

10. ARITMA SİSTEMLERİNDE VERİM, ENERJİ, BAKIM VE İŞLETME

Arıtma yöntemi, projelendirme kriterleri ve ilgili diğer ihtiyaçlar başlıca aşağıdaki faktörlerce kontrol edilir.

- Atıksu debisi ve özellikleri,
- Arıtma seviyesi,
- Verimdeki değişim ve güvenilirlik,
- Diğer proses ihtiyaçları

Atıksu debisi ve özellikleri: Proses seçimi için gereken en önemli bilgiler bu başlık altında toplanır.

Arıtma seviyesi: Evsel atıksular söz konusu olduğunda, BOI, KOI, azot, fosfor, koliformlar, helminitler, vs. gibi belli başlı parametrelerin ne oranda giderileceği arıtma seviyesini belirler. Arazide arıtma sistemleri için arıtma seviyesi, yüzey sularına deşarj sistemi için gerekli arıtma seviyesinden daha düşüktür. Arazide arıtma ayrı azot ve fosfor giderimi gerektirmediğinden, fizibil olduğu takdirde çoğu kez daha uygundur.

Arıtmada yalnızca BOI giderimine ağırlık vermek doğru bir yaklaşım değildir. Arıtma prosesi seçilirken, bütün önemli parametrelerin giderim verimleri belirlenip atıksuyun alıcı ortamlara deşarj limitleri göz önüne alınmalıdır.

Verimdeki değişim ve güvenilirlik: Atıksu debi ve kirlenici özellikleri devamlı değişim gösterir. Bu yüzden deşarj standartlarının istatistiksel bazda sağlanması gerekir. Örneğin, İngiltere’de arıtma sisteminin, arzulanan BOI standardını, zamanın %95’inde karşılaması beklenmektedir.

Farklı arıtma prosesleri farklı verim dalgalanmaları gösterir. Eğer arıtılmış su deşarj standardı BOI 30 mg/l ise, sürekli bu standardı sağlamak amacıyla bir prosesi 25 mg/l, diğer bir prosesi ise 20 mg/l arıtım yapacak şekilde emniyet payı bırakarak projelendirmek gerekebilir.

Diğer proses ihtiyaçları: Proses seçimini etkileyen diğer bazı faktörler aşağıda sıralanmaktadır.

- Gerekli alan ihtiyacı.
- Gerekli enerji: Enerji konusu iki yönden incelenebilir. Minimum enerji kullanımı ve enerji kesintilerinde tesisin çalışmaya devam etmesi.
- İşletme ve bakım için gerekli ekipman. Ekipmanın kolay ve ucuz temin edilebilirliği.
- Yetişmiş eleman ihtiyacı.
- Bakım problemleri (ekipman, makine ve diğer yapılar).
- Çamur üretimi ve bertarafı. Çamur arıtımı toplam arıtım maliyetinin çok büyük bir kısmını oluşturur.
- Mevcut hidrolik yük ve tesisteki hidrolik yük kaybı (amaç mümkün olduğu kadar terfiden kaçınmaktır).
- İleride ihtiyaç duyulması halinde tesisin tevsi imkanı.

Bazı arıtım proseslerinin enerji ve arazi ihtiyaçları Tablo 10.1’de verilmektedir.

Tablo 10.1. Değişik proseslerin arazi ve enerji ihtiyaçları(1).

Proses	Sıcak iklimler için enerji ihtiyacı (m ² /kişi) ^a	Enerji ihtiyacı (kWsaat/kişi-yıl)
Klasik aktif çamur	0,2-0,25	12-15
Uzun havalandırmalı A.Ç.	0,15-0,2	16-19
Damlatmalı filtre	0,2-0,3 ^b	7-11
HÇYR+kısa bekletmeli lagün	0,2-0,3 ^c	Yok
Fakültatif havalandırmalı lagün	0,3-0,4 ^d	12-15
HÇYR+7 günlük lagün	0,3-0,4	Yok
Oksidasyon havuzu	1,0-2,8 ^e	Yok
HÇYR+su mercimeği+balık havuzları	2,0-2,8	Yok
Yapay sulak alanlar	2,0-3,5	Yok
Vermikültür	0,3-0,4	Yok

^a kişi başına su kullanımı 180 l ve BOI=50 g/gün

^b Çamurun susuzlaştırılma sistemine bağlıdır (mekanik veya kurutma yatakları).

^c havuz yerleşimi ve standartları karşılamak için gerekli alıkoyma süresine bağlıdır.

^d 3 metre su derinliği, sedde şevleri: 2 (yatay), 1 (düşey)

^e deneysel

Enerji tasarrufu: Atıksu arıtma tesisleri projelendirilirken, enerjinin korunmasına ve enerji tasarrufuna büyük önem verilmelidir. Enerji konusunda iki kademeli bir yaklaşım uygulanabilir. Birinci yaklaşım, arıtma tesisinin maliyetini ve karmaşıklığını arttırmadan, enerji tasarrufu sağlayacak yapılabilir ve uygulanabilir metotlar seçmektir. Bunu yaparken teknolojide aşırılığa kaçmamalı, proses ve ekipmanlar dikkatli seçilmeli ve iyi bir mühendislik ve mimarlık tasarımına gidilmelidir. İkinci yaklaşım, daha gelişmiş ekipman ve cihazları içeren proseslerde sadece fazla masraf analizine yoğunlaşmaktır. Bu ikinci yaklaşımın uygulanabilirliği sadece gelişmiş ülkelerle sınırlıdır. Birinci yaklaşımla ilgili metotlar aşağıda verilmektedir.

1. Arıtılmış atıksu kalite standartlarını sağlayabilecek en az enerji kullanan proses seçilmelidir. Tabloda görüldüğü gibi stabilizasyon havuzlarında hiç enerji ihtiyacı yoktur. HÇYR sisteminde çok az, fakültatif havalandırmalı lagünlerde fazla, mekanik havalandırmalı lagünlerde ise çok fazla enerji ihtiyacı vardır. Ayrıca havalı çamur çürütme sırasında havasız çürütmeye göre daha fazla enerji kullanılır. Fazla enerji kullanan bir proses seçilmiş ise, bu seçimin temelinde çok yüksek BOI giderimi, yüksek nitrifikasyon verimi, işletmenin daha güvenilir olması gibi sağlam gerekçeler olmalıdır. Basit bir stabilizasyon havuzu fizibil bulunmuş ise, herhangi bir başka enerji tasarrufuna ihtiyaç yoktur ve bu metot tercih edilmelidir. Çoğunlukla, farklı enerji ve arazi ihtiyaçları olan bu iki proses birleştirilerek toplam maliyet ve enerji

ihtiyacı optimize edilebilir. Seçilmiş belli bir proste enerji ihtiyacını azaltmanın çeşitli yolları vardır. Örneğin, aktif çamur prosesinde ve uzun havalandırmalı AÇ sistemlerinde enerji ihtiyacını azaltmanın bir yolu, denitrifikasyon esnasında açığa çıkan oksijenden yararlanmaktır. Benzer şekilde, mekanik havalandırmalı lagünler için sıcak iklimlerde üniteler daha derin yapılarak enerji ihtiyacı azaltılabilir. Bunun yanı sıra karışım kinetiğine ve ısı kaybına karşı alınacak tedbirlere daha çok dikkat edilerek lagün hacmi ve enerji ihtiyacı küçültülebilir.

2. Proses seçme imkanımız yoksa, yani uygulanacak proses bize verilmiş ise, en az enerji tüketimi sağlayacak ekipman ve inşaat teknikleri kullanılmalıdır. Örneğin, vidalı (burgulu, salyangoz) pompalar ve dalgıç pompalar diğer pompalara göre daha az enerji tüketirler. Aynı şekilde, lagünlerdeki oksijen ihtiyacı için mekanik havalandırmalı sistemlerde enerji ihtiyacı pnömatik olanlara göre daha azdır. Arıtma tesisi yerindeki topografik eğimlerden yararlanarak, pompaj ihtiyacını azaltacak şekilde tesis yerleşimi yapılmalıdır. Soğuk iklimlerde, uygun malzemeler ve inşaat teknikleri kullanılarak ısı tasarrufu sağlanabilir.

Diğer bazı enerji tasarrufu metotlar aşağıda sıralanmıştır.

- Konvansiyonel enerji kaynakları, mümkünse rüzgar ve güneş enerjileri ile desteklenebilir. Arıtma sistemlerinde pompaların, havalandırma rotorlarının ve benzeri ekipmanın çalıştırılmasında bu tip alternatif enerji kaynaklarının kullanım imkanları araştırılmalıdır.
- Isı enerjisini geri kazanan gelişmiş cihazlar kullanılabilir. Bunlar arasında, çamur çürütücülerden ısı ve enerji üretmek amacıyla metan kazanımı önemlidir. Ancak bu sistem önemli ölçüde mekanik aksam gerektirdiğinden dolayı her zaman kullanılmamaktadır.

10.1 Maliyet Analizin Esasları

Optimum çözümü bulmak üzere düşünülen seçenekler için ilk yatırım ve işletme maliyetlerini içeren toplam maliyetler bulunur ve kıyaslanır. İlk yatırım maliyeti, tesis çalışmaya başlayana kadar yapılan bütün yatırım harcamaları içerir. Bunlar:

- Yasal ödemeler (vergiler) dahil arazi bedeli
- Mühendislik, projelendirme ve müşavirlik hizmetleri
- İnşaat, ekipman ve montaj maliyetleri
- İnşaat esnasında temin edilen paraya (kredi) ödenen faizler

İşletme maliyeti, tesis çalışmaya başladıktan sonra yapılacak işletme harcamaları ve amortismanları içermektedir. Bunlar:

- Personel
- Kimyasal maddeler
- Yakıt ve elektrik giderleri
- Nakliye masrafları
- Bakım ve tamir giderleri
- Sigorta masrafları
- Genel masraflar

10.2 Farklı arıtma metotlarının yaklaşık maliyetleri

Atıksu arıtma maliyeti atıksuyun özelliklerine, kullanılan arıtma prosesine ve arzulanan arıtma derecesine bağlıdır. Bazı atıksu arıtma prosesleri için belirlenen ortalama ilk yatırım maliyetleri Tablo 10.2’de verilmektedir.

10.3 Arıtma maliyetlerinin karşılaştırılması

Farklı proseslerin ilk maliyet ve işletme masrafları da farklı olduğundan, aralarında karşılaştırma yapmak zordur. Anapara ile işletme masrafları birbirine eklenemez. Anapara bir kerelik harcanan bir para olup, işletme masrafları ise her yıl yapılan harcamaları kapsamaktadır. Bu nedenle ya işletme ve bakım masrafları ilk yatırım bazına getirilir, ya da yatırım değeri yıllık baza indirgenir.

Bu konuda gerçekçi bir yaklaşım *bugünkü değer* metodudur. Birbirlerine alternatif olan farklı arıtma prosesleri bugünkü değer metoduyla mukayese edilebilirler.

Bugünkü değer metodu: Farklı arıtma alternatiflerini belli bir zaman aralığında kıyaslamak için kullanılan en yaygın metotlardan birisidir. Bunun için aşağıda maddeler halinde erişilen bilgilere ihtiyaç vardır.

- Toplam ilk maliyet bedeli (inşaat, elektrik, malzeme ve arazi bedeli)
- İlk yatırımın kaç yılda tamamlandığı ve her yıl ne kadar harcama yapıldığı
- Tesisin işletmeye açıldığı ilk yıldaki bakım ve işletme değerleri ve daha sonraki yıllarda tesisin ömrü boyunca enflasyon oranında arıtılmış yıllık bakım ve işletme değerleri
- Daha sonraki toplam bir parayı bugünkü net değere çevirmek için indirim oranı (veya faiz oranı)
- Tesisin hizmet süresi dolduğu zamanki değeri

Tablo 10.2. Atıksu arıtımında yaklaşık ilk yatırım maliyetleri (1).

Arıtma sistemi	Yaklaşık ilk yatırım maliyetleri (1995-1996 yılları için)	
	\$ ^a /kişi	\$ ^b Milyon litre/gün
Klasik aktif çamur (AÇ)	12,3-14,4	0,68-0,8
Uzun havalandırmalı AÇ	8,2-10,3	0,45-0,58
HÇYR	8,2-10,3	0,45-0,58
Havalandırmalı lagün	6,2-8,2	0,35-0,45
Stabilizasyon havuzu	3,1-4,1	0,16-0,22

^a Eşdeğer nüfus için su tüketimi 180 l/gün ve günlük BOI₅ 50 g olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda 10⁶ l/gün 5 555 kişiye karşılık gelmektedir.

^b Arazi fiyatı hariç

10.4 İleri Biyolojik Arıtma Sistemlerinde İşletme ve Yatırım Maliyeti

Genel olarak evsel atıksu arıtma sistemleri karbonlu organik maddenin giderilmesine yönelik olarak tasarlanmaktadır. Ancak alıcı su ortamında ötrifikasyonun ve kirliliğin artması sonucu atıksu deşarjında özellikle hassas bölgeler için daha sıkı deşarj limitleri getirilmiştir. Özellikle azot ve fosfor parametrelerinin öncelikle kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durumda pek çok ülkede yeni kurulacak ve mevcut olan arıtma sistemlerinde azot ve fosfor arıtımı için ilave maliyet ve optimizasyonlu arıtım verimi gerekli olmaktadır.

İleri Biyolojik Arıtma Sisteminde İşletme Giderleri: İşletmede olan ileri evsel atıksu arıtımında işletme maliyetini kapsayan kalemler aşağıdaki gibidir:

- Enerji giderleri: elektrik, doğal gaz vd.
- Kimyasal giderler: P gideriminde kullanılan kimyasallar
- Çamur şartlandırma için kimyasal giderleri: çamur susuzlaştırmada polimer+kireç
- Uzaklaştırma giderleri: çamur, katı atık vd. uzaklaştırma
- Onarım-bakım giderleri
- Personel giderleri
- Yönetim giderler: telefon, sigorta, posta vd.

Enerji ihtiyacı, havalandırma ile ilgili olup atıksudaki organik madde ve azot yükü ile belirlenmektedir. Kimyasal madde ihtiyacı, fosfor yüküne ve üretilen çamur miktarına bağlıdır. Bakım ve onarım maliyeti, yalnızca yük ile değil, sistemin kapasitesi ile de ilgilidir. Öncelikli olarak sistem organik madde yükünden de etkilenmektedir.

Tablo 10.3. N ve P giderimi olan evsel atıksu arıtma sisteminde işletme giderleri (50 000-200 000 kişi, sistem havasız çürütme içermektedir) (3).

Maliyet kalemleri	Tüketim		
	Aralık	Ortalama	Birim
Enerji (elektrik)	5-16	10	KWsaat/kişi-yıl
Kimyasallar (P için)	10-20	18	Mol metal/kişi-yıl
Çamur uzaklaştırma ^a	45-75	60	Kg susuz çamur/kişi-yıl
Onarım-bakım	0,5-1%	0,6%	İnşa maliyetinin% /kişi-yıl
Toplam personel ^b	0,08-0,15	0,12	Ortalama maaş /1000kişi-yıl
Diğer ³	-	15%	Masrafların %si

¹ çamur tutma+susuzlaştırma+kurutma+kompostlaştırmayı içerir.

² tüm işçi masrafları: işletme+laboratuvar+yönetim+idari+muhasebe+temizlik vd.

³ Çamur şartlandırma ve laboratuarda kullanılan kimyasallar+büro ihtiyaçları, sigorta, görev vd.

Tablo 10.4. Avusturya’da ileri evsel atıksu arıtma sistemi işletme giderleri (100 000 kişilik) (3).

	Tüketim (birim)	Birim fiyat (€)	€ kişi-yıl
Enerji (elektrik)	10kWhsaat/kişi-yıl	0,12	1,2
Kimyasallar (P)	18 mol/kişi-yıl	0,06	1,1
Çamur uzaklaştırma	60 kg/kişi-yıl	0,04	2,4
Onarım-bakım	İnşanın %0,6’Sİ	333	2
Toplam personel	0,12 ort/1000kişi-yıl	35	4,2
Diğer	%15	-	1,7
Top.işletme masrafı	-	-	12,5

Bu tabloda verilen hesaplarda kimyasal olarak demir klorür alınmıştır. $FeCl_3$ demir sülfattan 3 kat daha pahalı, alüminyum tuzundan 3 kat daha ucuzdur. Çamurun uzaklaştırmasındaki hesaplarda depolama alanlarına kabul fiyatları da hesaplara katılmıştır. Bu çalışmada bakım-onarım masrafları sistemin kurulma masraflarıyla orantılı olacak şekilde verilmiştir. Avusturya’daki 200 €/kişilik birim maliyet tasarım yüküne göre belirlenen fiyattır. Nitrifikasyon ve besi maddesi arıtımı için Avusturya’da ileri evsel atıksu arıtma sisteminin işletme masrafı, atıksu arıtımı, enerji ve fosfor çöktürmede kullanılan kimyasallar için en az 3 €/kişi-yıl’dır . Bu miktar toplam işletme masrafı olan 12-15 €/kişi-yıl’nın %20’sine denk gelmektedir. Arıtma sisteminin işletmesinde en masraflı kalem personel giderleridir. Bu tüm Avrupa Birliği ülkeleri için geçerlidir (Nowak, 2000)

İleri Biyolojik Arıtma Sisteminde Yatırım Maliyetleri: Atıksu arıtma sistemlerinde maliyet, işletme ve yatırım maliyetlerinin toplamı şeklinde hesaplanmaktadır. Tasarım ve yapım masrafları üç kategoride incelenebilmektedir.

- İnşaat mühendisliği
- Makine mühendisliği
- Elektrik mühendisliği

Almanya’da toplam yatırım maliyetinin %35’inin makine mühendisliği + kontrol + ekipmanlara yapılan harcamalar oluşturmaktadır. Kum filtre ağırlıklı sistem makine-alet teçhizata dayalı olup makine mühendisliği toplam fiyatın %40’ını, elektrik mühendisliği, alet ve kontrol miktarları %10’unu oluşturmaktadır. Kalan %50 kısım inşaat mühendisliği fiyatlandırmasını oluşturur.

Tablo 10.5. Altı Avrupa Ülkesindeki Atıksu Arıtma Sistemi Maliyeti (4).

Ülkeler	Anaerobik sistem sayısı	Yatırım Maliyeti		İşletme maliyeti		Yıllık toplam maliyet
		€€/kişi-yıl	Yıllık fiyat (%)	€/kişi-yıl	Yıllık fiyat(%)	
CH	4-6	32,5	59	23	41	55,5
D	3-6	28,5	55	23	45	51,5
DK	1-6	17	35	31,5	65	48,5
F	0-5	11,5	25	34,5	75	46
NL	3-6	20	50	20	50	40
I	2-5	10,5	34	20,5	66	31

Tablo 10.5’te verilen sonuçlar Avrupa’daki toplam 34 ileri atıksu arıtma sistemi ile ilgili ortalama sonuçları vermektedir. Almanya’da evsel arıtma sisteminin maliyeti aşağıda verilen parametrelerin arıtımı ile orantılıdır:

- Arıtılan birim kg azotun maliyeti: 5 – 7,5 €
- Arıtılan birim kg fosforun maliyeti: 12,5 -2 0 €
- Arıtılan organiklerin (KOI) kg maliyeti: 0,5 – 1 €

10.5 Çeşitli Sistemlerin İşletme Maliyetleri

Birçok İskandinav ülkesinde büyük arıtma sistemleri besi maddesini de giderebilecek şekilde düzenlenmekte veya iyileştirmektedir. Çalışmada İsviçre’de beş arıtma sistemi belirlenerek işletme maliyetleri verilmiştir. Bu sistemler:

- Sistem A: Atıksu arıtma = “N giderimi (oksik + anoksik) + Fosfor giderimi (havasız + demir sülfat)”

Çamur arıtma: mekanik yoğunlaştırıcı + havasız çürütme + susuzlaştırma

- Sistem B: Atıksu arıtma = “nitrifiye aktif çamur (metanol) + akışkan yataklı kum filtresinde son (post) denitrifikasyon + demir” ile fosfor giderimi.

Çamur arıtma: yoğunlaştırıcı + santrifüj + havasız çürütme + santrifüjde susuzlaştırma

- Sistem C: Atıksu arıtma = “kimyasal arıtma (Al + polimer) + havalı biyofiltre (BOI ve nitrifikasyon) + biyofiltre ile denitrifikasyon (metanol)”,

Çamur arıtma: mekanik yoğunlaştırıcı + havasız çürütme + filtrepreste susuzlaştırma

- Sistem D: “atıksu arıtma= nitrifikasyon-ön nitrifikasyon + demir sülfat + kum filtresi”,

Çamur arıtma: yoğunlaştırıcı + santrifüj + havasız çürütme + susuzlaştırma,

- Sistem E: “atıksu arıtma= aktif çamur-denitrifikasyon + damlatmalı filtre (nitrifikasyon) + fosfor giderimi (demir sülfat)”,

Çamur arıtma: yoğunlaştırıcı + havasız çürütme + susuzlaştırma.

Tablo 10.6. Kimyasal tüketimleri ve fiyatları (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Kimyasallar	FeSO ₄	FeSO ₄	PE+Alum	FeSO ₄	FeSO ₄
Kullanılan,mol/yıl	11,6	21	37,6	36,9	31,6
Kullanılan,mol/molP	0,44	1,1	1,67	1,44	1,48
Polimer, kg/yıl	-	-	0,056	-	-
Metanol, kgKOI/yıl	-	13,5	10,5	-	-
Metanol, kgKOI/kgN-yıl	-	3,69	3,34	-	-
Fiyat, € /yıl	0,29	2,71	4,5	0,45	0,39
Eşdeğeri, € /yıl	0,36	2,38	6,45	0,74	1,74

Sonda-denitrifikasyon ve kimyasal ön arıtmanın olması durumunda Sistem B ve C için kimyasallara yapılan harcama diğer sistemlerden fazladır.

Tablo 10.7. Çamur arıtmada kullanılan kimyasal tüketimi ve fiyatları (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Kimyasallar	polimer	polimer	Polimer+kireç	polimer	polimer
Kullanımı,g/yıl	145	82	84+7960	112	103
Kullanımı,kg/tonKM ^a	8	3,5	3,4+327	5,6	4,7
Fiyat, euro/yıl	0,9	0,24	1,12	0,28	0,31

^a toplam çamur (KM)

Sistem B, D ve E’de santrifüj kullanılmakta olup kimyasal fiyatları yaklaşık olarak benzerdir. Sistem A’da santrifüj kullanılmaktadır ancak kimyasal kullanımı fazla olduğu için maliyeti yüksektir. Presfiltreden önce kireç kullanıldığından maliyeti en yüksek sistemdir.

Tablo 10.8. Enerji kullanımı ve maliyeti (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Elektrik, kum tutucu, kWsaat/yıl	22,4	98,9	46,5	21	32,6
Elektrik, kWsaat/yıl	18,6	0	19,4	19,8	19,2
Top. elektrik, kWsaat/yıl	41	98,9	65,9	40,8	51,8
Diğer enerji harc., kWsaat/yıl	0	0	0	4,7	0
Elektrik fiyatı, €/MWh	56,2	42,1	33,5	52,6	47,3
Enerji harcaması, €/yıl	2,02	1,98	1,45	1,99	1,47

Sistem B'nin enerji gereksiniminin A ve D'den daha fazla olduğu bulunmuştur. B'de son denitrifikasyon mevcut olup akışkan yataklı sistem bulunmaktadır. Sistem C ağırlıklı olarak biyolojik filtre esaslı olup, aktif çamur sisteminden daha fazla enerji harcamaktadır. Sistem D enerjiyi yalnız ısıtma amacıyla kullanmaktadır.

Tablo 10.9. Personel ihtiyacı ve harcamaları (5).

	Sistem A	Sistem B	Sistem C	Sistem D	Sistem E
Toplam çalışan	18	41	39,4	39	55
İşletmede çalışan	17	31,3	30,6	37	40,4
Maaş+fazla mesai (maaşın %si)	1,5	5	8,6	5,9	18,6
adam-yıl	16,3	172	-	35,2	41,6
personel harcaması €/kişi-2.yıl	3,41	5,1	2,19	2,64	2,35
diğer hizmetler €/kişi-2.yıl	1,94	0,21	0,55	0,56	1,09

Akışkan yatak için, 0,5 adam-yıl kabul edilir.

Yukarıdaki tabloda arıtma sisteminde çalışan personel sayıları ve toplamı verilmektedir. İdari, laboratuvar, endüstriyel gözetmen, çamur uzaklaştırma ve pompa istasyonu ve ilgili toplama sisteminde çalışan tüm personel hesaplamalarda kullanılmıştır. Uzun süreli Ar-Ge personeli bunun dışında tutulmuş, doğrudan sistemle ilgili personeller dahil edilmiştir. Personel sayısı arıtma sistemi tipi, her bir ünitenin boyutu ve sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Sistem B de ihtiyaç duyulan adam-gücü dış hizmetlerden dolayı diğerlerine kıyasla oldukça fazla çıkmıştır.

Klasik biyolojik arıtma sisteminin maliyeti: Kore'deki 42 şehirde toplam 48 arıtma sistemi bulunmaktadır. Bunun 39'u klasik aktif çamur olup diğerleri uzun havalandırmalı aktif çamur, havasız lagün, oksidasyon hendeği ve DBD (döner biyolojik disk)'dir. Bu sistemlerde BOI, KOI ve AKM arıtılmaktadırlar. Söz konusu evsel atıksu arıtma sistemleri ile ilgili bilgiler Tablo 10.10'da verilmektedir.

Tablo 10.10. Arıtma sistemlerinin işletme masrafları (1992) (6).

Sistem sayısı	Sistem kapasitesi (1000 m ³ /gün)	Toplam fiyat (1000 \$/yıl)	Fiyat/m ³ (\$)
26	2 654 951	122 519	0,46

Klasik ve ileri biyolojik arıtma sistemlerinin kıyaslaması: Hollanda'da yapılan çalışmada üç kademeli biyolojik arıtma sisteminin yatırım maliyetinin klasik 2. kademe biyolojik arıtma sisteminin maliyeti ile karşılaştırılması tablo 10.11'de verilmiştir. Üç kademeli reaktörün ilk kademesinde biyolojik fosfor ve KOI giderimi yapılmakta olup ikinci reaktör biyofilm esaslı nitrifikasyon, üçüncü reaktör ise gene biyofilm esaslı denitrifikasyon reaktörüdür.

Tablo 10.11. 100 000 kişi kapasiteli atıksu arıtma sistemi yatırım maliyeti değerleri (€) (7).

	Klasik sistem ^a	Üç-kademeli sistem
Yatırım maliyeti, toplam	21 100 000	19 600 000
Yatırım maliyeti/kişi	465	432
Yıllık maliyet, toplam	4 000 000	4 206 000
Yıllık maliyet/kişi	40	42
Gerekli asgari alan (m ²)	20 000	7 500

¹çok düşük yüklemelerde ve geri besleme akımlarında çalışan oksidasyon hendeği.

Verilen maliyet hesapları arazi bedelini içermemektedir. Kıyaslama Hollanda'da çok sık rastlanan düşük yüklemelerde çalışan oksidasyon hendeği ile yapılmıştır. Üç kademeli sistem oksidasyon hendeğinin kapladığı alanın %40'ını kaplamaktadır.

Tablo 10.12'de iyileştirilmiş ve geliştirilmiş uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin maliyet bilgileri verilmektedir. Bu sistemde nitrifikasyon ve denitrifikasyon için anoksik ve aerobik alanlar oluşturulmakta ve reaksiyonlar aynı anda meydana gelmektedir. Bu sisteme konvansiyonel olmayan sistem denilmektedir. İşletme masraflarındaki düşüş, çözülmüş oksijen konsantrasyonu nedeniyle elektrik enerjisindeki tasarruftan kaynaklanmaktadır.

Tablo 10.12. Ön-denitrifikasyon ve konvansiyonel olmayan sistemler için fiyat kıyaslaması (8).

	Önde denitrifikasyon sistemi	Konvansiyonel olmayan sistem
Yatırım maliyeti (\$)		
Oksidasyon reaktörü	764 700	1 117 647
Denitrifikasyon	588 235	-
Havalandırma sistemi	400 000	276 470
Geri besleme	105 882	-
Dalgıç karıştırıcı	188 235	-
Diğer ¹	6 541 176	6 541 176
TOPLAM	8 588 235	7 935 294
İşletme Masrafları (\$/yıl)		
Elektrik enerjisi	705 882	352 941
Diğer ¹	887 058	887 058
TOPLAM	1 588 235	1 240 000

¹ Diğer: Kimyasallar, çamur uzaklaştırma, onarım, personel.

Tablo10.13’de N ve P arıtılabilecek şekilde değiştirilen ve geliştirilen biyolojik azot giderimi esaslı VIP prosesinin fiyat analizini vermektedir.

Tablo 10.13. VIP prosesi bilgileri (9).

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4	Sistem 5
Yapım maliyeti (\$)	53 900 000	65 634 000	250 000	-	36 000 000
İşletme maliyeti (\$)	3 261 560	4 546 068	2 021 448	3 616 620	2 932 480
Kapasite, m ³ /gün	113 500	151 400	8 327	56 775	68 130
B&O ¹ fiyatı(\$)/yıl	3 262 560	4 546 068	2 021 448	2 190 000	2 932 480
B&O/1000m ³ /gün	28 724	30 027	242 758	38 573	43 042

¹ B&O: Bakım ve Onarım

Tablo 10.13 verilen Sistem 3 küçük olmasına rağmen bakım ve işletme giderleri açısından daha masraflı olmaktadır. Fosforun arıtımında kimyasal çöktürme metodundan biyolojik metoda geçilmesi sonucu işletme masraflarında yılda 68 000 \$ kar edilmiştir (Randal, 2000). Ancak bu sistemlerin devreye alınmasında problemlerle karşılaşmıştır. Fosfor arıtım veriminin atıksu girişindeki BOI/TP oranı ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

10.6 Türkiye’den örnekler

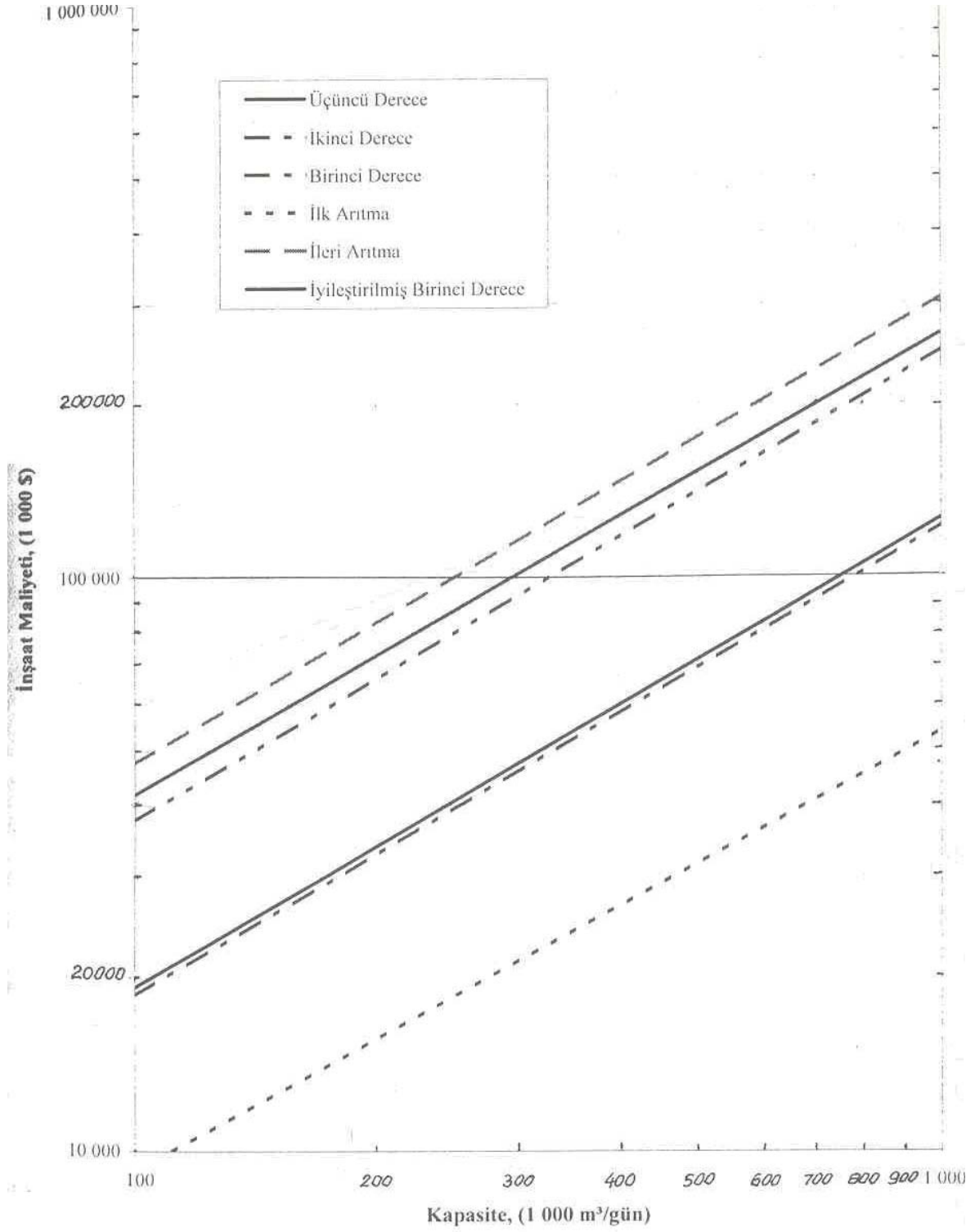
Genelleştirilmiş İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri (10)

Atıksu Arıtımı: İnşaat ve yıllık işletme ve bakım için genelleştirilmiş arıtma tesisi maliyet eğrileri Tablo 10.14’de verilen bilgilerin kendi içindeki ilişkileri kullanılarak üretilmiş ve sırasıyla Şekil 10.1’de ve 10.2’de gösterilmiştir. Değişik temel işlemleri ve bileşenlerini esas alan beş farklı arıtma derecesi için bunlar şu şekilde verilmiştir:

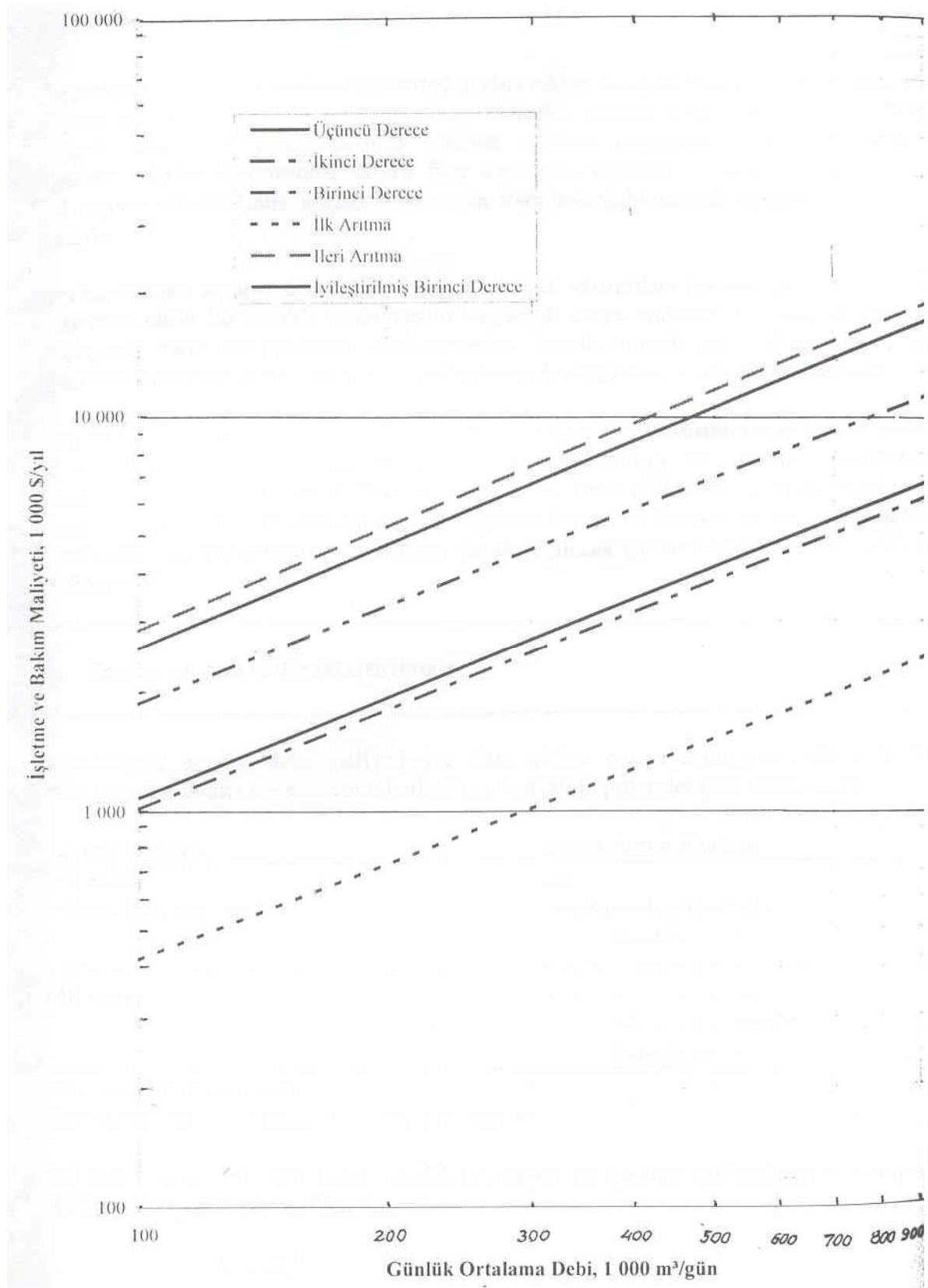
- İlk arıtma, giriş terfi merkezi, debi ölçümü, ızgaradan geçirme, kum giderme ve genel olarak binalar ve saha tanzimi kalemlerinden oluşan maliyetleri kapsamaktadır.
- Birinci derece arıtma, ilk arıtmadaki maliyet kalemlerinin yanı sıra, ilk çöktürme, klorlama ve çamurun kendi halinde bekletilerek yoğunlaştırılması, havasız çürütme ve bant filtrelere su giderme maliyetlerini de kapsamaktadır.
- Bardenpho prosesi ile besi maddelerinin giderildiği ileri kademe arıtmadaki aktif çamur prosesi ile aynı temel işlemleri taşımaktadır; ancak, prosese nitrifikasyon ve denitrifikasyon için anoksik arıtma kademeleri ilave edilmiştir. Şekillerde gösterildiği gibi, üçüncü derece arıtmanın ilave edilmesi, maliyette çok az artış meydana getirmektedir. İzafi olarak küçük maliyet artışı sebebi ise İstanbul’un atıksu arıtma tesislerinin ilave besi maddesi giderimi üniteleri düşünülerek tasarımlarının yapılmış veya yapılacak olmasıdır ve besi maddesi giderimi ünitelerini ilave etmek nispeten kolaydır.
- İleri arıtmada, besi maddesi giderimine ilaveten filtrasyon kademesi de eklenmiştir.

İşçilik, enerji, malzeme, kimyasal maddeler için harcamalar ABD’deki genel deneyimlerden faydalanılarak ayrı olarak, yıllık işletme ve bakım maliyetleri ise her bir temel işlemin maliyetlerinin toplanması ile geliştirilmiştir. Yerel birim fiyatlar bu tahminlere uygulanmış ve özellikle işgücü ile ilgili fiyatlar ve uygulamalar dikkate alınmıştır.

Birincil ve biyolojik arıtma arasında bir ara arıtma kademesi niteliği taşıyan iyileştirilmiş birincil arıtma özellikle ele alınmıştır. Pıhtılaştırma ve katı maddelerin çökeltilmesini sağlamak için kimyasal madde ilave edilmesi BOI gideriminde düşük maliyetli bir proses olduğu görülmüş olup, biyolojik arıtma ile karşılaştırıldığında tasarruf sağlayabilecektir. Gelecekteki deniz modelleme çalışmaları, belli arıtma tesisleri deşarjları için BOI yüklerinin belli bir limit dahilinde sınırlanması gerektiğini gösterebilir. Bu limit, arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi açısından birincil ve biyolojik arıtma arasına düştüğü takdirde, iyileştirilmiş birincil arıtma yeniden değerlendirilmelidir.



Şekil 10.1. Atıksu Arıtma Tesisleri için İnşaat Maliyetleri (1998 yılı ortası) (10).



Şekil 10.2. Atıksu Arıtma Tesisleri için Yıllık İşletme ve Bakım Maliyeti (1998) (10).

Tablo 10.14. Arıtma maliyetlerinin hesap şekli (10).

$$\text{Arıtma Tesisleri İnşaat Maliyetleri (Milyon \$)} = a (\text{Kapasite (1000 m}^3/\text{gün)})^b$$

	İlk Arıtma	Birinci derece	İyileştirilmiş birinci derece	İkinci derece	Üçüncü derece	İleri arıtma
a	0,330	0,530	0,552	1,060	1,274	1,378
b	0,770	0,818	0,816	0,820	0,803	0,813

$$\text{Arıtma Tesisleri Yıllık İşletme ve Bakım Maliyeti (Milyon \$)} = a (\text{Arıtılan Debi (1000 m}^3/\text{gün)})^b$$

	İlk Arıtma	Birinci derece	İyileştirilmiş birinci derece	İkinci derece	Üçüncü derece	İleri arıtma
A	0,011	0,023	0,024	0,045	0,0488	0,054
B	0,793	0,8195	0,827	0,81	0,8623	0,863

$$\text{Arıtma Tesisleri Yenileme Maliyetleri (Milyon \$)} = (\text{İnşaat maliyeti} * 0,2)$$

Hizmet süresi : 20 yıl

Mekanik&Elektrik : %20

$$\text{Arıtma Tesisi Hurda Değeri (Milyon \$):}$$

$$((\text{İnşaat yılı} + 50 - 2040)/50) * \text{İnşaat Maliyeti}$$

Borular ve Diğer Malzemeler

$$\text{Yenileme maliyeti (Milyon \$)} = \text{Ardışık Toplam (Yeni Tesisler)} * 0,02$$

$$\text{Yıllık işletme ve Bakım Maliyeti (Milyon \$)} = \text{Ardışık Toplam (Yeni Tesisler)} * 0,006$$

İnşaat için genelleştirilmiş maliyet eğrilerinden elde edilen sonuçlar İstanbul'daki arıtma tesisleri için yerel maliyet tahminleri ve halen inşa halindeki arıtma tesislerinin ihale fiyatları ile karşılaştırılmıştır. Bu genelleştirilmiş maliyet eğrileri planlama amacına yönelik yerel maliyetlerin tahmin edilmesinde yeterli fikir vermekte, kapasite ve arıtma derecelerine göre çeşitli seçenekler dahilinde arıtma tesislerinin karşılaştırılabilmesine uyumlu bir esas teşkil etmektedir.

Atıksu kanallarına ve arıtma tesislerine yapılan büyük yatırımları korumak ve biyolojik arıtma proseslerinin etkin bir şekilde işletilmesini sağlamak üzere endüstriyel atıksu ön-arıtmasının kontrolü için etkin bir program gerekmektedir. Ancak, burada endüstriyel atıksu kontrol programının kurumsal yapıda gelişmesi için herhangi bir özel maliyet dahil edilmemiştir.

Arıtma tesisindeki çamur işleme tesisi maliyeti, tesis için genelleştirilmiş yatırım maliyeti içine dahil edilirken (Şekil 10.1 ve 10.2), çamur uzaklaştırma ve işletme maliyetleri ise genelleştirilmiş işletme ve bakım maliyetleri içerisine dahil edilmiştir. Çalışma alanına özgün

alternatif çamur yönetim planlarının ayrı bir değerlendirmesi ile birlikte, arıtma yeri için bireysel maliyet tahminleri yapılmamıştır. Bu nihai olarak seçilecek çamur yönetim stratejisine bağlıdır.

Çamur Arıtımı ve Uzaklaştırılması: Genelleştirilmiş arıtma tesisi maliyetlerine ilave edilen çamur arıtma sistemlerinde, Master Plan'da önerilen arıtma derecelerinin her biri için aşağıdaki prosesler esas alınmaktadır:

Arıtma derecesi	Çamur Arıtma Yöntemi
İlk arıtma	yok
Birinci derece arıtma	yerçekimi ile yoğunlaştırma Bant filtre ¹
İkinci derece arıtma, üçüncü derece arıtma	Yerçekimi ile yoğunlaştırma
İleri Arıtma	Yüzdürme ile yoğunlaştırma Havasız çürütme ² Bant Filtre ²

¹Birinci derece arıtmaya yönelik

² Birinci derece arıtmaya ve aktif çamur sistemlerine yönelik

Genel arıtma tesisi maliyeti içinde öngörülen inşaat ve işletme maliyetlerinin ayrılması için aşağıdaki fonksiyon kullanılabilir:

$$C = AQ^b \quad 10.1$$

Bu denklemde Q, m³/gün cinsinden ortalama atıksu debisi ve C 1000 \$ cinsinden, tahmini çamur maliyeti olmak üzere çeşitli arıtma dereceleri için aşağıdaki katsayılar uygulanmaktadır:

İnşaat Maliyetleri:

Birinci kademe arıtma A: 28 8519 ; b: 0,6463

İkinci kademe ve daha üstü A: 174 8472 ; b: 0,7384

Yıllık İşletme ve Bakım Maliyetleri:

Birinci kademe Arıtma A: 0,5554 ; b: 0,8653

İkinci kademe ve daha üstü A: 2,3851 ; b: 0,8518

Atıksuların Toplanması: Tali atıksu kanalları, kuşaklama kolektörleri, tüneller ve basınçlı hatlar için geliştirilen genel maliyet eğrileri Şekil 10.3- 10.6 ve Tablo 10.15 – 10.18'de verilmiştir. Bu maliyet eğrileri öncelikle yerel birim fiyatlara ve inşaat ihalelerinde verilen fiyatlara dayanmakta ve 1993 yılı ortalarındaki fiyatları yansıtmaktadır. Bunların USD cinsinden olması günümüz (1998/99) planlama amaçları için hala uygun kabul edilmekte, çünkü bu süre zarfında USD enflasyonunun ortalaması (Merkez Bankası tarafından yayınlanan resmi dolar deflatör endekslerine göre %15) USD bazındaki maliyetlerdeki düşüşle durma eğilimini göstermektedir. Bu durumu doğrulamak üzere fiyatlar en son tekliflerle kontrol edilmiştir. Gösterilen maliyetler sadece inşaatı içermekte, mühendislik

hizmetleri, beklenmedik masraflar ve vergileri kapsamamaktadır. Pompa istasyonları için inşaat maliyetleri, İstanbul sisteminde daha önce projelendirilmiş istasyonlar için yapılan maliyet tahminlerinden geliştirilmiştir.

Atıksu kanalizasyon birim maliyetleri baca ve baca kaplamalarını, boruları, birleşimleri, kazıları, döşemeyi, dolguyu, ulaşım ve sınıra kadar olan tali bağlantıları içerir. Tahminlerde, kaplamasız alanlar için olan değerler kullanılmıştır.

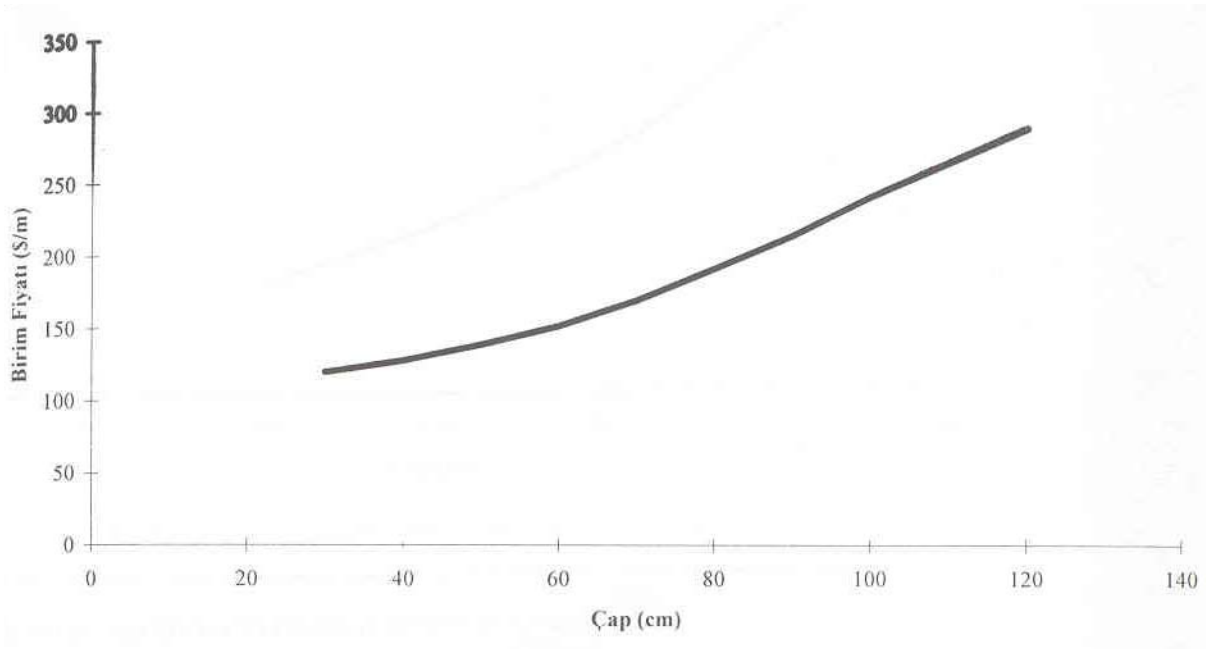
Yerel atıksu kanalizasyonu tali kanallar için inşaat maliyetleri, bacaların fiyatını, bağlantılarını (mülkiyet sınırına kadar), yol ve kaldırımların eski haline getirilmesi dahil kanalın beher metresi için 150 \$ olarak tahmin edilmiştir. Yerel tali yağmursuyu drenajı için inşaat maliyetleri, yağmursuyu kanalının beher metresi için 200 \$ olarak tahmin edilmiştir. Bu değerler, mühendislik hizmetleri, beklenmedik masraflar ve vergileri kapsamamaktadır. Atıksu kolektörleri ve yağmursuyu kanalları bilgisayar destekli tasarım yöntemine dayanarak, baca sayısını, kolektör veya kanal boyunca kazı derinliğini de dikkate alan, detaylı bir maliyet araştırması yapılarak tahmin edilmiştir.

Atıksu kanalları ve diğer borular için yıllık işletme ve bakım maliyeti, söz konusu atıksu kanalı veya boru hattının yatırım maliyetinin %0,6'sı olarak tahmin edilmektedir. Yıllık yenileme maliyeti ilk yatırım maliyetinin %2'si olarak düşünülmektedir; ancak yenileme 20 yıl sonra uygulanacaktır.

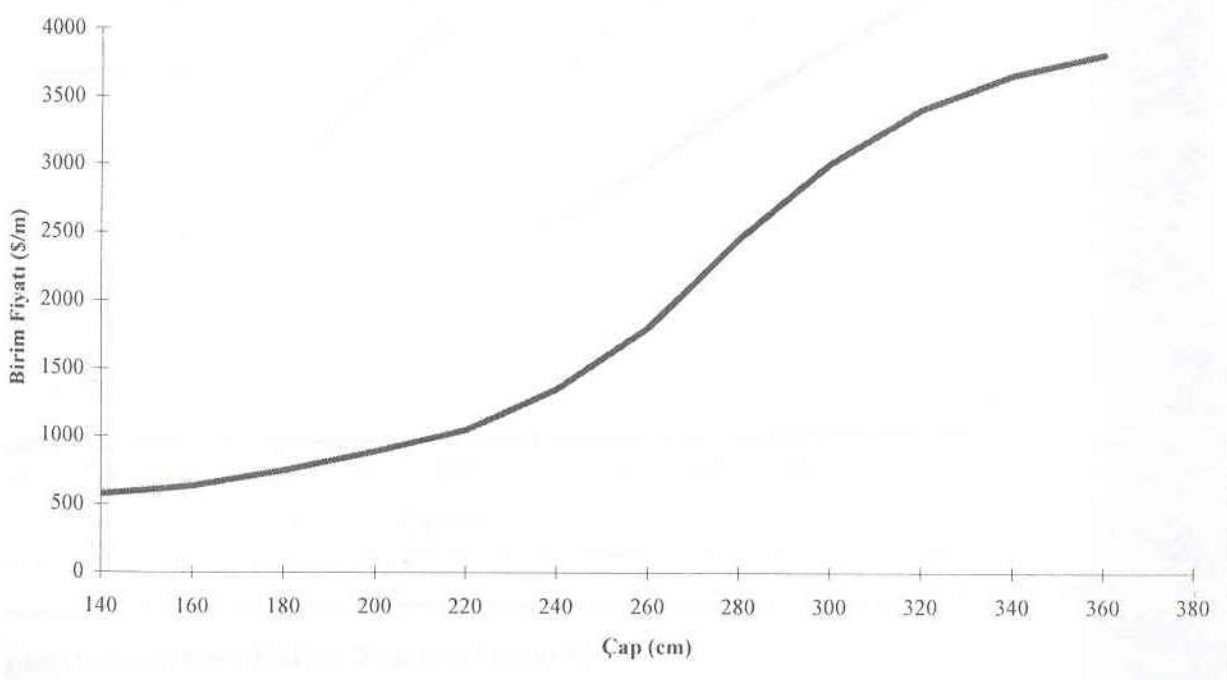
Tablo 10.15. Tali Atıksu Kanallarının Temin ve İnşaat Birim Fiyatları (1998 ortası) (10).

Çap (cm)	Birim	Kaplamasız alanlarda(\$)	Kaplamalı alanlarda (\$)	Malzeme cinsi
30	m	120	128	Beton
40	m	128	137	Beton
50	m	139	149	Beton
60	m	147	158	Beton
70	m	191	203	Betonarme
80	m	201	214	Betonarme
90	m	234	248	Betonarme
100	m	246	261	Betonarme
120	m	280	297	Betonarme

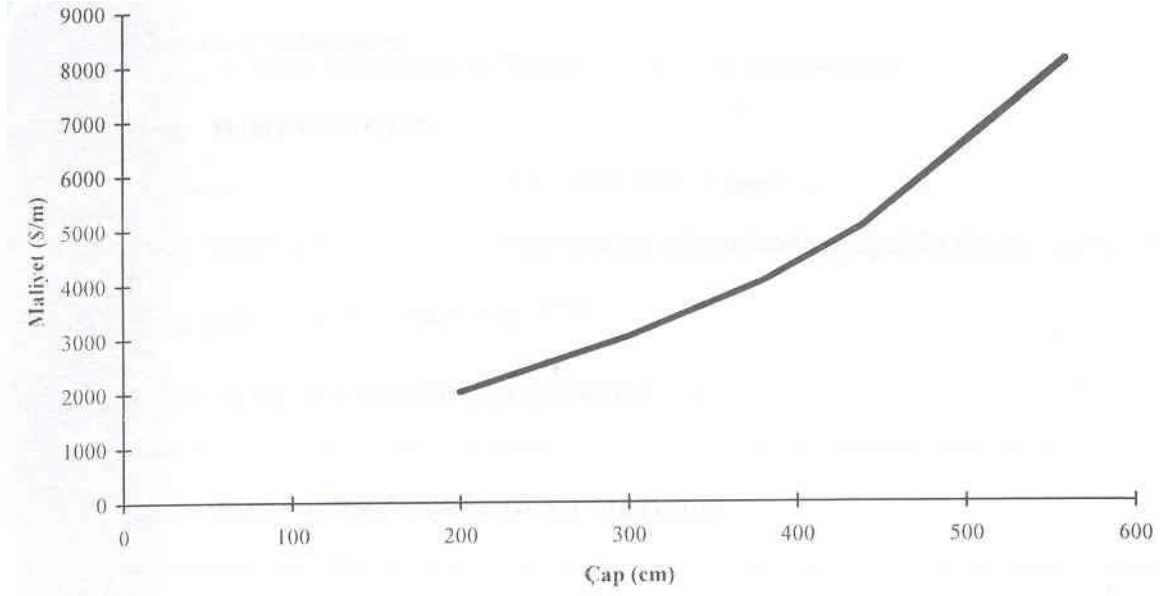
Not: yukarıdaki fiyatlara baca maliyeti, borular, fittingler, kazı, yataklama, yerleştirme, dolgu, taşıma ve mülkiyet hududuna kadar ev bağlantıları dahil, mühendislik ve beklenmeyen giderler ile vergiler hariçtir. Maliyet hesaplarında kaplamasız alan fiyatları kullanılmıştır.



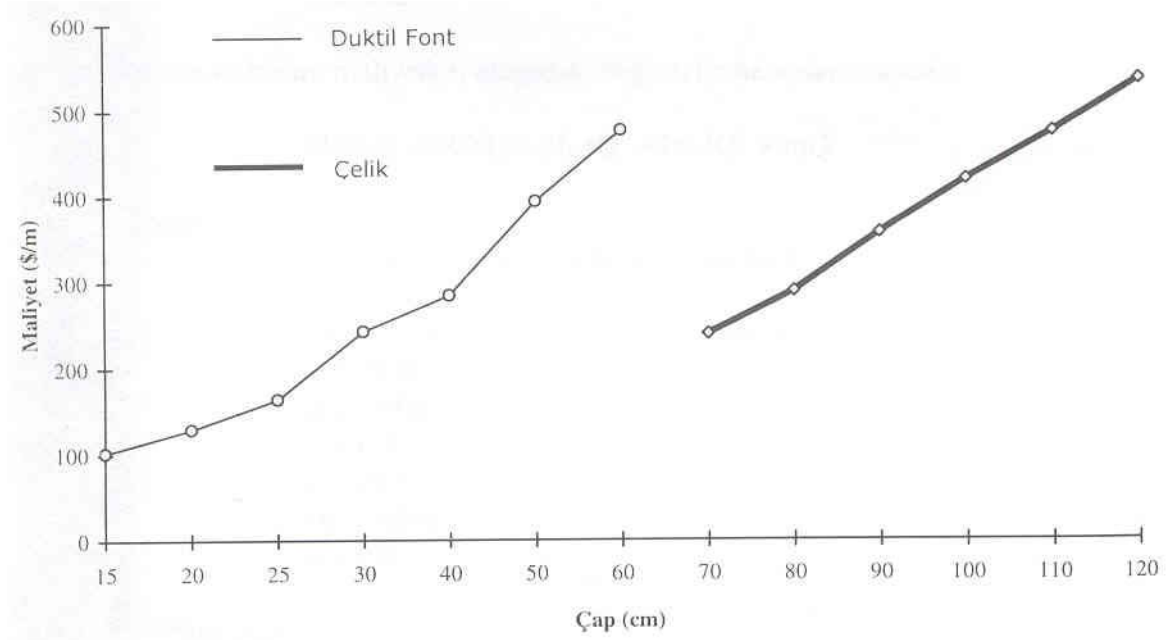
Şekil 10.3. Tali atıksu kanallarının temin ve inşaat birim fiyatları (1998 yılı ortası) (10).



Şekil 10.4. Kolektörlerin temin ve inşaat birim fiyatları (1998 yılı ortası).



Şekil 10.5. Tünellerin inşaat birim maliyetleri (1998 yılı ortası) (10).



Şekil 10.6. Atıksu basınçlı boru hatları temin ve inşaat birim tahmini maliyetleri (1998 yılı ortası) (10).

Tablo 10.16. Kolektörlerin Temin ve İnşaat Birim Fiyatları (Kaplamasız Alanlar; 1998 ortası)(10).

Çap (cm)	Birim	Birim Maliyet (\$)	Malzeme cinsi
140	m	575	Betonarme
160	m	637	Betonarme
180	m	724	Betonarme
200	m	826	Betonarme
220	m	1 047	Betonarme
240	m	1 350	Betonarme
260	m	1 748	Betonarme
280	m	2 500	Betonarme
300	m	3 000	Betonarme
320	m	3 500	Betonarme
340	m	3 650	Betonarme
360	m	3 800	Betonarme

Tablo 10.17. Tünellerin İnşaat Birim Maliyetleri (1998 ortası) (10).

Çap (cm)	Birim	Birim Maliyet (\$)	Malzeme cinsi
200	m	2 000	Betonarme
300	m	3 000	Betonarme
380	m	4 000	Betonarme
440	m	5 000	Betonarme
480	m	6 000	Betonarme
520	m	7 000	Betonarme
560	m	8 000	Betonarme

Tablo 10.18. Atıksu Basınçlı Boru Hatları Temini ve İnşaatı için Tahmini Birim Maliyetleri (1998 ortası) (10).

Çap (cm)	Birim	Birim Maliyet (\$)	Malzeme cinsi
15	m	102	Düktül Font
20	m	129	Düktül Font
25	m	164	Düktül Font
30	m	243	Düktül Font
40	m	284	Düktül Font
50	m	393	Düktül Font
60	m	476	Düktül Font
70	m	239	Çelik
80	m	288	Çelik
90	m	356	Çelik
100	m	418	Çelik
110	m	474	Çelik
120	m	534	Çelik

Deniz Deşarjları: Deniz deşarjı hatlarının birim maliyetlerinin hesabında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Birim maliyet (\$/m)} = 3426,6 e^{0,441D} \quad 10.2$$

Burada D, metre cinsinden çapı göstermekte olup boru cinsi .

Terfi Merkezleri için Genel Maliyetler: Terfi merkezleri için geliştirilmiş yatırım maliyeti aşağıdaki formüle göre ABD ve Dünya Bankası yöntemlerine uygun olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Maliyet (1000 \$)} = aQ^b \quad 10.3$$

Burada,

$$\begin{aligned} Q &= 1000 \text{ m}^3/\text{gün olarak ortalama debi,} \\ a &= 54,3 \\ b &= 0,82 \end{aligned}$$

İşletme ve bakım maliyetleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Maliyet (1000 \$)} = bf_1 eQ^n + bf_2 lQ^r + mQ^s \quad 10.4$$

Burada,

$$\begin{aligned} Q &= 1000 \text{ m}^3/\text{gün olarak ortalama debi} \\ bf_1 &= \text{enerji birim fiyatı} \\ bf_2 &= \text{günlük işçilik birim fiyatı (teknisyen)} \\ e &= 19,8 \\ n &= 0,909 \\ l &= 154 \\ r &= 0,55 \\ m &= 1,086 \\ s &= 0,82 \end{aligned}$$

göstermektedir.

Kullanılan katsayılar Türkiye şartlarına uygundur. Atıksu terfi merkezleri için indirgenmiş nakit akışı analizlerine göre, 50 yıllık işletme dönemi, analiz edilmiş ve elektro-mekanik ekipmanların 20 yılda bir yenilenmesi kabul edilmiştir (IMC, 1999).

KAYNAKLAR

1. Soli J. Arceivala, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
2. Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill international Editions.
3. O.Nowak, 2000. “Expenditure on the operation of municipal wastewater treatment plants for nutrient removal” Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:281-288.
4. H.Bode and T.Grünebaum, 2000. “The cost of municipal sewage treatment-structure, origin, minimizaitaion-methods of fair cost comparison and allocation”, Water Science and Technology, Vol. 41, No:9, pp:289-298.
5. P.Balmer, 2000. “Operation cost and consumption of resources at Nordic nutrient removal plants”, Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:273-279.
6. I.S.Kim, J.Y.Ryu and J.J.Lee, 1996. “Status of construction and operation of large wastewater treatment plants in south Korea”, Water Science and Technology, Vol.33, No:12, pp:11-18.
7. E.H.Marsman, P.J.Roeleveld and J.H.Rensink, 1997. ”High nutrient removal in the three-sludge sewage treatment system: results and economic evaluation”, Water Science and Technology, Vol.35, No:10, pp:129-136.
8. C.Collivignarelli and G.Bertanza, 1999. “Simultaneous nitrification-denitrification processes in activated sludge plants:performance and applicability”, Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:21-28.
9. C.W.Randall and E.U.Çokgör, 1999. “Performance and economics of BNR plants in the Chesapeake Bay Watershed, USA”, Water Science and Technology, Vol.41, No:9, pp:21-28.
10. IMC İstanbul Master Plan Konsorsiyumu (1999)