



**ATIKSU MİKTARI VE BOİ<sub>5</sub> KİRLİLİK YÜKÜNÜN, HAVALANDIRMA  
HAVUZU İLK YATIRIM VE ENERJİ MALİYETLERİNE OLAN ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

*(INVESTIGATION OF EFFECTS OF FLOWRATE AND BOD<sub>5</sub> LOADING ON  
INVESTMENT AND ENERGY COSTS OF AERATION TANK)*

**Mustafa DEĞİRMENÇİ\*, Ahmet ALTIN\*, Süreyya ALTIN\***

**ÖZET / ABSTRACT**

Günümüzde atıksu arıtma tesislerinin tasarımında, atıksu debileri ve kirlilik yükleri genellikle yeterince inceleme yapılmadan, belli emniyet payları bırakılarak tahmin edilmektedir. Ayrıca bu tasarımlarda, tesisin türüne bağlı olarak değişen projelendirme parametrelerinin seçiminde literatürde verilen sınır değerleri göz önünde tutularak ön kabuller yapılmaktadır. Bu çalışmada; gereğinden fazla emniyet payları bırakılarak tahmin edilen atıksu debileri ve kirlilik yüklerinin ve projelendirme parametrelerinin havalandırma havuzu ilk yatırım ve enerji maliyetlerine olan etkileri araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda; BOİ<sub>5</sub>, debi, F/M ve UAKM miktarındaki değişimlerin inşaat maliyetlerini önemli ölçülerde değiştirdiği ve incelenen parametreler arasında MALİYET=(BOİ<sub>5</sub>)<sup>A</sup> \* B şeklinde bir ilişkinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Burada verilen A ve B katsayılarının farklı BOİ<sub>5</sub>, F/M ve UAKM değerlerindeki sayısal ifadeleri bulunmuş ve aralarında  $\ln(B) = 4.097 * \ln(A) + (0.281)$  gibi bir bağıntının var olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte difüzyörlü havalandırma sisteminin teçhizat maliyetleri kirlilik yükünün büyüklüğüne bağlı olarak %30'a varan oranlarda daha yüksektir. Ayrıca difüzyörlü havalandırma sistemlerin enerji maliyetlerinin mekanik havalandırma sistemlerine göre yaklaşık olarak %10 oranında daha az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; arıtma tesislerinin tasarımında kullanılacak debi, kirlilik yükü ve diğer tasarım parametrelerinin seçiminde oldukça titiz çalışmaların yapılması ve gereğinden fazla bırakılan emniyet paylarından da mümkün olduğunca kaçınılmasının ilk yatırım ve enerji maliyetlerini önemli ölçülerde düşüreceği belirlenmiştir.

*The wastewater flow rates and BOD<sub>5</sub> loading to be used for the design of the wastewater treatment plants are generally estimated within proper tolerance ranges without sufficient investigation. In addition the values of some design parameters which differ depending on the type of the plant are selected considering the limit values given in literature. In this study; the effects of the flow rates and BOD<sub>5</sub> loading estimated wide tolerance ranges and design parameters on the investment and energy costs of the aeration tanks were investigated.*

*The studies revealed that the variations in BOD<sub>5</sub>, flow rate, F/M ratio and MLVSS effect significantly the investigation cost and there is a relation between the parameters which can be expressed as  $COST = (BOD_5)^A * B$ . The values of A and B were calculated for different BOD<sub>5</sub>, F/M and MLVSS amounts and relation between them were determined as  $\ln(B) = 4.097 * \ln(A) + (0.281)$ . In addition, equipment coasts of diffused aeration systems are higher 30% ratio related on pollution load activities. Furthermore; it was observed that diffused aeration systems energy coasts are 10% cheaper than mechanical aeration systems. It has been concluded that, the determination of the flow rates, pollution loading and other design parameters for the treatment plant design should be made sensitively and avoiding from wide tolerance ranges for these parameters will reduce significantly investment and energy costs of the treatment plant.*

**ANAHTAR KELİMELELER / KEY WORDS**

Havalandırma havuzu maliyeti, Debi-maliyet ilişkisi, BOİ<sub>5</sub>-maliyet ilişkisi, BOİ<sub>5</sub> kirlilik yükü  
Aeration tank cost, Flow rate-cost relation, BOD<sub>5</sub>-cost relation, BOD<sub>5</sub> loading

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, irili ufaklı pek çok özel firma atıksu arıtma tesisi projesi yapmaktadır. Bunların önemli bir kısmı, kalıplaşmış kitabi bilgiler doğrultusunda projeler hazırlarken, ilgili atıksuların miktar ve özelliklerini inceleme gereksinimi duymamaktadırlar. Atıksu özellikleri yeterince incelenmeden, gereğinden fazla tahmin edilen atıksu debi ve kirlilik yüklerine, fazla miktarda bırakılan emniyet payları da eklenince, arıtma tesislerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri olması gerekenin çok üzerinde olan arıtma tesisleri ortaya çıkmaktadır. Öte yandan ihtiyaç duyulandan çok büyük hacimlerde (havalandırma havuzları olarak) inşaa edilmiş olan tesislerde işletme aşamasında da önemli sorunlarla karşılaşmakta ve sonuçta işletilemeyen (atıl) arıtma tesisleri oluşmaktadır.

Ülkemizde arıtma tesisi projelendirilmesinde ortaya çıkan bu olumsuzlukların temel nedenlerinin başında, ilgili atıksuyun özellikleri yeterince incelenilmeden projelerin yapılması ve bu konuda yeterliliği tartışılır firmaların ürettikleri projelerin denetim ve kontrolünü yapacak herhangi bir kurum veya kuruluşun olmaması gelmektedir

Bu çalışmada; arıtma tesisi yapılacak bir atıksuyun debi ve kirlilik yüklerinin, gerçekte olması gerekenin üzerinde tahmin edilerek proje yapılması durumunda ve ayrıca arıtma tesisinin türüne göre projelendirme parametrelerinin, literatürde verilen sınır değerlerinin ön kabullerinde, havalandırma havuzu ilk yatırım ve enerji maliyetlerinde neden olacağı artışlar incelenmiştir.

## 2. HAVALANDIRMA HAVUZU PROJELENDİRME YÖNTEMİ

Yapılan çalışmada, klasik aktif çamur sistemi ele alınmış olup, bu sistem için değişik kaynaklarda verilmiş olan projelendirme parametreleri Çizelge 1 'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Klasik aktif çamur sistemi için değişik kaynaklarda verilen projelendirme parametreleri.

Kaynaklar	F/M (kgBOİ <sub>5</sub> /kgUAKM.gün)	AKM (mg/L)	Çamur yaşı (θc, gün)	t (saat)
Benefield, 1980	0.20-0.4*	1500-3000**	5-15	4-8
Tchobanoglous, 1987	0.20-0.4*	1500-3000**	5-15	4-8
Toprak, 1994	0.15-0.4	1500-4000	4- 8	4-8
Miorin, 1977	0.15-0.4	1500-4000	4- 8	4-8

\* Kg BOİ<sub>5</sub>/kgUAKM.gün

\*\* UAKM

Hesaplamalarda kullanılacak olan projelendirme yöntemi ise aşağıda verilmiştir.

a) Havuz Hacmi (V)

$$V = (Q \cdot S_o) / (F/M \cdot UAKM) \quad (1)$$

S<sub>o</sub> : Sisteme giriş BOİ<sub>5</sub> 'i (mg/L)

Q : Tasarım debisi (m<sup>3</sup>/gün)

b) Bekleme Zamanı (t)

$$t = V/Q \quad (2)$$

c) Çamur Yaşı (θc)

$$\theta_c = (V \cdot AKM) / P_x \quad (3)$$

d) Fazla Çamur Miktarı (Px)

$$Px = Y*(E/100)*L - Kd*UAKM*V \quad (4)$$

Kd : Çürüme katsayısı (0.025 ile 0.075 gün<sup>-1</sup> arasında olup, bu çalışmada Kd katsayısı 0.06 alınmıştır).

Y : Verim katsayısı (0.4 ile 0.8 kgBOİ<sub>5</sub>/kgUAKM arasında değişmekte olup, bu çalışmada Y katsayısı 0.6 alınmıştır).

e) Gerekli Oksijen İhtiyacı (GOİ)

$$GOİ = (Q*(So-Se)/0.68) - 1.42 Px \quad (5)$$

f) Standart Şartlardaki Oksijenlendirme Kapasitesi (Oc)

Bu değer çalışma kapsamında iki ayrı sıcaklık değeri (10-20 °C) için ayrı ayrı belirlenmiştir.

$$Oc = (GOİ/\alpha)*[Cs / [Cst-C_L]]*(K_{10}/K_T) \quad (6)$$

Cs : 10 °C 'deki ÇO 'nin doygunluk değeri olup, 11.33 mg/L kabul edilebilir.

Cst : T sıcaklığındaki ÇO 'nin doygunluk değeridir.

$\alpha$  : Atıksuya O<sub>2</sub> transfer katsayısı olup, 0.6-0.95 arasında değişmektedir. Bu çalışmada  $\alpha$  katsayısı 0.8 alınmıştır.

C<sub>L</sub> : Havuzdaki ÇO konsantrasyonudur. Bu değer ortalama olarak 2 mg/L kabul edilmesi uygun görülmüştür.

(K<sub>10</sub>/K<sub>T</sub>) : Düzeltme faktörüdür. 10 °C için K<sub>10</sub> 1.0, 20 °C için K<sub>20</sub> 0.83 alınabilir.

g) Difüzlü Sistem İçin Gerekli Hava İhtiyacı (GHİ)

$$GHİ = Oc / (\eta_a * \gamma_h * \%Oh) \quad (7)$$

$\eta_a$  : Difüzörün oksijenlendirme kapasitesi olup, %8 kabul edilmiştir.

$\gamma_h$  : Standart sıcaklık ve 1 atm basınçta havanın yoğunluğu (1.2 kg/m<sup>3</sup>)

%Oh : Havadaki O<sub>2</sub> yüzdesi (%22.3)

### 3. ATIKSU MİKTARI, BOİ<sub>5</sub> VE PROJELENDİRME PARAMETRELERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN HAVALANDIRMA HAVUZUNA OLAN ETKİLERİ

#### 3.1. Havuz boyutlarına, oluşacak çamur miktarına ve gerekli hava ihtiyacına olan etkileri

Havalandırma havuzu boyutlarını etkileyen en önemli projelendirme parametreleri, atıksuyun debisi ve BOİ<sub>5</sub> miktarıdır. Bu parametreler atıksu özellikleri değiştikçe farklı değerler almaktadır. Bununla birlikte kitabi bilgilerden alınan UAKM ve F/M oranı gibi projelendirme parametreleri de sistemin özelliğine göre belli aralıklarda kalmak üzere keyfi olarak seçilmektedir. Değişen bu değerlerin havuz boyutlarına, oluşacak çamur miktarına, gerekli hava ve oksijen ihtiyacına olan etkilerinin incelendiği hesaplama sonuçları Çizelge 2 'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Değişik  $BOI_5$ , debi, F/M ve UAKM değerleri için gerekli olan havuz hacimleri, oluşacak çamur miktarı, gerekli hava ve oksijen ihtiyaçları.

	DEBİ (m <sup>3</sup> /gün)	BOI <sub>5</sub> (mg/L)	V (m <sup>3</sup> )	Px (kg/gün)	GOİ (m <sup>3</sup> /h.)	Oc (m <sup>3</sup> /h.)		GHİ (m <sup>3</sup> /h.)	
						10 °C	20 °C	10 °C	20 °C
		100	1250	120	565	857	1225	38500	54991
		200	2500	240	1130	1715	2450	77001	109981
	5000	300	3750	360	1695	2572	3674	115501	164972
*UAKM=2000		400	5000	480	2260	3430	4899	154002	219963
**F/M = 0.2		100	2500	240	1130	1715	2450	77001	109981
		200	5000	480	2260	3430	4899	154002	219963
	10000	300	7500	720	3389	5145	7349	231003	329944
		400	10000	960	4519	6860	9798	308004	439926
		100	833	120	565	857	1225	38500	54991
		200	1667	240	1130	1715	2450	77001	109981
	5000	300	2500	360	1695	2572	3674	115501	164972
UAKM = 3000		400	3333	480	2260	3430	4899	154002	219963
F/M = 0.2		100	1667	240	1130	1715	2450	77001	109981
		200	3333	480	2260	3430	4899	154002	219963
	10000	300	5000	720	3389	5145	7349	231003	329944
		400	6667	960	4519	6860	9798	308004	439926
		100	833	170	494	750	1071	33661	48079
		200	1667	340	988	1499	2142	67323	96158
	5000	300	2500	510	1482	2249	3212	100984	144237
UAKM = 2000		400	3333	680	1976	2999	4283	134646	192316
F/M = 0.3		100	1667	340	988	1499	2142	67323	96158
		200	3333	680	1976	2999	4283	134646	192316
	10000	300	5000	1020	2963	4498	6425	201969	288475
		400	6667	1360	3951	5998	8567	269292	384633
		100	556	170	494	750	1071	33661	48079
		200	1111	340	988	1499	2142	67323	96158
	5000	300	1667	510	1482	2249	3212	100984	144237
UAKM = 3000		400	2222	680	1976	2999	4283	134646	192316
F/M = 0.3		100	1111	340	988	1499	2142	67323	96158
		200	2222	680	1976	2999	4283	134646	192316
	10000	300	3333	1020	2963	4498	6425	201969	288475
		400	4444	1360	3951	5998	8567	269292	384633
		100	625	195	458	696	994	31242	44623
		200	1250	390	917	1392	1988	62484	89247
	5000	300	1875	585	1375	2087	2982	93726	133870
UAKM = 2000		400	2500	780	1834	2783	3975	124968	178493
F/M = 0.4		100	1250	390	917	1392	1988	62484	89247
		200	2500	780	1834	2783	3975	124968	178493
	10000	300	3750	1170	2750	4175	5963	187452	267740
		400	5000	1560	3667	5567	7951	249936	356986
		100	417	195	458	696	994	31242	44623
		200	833	390	917	1392	1988	62484	89247
	5000	300	1250	585	1375	2087	2982	93726	133870
UAKM = 3000		400	1667	780	1834	2783	3975	124968	178493
F/M = 0.4		100	833	390	917	1392	1988	62484	89247
		200	1667	780	1834	2783	3975	124968	178493
	10000	300	2500	1170	2750	4175	5963	187452	267740
		400	3333	1560	3667	5567	7951	249936	356986

Çizelge 2 'den de görüleceği üzere, atıksuyun debi,  $BOI_5$ , F/M, UAKM ve sıcaklık değerlerindeki değişimler havuz hacmi, fazla çamur miktarı, gerekli hava ve oksijen ihtiyaçlarını önemli ölçülerde arttırmaktadır. Bununla birlikte söz konusu artışların belirli oranlarda olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca sabit debi,  $BOI_5$  ve F/M oranında UAKM 'nin 2000 mg/L 'den 3000 mg/L 'ye çıkarılmasıyla gerekli hava ve oksijen ihtiyaçlarında herhangi bir değişimin meydana gelmediği saptanmıştır.

#### 4. MALİYET HESAPLARI

##### 4.1. İnşaat maliyetleri

İnşaa edilmesi düşünülen havuzların duvar ve taban betonu et kalınlıklarının 0.3 m olması düşünülmüştür. Yapılacak kazı miktarı, zemin yüzeyinden itibaren 1m kadardır. Zemin yüzeyinden 0.5 m derinliğe kadar, duvarların yan yüzeylerine 1m 'lik çalışma payı bırakılacak şekilde kazı çalışması yapılmıştır. Bununla birlikte havuz inşaatından önce tabana 10 cm kalınlığında kum-çakıl karışımının dökülmesi uygun görülmüştür.

Toplam kazı miktarının 1/20 'si elle tesviye kazısı, diğer kısmı ise makine kazısı olarak hesaplanmıştır. Kullanılacak demir miktarının ise yaklaşık olarak, dökülecek her  $m^3$  beton için 60 kg olduğu farz edilmiştir. Havuzların inşaatında sıva gerektirmemesi nedeniyle rendeli lamba zıvanalı düz yüzeyli çıplak beton kalıbı kullanılmıştır. Ayrıca demirli beton tipi B-160 olup, kullanılan demir miktarının %35 'i  $\Phi 8$ - $\Phi 12$  ince ve %65 'i  $\Phi 14$ - $\Phi 50$  kalın betonarme demiri olması uygun görülmüştür. İnşaat sırasında kullanılması düşünülen bu malzemelerin birim fiyatları 1999 Yılı Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Listesi 'nden alınmış olup, Çizelge 3 'de verilmiştir. Çizelge 3 'de verilmiş olan birim fiyatlar ve yukarıdaki kabuller doğrultusunda yapılan hesaplamalar bir örnekle aşağıda anlatılmıştır.

Çizelge 3. Hesaplamalarda kullanılan inşaat malzemelerinin cinsi ve 1999 yılı birim fiyatları.

MALZEME CİNSİ	BİRİM FİYATI (TL)
Elle tesviye kazısı ( $m^3$ )	1 696 406
Makine kazısı ( $m^3$ )	321 606
B-160 Demirli beton ( $m^3$ )	13 353 365
Rendeli lamba zıvanalı düz yüzeyli çıplak kalıp ( $m^2$ )	6 395 662
$\Phi 8$ - $\Phi 12$ İnce demir (ton)	140 873 250
$\Phi 14$ - $\Phi 50$ Kalın demir (ton)	128 477 500
Kum-çakıl dolgusu ( $m^3$ )	17 272 250

##### Örnek Hesaplama

Uzunluğu 20 m, genişliği 11.5 m ve yüksekliği 4.0 m olan bir havalandırma havuzu inşaa edilmesi düşünülmektedir. Yapılacak havuzun temeli toprağın 1m altındadır. Toprak yüzeyinden 0.5 m mesafeye kadar, havuzun yan duvarlarına 1m 'lik bir çalışma payı kalacak şekilde kazı çalışması yapılacaktır. Diğer 0.5 m 'de ise çalışma payı bırakılmadan kazıya devam edilecektir. Havuz inşaatında her 1  $m^3$  'lük beton hacmine yaklaşık olarak 60 kg demir kullanıldığı ve havuz temeline 10 cm kum-çakıl karışımının serildiği düşünülerek, böyle bir havuzun inşaat giderleri yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır (Hesaplamalarda işçilik ve araç giderleri göz önünde tutulmayacaktır).

- Kullanılacak beton hacmi (Vb)

$$Vb = [(20+0.6)*(11.5+0.6)*(4+0.3) - (20*11.5*4)] = 152 \text{ m}^3$$

- Kalıp kullanılacak toplam yüzey alanı (Ak)

$$Ak = 8*[20+(20+0.6)+11.5+(11.5+0.6)] = 514 \text{ m}^2$$

- Yapılacak toplam kazı hacmi (Vk)

$$Vk = [0.5*(20+0.6)*(11.5+0.6)]+[0.5*(20+1.2)*(11.5+1.2)] = 260 \text{ m}^3$$

- Toplam kum-çakıl dolgusu hacmi (Vkç)

$$Vkç = [(20+0.6)*(11.5+0.6)*0.1] = 25 \text{ m}^3$$

- Kullanılacak demirli beton maliyeti (Mb)

$$Mb = 152 \text{ m}^3 * 13 \ 353 \ 365 \text{ TL/m}^3 = 2 \ 029 \ 711 \ 000 \text{ TL}$$

- Kullanılacak kalıp maliyeti (Mk)

$$Mk = 514 \text{ m}^2 * 6 \ 395 \ 662 \text{ TL/ m}^2 = 3 \ 287 \ 370 \ 000 \text{ TL}$$

- Yapılacak elle tesviye kazısı maliyeti (Mek)

$$Mek = (1/20)*260 \text{ m}^3 * 1 \ 696 \ 406 \text{ TL/m}^3 = 220 \ 533 \ 000 \text{ TL}$$

- Yapılacak makine kazısı maliyeti (Mmk)

$$Mmk = (19/20)*260 \text{ m}^3 * 321 \ 606 \text{ TL/m}^3 = 79 \ 367 \ 000 \text{ TL}$$

- Kullanılacak ince demir maliyeti (Mid)

$$Mid = 152 \text{ m}^3 * 0.06 \text{ ton/m}^3 * 140 \ 873 \ 250 \text{ TL/ton} * (35/100) = 449 \ 667 \ 000 \text{ TL}$$

- Kullanılacak kalın demir maliyeti (Mkd)

$$Mkd = 152 \text{ m}^3 * 0.06 \text{ ton/m}^3 * 123 \ 477 \ 500 \text{ TL/ton} * (65/100) = 731 \ 975 \ 000 \text{ TL}$$

- Toplam kum-çakıl dolgusu maliyeti (Mkç)

$$Mkç = 25 \text{ m}^3 * 17 \ 272 \ 250 \text{ TL/m}^3 = 431 \ 806 \ 000 \text{ TL}$$

- Toplam inşaat maliyeti (Mt)

$$Mt = Mb + Mk + Mkç + Mkd + Mid + Mmk + Mek = 7 \ 230 \ 429 \ 000 \text{ TL}$$

- Dolar (1 dolar = 420 000 TL alınacak) cinsinden toplam inşaat maliyeti (Mt) = 17 215 \$

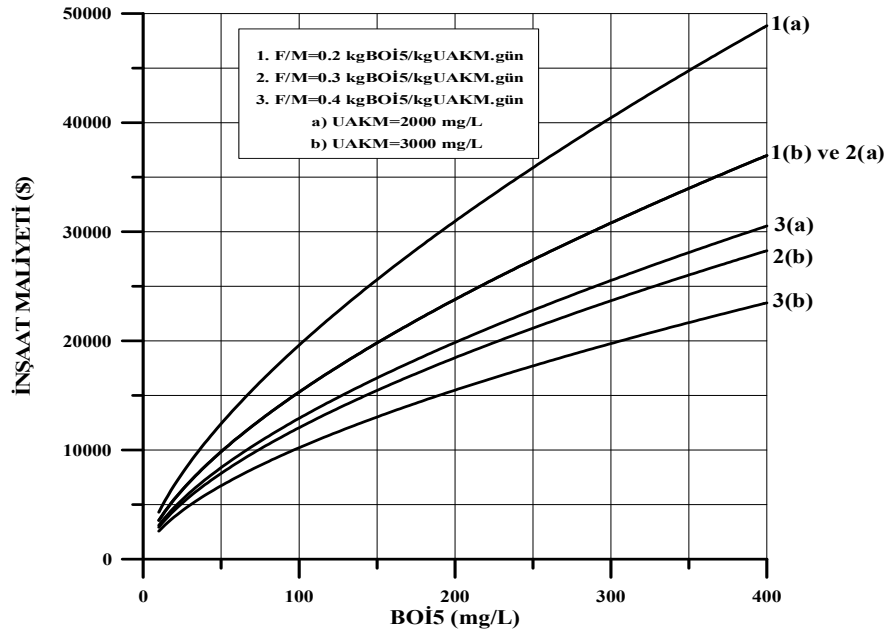
Yukarıdaki hesaplama yöntemi baz alınarak, değişik debi, BOİ<sub>5</sub>, UAKM ve F/M değerlerinde gerekli olan havuz hacimlerinin (Çizelge 2) yaklaşık %10 hava payı bırakılarak inşaa edilmesi durumunda, oluşacak inşaat maliyetleri Şekil 1 ve Şekil 2 'de verilmiştir.

İnşaa edilecek havuzların tamamı 4m derinlikte olup, uzunluk/genişlik oranının yaklaşık olarak 2/1 civarında olması düşünülmüştür. Şekil 1 ve Şekil 2 'den de görüleceği üzere; BOİ<sub>5</sub>, debi, F/M ve UAKM miktarındaki değişimler sonucu inşaat maliyetleri de önemli ölçülerde değişmektedir. Elde edilen bu değişimler arasında aşağıdaki ilişkinin mevcut olduğu görülmüştür.

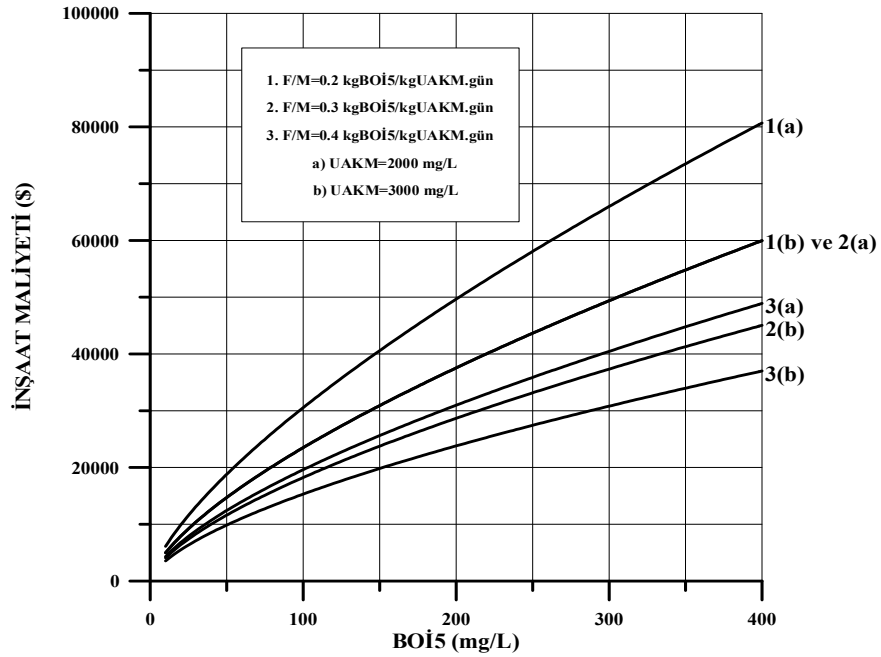
$$\text{MALİYET} = (\text{BOİ}_5)^A * B$$

(8)

Bu konu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada (Sun, 1984) yatırım maliyetlerinin, tesisin debisi veya hizmet ettiği nüfus arttıkça, yukarıdaki eşitliğe benzer şekilde arttığı saptanmıştır.



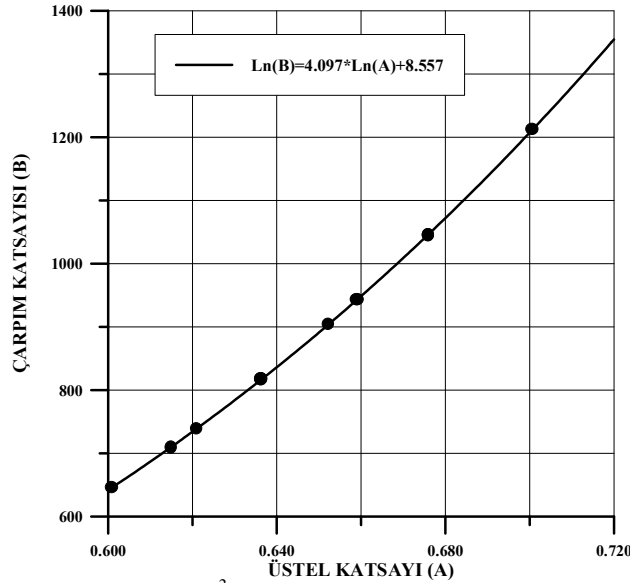
Şekil 1. 5 000 m<sup>3</sup>/gün debi için değişik F/M ve UAKM değerlerinde meydana gelecek inşaat maliyetleri.



Şekil 2. 10 000 m<sup>3</sup>/gün debi için değişik F/M ve UAKM değerlerinde meydana gelecek inşaat maliyetleri.

Eşitlikte görülen A ve B birer katsayı olup, bu katsayılar arasındaki matematiksel ilişkiler belirlenmiş ve Şekil 3 'te verilmiştir. Şekil 3 'ten de görüleceği üzere her iki katsayı arasında  $\ln(B) = 4.097 \cdot \ln(A) + 8.557$  şeklinde bir yarı logaritmik bağıntı bulunmaktadır. Yukarıdaki ilişkinin veya Şekil 3 'ün rahatlıkla kullanılabilmesi için, gerekli olan A katsayısının her bir debi, F/M ve UAKM değerindeki sayısal ifadeleri Çizelge 4 'de topluca sunulmuştur.

Buna göre, istenilen parametrelerle projelendirilecek bir havalandırma havuzunun inşaat maliyetinin belirlenmesi amacıyla öncelikle Çizelge 4 'ten A katsayısının bulunması gerekmektedir. Bulunan bu değerden Şekil 3 yardımıyla B katsayısı hesaplanarak  $MALİYET=(BOİ_5)^A * B$  eşitliğinden istenilen özellikteki herhangi bir havalandırma havuzunun yaklaşık olarak inşaat maliyeti hesaplanabilmektedir. Ayrıca aynı değerler, daha kısa bir yöntem olarak Şekil 1 ve Şekil 2 kullanılarak da belirlenebilmektedir.



Şekil 3. 5000 ve 10000 m<sup>3</sup>/gün 'lük debi değerleri için A ve B katsayıları arasındaki matematiksel ilişkilerin grafik gösterimi.

Çizelge 4. Klasik aktif çamur havalandırma havuzlarının değişik F/M, UAKM ve debi değerlerindeki inşaat maliyetlerinin hesabı için bulunmuş olan A katsayıları.

DEĞİŞKENLER		F/M (kgBOİ <sub>5</sub> /kgUAKM.gün)					
		0.2		0.3		0.4	
UAKM (mg/L)		2000	3000	2000	3000	2000	3000
DEBİ (m <sup>3</sup> /gün)	5000	0.6592	0.6363	0.6363	0.6150	0.6210	0.6009
	10000	0.7006	0.6759	0.6759	0.6522	0.6590	0.6363

## 4.2. Teçhizat maliyeti

### 4.2.1. Difüzörlü havalandırma sistemleri

Difüzörlü havalandırma sistemlerinin en önemli teçhizatları blower ve difüzörlerdir. Diğer mekanik ekipmanlar hariç tutulmak üzere sistemin teçhizat maliyetini bu iki teçhizat oluşturmaktadır. Sistemde Hibon firmasının XN serili blowerlerinden XN4.5 ve XN15 tiplerinin kullanılması düşünülmüştür. Bu teçhizatların teknik özellikleri ise Çizelge 5 'de verilmiştir. Bu verilere göre ihtiyaca yönelik blower tipi ve adedi seçilip, birim fiyatına göre blower maliyeti (Mblw) belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak olan difüzörler membran tipli difüzör olup, her bir difüzörün verdiği hava debisi ise 5 m<sup>3</sup>/h. olarak kabul edilmiştir. Bahsi geçen tipteki difüzörlerin satışını yapan firmalardan edinilen bilgilere göre bu difüzörlerin birim fiyatı 1999 yılı itibarıyla yaklaşık olarak 4 000 000 TL 'dir. Buna göre gerekli hava ihtiyacı bilinen bir tesiste kullanılacak difüzör sayısı, söz konusu hava ihtiyacının bir difüzörün verdiği hava miktarına bölünmesi ile bulunabilmektedir.



Çizelge 5. Sistemde kullanılması düşünülen blowerlerin teknik özellikleri ve 1999 yılı yaklaşık birim fiyatı.

ÖZELLİKLER	XN-4.5	XN-15
Hava debisi (m <sup>3</sup> /h.)	516.6	2430
Motor gücü (KW/h.)	11	37
Blower hızı	2700	3000
Motor devir hızı	3000	3000
Basınç farkı (mbar)	400	400
Motor tipi	160 M	200 L
FİYAT (1 \$ = 420 000 TL)	3200 \$	5250 \$

#### 4.2.2. Mekanik havalandırma sistemleri

Bu sistemlerde kullanılan havalandırıcılar yatay milli ve düşey milli olmak üzere iki grupta toplanabilir. Bu çalışmada; düşey milli, aksiyal akışlı, redüktörsüz ve dubalı sisteme uygun havalandırıcılar dikkate alınmıştır. Bu amaçla SARTES firmasından bahsi geçen tipteki havalandırıcıların teknik özellikleri ve birim fiyatları istenmiştir. Sistemin optimum maliyette kalabilmesi amacıyla iki ayrı güçte (15-30 KW) havalandırıcının kullanılması düşünülmüştür. Bu havalandırıcıların teknik özellikleri ve birim fiyatları Çizelge 6 'da verilmiştir.

Çizelge 6. Sistemde kullanılması düşünülen yüzeysel havalandırıcıların teknik özellikleri ve 1995 yılı yaklaşık birim fiyatları.

ÖZELLİKLER	15 KW/h	30 KW/h
Oksijenlendirme kapasitesi (kgO <sub>2</sub> /h.)	22.5	40.0
Oksijenlendirme verimliliği (kgO <sub>2</sub> /h.KW)	1.5	1.5
BİRİM FİYATI (\$)	5300	6250

Gerekli oksijen ihtiyacının büyüklüğüne göre bu iki tip havalandırıcıdan sadece birinin veya her iki tipin birlikte kullanılması sonucu elde edilen havalandırıcı miktarları, difüzörlü sistemlerle birlikte Çizelge 7 'de verilmiştir. Ayrıca her iki sistemin teçhizat maliyetleri Çizelge 8 'de topluca sunulmuştur. Çizelge 8 'den de görüleceği üzere debi ve BOI<sub>5</sub> değerlerindeki artış oranlarıyla gerek işletme gerekse teçhizat maliyetlerindeki artış oranları arasında, farklı tipte blowerlerin ve havalandırıcıların kullanılması nedeniyle doğrusal bir ilişkiye rastlanmamaktadır. Ayrıca sabit BOI<sub>5</sub>, debi ve F/M oranında UAKM 'nin 2000 mg/L'den 3000 mg/L çıkarılması maliyetleri değiştirmediğinden Çizelge 7 ve Çizelge 8'de 3000 mg/L için bulunan değerler işlenmemiştir. Bununla birlikte difüzörlü havalandırma sisteminin teçhizat maliyetleri kirlilik yükünün büyüklüğüne bağlı olarak %30'a varan oranlarda daha yüksektir. Ayrıca atıksu sıcaklığı arttıkça her iki sistem için teçhizat maliyeti %38 'e kadar artabilmektedir.

Çizelge 7. Değişik BOİ<sub>5</sub>, debi, F/M, UAKM ve sıcaklık değerleri için bulunan difüzör, blower ve yüzeysel havalandırıcı miktarları.

DEĞİŞKENLER	DEBİ (m <sup>3</sup> /gün)	BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	DİFÜZÖRLÜ HAVALANDIRMA						MEKANİK HAVALANDIRMA			
			Difüzör Adedi		Blower Adedi				Mekanik Karıştırıcı Ad.			
					(10 °C)		(20°C)		(10 °C)		(20°C)	
			(10 °C)	(20°C)	XN4. 5	XN15	XN4. 5	XN15	15K W	30K W	15K W	30K W
		100	321	458	3	0	0	1	0	1	1	1
		200	642	917	2	1	0	2	0	2	0	3
	5000	300	963	1375	0	2	0	3	0	3	0	4
*UAKM = 2000		400	1283	1833	3	2	0	4	0	4	1	5
**F/M = 0.2		100	642	917	2	1	0	2	0	2	0	3
		200	1283	1833	3	2	0	4	0	4	1	5
	10000	300	1925	2750	0	4	3	5	1	5	0	8
		400	2567	3666	2	5	3	7	1	7	1	10
		100	281	401	3	0	0	1	0	1	1	1
		200	561	801	1	1	3	1	0	2	1	2
	5000	300	842	1202	3	1	2	2	1	2	1	3
*UAKM = 2000		400	1122	1603	2	2	2	3	1	3	1	4
**F/M = 0.3		100	561	801	1	1	3	1	0	2	1	2
		200	1122	1603	2	2	2	3	1	3	1	4
	10000	300	1683	2404	2	3	0	5	0	5	0	7
		400	2244	3205	3	4	3	6	1	6	0	9
		100	260	372	3	0	3	0	0	1	1	1
		200	521	744	1	1	2	1	1	1	1	2
	5000	300	781	1116	3	1	2	2	1	2	1	3
*UAKM = 2000		400	1041	1487	1	2	1	3	0	3	1	4
**F/M = 0.4		100	521	744	1	1	3	1	1	1	1	2
		200	1041	1487	1	2	1	3	0	3	1	4
	10000	300	1562	2231	1	3	3	4	1	4	1	6
		400	2083	2975	2	4	1	6	0	6	1	8

### 4.3. Enerji Maliyetleri

Sistemin havalandırılması için gerekli enerji maliyetleri, bu birimlerde çalıştırılması düşünülen blower veya mekanik karıştırıcıların elektrik sarfiyatları ile bölgedeki sanayi elektriğinin birim fiyatıyla (çalışmada sanayi elektriğinin birim fiyatı 36 000 TL/KW olarak alınmıştır) çarpılmasıyla bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ise yine Çizelge 8'de teçhizat maliyetleri ile birlikte verilmiştir. Buna göre difüzörlü sistemlerin mekanik sistemlere göre yaklaşık olarak %10 oranında daha az enerji maliyetine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca atıksu sıcaklığı arttıkça her iki havalandırma sisteminde de % 30 civarında bir maliyet artışının olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 8. Değişik  $BOI_5$ , debi, F/M, UAKM ve sıcaklık değerleri için difüzlü ve mekanik havalandırıcıların tehzat ve yıllık enerji maliyetleri (\$).

A	B	C	DİFÜZÖRLÜ HAVALANDIRMA SİSTEMİ								MEKANİK HAV. SİSTEMİ			
			Mdifüzör		Mblower		Mtehzat		Menerji		Mmekanikhav		Menerji	
			10 °C	20 °C	10 °C	20 °C	10 °C	20 °C	10 °C	20 °C	10 °C	20 °C	10 °C	20 °C
		100	3208	4583	11250	6250	14458	10833	24778	27782	6250	10950	22526	33789
		200	6417	9165	13750	12500	20167	21665	44301	55563	12500	18750	45051	67577
	5000	300	9625	13748	12500	18750	22125	32498	55563	83345	18750	25000	67577	90103
1		400	12833	18330	23750	25000	36583	43330	80342	111127	25000	35950	90103	123891
		100	6417	9165	13750	12500	20167	21665	44301	55563	12500	18750	45051	67577
		200	12833	18330	23750	25000	36583	43330	80342	111127	25000	35950	90103	123891
	10000	300	19250	27495	25000	42500	44250	69995	111127	163687	35950	50000	123891	180206
		400	25667	36660	38750	55000	64417	91660	155427	219250	48450	67200	168943	236520
		100	2805	4007	11250	6250	14055	10257	24778	27782	6250	10950	22526	33789
		200	5610	8013	10000	17500	15610	25513	36041	52560	12500	17200	45051	56314
	5000	300	8415	12020	17500	20000	25915	32020	52560	72082	17200	23450	56314	78840
2		400	11220	16026	20000	26250	31220	42276	72082	99864	23450	29700	78840	101366
		100	5610	8013	10000	17500	15610	25513	36041	52560	12500	17200	45051	56314
		200	11220	16026	20000	26250	31220	42276	72082	99864	23450	29700	78840	101366
	10000	300	16831	24040	26250	31250	43081	55290	99864	138909	31250	43750	112629	157680
		400	22441	32053	36250	48750	58691	80803	135905	191469	42200	56250	146417	202731
		100	2603	3719	11250	11250	13853	14969	24778	24778	6250	10950	22526	33789
		200	5207	7437	10000	13750	15207	21187	36041	44301	10950	17200	33789	56314
	5000	300	7810	11156	17500	20000	25310	31156	52560	72082	17200	23450	56314	78840
3		400	10414	14874	12875	22500	23289	37374	63823	91605	18750	29700	67577	101366
		100	5207	7437	10000	17500	15207	24937	36041	52560	10950	17200	33789	56314
		200	10414	14874	12825	22500	23239	37374	63823	91605	18750	29700	67577	101366
	10000	300	15621	22312	22500	36250	38121	58562	52560	135905	29700	42200	101366	146417
		400	20828	29749	32500	41250	53328	70999	127646	174950	37500	54700	135154	191469

AÇIKLAMALAR : A -Değişkenler ; B - Debiler ( $m^3/gün$ ) ; C -  $BOI_5$  (mg/L) 1-) (F/M = 0.2 kg $BOI_5$ /kgUAKM.gün,

UAKM =2000 mg/L;

2-) F/M = 0.3 kg $BOI_5$ /kg UAKM.gün, UAKM =2000 mg/L;

3-) F/M = 042 kg $BOI_5$ /kg UAKM.gün, UAKM =2000 mg/L.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, biyolojik arıtma tesisinin en önemli birimi olan havalandırma havuzunun projelendirilmesinde kullanılacak olan atıksu miktarı ve  $BOI_5$  kirlilik yükünün tahmininde yapılacak hataların ve gereğinden fazla bırakılacak emniyet paylarının, havalandırma havuzunun inşaat ve enerji masraflarını ne ölçüde etkilediği incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda;  $BOI_5$ , debi, F/M ve UAKM miktarındaki değişimlerin inşaat maliyetlerini önemli ölçülerde değiştirdiği ve elde edilen bu değişimler arasında  $MALİYET=(BOI_5)^A * B$  şeklinde bir ilişkinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte eşitlikte verilen A ve B katsayılarının farklı  $BOI_5$ , F/M ve UAKM değerlerindeki sayısal ifadeleri bulunmuş ve aralarında  $\log(A)=(5.599*B) - 0.281$  gibi bir eşitliğin mevcut olduğu saptanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, debi ve  $BOI_5$  değerlerindeki artış oranlarıyla gerek işletme gerekse tehzat maliyetlerindeki artış oranları arasında, farklı tipte blowerlerin ve havalandırıcıların kullanılması nedeniyle doğrusal bir ilişkiye rastlanmamıştır. Ayrıca sabit  $BOI_5$ , debi ve F/M oranında UAKM 'nin değiştirilmesi sonucu gerekli hava ve oksijen ihtiyacında herhangi bir değişim sözkonusu olmadığından maliyetler de birbirine eşit çıkmaktadır. Bununla birlikte difüzlü havalandırma sisteminin tehzat maliyetleri kirlilik

yükünün büyüklüğüne bağlı olarak %30'a varan oranlarda daha yüksektir. Ayrıca atıksu sıcaklığı arttıkça her iki sistem için teçhizat maliyeti %38 'e kadar artabilmektedir.

Sistemin havalandırılması için gerekli enerji maliyetlerinde difüzyörlü sistemlerin mekanik sistemlere göre yaklaşık olarak %10 oranında daha az enerji maliyetine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte atıksu sıcaklığı arttıkça her iki havalandırma sisteminde de %30 civarında bir maliyet artışının olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, arıtma tesislerinin tasarımında kullanılacak debi, kirlilik yükü ve diğer tasarım parametrelerinin seçiminde oldukça titiz çalışmaların yapılması ve atıksu özelliklerinin mutlak suretle incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, gereğinden fazla bırakılan emniyet paylarından da mümkün olduğunca kaçınılmasının ilk yatırım ve enerji maliyetlerini önemli ölçülerde düşüreceği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1999): "1999 Yılına Ait İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik, Araç ve Gereç Raiç Listeleri". Ankara, İller Bankası Vakıf Matbaası.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1999): "1999 Yılı Yapı İşleri Birim Fiyat Tarifeleri Eki Fiyat Listesi". Ankara, İller Bankası Vakıf Matbaası.
- Benefield, L. D.; Randall, C. W. (1980): "Biological Process Design for Wastewater Treatment". U.S.A., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.
- Miorin, A. F. (1977): "Wastewater Treatment Plant, Design". U.S.A, Lancaster Press, Inc.,
- Sun, H. A., Eroğlu, V., Öztürk İ. (1984): Tasfiye Maliyetleri İle Verim ve Debi Arasındaki Münasebetler. Adana, TÜBİTAK Ulusal Çevre Simpozyumu Tebliğ Metinleri, ss.533-540.
- Tchobanoglous, G.; Burton, F. L. (1987): "Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse ". U.S.A., Metcalf and Eddy, Inc.
- Toprak, H. (1994): "Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım Esasları". İzmir, D.E.Ü. Mimarlık Mühendislik Fakültesi Yayınları, C.1, N.153.