

## itüdergisi/d

mühendislik

Cilt:5, Sayı:2, Kısım:1, 13-24

Nisan 2006

# Türkiye’de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı

**Argun Olcayto ERDOĞAN, Derin ORHON, Seval SÖZEN, Erdem GÖRGÜN**

*İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

## Özet

*Türkiye’de atıksu arıtma tesisi olmayan yaklaşık 3 000 belediyenin değişken nüfus değerleri dikkate alındığında her biri için optimum maliyete dayalı arıtma yönteminin belirlenmesi ve uygulanması kısıtlı finansman kaynaklarının uygun biçimde kullanılmasını sağlar. Bu çalışmada nüfusu 5 000 ile 2 000 000 arasında değişen yerleşim birimleri için optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi prosesinin belirlenmesine çalışılmış ve tasarımı için bir standart yöntem önerilmiştir. Bu yöntemin belirlenmesinde mevcut kanun ve yönetmelikler, nüfusa bağlı birim atıksu oluşumu ve atıksu karakterizasyonu, bütün nüfus değerleri için hesaplara temel alınmıştır. Mevcut arıtma proseslerinin uygun olanları denenmiş, elde edilen yatırım maliyetleri ve ana işletme giderleri, finansman hesaplarından değerlendirilerek, her nüfus aralığı için birim atıksu miktarı başına en düşük maliyeti getiren arıtma teknolojisi optimum yöntem olarak önerilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Atıksu, atıksu arıtma tesisi finansmanı ve optimizasyonu, birim arıtma maliyeti.*

## Wastewater treatment plant design in Turkey on optimum cost basis

### Abstract

*Besides the civilization process, the economic conditions of Turkey make realization of the most of the investment necessary for urbanization, impossible. One of the strongest examples of this is the inadequacy of the wastewater collection and treatment systems in our cities. It is an absolute necessity of the life in a city that the discharged water shall be collected, treated and disposed to the receiving bodies afterwards, without any damage. Therefore; determination of the treatment method for each population range, based on optimum cost and application, provides most convenient use of the already limited financial resources of our country, considering the variable populations of around 3,000 municipalities, which do not have a wastewater treatment plant. In this study, a standard method for the design and establishment of a wastewater treatment plant process, base on optimum cost for the settlement populations ranging between 5,000 people up to 2,000,000, will be proposed. In the determination of this method the most convenient processes of the available treatment processes have been studied based upon the analyses, carried in all population ranges in the consideration of the laws and regulations currently in force, unit wastewater formation with respect to population and wastewater characterization. The investment amounts obtained, and main operational costs have been analyzed and the most convenient treatment technology has been proposed for each of population range.*

**Keywords:** *Wastewater, finance and optimization of wastewater treatment plant, unit treatment cost.*

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Argun Olcayto ERDOĞAN. [argune2000@yahoo.com](mailto:argune2000@yahoo.com); Tel: (216) 369 84 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi’nde tamamlanmış olan "Türkiye’de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 26.07.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 09.08.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Türkiye'deki şehirleşme sürecinin yanında, içinde bulunulan ekonomik koşullar, kentleşmenin zorunlu kıldığı birçok yatırımın yapılmasına imkân tanımamaktadır. Bunun en başta gelen örneklerinden biri, kentlerimizdeki atıksu toplama ve arıtma sistemleridir. Şehirde yaşamının gereklerinden biri de kullanılmış suların toplanması ve alıcı ortama zarar vermeyecek şekilde arıtıldıktan sonra deş arj edilmesidir. Özellikle faydalı kullanım imkânları kaybolmamış alıcı ortamların mutlak korunması gereklidir. Bu sebeple Türkiye'de yürürlükteki mevzuata uygun olarak, tüm belediyelerimizin atıksu arıtma sorunları günümüz teknolojisine uygun çözümlerle giderilmelidir.

Ancak Türkiye'de yapılmış olan kentsel atıksu arıtma tesislerinin bir bölümü çalışmamakta ve yapılmış olan yatırımların bazıları atıl kalmaktadır. Ülke genelinde atıksu arıtma tesislerindeki durum incelediğinde, tasarıma esas atıksu karakterizasyonunun doğru olarak veya hiç yapılmaması, tesislerdeki işletme giderlerinin çok fazla olması veya tesisin proses ve/veya ekipman tasarımının uygun olarak yapılmaması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

Kentlerimizdeki atıksu probleminin mevcut ve en uygun teknolojinin kullanılarak, optimum maliyetle çözülebilmesi için, öncelikle ülke genelinde birim atıksu oluşumu ve özelliklerinin tespiti için bir çalışma yapılması gereklidir.

Türkiye'de yaşayan insanların hayat standartları ve yaşam biçimlerine göre oluşan atıksuyun miktarı ve özellikleri belirlenmeli ve yapılacak tüm atıksu arıtma tesislerinde tasarıma esas olarak bu atıksu özellikleri kullanılmalıdır.

Böyle bir envanter çalışmasının olmaması durumunda, planlanan yatırımlar için yapılacak tasarımlarda literatür değerlerinin kullanılması kaçınılmaz olacaktır. Bu değerlere göre yapılan atıksu arıtma tesislerinin de ekonomik açıdan en uygun çözümler olduğunun söylenebilmesi mümkün olmayacaktır.

Bugüne kadar Türkiye'de atıksu oluşumu ve karakterizasyonu yanı sıra atıksu arıtma tesisleri için nüfusa ve kirliliğe bağlı olarak kullanılan

standart bir tasarım yöntemi de uygulanmamaktadır. Bunun sonucu olarak her yeni tesis diğ erinden farklı olmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut tesislerin incelenmesi, incelenen tesislerden elde edilen verilerin irdelenmesiyle birlikte, Türkiye'de evsel atıksu oluşumu ve karakterizasyonu hakkında nüfusa göre değiş im gösteren, atıksu özelliklerinin bulunmadığı durumlarda kullanılacak değerler verilmiştir. Daha sonra tasarıma esas atıksu özellikleri ve optimizasyon kavramının birlikte ele alınması neticesinde, Türkiye'de atıksu arıtma tesisi bulunmayan yaklaşık 3 000 belediyenin farklı nüfusları (5 000-2 000 000) için optimum maliyete dayalı atıksu arıtma yöntemi belirlenmiştir.

Ölçüm verilerinin olmadığı durumlarda bu çalışmadan elde edilen veriler, yeni atıksu arıtma tesislerinin planlanması sırasında dikkate alınarak yapılacak tesisin gerek yatırım gerekse işletme açısından en uygun biçimde tasarlanması için kullanılabilir.

## Tasarıma esas atıksu karakteri

Türkiye'de veri eksikliği nedeniyle arıtma tesisleri tasarımında literatürde verilen ancak, Türkiye'deki atıksuları nitelik ve nicelik olarak doğru karakterize etmeyen değerler kullanılmaktadır. Bunun sonucunda yapılan tesisler gerekenden daha büyük olarak inşa edilmekte, böylece maliyeti artmaktadır. Planlanan atıksu arıtma tesislerinin tasarımında kullanılacak, Türkiye'deki karakterizasyonu yansıtabilecek değerler, literatür verilerinin, fiili olarak çalışmakta olan beş adet atıksu arıtma tesisi ölçümleriyle birlikte ele alınması neticesinde Tablo 1'de verilmiş ve yapılan maliyet hesaplarına da esas alınmıştır. Buna karşın orta Avrupa'daki arıtma tesislerinin maliyet analizlerinde 100 000 nüfuslu bir yerleşim için 400 lt/kişi-gün su kullanımı ve 62.5 gr/kişi BOI<sub>5</sub>, 62.5 gr/kişi AKM, 3 gr/kişi P ve 12 gr/kişi N birim yükleri kullanmıştır (Henze ve Ødegaard, 1994).

Türkiye'de, uzun süredir işletmede olan atıksu arıtma tesislerinden Isparta ve Tarsus atıksu arıtma tesisleri, yapımçı firmanın denetiminde belediye personeli tarafından, Ankara atıksu arıtma tesisi ASKİ'ye bağlı olarak kurulmuş

Tablo 1. Nüfusa bağlı olarak önerilen atıksu miktar ve kirletici konsantrasyonları

Hizmet Edilen Nüfus	Su Kullanımı	Atıksu Miktarı	KOI		BOI <sub>5</sub>		AKM		TKN		TP	
			Birim Yük	Kons	Birim Yük	Kons	Birim Yük	Kons	Birim Yük	Kons	Birim Yük	Kons
			gr/kişi.gün	mg/lt	gr/kişi.gün	mg/lt	gr/kişi.gün	mg/lt	gr/kişi.gün	mg/lt	gr/kişi.gün	mg/lt
5 000	110	80	55	688	25	316	33	413	5.5	69	0.9	11.00
7 500	110	80	55	688	25	316	33	413	5.5	69	0.9	11.00
10 000	120	90	60	667	28	307	36	400	6.0	67	1.0	10.67
15 000	120	90	60	667	28	307	36	400	6.0	67	1.0	10.67
25 000	120	90	60	667	28	307	36	400	6.0	67	1.0	10.67
35 000	130	100	65	650	30	299	39	390	6.5	65	1.0	10.40
50 000	130	100	65	650	30	299	39	390	6.5	65	1.0	10.40
75 000	130	100	65	650	30	299	39	390	6.5	65	1.0	10.40
100 000	130	100	65	650	30	299	39	390	6.5	65	1.0	10.40
150 000	160	125	70	560	32	258	42	336	7.0	56	1.1	8.96
200 000	160	125	70	560	32	258	42	336	7.0	56	1.1	8.96
250 000	160	125	70	560	32	258	42	336	7.0	56	1.1	8.96
400 000	175	140	75	536	35	246	45	321	7.5	54	1.2	8.57
500 000	175	140	75	536	35	246	45	321	7.5	54	1.2	8.57
750 000	175	140	75	536	35	246	45	321	7.5	54	1.2	8.57
1 000 000	200	160	80	500	37	230	48	300	8.0	50	1.3	8.00
1 500 000	200	160	80	500	37	230	48	300	8.0	50	1.3	8.00
2 000 000	200	160	80	500	37	230	48	300	8.0	50	1.3	8.00

BELKA tarafından, İzmir atıksu arıtma tesisi, İzmir Büyük Şehir Belediyesi bünyesindeki İZSU tarafından işletilmektedir. Antalya atıksu arıtma tesisi ölçüm sonuçları ise yapımcı firmanın işletmeden sorumlu olduğu süre zarfında firma tarafından yapılmış olan ölçümlerin derlenmesiyle elde edilmiştir.

Bu ölçümlerden en kısa dönemli ölçüm sonucu Isparta atıksu arıtma tesisine ait olup 165 günlük bir süreyi kapsar. Sırasıyla diğer tesislerin ölçüm süreleri ise, Antalya arıtma tesisinde 232 gün, Tarsus arıtma tesisinde 240 gün, İzmir arıtma tesisinde 275 gün ve Ankara arıtma tesisinde ise 250 günlük bir döneme aittir.

Bu beş şehrin atıksularına ait tüm parametreler Tablo 2’de, ihtimal değerleri ise Tablo 3’de verilmiştir. Kirletici parametrelere ait konsantrasyon değerleri log normal dağılımda eklenik olasılık dağılımı olarak hesaplanmıştır.

### İrdelenen prosesler ve hesap yöntemi

Uygunluğu araştırılan arıtma prosesleri için günümüzde Türkiye’de geçerli olan deşarj standartları dikkate alınmış ve standartların revize

edilmesi ya da Avrupa Birliği’ne entegrasyon durumunda getirilecek ilave parametrelerin de sağlanması için tesislerin kolayca modifiye edilebilir olmasına dikkat edilmiştir.

Yönetmeliklere uygun arıtma verimlerinin sağlanabilmesi için uygulanabilir prosesler olarak klasik aktif çamur (AC), uzun havalandırmalı aktif çamur (UAC) ve biyolojik azot giderimi de yapabilen (BNR) (ön denitrifikasyon sistemi) proses seçenekleri uygun bulunmuş ve her biri için Tablo 1’deki nüfus değerlerine göre proses hesabı yapılarak fonksiyonel ünitelerinin boyutları, ekipman kapasite ve sayıları belirlenmiştir. Daha sonra bu seçeneğe ait inşaat, elektrik-mekanik yatırım maliyetleri yine her prosese göre farklılıklar içeren personel, kimyasal madde, enerji, nakliye vb. kalemleri içeren işletme giderleri ile birlikte hesaplanmıştır.

Bu çıktılar daha sonra bir finansman modeline konularak her prosesin, her nüfus değerindeki güncel değer hesaplaması yapılmış ve sağlanan finansmanın geri ödenmesi için mümkün olabilecek, minimum atıksu katkı paylarının değerleri belirlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye'deki bazı şehir atıksularının karakterizasyonu

Parametre	İzmir Arıtma Tesisi		Tarsus Arıtma Tesisi		Antalya Arıtma Tesisi		Ankara Arıtma Tesisi		Isparta Arıtma Tesisi	
	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.	Aralık	Ort.
KOI	79-1154	424	100-1198	439	35-704	386	109-528	305	184-976	423
BOI <sub>5</sub>	80-540	202	140-400	225	30-475	252	50-245	159	150-450	251
AKM	54-1188	250	19-923	190	18-840	266	65-380	147	75-836	158
TKN	16-97	41	21-71	46	9-50	27	8-87	40	-	-
TP	2.52-27.6	7.68	15-37	24	1-14	6	3.3-12.2	8.2	-	-

Tablo 3. Konvansiyonel parametrelerin ihtimal değerleri

Parametre	% 70 İhtimal Değeri					% 80 İhtimal Değeri				
	İzmir	Ankara	Isparta	Antalya	Tarsus	İzmir	Ankara	Isparta	Antalya	Tarsus
KOI	483	336	470	451	504	544	362	510	524	606
BOI <sub>5</sub>	220	185	280	310	248	240	190	306	338	260
AKM	267	169	165	310	212	305	184	193	350	241
TKN	45	46	-	33	48	51	53	-	37	53
TP	8.1	9.4	-	6.5	24	8.3	9.8	-	8.1	25

### İlk yatırım maliyeti

Atıksu arıtma tesislerinin inşaat, elektrik, mekanik ekipman ve mühendislik gibi kalemlerinden kaynaklanan yatırım bedelinin hesaplanması için bazı temel kabuller yapılmış ve farklı proses çözümlerinin tamamında bu kabuller kullanılarak yatırımın sadece nüfus ve kirliliğin bir fonksiyonu olarak değişmesi amaçlanmıştır.

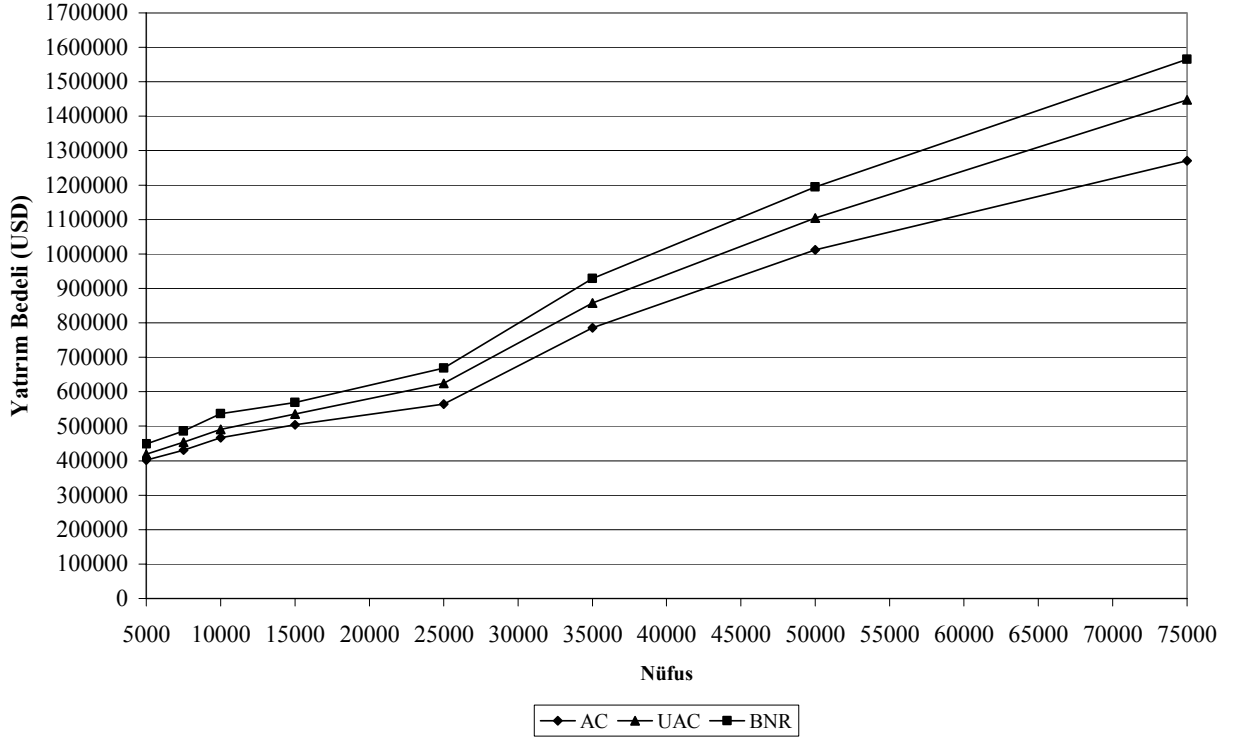
Proses hesaplamaları sonucunda, AC, UAC ve BNR sistemleri için boyutlandırılan arıtma tesislerinin toplam yatırım bedelleri (inşaat, elektrik, mekanik) Şekil 1'de  $5\ 000 < N < 75\ 000$  aralığı için, Şekil 2'de  $100\ 000 < N < 2\ 000\ 000$  nüfus aralığındaki belediyeler için USD olarak verilmiştir. Her tesisin yatırım bedelinin eşdeğer bazda değerlendirilebilmesi için yapılan temel kabullerin yanında, müteahhitlik hizmetleri için uygulayıcı firmaya göre önemli farklılık gösterebilecek bir kalem olan genel gider ve kar katsayısı için, inşaat işlerinde (1.25), elektrik/ mekanik ekipman hesaplarında ise (1.30) değeri kullanılmıştır.

Farklı proses seçenekleri için elektrik/mekanik ekipman maliyetlerinin hesaplanmasında uygulanacak çamur stabilizasyon teknikleri bakımından

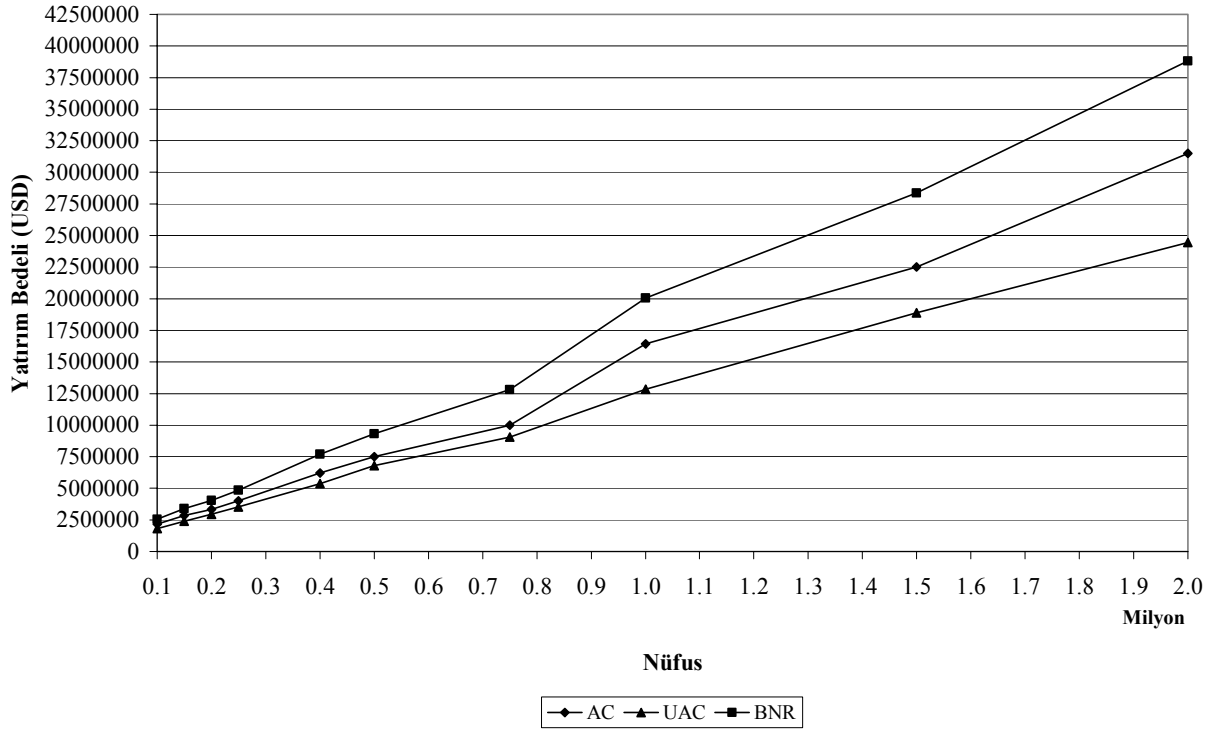
önemli farklılıklar bulunması nedeniyle yatırım maliyetlerinde de önemli farklılıklar oluşmaktadır. AC prosesinin  $5\ 000 < N < 75\ 000$  nüfus aralığı için uygulanmasında, çamur stabilizasyon yöntemi olarak kireçle stabilizasyon seçilmiştir.  $N > 100\ 000$  kapasiteli tesislerde ise havasız çamur çürütme yöntemi uygulanmıştır.

Tüm elektrik-mekanik yatırım bedeli içinde önemli bir oran tutan projelendirme ve diğer işlerin tutarları ise (ekipman montajı, laboratuvar maliyeti, nakliye bedelleri, sigorta primleri, işletme süresince yapılacak tüm analizlerin bedelleri, personel eğitimi, ekipman test ücretleri ve müşavirlik) mühendislik hizmetleri olarak özetlenebilir. Havasız çamur çürütme yöntemine ait elektrik ve mekanik ekipmanların oranı toplam ekipman yatırım bedeli içerisindeki en büyük kalemi oluşturmaktadır. Çünkü bu sistem içindeki ekipmanların birçoğu ithal ekipman kapsamında (biyogaz motoru, elektrik enerjisi üretim sistemi, biyogaz kompresörü vb) olmaktadır. Buna karşın UAC sisteminde, çamur stabilizasyonu, biyolojik süreç içerisinde sağlanmakta olup ( $\Theta_x = 25$  gün) ayrı bir sistem gerekli değildir. Bu sebeple UAC sistemindeki elektrik-mekanik ekipman maliyeti dağılımında nüfusa bağlı artış AC sisteminden farklı biçimde lineer olarak artmaktadır.

Optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı



Şekil 1. 5 000-75 000 nüfuslu yerleşimlerin toplam yatırım bedeli



Şekil 2. 100 000-2 000 000 nüfuslu yerleşimlerin toplam yatırım bedeli

Çamur susuzlaştırma sisteminde ise azalan çamur miktarı sebebiyle AC sistemine göre daha düşük bir maliyet oluşmaktadır.

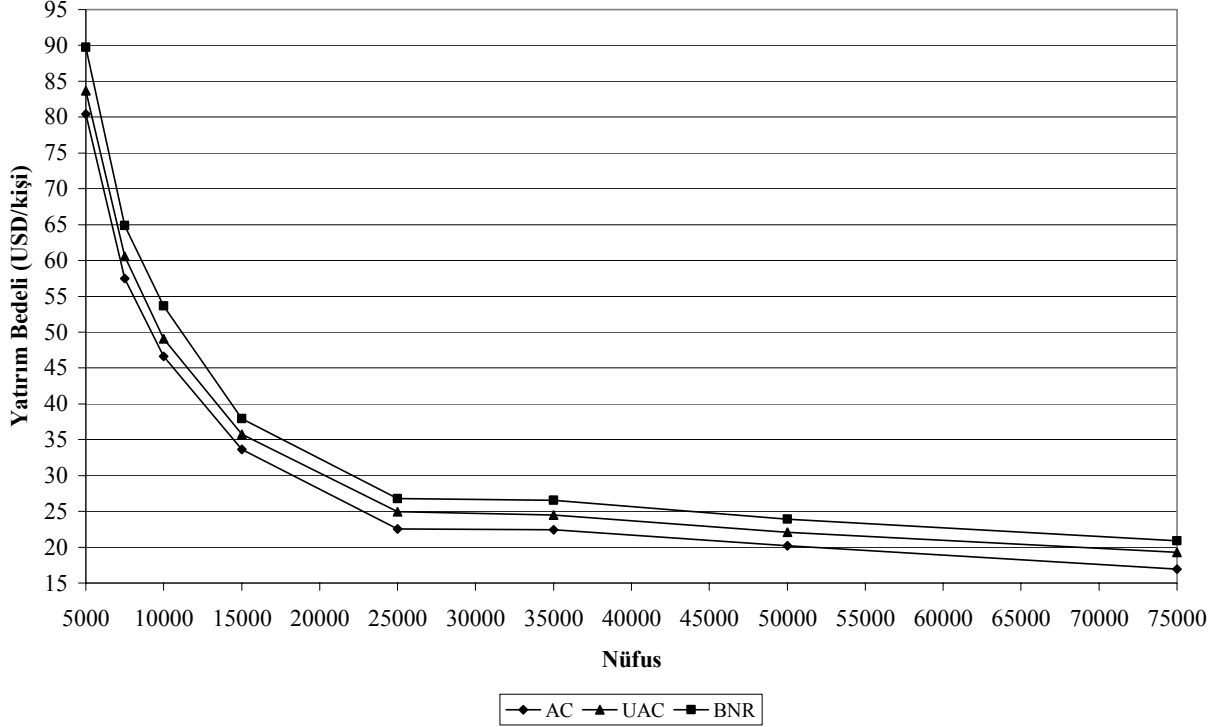
Ön denitrifikasyon yaparak biyolojik azot giderimi de yapan BNR sisteminin elektrik ve mekanik ekipman yatırım bedeli AC sistemine benzerlik göstermektedir. Çünkü çamur stabilizasyonu için AC sisteminde olduğu gibi N<100 000 kişiye kadar kireç, üzerindeki nüfuslar için havasız çamur stabilizasyonu uygulanmaktadır. Farklı proses alternatifleriyle tasarlanan ve toplam yatırım maliyetleri verilmiş olan sistemlerin içinde, 100 000 kişiye kadar AC prosesi en düşük, BNR sistemi ise en yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Farklı proseslerin kullanılması ile elde edilen toplam yatırım maliyetlerin kişi başına göre ifade edilmesi ile elde edilen grafikler Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

Orta Avrupa için yapılan çalışmada ise 100 000 kişilik bir tesisin UAC sistemiyle veya BNR sistemiyle tasarlanması durumundaki birim arıtma

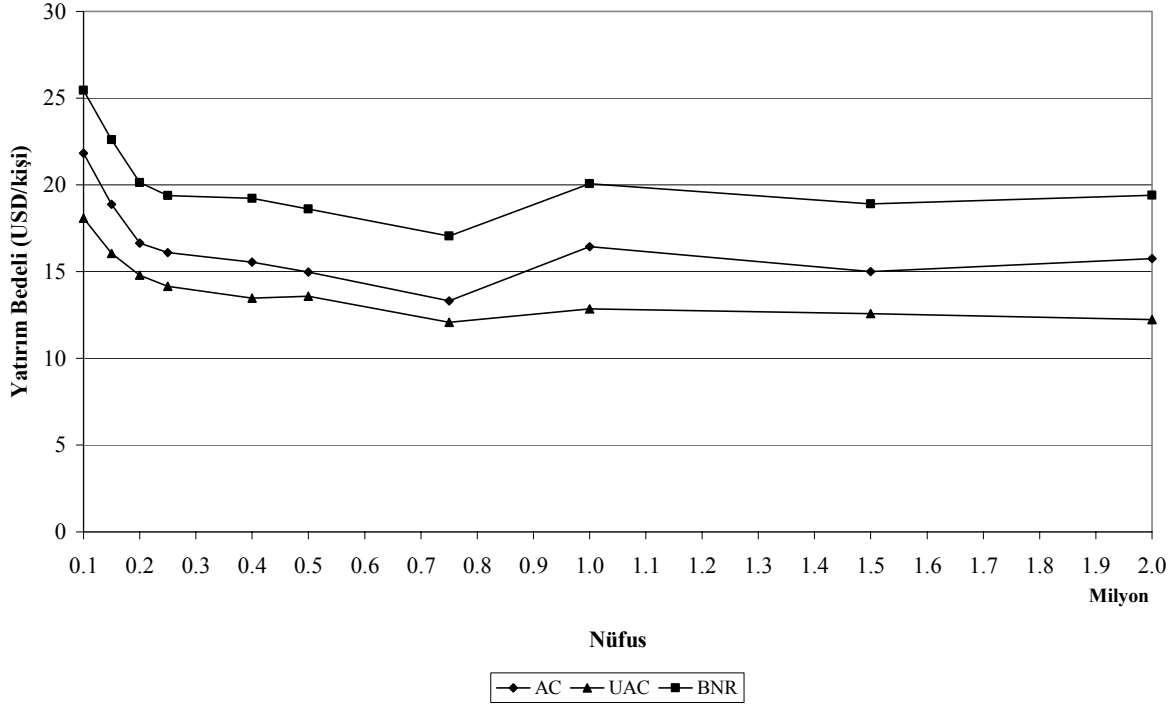
maliyetleri sırasıyla 0.263 USD/m<sup>3</sup> ve 0.441 USD/m<sup>3</sup> olmaktadır (Ødegaard ve Henze, 1992)

Böylelikle belediye sınırları içinde yaşayan nüfusun altyapı hizmetinden yararlanması için su bedeli olarak ödediği ücretin içinde atıksu arıtma ve kanalizasyon sistemi için bulunan katkı paylarının doğru olarak öngörülmesi amacıyla bu veriler kullanılabilir. Bu hesaplara toplam yatırım maliyetlerinin yanında, bu tesislerin çalıştırılmasından kaynaklanacak olan işletme ve bakım giderleri de eklenmiştir. Böylece 30 yıl boyunca kullanılan suyun arıtılması için gerekli tesislerin yapılıp, işletilmesinin sürdürülebilir olması amacıyla, suyun birim satış bedeline hangi oranda bir ilavenin yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Türkiye'de, İller Bankası veya bazı dış kredilerle finansmanı sağlanarak tamamlanan atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri incelendiğinde 100 000 kişiye kadar, kişi başına yatırım maliyetinin 35-612 USD arasında değiştiği görülmüştür (Dölgen, 2004).



Şekil 3. Toplam yatırımın nüfusa göre dağılımı 5 000-75 000



Şekil 4. Toplam yatırımın nüfusa göre dağılımı 100 000-2 000 000

### İşletme maliyetleri

Belediyelerin, yapmış oldukları içme suyu dağıtımı ve arıtması, pıssu toplama ve arıtma yatırımlarına paralel olarak bu sistemlerin ve tesislerin uygun bir maliyetle standartlara uygun biçimde işletilmesi de gereklidir.

Uygun standartlarda bir işletmenin sağlanabilmesi için yeterli sayıda ve kalitede teknik personelin istihdam edilmesi, bazı kimyasal maddelerin ve enerjinin sağlanması, oluşan katı atıkların uzaklaştırılması vb. gereklidir. Bütün bu yatırım ve işletme giderlerinin karşılanabilmesi için hizmetlerin ücretlendirilmesi ve oluşan maliyetlerin bu hizmetlerden yararlanan kişilere yansıtılması yoluna gidilmiştir. Yatırım maliyetinin hesaplanmasında olduğu gibi işletme giderlerinin hesaplanması sırasında da hesaplamalara esas alınan kalemler aşağıda belirtilmiştir.

- 1) Fonksiyonel olan ve olmayan ünitelerdeki elektrik, su, ısıtma, soğutma vb. gideri.
- 2) Enerji ve kimyasal madde gideri (Polielektrolit, kireç, demir sülfat vb)

- 3) Oluşan çamur kekinin ve ızgara atıklarının çöp döküm sahasına nakliyesi.
- 4) Personelin giydirilmiş maliyeti (Maaş, vergi, sigorta, yemek, giyim, taşıma vb.).
- 5) Laboratuvar analizleri için sarf maddeleri.
- 6) Diğer maliyetler (ısıtma, kırtasiye, iletişim, temizlik vb.)

Su tarifelerindeki atıksu payına ait maliyetin hesaplanabilmesi için finansman modelinde girdi olarak kullanılan yatırım maliyetlerinin yanında, işletme ve bakım giderlerinin, farklı proseslerde ve değişen nüfus değerleri için dağılımları yıllık bazda hesaplanmıştır.

Örneğin 25 000 kişilik AC sistemine ait işletme giderlerinin dağılımı incelendiğinde en önemli işletme kalemi personel giderleridir. Artan nüfusa paralel olarak AC sisteminin işletme giderleri içindeki personel ücretlerinin baskınlığı enerji giderlerine doğru kayar ve %16'dan %67'ye kadar ulaşır. AC sisteminde  $N > 100\ 000$  kişiden sonra havasız çamur çürütme yapılarak sistemin enerji ihtiyacının yaklaşık % 40'lık kısmı karşılanmaktadır.

UAC sisteminde ise işletme maliyetinin dağılımı AC sistemine göre daha farklı olarak gelişmektedir. Beklendiğı gibi 25 000 kişilik UAC sistemindeki enerji giderinin oranı AC sistemindeki enerji bedelinin yaklaşık iki katı kadar olmaktadır.

Bunun yanında UAC prosesinde 1 000 000 kişilik sistemini işletme giderinin tamamına yakını enerji harcamalarından kaynaklanır. Çünkü çamur stabilizasyonundan bir enerji kazancı olmayıp, aksine enerji harcaması vardır.

BNR sistemi işletme gideri dağılımında da AC sistemine benzer bir dağılım görülmekle beraber en önemli farklılık enerji bedeli oranının her durumda AC sistemine göre daha fazla, UAC sistemine göre daha az olmasıdır.

AC ve BNR sistemlerinin kimyasal madde kullanımlarından kaynaklanan giderleri tüm nüfuslar için UAC sistemi ihtiyacından fazladır. Beklendiğı gibi UAC, hava içindeki oksijenle çamur stabilizasyonunun yapılması nedeniyle her durumda en fazla elektrik enerjisi kullanan seçenek olmaktadır.

AC ve BNR sistemlerinin 100 000 kişilik ve üzerindeki nüfuslar için tasarlanan proseslerinde havasız çamur stabilizasyonu yapılması neticesinde sistemin enerji ihtiyacının yaklaşık %40'lık kısmı karşılanmaktadır. Bunun dışında kimyasal madde ihtiyacı, havasız çamur stabilizasyonu sırasında oluşan H<sub>2</sub>S gazının korozif etkisinin giderilmesi için dozlanan demir tuzları, nüfusun 100 000 den küçük olması durumunda kimyasal stabilizasyon için çamura eklenen kireç sebebi ile AC ve BNR sistemlerinde kimyasal madde kullanımı UAC sistemine göre oldukça yüksek olmaktadır.

UAC sistemindeki tek kimyasal madde sarfiyatı, nüfusa bağılı olarak çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma sistemlerinde kullanılan mekanik yoğunlaştırıcı veya çamur susuzlaştırma sistemlerine dozlanan polielektrolittir.

### **Birim atıksu arıtma maliyeti**

Yatırım ve işletme hesaplarının sonucunda elde edilen dataların girdi olarak kullanıldığı finansman modelinde temel esas, kar etmeyi amaçla-

madan artılan birim atıksu için yapılan tüm işletme giderlerinin ve yapılan yatırım için temin edilen finansmanın anapara ve faiz vb. diğçer ödemelerin, başa baş olarak karşılanabilecek biçimde fiyatlandırılması için minimum tarifenin belirlenmesidir.

Bütün yatırım ve işletme giderlerinin hesaplanması sonucunda, kullanılan finansmanın geri ödenebilmesi için 30 yıl boyunca artılan birim atıksu hacmi başına tahsil edilmesi gereken minimum tarife değerlerinin ortalaması Tablo 4'de verilmiştir. Yatırım giderlerinin birim atıksu başına değerleri ise Şekil 5 ve Şekil 6'da ifade edilmiştir.

Kullanılan krediye ait faiz dışında, yönetim ücreti vb. kalemler bulunmaktadır. Tahsil edilmesi gereken su bedeli içindeki atıksu payının bir kısmı bu ödemeler için, kalanı da işletme giderlerinin karşılanması için kullanılır. Hesaplanan minimum tarife değeri bu iki bileşenin toplamından oluşur. Bu maliyet değeri üzerine belediyelerin minimum %10 olmak kaydı ile yönetim kurulunda alınacak karar gereğı bir kar ilave etmesiyle nihai tarife oluşturulabilir.

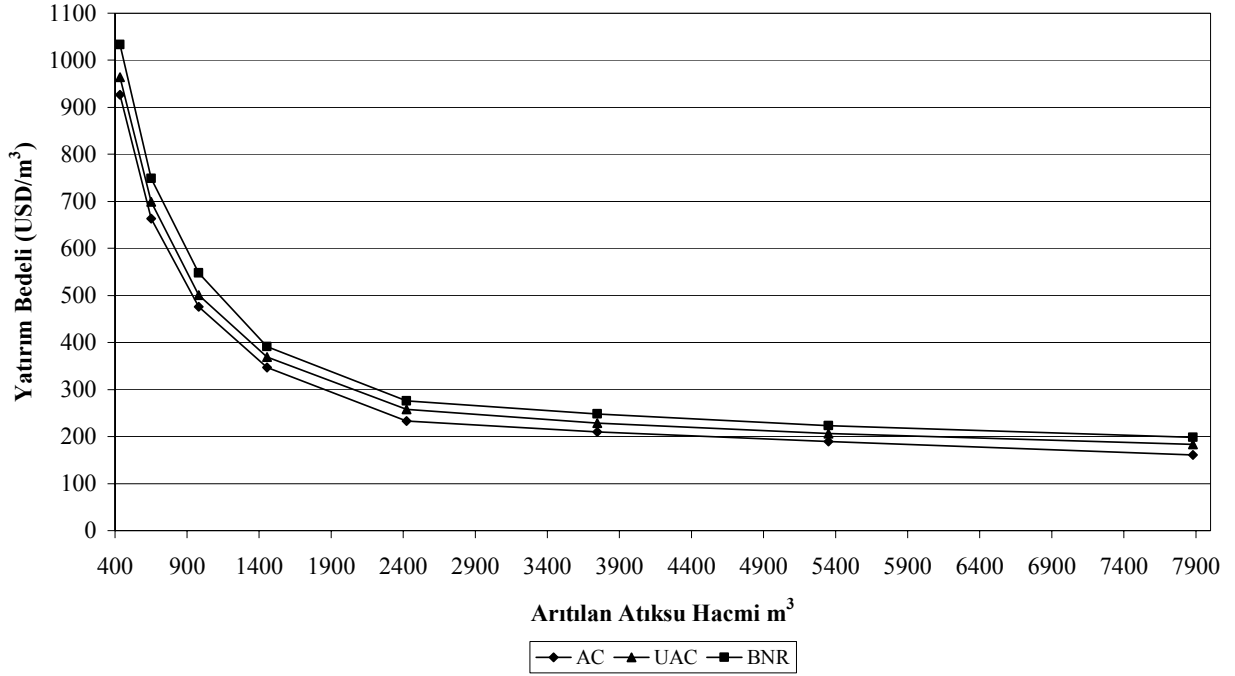
Farklı proseslerin farklı yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alındığında ilk yatırımın veya işletmenin maliyet üzerindeki etkisine bakıldığında, Şekil 7'den de görüldüğü gibi AC sisteminde özellikle nüfusun küçük olduğu durumlarda yatırımın da küçük olması nedeniyle birim arıtma maliyetinin büyük bir kısmını işletme giderleri oluşturmaktadır.

AC sisteminden büyük bir farklılık göstermesizin UAC ve BNR sistemlerinde de birim arıtma maliyeti üzerinde işletme giderlerinin etkisi artan nüfusa paralel olarak azalmakta ve yapılan yatırımın büyümesi ile birlikte sağlanan finansmanın miktarı arttığı için ödenen faiz artmaktadır. Böylelikle nüfusa bağılı olarak, farklı proseslerde maliyetleri oluşturan bileşenlerin değişiminde büyük farklar görülmemektedir.

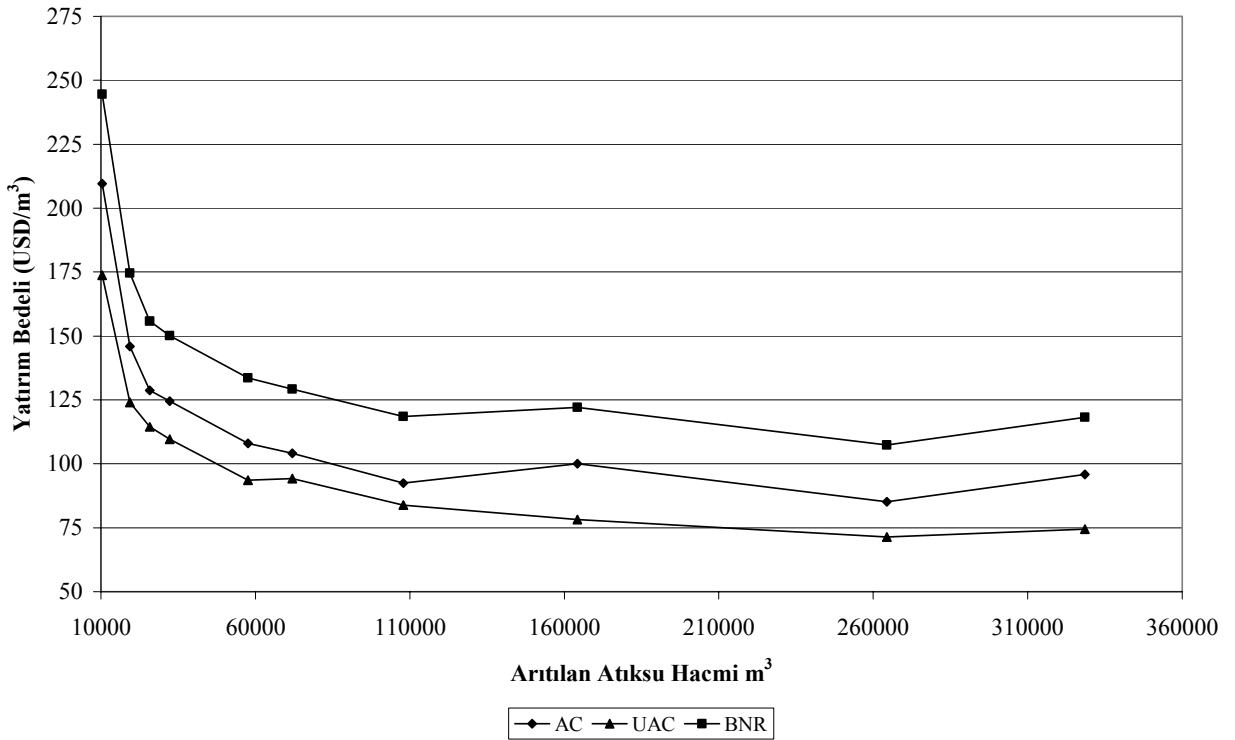
Ancak BNR sistemindeki yüksek enerji ve kimyasal madde giderleri, UAC sistemindeki yüksek enerji giderleri sebebiyle her iki proses içinde birim arıtma maliyetindeki işletme bileşeninin AC sistemindekine oranla bir miktar daha fazla olduğu söylenebilir.



Optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı



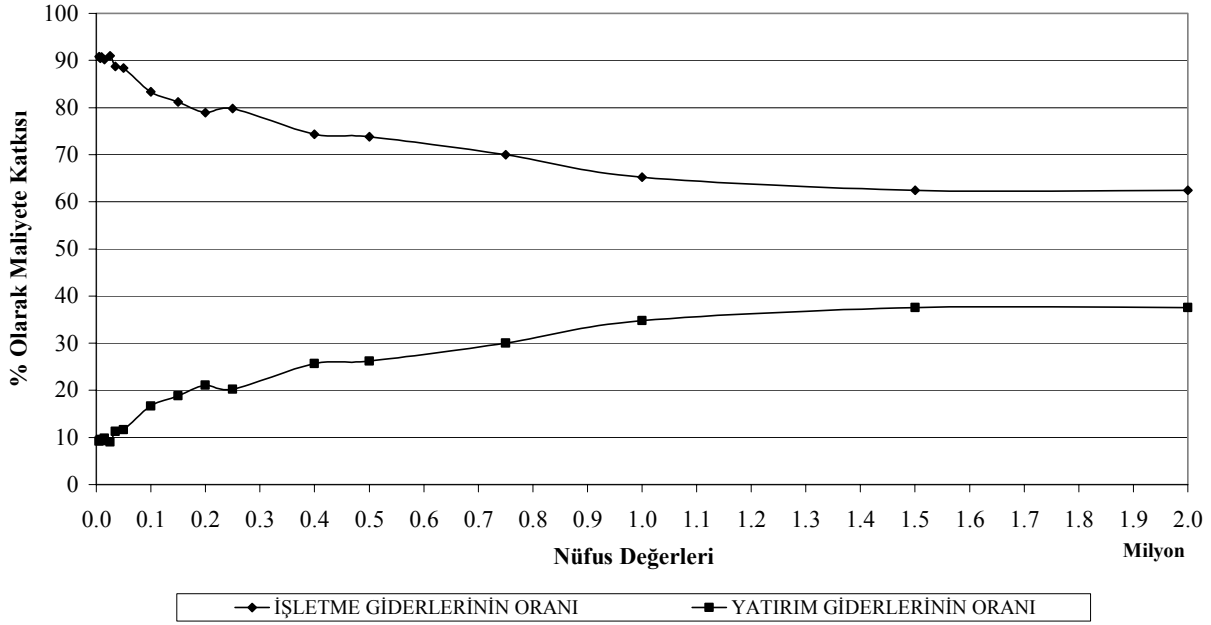
Şekil 5. 5 000-75 000 Nüfus için hesaplanan maliyetler



Şekil 6. 100 000-2 000 000 Nüfus için hesaplanan maliyetler

Tablo 4. 30 Yıllık işletmede önerilen minimum tarife değerlerinin ortalaması

Nüfus	Aktif Çamur	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	Biyolojik Azot Giderimi
Kişi	USD/ m <sup>3</sup>	USD/ m <sup>3</sup>	USD/ m <sup>3</sup>
5 000	1.9025	1.9550	1.9654
7 500	1.3008	1.3417	1.3581
10 000	0.9539	0.9967	1.0044
15 000	0.6648	0.6957	0.7103
25 000	0.4964	0.5270	0.5383
35 000	0.3779	0.4016	0.4150
50 000	0.3298	0.3542	0.3659
75 000	0.2496	0.3221	0.3168
100 000	0.2543	0.2935	0.2951
150 000	0.1722	0.2143	0.2074
200 000	0.1459	0.1939	0.1821
250 000	0.1443	0.1914	0.1780
400 000	0.1131	0.1678	0.1497
500 000	0.1077	0.1652	0.1446
750 000	0.0976	0.1613	0.1390
1 000 000	0.0964	0.1533	0.1370
1 500 000	0.0878	0.1469	0.1255
2 000 000	0.0993	0.1642	0.1412



Şekil 7. AC Birim arıtma maliyeti üzerinde ilk yatırım ve işletmenin etkisi

Ankara ve Adana'daki uygulamalar dikkate alındığında Ankara ASKİ deki su tarifesinin yaklaşık 0.20 USD/m<sup>3</sup> ve tarife içindeki atıksu payının yaklaşık %50 mertebesinde olduğu görülmektedir (www.aski.gov.tr, 2003). Adana

ASKİ'de ise, 2004 yılı Ağustos ayından beri geçerli olan su tarifesindeki atıksu bedelinin 0.306 USD/m<sup>3</sup>, toplam su bedelinin ise 0.641 USD/m<sup>3</sup> (www.adana-aski.gov.tr, 2003) olarak tahsil edilmesi önerilen birim arıtma maliyetleriyle

karşılaştırıldığında çok yüksek kalmaktadır. Bu farkın kanalizasyon sistemleri vb. diğer altyapı yatırım ve işletme giderlerinin karşılanması amacıyla ile oluşturulduğu düşünülmektedir.

### Değerlendirme ve sonuçlar

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıda verilmiştir.

100.000 kişiden sonra yapılan havasız çamur stabilizasyonu sebebiyle gerek inşaat, gerekse elektrik ve mekanik ekipman yatırım maliyeti bakımından AC sistemi, UAC sisteminden daha pahalı olmaktadır.

Her nüfus değeri için yatırım maliyeti en fazla olan sistem, ön denitrifikasyon ile biyolojik azot giderimi de yapabilen BNR sistemi olmaktadır. Çünkü bu sistemdeki çamur stabilizasyonu da AC sistemindeki gibi, 100 000 kişiden sonra havasız ortamda yapılmakta ve elde edilen biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile nitrifikasyon yapılması için harcanan fazla enerjinin bir kısmı karşılanmaktadır.

Diğer yandan birim enerji maliyetinin bu kadar yüksek olduğu bir durumda (120 000 TL/ KW-saat veya 0.08 USD/KW-saat) anaerobik çürütücülerden elde edilecek biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi mümkün olan her durum için değerlendirilmesi gereken bir uygulama olarak görülmektedir.

Tablo 1’de belirtilen her nüfus değeri için hesaplanmış olan yatırım bedellerinin, bu çalışmada ele alınmamış nüfus değerleri içinde belirli yaklaşıklıkla hesaplanabilmesi amacıyla elde

edilen grafiklerin doğrusallaştırılması sonucunda elde edilmiş fonksiyonlar Tablo 5’te verilmiştir.

Bu fonksiyonların kullanılmasıyla Tablo 1’de ele alınmamış nüfuslar için, AC, UAC ve BNR proseslerinden birinin seçilmesi durumunda inşaat işleri, elektrik ve mekanik işleri yatırım bedelleri hesaplanabilir.

Atıksu arıtma tesisleri planlanırken, yakın yerleşimlerin atıksularının toplanması, ortak ve büyük kapasiteli tek bir tesiste çözüme gidilmesi yolu tercih edilmelidir.

Havasız çamur stabilizasyonunun ekonomik bir çözüm olmadığı nüfuslarda AC sistemiyle birlikte tasarlanmış (kireçle) kimyasal çamur stabilizasyonu uygulaması Türkiye koşullarında UAC sistemlerine göre daha düşük yatırım ve işletme maliyeti getirmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri enerji bedelinin yüksek, kireç bedelinin düşük olmasıdır. Ancak bu yöntem çevre dostu bir uygulama olmadığı gibi, mevzuatın ve yönetmeliklerin değişmesi ile uygulanması mümkün olmayabilir.

Ancak sistemden kaynaklanan fazla çamurun kireç ilavesi ile miktarının artması ve kireç içerdiği için biyolojik olarak stabilize edilmiş çamurdan farklı bir muamele görmemesi, ayrıca çöp döküm alanlarına bedelsiz kabul edilmeleri de önemli diğer faktörlerdendir. AC ve UAC yatırım maliyetleri 100 000 kişiye kadar birbirlerine çok yakın olmalarına rağmen 100 000 kişiden sonra UAC sisteminin yatırım bedeli, AC sisteminde havasız çamur stabilizasyonu yapılması nedeniyle AC sisteminden ucuz olmaktadır. Ancak enerji tüketiminin yüksek olması nedeniyle birim arıtma maliyetlerine yansıyan durum farklıdır.

Tablo 5. Farklı nüfuslardaki yatırım maliyeti için kullanılacak fonksiyonlar

Seçilen Proses ve Maliyet Bileşeni	Maliyet Tahminine Esas Fonksiyon	Tutarlılık
AC İnşaat yatırım maliyeti	$M_{AC\ ins} = (\text{Nüfus} \times 7.2263)$	$(R^2 = 0.9917)$
UAC İnşaat yatırım maliyeti	$M_{UAC\ ins} = (\text{Nüfus} \times 5.9157)$	$(R^2 = 0.9971)$
BNR İnşaat yatırım maliyeti	$M_{BNR\ ins} = (\text{Nüfus} \times 9.6249)$	$(R^2 = 0.9954)$
AC Elektrik/mekanik yatırım maliyeti	$M_{AC\ e/m} = (\text{Nüfus} \times 8.2427)$	$(R^2 = 0.9938)$
UAC Elektrik/mekanik yatırım maliyeti	$M_{UAC\ e/m} = (\text{Nüfus} \times 6.5948)$	$(R^2 = 0.9440)$
BNR Elektrik/mekanik yatırım maliyeti	$M_{BNR\ e/m} = (\text{Nüfus} \times 9.5659)$	$(R^2 = 0.9953)$

Her nüfus değeri için BNR sistemi gerek yatırım gerekse işletme giderleri bakımından en pahalı seçenektir. Havasız çamur çürütme sisteminden elde edilen elektrik enerjisinin AC sisteminde tesisin enerji ihtiyacını karşılama oranı ortalama %40-45 arasında değişmektedir.

Yapılan hesaplamalardan elde edilen veriler ile bazı büyük şehirlerimizde sağlanan içme suyunun birim hacmi başına faturalandırılan bedellerin hesaplanmış olan değerlerden çok yüksek olduğu görülmektedir. Aradaki farkın belediyelere tanınmış olan minimum %10'luk kar payından çok daha fazla olduğu, bunun nedeni olarak ise, atıksu arıtma tesislerinin yanında kanalizasyon sistemleri için de yatırım ve işletme giderlerinin sağlanmasına yönelik finansmanın temin edilmesinin amaçlandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada verilen yatırım ve işletme değerleri, atıksu arıtma tesisi yatırımı yapmayı planla-

yan yerel yönetimlerce planlanan yatırımların akılcı ve gerçekçi maliyetlerle gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılabilir.

### Kaynaklar

- Dölgen, D., (2004). Ülkemizdeki kentsel atıksu arıtma tesisleri ve maliyetleri üzerine bir araştırma. Kentsel Atıksuların Arıtılması Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu Kitabı 117-127. İzmit Büyükşehir Belediyesi, Çevre Mühendisleri Odası İzmit Şb. 2004 İzmit.
- Ødegaard, H., Henze, M., (1992). Evaluation of alternative municipal wastewater management strategies. World Bank Report Copenhagen Denmark.
- Henze, M., Ødegaard, H., (1994). An analysis of wastewater treatment strategies for eastern and central Europe. *Water science and technology*, **30**, 5, 25-40.

---

[www.adanaaski.gov.tr](http://www.adanaaski.gov.tr) (2003)  
[www.aski.gov.tr](http://www.aski.gov.tr) (2003)