
AKM (mg/l)	190-330
PH	7-8

III.2 Dünyadaki uygulamaları

Endüstriyel atıksuların ardışık kesikli reaktörler ile arıtılması uygulamaları için dünyadan seçilen değişik endüstriler; Bal kutulama ve Karides İşleme Endüstrileri Atıksuları, Kağıt Endüstrisi Atıksuları, Deri Endüstrisi Atık Suları tesisleridir.

III.2.1 Bal kutulama ve karides işleme endüstrileri

Her iki endüstri atıksuları doğrudan belediye kanalına deşarj edilmekteydi. Bal kutulama endüstrisi atıksularının gittiği arıtma tesisinde çamur kabarma problemi yaşanırken, karides işleme tesisi atıksularında ise esas

problem köpük oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple haftada 5 gün, günde 8 saat atıksu üreten tesisler için atıksuyun biriktiği bir biriktirme tankı ve 200 lt hacminde bir AKR'den oluşan pilot tesisler kurulmuştur. Bal kutulama ve karides işleme tesisine ait atıksuların arıtılması ile ilgili atıksu karakterizasyonu Tablo 11, çıkış suları kalitesine ait değerler ise Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Bal kutulama ve Karides işleme Endüstrilerinin Atıksu Karakterler [9]

Parametreler	Bal Kutulama	Karides İşleme
pH	5.3	7.5
KOİ (mg/l)	130-12700	160-7600
Süzülmüş KOİ (mg/l)	120-12000	160-2000

Tablo 12. Bal kutulama ve Karides işleme Endüstrileri Reaktörlerinin Çıkış Suyu Kalitesi [9]

Parametreler	Bal Kutulama	Karides İşleme
AKM (mg/l)	32	24
BOİ ₅ (mg/l)	38	26
KOİ (mg/l)	176	140
Süzülmüş KOİ (mg/l)	129	109

Bu çalışmada, çıkış suyunun kalitesinin istenenden daha iyi olmasına rağmen giriş değerleri çok geniş bir aralıkta değiştiğinden sistemin verimi belli değildir.

III.2.2 Kağıt endüstrisi

Wilderer ve arkadaşlarının çalışmasında ön arıtmadan geçmiş kağıt endüstrisi atık suları kullanılmıştır [11]. Atıksu KOİ konsantrasyonunun 1000-3600 mg/l arasında değiştiği belirtilmiştir. Çıkış suyunun renkli, fakat askıda katı maddesinin (AKM) çok düşük olduğu belirtilmiştir. Çamur hacim indeksinin (SVI) 20-220 ml/g arasında değiştiği ifade edilmiştir. Çamur çökmesinin, çıkışta oldukça duru bir fazda elde edecek kadar iyi olduğu belirtilmektedir. 10, 20 ve 30 günlük çamur yaşının KOİ giderme verimini çok fazla etkilemediği görülmüştür. Sistemin BOİ giderme veriminin ortalama %98, KOİ giderimin ise %80-94 arasında değiştiği belirtilmektedir. Biyolojik olarak kolay ayrışabilir yapıdaki kağıt endüstrisi atıksularının 8 saatlik çevrim süresi uygulanan AKR ile arıtılması sonucunda elde edilen giderme verimlerinin tatmin edici olduğu görülmüştür.

III.2.3 Deri endüstrisi

Japonya'da ardışık kesikli reaktör prosesinin fizibilite çalışması, kuvvetli organik madde ve krom içeren deri endüstrisi atıksularının arıtımında laboratuvar ölçekli bir uygulama gerçekleştirilmiştir [12]. Uygulanan çevrimin toplam süresi 8 saattir. 1 saat doldurma, 5 saat reaksiyon, 0.5 saat çökeltme ve 1.5 saat boşaltma fazına ayrılmıştır. Havalandırma sadece reaksiyon fazında uygulanmış ve reaksiyon süresinin sonlarında 1 saat boyunca kapatılarak sonraki sürede havalandırmaya devam edilmiştir. Deri atıksuyu karakterizasyonu ait değerler Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. İşletme Parametreleri ve Atıksu Kalitesi

Parametreler	Giriş Atıksu	Çıkış Atıksu	Giriş Atıksu	Çıkış Atıksu
KOI (mg/l)	2960	186	9580	328
Verim (%)		93.7		96.6
NH ₃ -N	105	45.3	173	26.3
Org-N	45	6.5	41.7	15.2
NO ₂ -N	0.12	19	0.14	16.4
NO ₃ -N	3.8	0.14	4.0	2.0
Toplam Azot Giderimi (%)		53.9		72.6
Krom (mg/l)	25.3	1.08	25.1	0.57
Verim (%)		95.7		97.7

Tablo 14. Deri atıksuyu karakterizasyonuna ait değerler

Parametreler	Değerler
KOI (mg/l)	1500-2200
BOI ₅ (mg/l)	800-1100
Toplam Azot (mg/l)	132-188
Krom (mg/l)	19-32

Tablo 13'de görüldüğü gibi KOI ve krom giderimi oldukça yüksektir. KOI giderime verimi %93.7-96.6 aralığında değişirken, kromda %95.7-97.7 arasında verim elde edilmiştir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada ardışık kesikli reaktörlerin Türkiye ve dünyadaki uygulamaları incelenmiştir. Ayrıca endüstriyel atıksuların ardışık kesikli reaktörlerle arıtılma mekanizması ve kinetiği araştırılmıştır. Teorik kinetik denkleminin uygulaması örnek bir tekstil endüstrisi atıksuları arıtılması üzerine yapılmış olup teorik model ile deneysel sonuçların kıyaslandığında yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) sisteminin debideki büyük değişiklikleri tolere edebilmesi ve aynı zamanda bir dengeleme tankı gibi iş görmesinin dışında AKR sisteminin farklı fazlarının otomatik kontrol edilebilmesi de sistemi endüstriyel atıksuların arıtılması için çekici kılmaktadır [13].

Bu incelemeler ve araştırmalar sonucunda; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği çıkış suyu deşarj değerleri standartlarına uygunluk, beraberinde tasarım ve maliyet kriterleri bakımından endüstriyel atıksuların arıtımında Ardışık Kesikli Reaktör (AKR) sisteminin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Documented Performanc&Experience, in SBR's, U.S..Filter / Jet Tech, 1990
- [2]. Biological Treatment;December, T3-18, 1998
- [3]. SBR for Convantional and Advanced Waste Treatment , 1988
- [4]. DROSTE,R.L.,Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment.NY; John Wiley&Sons Inc, 1997
- [5]. Biyoteknoloji Kongresi Bildiriler Kitabı, Çanakkale, S.193-197, 2003
- [6]. DAMAR,Y., İlaç Endüstrisi ve Evsel Karışık Atıksuyunun AKR ile Arıtılması hakkında makale, 2002
- [7]. ATEŞ, E., Orhon, D., Tünay, O., Characterization of Tannery Wastewater for Pretreatment-Selected Case Studies, 1997
- [8]. Orhan, D., Artan, N., Modelling of Activated Sludge Systems, Technomic Publishing Company PP.253-257,1994
- [9]. BAŞEĞMEZLER, B., Deri Endüstrisi Atıksularının Ardışık Kesikli Reaktörlerle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1998
- [10]. GÜN, Ö., Deri Endüstrisi Atıksularının Ardışık Kesikli Reaktörlerle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1998
- [11]. YAMAMATO, K, Win,K.M., Tannery Wastewater Treatment Using a Sequencing Batch Membrane Reactor. Wat. Sci. Tech. Vol.23. Kol pp.1639-1648, 1991
- [12]. WİLDERER, P.A., Sequencing Batch Technology gor Biological Treatment of Industrial Wastewaters. New Dewelopments in Industrial Wastewater Treatment pp. 111-125 Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.,1991
- [13]. ECKENFELDER, W.Wesley JR.,D.Sc.,P.E, Activated Sludge Treatment Of Industrial Wastewater