

ANAEROBIC TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATERS IN UPFLOW SLUDGE BLANKET REACTORS

Gülseven UBAY TÖNÜK

Gazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Dept. of City and Regional Planning,
06570 Maltepe, Ankara, TÜRKİYE e-mail: gulseven@gazi.edu.tr

ABSTRACT

The success in anaerobic systems on treatment of medium and high strength industrial wastewaters encouraged the researchers to study the anaerobic treatment of domestic wastewaters. The aim of this investigation was to observe the treatment potential of domestic wastewaters in the anaerobic upflow sludge blanket reactors (UASBR), determination of hydraulic and kinetic factors affecting the performance of the system and to develop a compact treatment system for the regions of Turkey having a mild and warm climate by using the experimental data of the study. The experimental studies have been performed on an anaerobic upflow sludge blanket reactor for about one and a half years in laboratory conditions.

Key Words: Anaerobic upflow sludge blanket reactor, Domestic wastewater, Nutrient removal, Second order substrate removal kinetics.

YUKARI AKIŞLI ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERDE EVSEL ATIKSULARIN HAVASIZ ARITIMI

ÖZET

Orta ve kuvvetli endüstriyel atıksuların havasız arıtımında sağlanan başarılar, araştırmacıları evsel atıksuların havasız arıtımı konusunda yoğun çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu çalışmanın amacı; havasız yukarı akışlı çamur yataklı reaktörlerde evsel atıksuların arıtma potansiyelini ortaya koymak, sistem performansını etkileyen hidrolik ve kinetik faktörleri belirlemek ve deneysel sonuçlardan yararlanarak Türkiye'nin sıcak ve ılıman iklim kuşağında yer alan bölgeleri için paket arıtma sistemi geliştirmektir. Bu amaçla laboratuvar şartlarında yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerde 1,5 yıl süren deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evsel atıksu, Havasız yukarı akışlı çamur yataklı reaktör, Nutrient giderimi, İkinci mertebe besin giderim kinetiği

1. GİRİŞ

Evsel atıksuların havasız arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar, kullanılan atıksuyun özelliğine göre üç ana grupta toplanabilir. Bunlar:

- Evsel atıksularla yapılan çalışmalar
- Endüstriyel atıksular da içeren evsel atıksularla yapılan çalışmalar
- Evsel atıksu karakterinde hazırlanmış sentetik atıksularla yapılan çalışmalar

Evsel ve sentetik atıksularla yapılan çalışmalarda KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) giderimleri % 70 – 90 arasında gerçekleşirken, endüstriyel atıksular da içeren evsel atıksuların arıtımında endüstriyel atıksuların özelliğine bağlı olarak düşük KOİ giderimleri elde edilebilmektedir.

1. INTRODUCTION

The anaerobic treatability studies of domestic wastewaters can be separated into three groups with respect to the characteristics of the wastewaters. These are:

- Purely domestic wastewaters
- Municipal wastewaters including industrial effluents
- Low strength synthetic wastewaters

While 70-90 % Chemical Oxygen Demand (COD) removals are observed in anaerobic treatability studies of domestic and low strength synthetic wastewaters, lower COD removal efficiencies may be observed for domestic wastewaters containing industrial effluents due to the presence of possible inhibitory substances.

Recent developments in the field of anaerobic treatment have proved that the anaerobic treatment processes are not

Havasız arıtma alanındaki son gelişmeler, havasız arıtmanın kuvvetli atıksuların yanısıra düşük organik madde içerikli atıksularda da başarı ile uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Havasız arıtma kompakt, basit ve ekonomik bir proses olup restoran, otel ve tatil sitelerinde oluşan evsel atıksuların arıtımda kolayca uygulanabileceğine sahiptir. Kısmen çözünmüş atıksuların havasız arıtımında düşük hacimsel yüklerin kullanılması daha uygundur. Gerçekte, yüksek oranda partiküler organik madde içeren kompleks atıksular granüler çamurlu yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerde arıtılabilir. Floküler çamur içeren yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerde, girişteki askıda katılar biyokütlelerin metanojenik aktivitesini düşürdüğü için yüksek miktarda askıda katı madde içeren atıksuların arıtımında granülasyon prosesi gerçekleştirilebilir (1).

Evsel atıksuyun arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Çizelge 1):

- Evsel atıksuyun havasız arıtımında, atıksuyun içerdiği endüstriyel atıksuyun miktar ve özelliğine bağlı olarak % 30 ile % 85 arasında KOİ giderimleri elde edilebilmektedir.
- Evsel atıksular oldukça yüksek organik yüklerde bile yeterli verimlerle arıtılabilmektedir. Arıtma sistemlerinde bir saat kadar düşük hidrolik bekleme süreleri uygulanabilmektedir.
- Evsel atıksuların havasız arıtımında oluşan fazla çamur aerobik arıtma proseslerine kıyasla çok azdır.
- Havasız arıtma sistemleri, özellikle havasız çamur yataklı reaktörler, evsel atıksuların arıtımı için ekonomik bir arıtma alternatifidir.
- Havasız çamur yataklı reaktörler basit, kompakt ve düşük maliyetli oldukları için kullanım imkanları daha fazladır.
- Havasız arıtma çıkış suları bir su kaynağına verilmeden önce nütriyent giderimi gereklidir.

2. MATERYAL VE METOD

Havasız arıtılabilirlik çalışmaları, 10.35 litre aktif hacime sahip laboratuvar ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yataklı bir reaktörde (YAHÇYR) gerçekleştirilmiştir. Çalışma boyunca reaktör kesikli olarak beslenmiştir.

restricted only to the high strength wastewaters, but also they can successfully be applied to dilute low strength wastewaters. Anaerobic treatment can be considered as a compact, simple and economical process and it can easily be applied for the effluents from restaurants, hotels and holiday resorts. Using lower volumetric loadings in anaerobic treatment of partially soluble wastewaters is more appropriate. In fact, complex wastewaters containing high amounts of particulate organics can also be treated in upflow sludge blanket reactors with granular sludge. In the UASBR having flocculent sludge, influent suspended solids decrease the methanogenic activity of the biomass. Thus, there is no guarantee for the granulation process in the treatment of wastewaters having high amounts of suspended solids (1).

The following conclusions can be drawn considering the anaerobic treatability results of the related literature (Table 1) so far:

- In the anaerobic treatment of domestic wastewaters, COD removal of 30 to 85 % is possible depending on the ratio of industrial effluents in the municipal wastewaters.
- Domestic wastewaters can be treated anaerobically at high organic and hydraulic loading rates. Hydraulic retention time as low as one hour is applicable.
- Excess biological sludge production in the anaerobic treatment of domestic wastewaters is very low compared to the aerobic treatment processes.
- Anaerobic treatment systems, particularly UASBR, are very feasible and attractive alternatives for the treatment of domestic wastewaters.
- UASBR's are simple, compact and low cost reactors, so they are easily applicable.
- Nutrient removal in the effluent of anaerobic treatment systems may especially be required before discharging into enclosed water bodies.

2. MATERIALS AND METHODS

Anaerobic treatability studies were performed in a laboratory scale UASBR having an active volume of 10.35 l. The reactor was fed intermittently during the course of the study. Some characteristics of the feed are presented in Table 2. The same reactor had previously been used in another anaerobic treatability study fed by synthetic low strength wastewater and the sludge in the reactor was used as the seed for this study which has reduced the period

Table 1. Data from Literature**Çizelge 1.** Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Reaktörlerde Evsel Atıksuların Havasız Arıtımı

Temperature (°C)/ Sıcaklık	COD _I (mg/l)	COD _E (mg/l)	COD Removal (%) KOİ giderimi (%)	SS _I (mg/l)	SS _E (mg/l)	θ (hr)/ Saat	Reference/ Kaynak
8-20	300	-	50-60	-	-	12	(1)
12-16	688 [204-1253] (337) [182-439]	150 [79-304] (106) [40-253]	78 (69)	-	-	24	
7-20	500 [117-1100] (338) [69-666]	164 [35-299] (133) [10-227]	67	-	-	12	
20	[100-900]	-	65-80	-	-	8-48	
9-20	500 300-650	(80-180)	75	-	-	8	(2)
9-20	400-600	110-180	70	-	-	24	
8-20	[200-900]	-	54-72 (60-89)	-	-	8	(3)
15-20	[322-950]	-	(30-80)	-	-	8	
9-12		-	18-45	-	-	8	
19-28	627(151)	163	74(89)	376	105	4	(4)
14-23	205-326	108-204 (50-110)	31-56	-	-	12-42	(5)
15-19	500	-	40-55 (65-80)	-	-	8	(6)
11-12	400	-	30-50 (55-70)	-	-	8	
9.5-10	500	-	30(55)	-	-	8	
35	341	-	65(83)	88	34	4	(7)
20	424	170	60(82)	188	58	4	(8)
23	406	142	65(83)	191	59	4	
21-25	265	133	50	123	33	4.7	(9)
30	450 - 750	-	90	-	-	1 - 24	(10)
20-30	563 ± 164	149-178	74 [68-74]	418	104-134	6	(11)
18 - 28	368 - 516	-	83 50	21 - 41 21 - 41	- -	10 4	(12)
	486 - 694	-	68	-	-	15	(13)
	782 352*	- -	83 86*	393		6 - 9	
	782 352*	-	83.4 88.6	393		12	

Table 1. (Continued)
Çizelge 1. (Devam)

Temperature (°C)/ Sıcaklık	COD _I (mg/l)	COD _E (mg/l)	COD Removal (%) KOİ giderimi (%)	SS _I (mg/l)	SS _E (mg/l)	θ (hr)/ Saat	Reference/ Kaynak
19 ± 3	400 ± 64 [317-523]	142 ± 37 [92-227]	64	-	-	14.5	(14)
18 ± 3	403 ± 63 [213-538]	149 ± 30 [72-184]	63	182 ± 48	45 ± 19	11	
21 ± 3	407 ± 61 [213-595]	142 ± 27 [92-198]	65	195 ± 70	49 ± 23	8.8	
22 ± 3	459 ± 84 [322-561]	206 ± 46 [143-273]	55	219 ± 57	74 ± 33	7.2	
22 ± 2	374 ± 31 [340-406]	152 ± 18 [126-170]	59	192 ± 64	45 ± 9	7.0	
25 ± 2	194 ± 65 [113-331]	89 ± 20 [50-129]	54	91 ± 39	34 ± 14	7.5	
28 ± 1	188 ± 37 [133-228]	83 ± 10 [73-97]	56	67 ± 11	24 ± 8	6.1	
25 ± 2	258 ± 50 [164-350]	103 ± 39 [26-216]	60	113 ± 43	37 ± 16	6.2	
21 ± 3	307 ± 63 [199-477]	117 ± 29 [73-186]	60	149 ± 72	49 ± 21	5.1	
18 ± 2	285 ± 63 [211-406]	189 ± 44 [106-236]		236 ± 164	105 ± 112	4.4	
22 ± 4	393 ± 76 [316-479]	280 ± 25 [246-304]		207 ± 60	78 ± 49	5.0	
30 ± 5	445 ± 120 [230-610]	98 ± 32 [50-160]	72 [61-88]		< 50	12	This Study /Bu Çalışma (15)
30 ± 5	255 ± 120 [67-550]	73 ± 34 [34-195]	69 [44-88]		< 50	23	
30 ± 5	380 ± 230 [32-780]	114 ± 71 [20-274]	65 [38-79]		< 50	11	
30 ± 5	240 ± 17 [216-255]	70 ± 17 [74-86]	70 [60-82]		< 50	18	
30 ± 5	230 ± 113 [55-580]	77 ± 40 [20-168]	62 [38-93]		< 50	8	
20 ± 5	245 ± 125 [90-520]	65 ± 42 [30-150]	73 [42-90]		< 50	6	
20 ± 5	290 ± 105 [140-475]	76 ± 40 [30-145]	73 [58-90]		< 50	12	

S_I : Influent COD/ Giriş KOİ'si S_E : Effluent COD/ Çıkış KOİ'si SS_I : Influent Suspended Solids / Girişteki Askıda Katı Madde
SS_E : Effluent Suspended Solids/ Çıkıştaki Askıda Katı Madde () Soluble COD values/ Çözünmüş KOİ Değerleri
[] Range/ Aralık *Values on the BOD₅ basis /BOİ₅ cinsinden verilen değerler

Table 2. Characteristics of the Feed
Çizelge 2. Çalışmada Kullanılan Evsel Atıksuyun Özellikleri

Parameter/Parametre	Range/Arahk
Temperature/Sıcaklık (°C)	5-28
TKN/Toplam Kjeldahl Azotu (mg/l)	24-120
NH ₃ /Amonuyak (mg/l)	24-88
Total P /Toplam Fosfor (mg/l)	2.7-4.3

Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan reaktör daha önce havasız arıtılabilirlik çalışmasında sentetik evsel atıksu ile beslenen bir reaktör olup reaktörün içindeki çamurun bu çalışmada aşı çamuru olarak kullanılması işletmeye alma devresini kısaltmıştır. Reaktör 3:30 ile 8:00 saatleri arasında beslenmemiş, günün geri kalan kısmında ise saatlik debi yarım saat aralıklarla kesikli olarak reaktöre verilmiştir. Küçük yerleşim birimlerinden gelen evsel atıksuyu karakterize etmek amacıyla böyle bir besleme düzeni seçilmiştir. Çalışma boyunca, hidrolik bekleme süresi 6 - 24 saat, hidrolik yük 1 – 4 m³/m³.gün ve organik yük 0,266 - 1 kg KOİ/m³.gün olarak gerçekleşmiştir.

Eysel atıksu kaynağı olarak İstanbul Teknik Üniversitesi kampüsünde oluşan evsel atıksular kullanılmıştır. Çalışma kapsamında aşağıdaki hususlar incelenmiştir:

- Kesikli beslemenin reaktör verimi üzerindeki etkisi
- İz maddesi deneyleri ile reaktörün hidrolik özelliklerinin belirlenmesi
- Hidrolik parametrelerle arıtma prosesi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi
- Arıtma prosesini karakterize eden kinetik parametrelerin belirlenmesi
- Çıkış suyu özelliklerinin değerlendirilmesi ve ilave arıtma ihtiyacı

Çalışma boyunca reaktör giriş ve çıkış suyunda debi, KOİ, sıcaklık, pH, askıda katı madde parametreleri düzenli olarak ölçülmüştür. Bütün parametrelerin analizi AWWA Standart Methods (1989)’a uygun olarak gerçekleştirilmiştir (16).

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışma 1.5 yıl boyunca sürmüştür ve çalışma boyunca toplam yedi kararlı hal gerçekleşmiştir. Herbir kararlı hale ait besleme özellikleri Çizelge 3’te, kararlı hal işletme parametreleri ise Çizelge 4’de verilmiştir. İzleyen bölümlerde ise deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

of start-up. The reactor was not fed between 3:30 to 8:00 am. During the rest of the day, the hourly flow of the daily feed was pumped in 30 minutes of continuous feed and 30 minutes of no feed intervals. This feeding regime was applied to simulate the flow rate of the domestic wastewaters from the small communities. In this study, hydraulic retention time was between 6 to 24 hours, hydraulic loading rate was in the range 1 to 4 m³/m³.d, and organic loading rate was in the range of 0.266 to 1 kg COD/m³.d.

The domestic wastewater from the sewage in Istanbul Technical University campus was used as the feed. The following parameters were investigated in this study:

- Effects of intermittent feeding on the reactor performance
- Determination of hydraulic flow characteristics of the reactor by the tracer experiments.
- Determination of relations between the hydraulic parameters and the treatment process responses.
- Determination of the kinetic parameters for the treatment process.
- Evaluation of final effluent and additional treatment requirement.

During the study, parameters including flowrate, COD, temperature, pH, and suspended solids have been regularly monitored in the influent and effluent of the reactor. All parameters have been analyzed according to AWWA Standard Methods (1989) (16).

3. RESULTS and DISCUSSION

The study continued for about one and a half years and was composed of seven different steady state stages. Characteristics of the feed were different in each stage as indicated in Table 3, and the results obtained are summarized in Table 4. The evaluations of the experimental study results are presented in the following sections.

Table 3. Characteristics of Domestic Wastewater for Seven Steady-States

Çizelge 3. Yedi Kararlı Hal Boyunca Eysel Atıksuyun Özelliklerinin Değişimi

Parameter/Parametre	COD _{influent} /KOİ Giriş (mg/l)		pH		Alkalinity/Alkalinite (mg/l)	
	Range/Aralık	Average/Ortalama	Range/Aralık	Average/Ortalama	Range/Aralık	Average/Ortalama
1-62	230-610	445	6.6-8.6	7.6	150-700	470
63-129	67-550	255	6.3-8.4	7.6	75-600	265
130-156	32-780	380	7.6-8.5	8	130-500	275
157-181	216-255	240	7.5-8.4	7.9	175-275	220
182-326	55-580	230	5.6-9.6	8	25-600	260
327-431	90-520	245	6-7.8	7	70-250	140
432-445	140-475	290	6.3-8.5	7.7	125-360	245

Table 4. Steady State Operating Parameters
Çizelge 4. Kararlı Hal İşletme Parametreleri

Time from Start-up (d)/ Başlangıçtan İtibaren Zaman (gün)	Flow Rate(l/d)/ Debi(l/gün)	θ (d)/ (gün)	Organic Loading Rate, L_V (kg COD/m ³ .d)/ Organik Yük, L_V (kg KOİ/m ³ .gün)	Hydraulic Loading Rate, L_H (m ³ /m ³ .d)/ Hidrolik Yük, L_H (m ³ /m ³ .gün)
1-62	20.7	0.50	0.890	2
63-129	10.8	0.96	0.266	1.04
130-156	22.2	0.46	0.395	2.15
157-181	13.8	0.75	0.320	1.33
182-326	31	0.33	0.690	3
327-431	41	0.25	0.970	3.97
432-445	20.7	0.50	0.580	2

3.1. Organik Yük ve KOİ Giderimi

Çalışma süresinde organik yük 0.2 - 1 kg KOİ/m³.gün aralığında değişmiştir (Şekil 1). Giriş ve çıkış suyunun KOİ değerleri ve her bir kararlı hal için KOİ giderimleri Çizelge 5'te verilmiştir. Çalışma süresince ulaşılan kararlı hallerde KOİ giderimleri % 67 – 87 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 2). KOİ giderim hızı (R_L) 0.76 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Kararlı halde çıkış suyundaki KOİ değerleri genelde 50 mg/l civarında ölçülmüştür (Çizelge 5'de verilen KOİ değerleri her bir kararlı hal boyunca ölçülen değerlerin ortalamasıdır). Giriş KOİ'sinin miktarına bağlı olarak çıkış KOİ'sinde artış olmakta ve bu da düşük KOİ giderimi ile sonuçlanmaktadır (Şekil 4). Çıkış suyundaki askıda katı madde genelde 50 mg/l'nin altında değerler almıştır.

3.1. Organic Loading Rate and COD Removal

Organic loading rates were varied in the range of 0.2 to 1 kg COD/m³.day during the study (Figure 1). Influent and effluent COD concentrations and COD removals for each steady state operating conditions are presented in Table 5. COD removals at the steady state varied in the range of 67 to 87 % in this study (Figure 2). COD removal rate (R_L) was determined as 0.76 (Figure 3). Effluent COD concentrations were generally 50 mg/l at steady-state operating conditions. However, increase in influent COD concentrations caused increase in effluent COD which resulted relatively low COD removals (Figure 4). Effluent suspended solid concentrations were generally less than 50 mg/l.

Table 5. Performance Data for Different Operation Conditions
Çizelge 5. Farklı İşletme Şartlarında Elde Edilen Verim Değerleri

Time(d)/ Zaman(gün)	Temperature in Reactor (°C)/ Sıcaklık (°C)	Organic Loading Rate (kg COD/m ³ .d)/ Organik Yük(kg KOİ/m ³ .gün)	Influent COD S_i , (mg/l)/ Giriş KOİ'si S_i , (mg/l)	Effluent COD S_e , (mg/l)/ Çıkış KOİ'si S_e , (mg/l)	COD Removal Efficiency E (%) / KOİ Giderimi E, (%)
1-62	30 ± 5	0.890	445	100	78
63-129	30 ± 5	0.266	255	75	71
130-156	30 ± 5	0.395	380	115	70
157-181	30 ± 5	0.320	240	70	71
182-326	30 ± 5	0.690	230	75	67
327-431	20 ± 5	0.970	245	65	73
432-445	20 ± 5	0.580	290	75	74

3.2. Sıcaklık, pH ve Alkalinite

Havasız arıtma prosesinin kararlılığının en önemli göstergelerinden olan pH ve alkalinite parametreleri deneysel çalışma boyunca sürekli olarak ölçülmüştür. Reaktörün fiziko-kimyasal kararlılığı günlük olarak ölçülen pH ve alkalinite parametreleri ile izlenmiştir. Çalışma boyunca reaktörün pH ve alkalinitesi sırasıyla 6.7 - 9.7 ve 100 – 750 mg/l arasında değerler almıştır. Çalışmada giriş suyunda amonyak yükselmesi nedeniyle pH kısa süre yaklaşık olarak 9 değerini almış ve bu reaktör veriminde önemli bir düşüşle sonuçlanmıştır. İlk 5 kararlı halde reaktörün sıcaklığı 30 ± 5 °C, son iki kararlı halde ise 20 ± 5 °C dir.

3.2. Temperature, pH and Alkalinity

The two most important indicators for the stability of anaerobic reactors are pH and alkalinity. These parameters were continuously measured during the study. The physico-chemical stability of the reactor was continuously monitored by measuring pH and alkalinity in the reactor. The reactor pH and alkalinity ranges were between 6.4 to 9.7 and 100 to 750 mg/l, respectively throughout the study. Concentrations of ammonia increased when pH was nearly 9 for a particular time period of the experimental study, and this resulted in a substantial reduction in reactor performance. The reactor temperature was in the range of 30 ± 5 °C for five steady state operating conditions while 20 ± 5 °C for the remaining two series.

3.3. Reaktör Biyokütle Konsantrasyonu

Reaktördeki biyokütle dağılımını belirlemek üzere, kararlı hallerde reaktörün çeşitli seviyelerinden alınan çamur numunelerinde uçucu katı madde deneyleri yapılmıştır. Reaktörün biyokütle dağılımının homojen olmadığı ve yer yer su cepleri teşekkül ettiği görülmüştür. Organik yükün artışına bağlı olarak sistemde biyokütle azalması olmakla birlikte, reaktör bu azalmadan fazla etkilenmemekte, 6000 mg/l gibi düşük biyokütle konsantrasyonlarında bile sistem kararlılığını koruyabilmektedir.

3.3. Reactor Biomass Concentrations

Biomass concentration measurements carried out on samples taken from different heights of the UASBR revealed that the distribution of the biomass along the height of the reactor was not uniform. The amount of biomass gradually decreased with increasing volumetric or hydraulic loading rate. However, the performance of the reactor was not affected significantly even for average biomass concentrations as low as 6000 mg/l and the stability of the treatment process could be maintained.

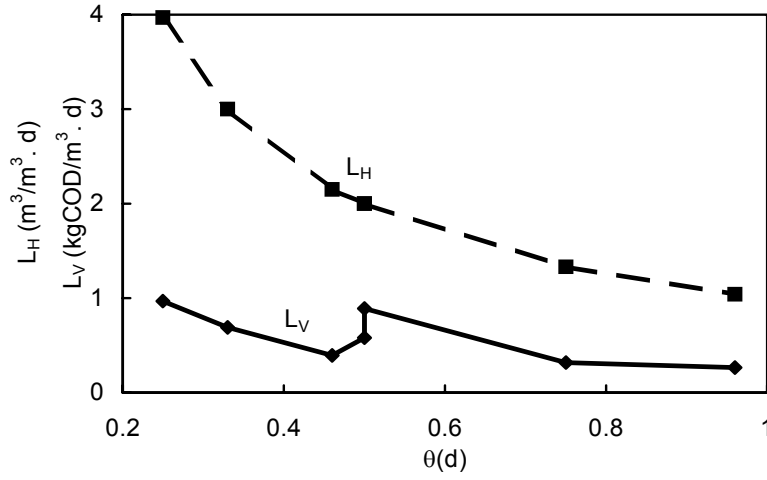


Figure 1. Variation of L_V and L_H vs θ .

Şekil 1. L_V ve L_H değerlerinin θ ile değişimi.

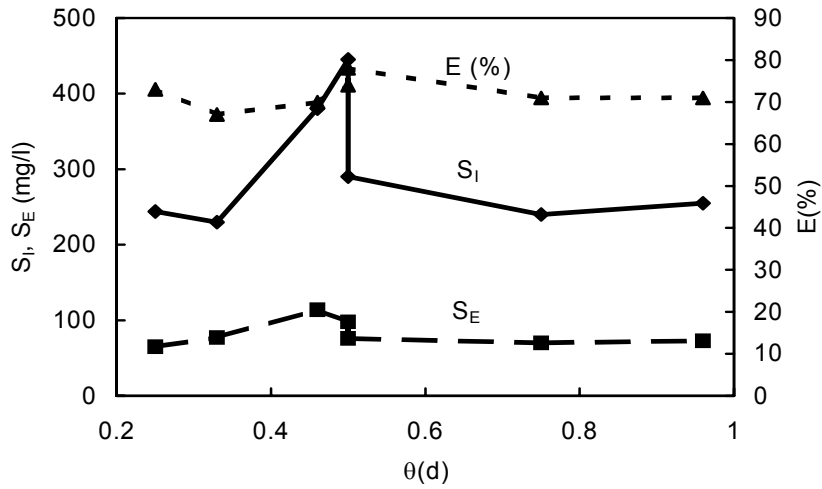


Figure 2. Variation of E , S_I and S_E vs θ .

Şekil 2. E , S_I ve S_E değerlerinin θ ile değişimi.

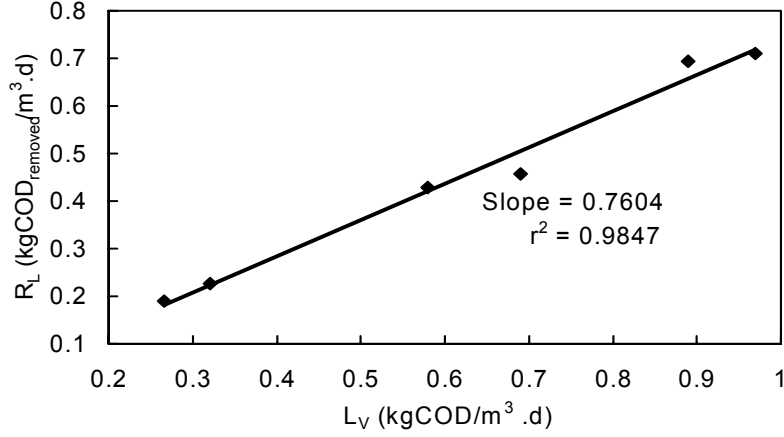


Figure 3. COD removal rate vs organic loading rate.

Şekil 3. KOİ giderim hızının organik yük ile değişimi.

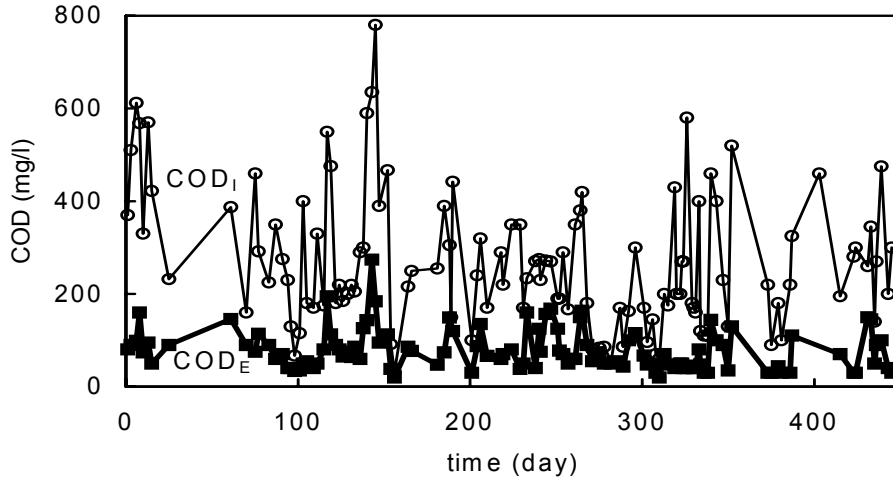


Figure 4. Time course of influent and effluent COD

Şekil 4. Giriş ve Çıkış KOİ'sinin zamanla değişimi

3.4. İz Maddesi Deneyi İle Reaktörün Hidrolik Özelliğinin Belirlenmesi

Reaktörün dispersiyon katsayısını belirlemek üzere LiCl ile deneyler yapılmıştır. Reaktör içinde ortalama lityum konsantrasyonu 10 mg/l olacak şekilde sisteme girişten ani olarak LiCl enjekte edilmiş ve uygulanan hidrolik bekleme sürelerinin üç katı kadar bir süre boyunca reaktör çıkışında Li konsantrasyonları ölçülmüştür.

DeneySEL çalışmadan elde edilen sonuçlar Gama Dağılımı ve Modifiye Gama Dağılımına uygulanarak değerlendirilmiştir (17). Sonuçların Modifiye Gama Dağılımına daha uygun olduğu görülmüştür.

Modifiye Gama Dağılım Modeli Gama Dağılımının geliştirilmiş şekli olup, gama karışım bölgesi ve piston akım bölgesinden oluşur. Akımın bir kısmı gama karışım bölgesi ile bunu izleyen piston akım bölgesine uğramadan doğrudan piston akım bölgesinin girişine gider (Şekil 5).

3.4. Hydraulic Modeling by Tracer Studies

Tracer experiments have been performed with LiCl in order to determine the coefficient of dispersion. LiCl was injected instantaneously into the inlet of the reactor so that the average concentration of Li in the reactor was about 10 mg/l. The variation of Li concentration in the reactor effluent was measured during a time period of three times the hydraulic retention time, in each experiment.

The results from the experimental study were evaluated using Gamma Distribution and Modified Gamma Distribution Models (17). It was observed that these results were more suitable for Modified Gamma Distribution Model.

Modified Gamma Distribution Model is a more sophisticated version of Gamma Distribution Model and contains a gamma-mixing zone and a plug flow zone. However some of the influent by-passes the gamma-mixing zone and flows into the inlet of the plug flow zone (Figure 5).

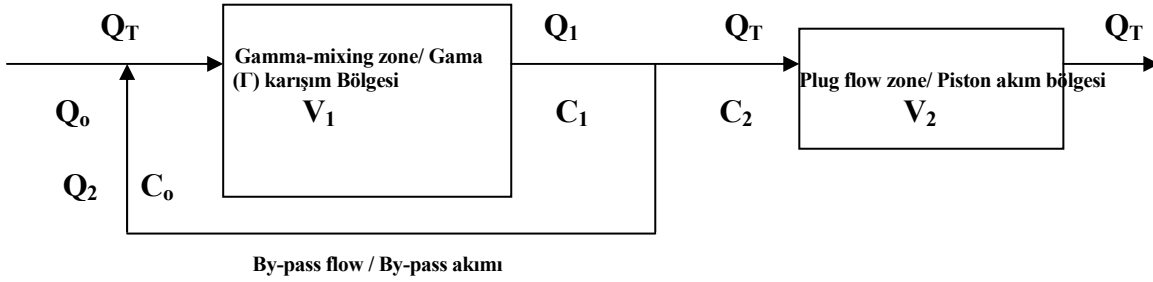


Figure 5. Block diagram of the model
Şekil 5. Modelin şematik gösterimi

Burada;

Q_1 : Gama (Γ) karışım bölgesindeki debi

Q_2 : by-pass akımının debisi

Q_T : Toplam debi

V_1 : Γ -karışım bölgesinin hacmi

V_2 : Piston akımlı bölgenin hacmi V_T

: Toplam hacim

C_0, C_1, C_2 : İz maddesi konsantrasyonlarıdır.

Modifiye Gama Dağılımı Modeli ani enjeksiyon halinde aşağıdaki gibi yazılabilir.

where;

Q_1 : flow rate of Γ -mixing zone

Q_2 : by-pass flow rate

Q_T : Total flow rate

V_1 : volume of Γ -mixing zone

V_2 : volume of plug flow zone

V_T : Total volume of the system

C_0, C_1, C_2 : Tracer concentrations

Modified Gamma Function Model can be expressed as in the form of Equation [1] for the pulse injection of the tracer:

$$E(\theta) = \frac{\beta(p\beta)^p}{(1-\tau)^p \Gamma(p)} (\theta-\tau)^{(p-1)} e^{-\frac{p\beta}{1-\tau}(\theta-\tau)} + (1-\beta)\delta(\theta-\tau) \quad [1]$$

Burada ;

β : Γ -karışım bölgesindeki debinin oranı ($\beta = Q_1/Q_T$)

τ : piston akım bölgesinde boyutsuz bekleme süresi

($\tau = V_2/V_T$)

θ : boyutsuz zaman

δ : Dirac Delta Fonksiyonu

- β arttıkça karışımın etkisi artar.

- p 'deki azalma aksiyal yöndeki karışımın azalmasına karşı gelir.

- τ değerindeki artış piston akım etkisinin artmasına karşı gelir.

Modifiye Gama Dağılım Modelinin parametreleri $\beta = 0.9$, $\tau = 0.1$ ve $p = 2$ olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre, çalışmada kullanılan havasız çamur yataklı reaktör, hidrolik olarak ardışık iki tam karışımli reaktörü izleyen bir piston akımlı reaktör gibi düşünülebilir (Şekil 6).

Havasız çamur yataklı reaktörlere evsel atıksular gibi seyreltik atıksular verildiği zaman genellikle yüksek hidrolik yükler uygulanabilir. İz maddesi deneylerinden elde edilen sonuçlar gözönüne alındığında; havasız çamur yataklı reaktörler pratikte seri bağlı iki tam karışımli reaktör gibi düşünülebilir.

3.5. Kinetik Modelin Oluşturulması ve Kinetik Değerlendirme

n . mertebeden besin giderim kinetiği dikkate alınarak havasız arıtma için genel diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir [2] (18).

where ;

β : proportion of flow rate of Γ -mixing zone ($\beta = Q_1/Q_T$)

τ : dimensionless retention time in plug flow zone ($\tau = V_2/V_T$)

θ : dimensionless time

δ : Dirac Delta Function

- An increase in β , corresponds to an increase in mixing

- A decrease in p corresponds to a decrease in mixing in axial direction.

- An increase in τ corresponds to an increase in plug flow

The parameters of the modified gamma model were determined as $\beta = 0.9$, $\tau = 0.1$, $p = 2$. Considering these results, the anaerobic upflow sludge blanket reactor system can be hydraulically considered as two completely mixed and one plug flow reactor in series (Figure 6).

When diluted wastewaters, like domestic wastewaters are treated in anaerobic upflow sludge blanket reactors, generally high hydraulic loading rates are applied. Considering tracer study results, the UASBR's can be considered as two completely mixed reactors in series for practical applications.

3.5. Kinetic Model Development and Kinetic Evaluation

Considering an n -th order substrate removal kinetics, the general differential equation of anaerobic treatment can be expressed by Equation [2] (18).

$$-\frac{dS}{dt} = k_n(S) \cdot X \cdot \left(\frac{S}{S_1}\right)^n \quad [2]$$

Burada,

$k_{n(s)}$: n.mertebe besin giderimi kinetik sabiti (1/gün)
 X : reaktördeki ortalama biyokütle konsantrasyonu (mg/l)
 S_1 ve S : giriş ve çıkıştaki besin maddesi konsantrasyonu (mg/l)' dur.
 [2] eşitliği $n = 2$ için integre edilirse 2.mertebe besin gideriminin kinetik ifadesi

where,

$k_{n(s)}$: n-th order substrate removal kinetic constant (1/d)
 X : average biomass concentration in the reactor (mg/l)
 S_1 and S : influent and effluent substrate concentrations (mg/l)

Integrating Equation [2] for $n = 2$ yields the second order substrate removal kinetics expression as:

$$S = \frac{S_1^2}{S_1 + k_2(S) \cdot X \cdot \theta} \quad [3]$$

şeklinde yazılabilir. Burada θ hidrolik bekleme süresidir. [3] eşitliği yeniden düzenlenirse

where θ is the hydraulic retention time (d). Rearranging Equation [3] yields

$$\frac{S_1 \cdot \theta}{S_1 - S} = \theta + \frac{S_1}{k_2(S) \cdot X} \quad [4]$$

[4] ifadesi elde edilir. [4] eşitliği aşağıdaki şekilde lineerleştirilebilir.

In general Equation [4] can be linearized as follows:

$$\frac{S_1 \cdot \theta}{S_1 - S} = a + b \cdot \theta \quad [5]$$

DeneySEL çalışmadan elde edilen veriler lineerleştirilmiş İkinci Mertebe Besin Giderimi Kinetiği Modeline uygulanmış [5] ve deney sonuçlarının modele çok iyi uyum sağladığı görülmüştür ($r^2 = 0,9924$).

Çalışmada ikinci mertebe KOİ giderim kinetiği reaksiyon hız katsayısı $k_2 = 0,217 \text{ gün}^{-1}$ (= 0,009 saat⁻¹) olarak belirlenmiştir. Bu değer KOİ'si 700 mg/l'nin altındaki sentetik evsel atıksu için hesaplanan $k_2 = 1,665 \text{ gün}^{-1}$ (= 0,069 saat⁻¹) değerinden daha düşüktür (19). Bu sonuç evsel atıksuyun sentetik evsel atıksudan yaklaşık 7 kez daha az hızla artılabildiğini göstermektedir.

Ölçülen ve modelden tahmin edilen değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0,9924 olarak hesaplanmıştır (Şekil 7). [5] eşitliği kullanılarak modelin parametreleri $a = 0,0045$ ve $b = 1,399$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak [6] eşitliği elde edilmiştir.

The obtained experimental data obtained were applied to the Linearized Second Order Substrate Removal Kinetics Model (Eq. [5]). It was observed that the experimental results perfectly fit to model predictions.

The reaction rate coefficient of the second order COD removal kinetics was determined as $k_2 = 0.217 \text{ day}^{-1}$ (= 0.009 hour⁻¹) in this study. This value was lower than $k_2 = 1.665 \text{ day}^{-1}$ (= 0.069 hour⁻¹) which was found for the synthetic wastewater with COD concentrations less than 700 mg/l (19). This result indicates that domestic wastewater might be treated with a rate of seven times lower than that of the synthetic wastewater.

Coefficient of correlation for measured and predicted values by the models was 0.9924 (Figure 7). The effluent COD from the UASBR can be determined using Equation [5] with $a = 0.0045$ and $b = 1.399$ and the equation is obtained (Eq. [6]).

$$S_{\text{model}} = S_1 \cdot \left(1 - \frac{\theta}{1.399 \cdot \theta - 0.0045}\right) \quad [6]$$

Atıksuyun biyolojik parçalanabilirliği b ile tanımlanabilir ($b=1,399$). b arttıkça atıksuyun biyolojik parçalanabilirliği azalır.

The biodegradability of the wastewater can be identified by linearized model coefficient ($b=1.399$). The model coefficients increase as the biodegradability of the wastewater decrease.

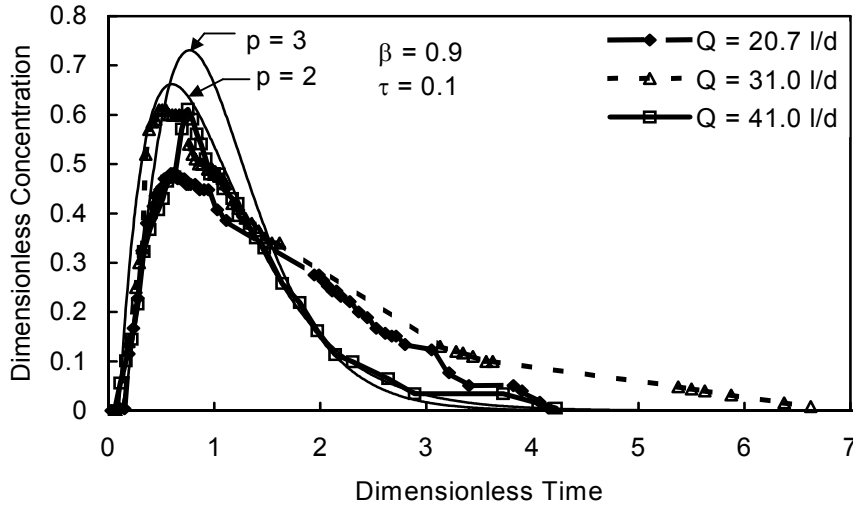


Figure 6. The comparison of the dimensionless concentration, $E(\theta)$, versus dimensionless time, θ , values obtained from the experimental study and modified gamma model curves

Şekil 6. İz maddesi deneyleri sonuçları ve Modifiye Gama Dağılımı eğrilerinin boyutsuz zaman, boyutsuz konsantrasyon ekseninde gösterilmesi

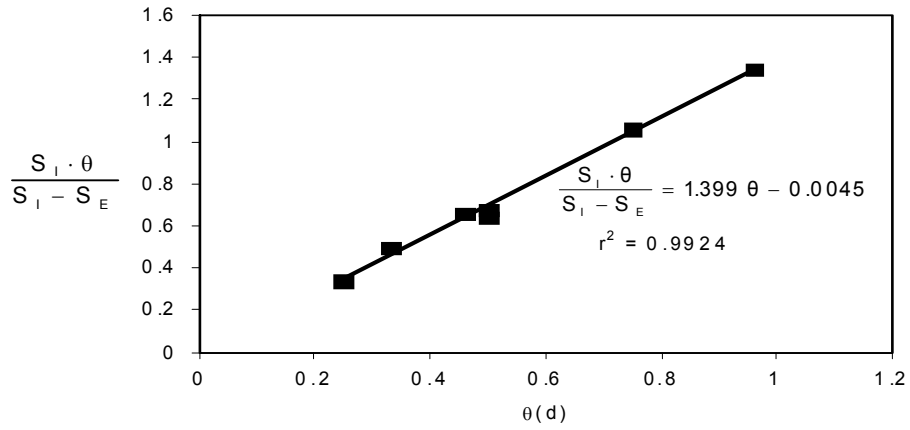


Figure 7. Plot of the model equation for laboratory scale UASBR

Şekil 7. Laboratuvar ölçekli YAHCYR'den elde edilen sonuçların İkinci Mertebe Kinetiğine uygulanması

3.6. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktör Çıkış Sularının İlave Arıtımı

Reaktör çıkışında azot ve fosfor değerlerinin deşarj standartlarının üzerinde olmasından dolayı çıkış sularının ilave arıtımı gerekli olmuştur. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH ve çimento kullanılarak hava verilerek ya da hava verilmeksizin çıkış sularının bu amaçla kimyasal arıtımı yapılmıştır. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve NaOH ile yapılan kimyasal arıtma çalışmaları amonyak gideriminde etkili olmamıştır. Fakat, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ilavesi ve iki saat havalandırma sonrası tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Optimum $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozu 300-350 mg/l (pH = 11) olarak belirlenmiştir (Çizelge 6). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve 2 saat havalandırma pratikte uygulanabilecek uygun bir değer olarak tesbit edilmiş ve ortalama TKN, NH_3 ve Toplam Fosfor giderimleri sırasıyla % 65, 74 ve 90 olarak gerçekleşmiştir.

Table 6. Results of Additional Treatment of Anaerobic Effluent
Çizelge 6. Havasız Reaktör Çıkış Sularının İlave Arıtımından Elde Edilen Sonuçlar

Anaerobic Effluent/ Havasız Reaktör Çıkış Suyu			After Ca (OH) ₂ + 2 hours aeration / Ca (OH) ₂ ilavesi ve 2 saat havalandırma sonrası		
TKN (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	P (mg/l)	TKN (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	P (mg/l)
24.10	24	2.7	8.4	6.2	0.3
-	9	1.6	4.15	2.97	0.3
34	33.7	2.3	17	16	0.4
-	53	-	-	30	-

Başlangıçta $0.9 \cdot 10^7$ koli/100 ml olan ham evsel atıksuyun toplam koliform konsantrasyonu havasız reaktör çıkışı $0.2 \cdot 10^6$ koli/100 ml'ye kimyasal ilavesi ve havalandırma sonrası ise $0.2 \cdot 10^5$ koli/100 ml değerine düşmüştür. Havasız arıtma ile kimyasal ilavesi ve havalandırma sonrası sırasıyla % 80 – 94 ve % 75 – 98' lik toplam koliform giderimi elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir :

- Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin hidrolik özellikleri Modifiye Gama Dağılımı ile tanımlanabilmektedir. İz maddesi deneyleri, çalışmada kullanılan YAHÇYR' ün hidrolik olarak seri bağlı iki tam karışım ve bir piston akımlı reaktör gibi düşünülebileceğini göstermiştir. Piston akım bölgesi tüm hacmin yaklaşık % 10'unu oluşturmaktadır. Bu da sistemin pratikte seri halde iki tam karışım reaktör olarak kabul edilebileceği anlamına gelmektedir.
- Evsel atıksular hiçbir kimyasal madde ilavesi yapılmaksızın YAHÇYR'lerde yaklaşık % 70'lik verimlerle arıtılabilmektedir.
- Reaktördeki biyokütle kararlı halde 20 000 mg/l civarında dengelenmekte ve hemen hemen ihmal edilebilecek miktarda fazla çamur üretimi gerçekleşmektedir.
- Evsel atıksuyun artıldığı reaktörlerde biyokütle

3.6. Post Treatment of UASBR Effluents

Since the concentration of nitrogen and phosphorus in the effluent of the UASBR are higher than the discharge standards, an additional post treatment may be required. Chemical purification using $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH and cement with and without aeration was applied to the effluent of the UASBR for this purpose. Chemical post treatability studies with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and NaOH were not effective for ammonia removal. On the other hand, chemical treatment with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ together with 2 hours of aeration was found satisfactory. The optimum dosage of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was determined to be 300-350 mg/l (which corresponds to a pH of 11) (Table 6). Average removals of TKN, NH_3 and total P were 65, 74 and 90 % respectively indicating the proposed post treatment is feasible for practical purposes.

Total coliform concentration of raw domestic wastewater was about $0.9 \cdot 10^7$ coli/100 ml. It reduced to about $0.2 \cdot 10^6$ in the UASBR effluent and to $0.2 \cdot 10^5$ after chemical post treatment with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ plus 2 hours of aeration. It can be concluded that total coliform removals in the anaerobic and chemical post treatment stages were about 80-94% and 75-98% respectively.

4. CONCLUSIONS

The results of this study can be summarized as follows:

- Hydraulic characteristics of the UASBR's can be defined by the modified gamma distribution model. Tracer study results have shown that, the UASBR used in this study can hydraulically be considered as a completely mixed and one plug flow compartments in series. The volume of the plug flow compartment constitutes about 10 % of the whole system. The system may also be considered as two completely mixed flow reactors in series for practical applications.
- Domestic wastewaters can be anaerobically treated in mesophilic UASBR's with COD removals about 70% without any chemical treatment.
- The concentration of the steady state biomass in the UASBR's are balanced at about 20 000 mg/l for domestic effluents and the excess biological sludge production is almost negligible.
- The biomass in UASBR's which treat domestic effluents, are flocculent structure in general.
- The effluent suspended solid concentrations are very low and rarely exceeds 50 mg/l.

- genelde floküler yapıdadır.
- Çıkış suyundaki askıda katı madde miktarı oldukça düşük olup nadiren 50 mg/l'yi aşmaktadır.
 - YAHCYR çıkışındaki KOİ kararlı hallerde genelde yaklaşık 50 mg/l olup zaman içinde nadiren 70 mg/l değerine yükselmektedir.
 - YAHCYR çıkışındaki amonyak , toplam fosfor ve toplam koliform değerleri yüzeysel sulara deşarj için uygun değildir. Ca(OH)₂ ve 2 saat havalandırma ile amonyak ve fosforda önemli giderimler elde edilebilmektedir.
 - YAHCYR'de gerçekleştirilen havasız arıtılabilirlik çalışmasından kararlı hal için elde edilen sonuçlar ile ikinci mertbe besin giderim kinetiğinden elde edilen sonuçlar arasında mükemmel bir uyum görülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), DEBÇAG 52 Projesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı tarafından desteklenmiştir.

- COD's in the UASBR effluents are generally about 50 mg/l at steady state and rarely reached to 70 mg/l for transient conditions.
- Concentrations of ammonia, phosphorus and total coliforms in the UASBR effluent do not conform to discharge standards of surface waters. Chemical post treatment with Ca(OH)₂ with 2 hours of aeration provides significant removals in both ammonia and phosphorus.
- Anaerobic treatability study results obtained from the UASBR perfectly fit the second order multiple substrate kinetics model at steady state operating conditions.

5. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a grant from The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK), Project Number: DEBÇAG 52 and The Environmental Engineering Laboratory of Istanbul Technical University, Turkey.

REFERENCES/ KAYNAKLAR

1. Lettinga, G., Roersma, R., Grin, P., "Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reactor", *Biotechnol & Bioeng*, 25: 1701-1723 (1983).
2. Grin, P., Roersma, R., Lettinga, G., "Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage in UASB Reactors at Temperatures from 9-20°C", In *Proceedings of the Seminar/Workshop Anaerobic Treatment of Sewage*; Ed.; Michael S. Switzenbaum: 109-124 (1985).
3. Lettinga, G., Pol, L.W.H., Koster, I.W., Wiegant, W.M., DeZeeuw, W.J., Rinzema, A., Grin, P.C., Roersma, R.E., Hobma, S.W., "High-Rate Anaerobic Waste-water Treatment Using the UASB Reactor Under a Wide Range of Temperature Conditions", *Biotechnol Genet Eng*, 2: 253-284 (1984).
4. Barbosa, R.A., Sant'anna Jr. G.L., "Treatment of Raw Domestic in an UASB Reactor", *Water Research*, 23(12): 1483-1490 (1989).
5. CollvigOnarelli, C., Urbini, G., Farneti, A., "Anaerobic-Aerobic Treatment of Municipal Wastewaters with Full-Scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket and Attached Biofilm Reactors", *Water Science and Technology*, 22 (1/2): 475-482 (1990).
6. Grin, P.C., Roersma, R.E., Lettinga, G., "Anaerobic Treatment of Raw Sewage at Lower Temperatures", In *Proceedings of European Symposium on Anaerobic Wastewater Treatment (AWWT)*; Noordwijkerhout, the Netherlands: 335-347 (1985).
7. Vieira, A.M.M., "Tratamento de Esgotos por Digestores Anaerobios de Fluxo Ascendente", *Rewista DAE.*, 44: 139 (1984).
8. Vieira, A.M.M., Souza, M.E., "Development of Technology for the Use of the UASB Reactor in Domestic Sewage Treatment", In *Proceedings of IAWPRC-International Seminar on Anaerobic Treatment in Tropical Countries*; Sao Paulo, Brazil (1986).
9. Vieira, A.M.M., "Anaerobic Treatment of Domestic Sewage in Brazil-Research, Results and Full-scale Experience", In *Proceedings of Fifth International Symposium on Anaerobic Digestion*; Bologna-Italy, 185-196 (1988).

10. Gnanadipathy, A., Polprasert, C., “Treatment of a Domestic Wastewater with UASB Reactors”, *Water Science and Technology*, 27 (1): 195-203 (1993).
11. Draaijer, H., Maas J.A.W., Schaapman, J.E., Khan, A., “Performance of the 5 mld UASB Reactor for Sewage Treatment at Kanpur, India”, *Water Science and Technology*, 25: 123-133 (1992).
12. Yu, H., Anderson, G.K., “Performance of a Combined Anaerobic Reactor for Municipal Wastewater Treatment at Ambient Temperature” *Res Cons Recycling*, 17: 259-271 (1996).
13. De Lemos Chernicharo, C.A., Borges, J.M., “Evaluation and Start up of a Full Scale UASB Reactor Treating Domestic Sewage. Case Study”, In *Proceedings 8th International Conference on Anaerobic Digestion Sendai*, Japan, 2, 192-199 (1997).
14. Viera, S.M.M., Garcia, A.D., “Sewage Treatment by UASB Reactor. Operation Results and Recommendations for Design and Utilization”, *Water Science and Technology*, 25 (7): 143-158 (1992).
15. Ubay, G., “Evsel Atıksuların Havasız Biyolojik Arıtımı Üzerine Bir Araştırma”. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 142 (1993)
16. APHA, AWWA, WPCF, “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater”, Washington DC., (1989).
17. Wen, C.Y., Fan, L.T., “Model for Flow Systems & Chemical Reactors”, *Marcel Dekker Inc.* (1975).
18. Grau, P., Dohanyas, M., Chudoba, J., “Kinetics of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge”, *Water Research*, 9: 337-342 (1975).
19. Ubay, E., “Sentetik Atıksuların Havasız Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü*, 67 (1991).