

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN OPTİMUM EKONOMİK ANALİZİ
ALANYA MAHMUTLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ ÖRNEĞİ**

Emre KARAKOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

2010

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN OPTİMUM EKONOMİK ANALİZİ
ALANYA MAHMUTLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ ÖRNEĞİ**

Emre KARAKOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

2010

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN OPTİMUM EKONOMİK ANALİZİ
ALANYA MAHMUTLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ ÖRNEĞİ**

Emre KARAKOÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**Bu tez 28/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (.....) not takdir edilerek
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN.....
(Danışman)**

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA.....

Prof. Dr. Osman TUTKUN.....

ÖZET

EVSEL ATIKSU ARITMA TESİLERİNİN OPTİMUM EKONOMİK ANALİZİ ALANYA MAHMUTLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ ÖRNEĞİ

Emre KARAKOÇ

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN

Ocak 2010, 91 Sayfa

Bu çalışmada Alanya Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisinden yola çıkılarak özellikle turizm bölgelerinde evsel kaynaklı atıksuların yeniden kullanılması konusunda çevre mühendisliği açısından ekonomik analizler yapıldı. Tesisin ilk yatırım ve işletme masrafları göz önüne alınarak tesisten çıkan arıtılmış suyun kullanılabilirliği konusunda ilave ekipmanların senaryoları ile Excel tabanlı hesaplamalar yapıldı. Tesis yatırımının şimdiki değeri ile ilave ekipmanların maliyetleri, geri kazanılan arıtılmış sudan paulownia plantasyonu yetiştirilmesi sonucu oluşan ürünlerle gelir eldesi senaryosuyla yatırımın geri ödeme süresi bulundu. Fayda maliyet analizi yapılarak sürdürülebilir ekonomi ve çevresel mantığın birbiri ile uygunluğu ekonomik analizle gözlemlendi.

Evsel atıksu arıtma proseslerinde yeni teknolojilerin desteklenmesi, arıtılmış atıksuların yeniden kullanılıp ülke ekonomisine kazandırılması ve Paulownia gibi değerli ağaçların ekimin yaygınlaştırılmasının faydalı olacağı konusunda sayısal olarak tespitler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Atıksuların Arıtılması, Yeniden Kullanma, İleri Arıtma, Membran Biyoreaktör, Paulownia, Ekonomik Analiz

JÜRİ: Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Prof. Dr. Osman TUTKUN

ABSTRACT

OPTIMUM ECONOMICAL ANALYSIS OF WASTE WATER TREATMENT PLANTS

ALANYA MAHMUTLAR WASTE WATER TREATMENT PLANT

Emre KARAKOÇ

Master Thesis, Department of Environmental Engineering

Adviser: Asst. Prof. Dr. Niyazi DEMİRCAN

January 2010, 91 pages

Within this study some economical analysis accomplished regarding reusing treated waste waters in subject of Environmental Engineering in Alanya Mahmutlar Waste Water Treatment Plant and especially in tourism district. The availability of treated water coming out of the plant in the scenario of additional equipment and Excel-based calculations were performed by taking into consideration initial investments and operating costs of the plant. Repayment period of the investment and cost benefit analysis was performed for the present value of plant investments and costs of additional equipments with revenue scenario of the product as a result of breeding Paulownia plantations by treated recycled water. Compliance with economic and environmental logic together was observed with economical analysis.

Numerically detection have been made about supporting new technologies of wastewater treatment processes, recovering of treated wastewater back to the national economy and the benefits of spreading planting trees such as valuable Paulownia tree.

Keywords: Wastewater Treatment, Reuse, Advanced Treatment, Membrane Bioreactor, Paulownia, Economic Analysis.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Niyazi DEMİRCAN

Prof. Dr. Bülent TOPKAYA

Prof. Dr. Osman TUTKUN

ÖNSÖZ

Hızlı nüfus artışı, küresel ısınma ve hızlı sanayileşmenin sonuçları arasında su kaynaklarının hızlı bir şekilde kirletilmesi ve bu kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesi gelmektedir.

Yapılan bu çalışmada, atıksu arıtma tesislerinden çıkan ekonomik potansiyeli yüksek milyonlarca metreküp arıtılmış suyun; deniz, göl ve akarsu gibi alıcı ortamlara gelişi güzel deşarjı yerine bu suların ilerleyen teknolojilerin takip edilip uygun arıtma yöntemleri ile arıtılarak yeniden kullanılmasının yaygınlaştırılmasında ve ülke ekonomisine kazandırılmasında katkı sağlayacağı kanısındayım.

Halen günümüzde çevre mühendisliği bölümü müfredatlarında bulunan deniz deşarjı dersinin kaldırılması ve yerine atıksuyun yeniden değerlendirilme teknolojilerini konu alan bir dersin konulması hususunda ilgililerin dikkatini çekmek isterim.

Sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir çevre yönetimi kavramlarının birbiri ile ne denli örtüştüğünü göstermek için bu çalışmada evsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış suların alıcı ortamlara boşu boşuna deşarj edilmesi yerine, mevcut tesislere uygun ekipmanlar temin edilerek arıtılmış suyun yeniden kullanılması ve bu sayede tatlı su kaynakları üzerine yapılmış baskının azaltılması ve içmesuyu kaynaklarının korunarak ekonomik tasarrufun ve gelirlerin gözler önüne serilmesi hedeflenmiştir.

Bu tezi yazmamda bana sonsuz destekleriyle bu konuda çalışma fırsatını veren tez yöneticim Yrd. Doç. Dr. Niyazi DEMİRCAN'a, maddi ve manevi desteği ile sürekli arkamda varlığını hissettiğim canım anneannem Fikriye YUMUK'a, verilere ulaşmam konusunda yardımlarını esirgemen TURAŞ Turizm ve Ticaret A.Ş. Altyapı İşletmeler Müdürü Çevre Müh. Fatih SERTER'e, Mahmutlar Belediyesi Atıksu Arıtma Tesis İşletme Sorumlusu Çevre Yük. Müh. Sezen İŞÇİ'ye, Oba Atıksu Arıtma Tesis İşletme Sorumlusu Çevre Müh. İ. Ferit GÜNGÖR'e, Çevre ve Orman Bakanlığı Uzman Yardımcısı Hasan AYAZ'a ve bu çalışmalarımın devamı konusunda tetikleyici rol üstlenen şantiye şefim İnşaat Müh. Sn. İskender İTAH'a ve canım arkadaşım Çevre Müh. Zehra ALAKAVUK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI	3
2.1. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri	3
2.2. Türkiye’de Atıksu Yönetimi	7
2.3. Atıksu Arıtma Tesisi Maliyetleri	12
2.4. İleri Arıtma Teknolojilerinden Membran Biyoreaktör	20
2.4.1. MBR’lerin konvansiyonel sistemlere göre avantajları	23
2.4.2. MBR’lerin genel dezavantajları	24
2.5. Atıksuların Yeniden Kullanılması	29
2.5.1. Arıtılmış suların yeniden kullanım alanları	29
2.5.2. Dünya’da atıksuların yeniden kullanılması	30
2.5.3. Türkiye’de atıksuların yeniden kullanımı	34
2.5.4. Arıtılmış suların tarımda sulama suyu olarak kullanılmasına etki eden faktörler	35
2.5.5. Arıtılmış atıksuların sulama suyu kalite kriterleri	38
2.6. Paulownia Ağacı ve Paulownia’nın Çevresel - Ekonomik Yararları	41
3. MATERYAL ve METOD	49
3.1. Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi Genel Bilgiler	49
3.2. Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi Üniteleri	50
3.3. Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Kalitesi	57
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	60
4.1. Giderler	60
4.1.1. Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti	60

4.1.2. Mahmutlar atıksu arıtma tesisi birim işletme maliyeti.....	61
4.1.3. İleri arıtma teknolojileri ilk yatırım maliyetleri.....	63
4.1.4. İleri arıtma teknolojileri birim işletme maliyetleri.....	66
4.1.5. Paulownia ağacı ile ilgili ilk yatırım maliyetleri.....	68
4.2. Gelirler	69
4.2.1. MDF tabakası geliri.....	69
4.2.2. Paulownia ağacından taşıyıcı palet geliri	69
4.2.3. Bal üretim geliri	70
4.2.4. Diğer gelirler	70
4.3. Senaryo 1.....	73
4.4. Senaryo 2.....	80
5. SONUÇ	86
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Be	: Berilyum
cm	: Santimetre
Ca	: Kalsiyum
g	: Gram
ha	: Hektar
K	: Potasyum
kg	: Kilogram
km ³	: Kilometreküp
kW	: Kilowatt
log	: Logaritmik
mm	: Milimetre
m ³	: Metreküp
N	: Azot
Na	: Sodyum
NH ₄ ⁺	: Amonyum İyonu
NO ₃ ⁻	: Nitrat iyonu
NTU	: Bulanıklık birimi
P	: Fosfor
S	: Kükürt
SO ₄ ²⁻	: Sülfat iyonu
TL	: Türk Lirası
USD	: Amerikan Doları
Zn	: Çinko
°C	: Santigrat
Q	: Debi
\$	: Amerikan Doları
€	: Euro
µm	: Mikrometre
%	: Yüzde

Kısaltmalar

A.A.T.	: Atıksu Arıtma Tesisi
A.C.	: Aktif Çamur Prosesi
An.stab.	: Anaerobik Stabilizasyon
D.F.	: Denitrifikasyon
DIN	: Almanya Standartları
DK	: Dış Kaynak
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
Dresdner	: Alman Finans Kuruluşu
DSİ	: Devlet Su İşleri
ESKİ	: Eskişehir Su ve Kanalizasyon İdaresi
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
GASKİ	: Gaziantep Su ve Kanalizasyon İdaresi
HRT	: Hidrolik Bekleme Süresi
İsp. FAD	: İspanyol Kredi Kuruluşu
İ.B.	: İller Bankası
KfW	: Alman Kredi Kuruluşu
MBR	: Membran Biyoreaktör
MLSS, AKM	: Askıda Katı Madde
N.G.	: Azot Giderim Prosesi
O.H.	: Oksidasyon Havuzu
ÖÇK	: Özel Çevre Koruma Kurumu
Ö.K.	: Öz Kaynak
SAĞ.FY.	: Sağlanan Faaliyetler
SRT	: Fazla Çamur Yaşı
S.H.	: Stabilizasyon Havuzu
Top.	: Toplam
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
U.A.C.	: Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesi
World Bank	: Dünya Bankası
+K,_k	: Kimyasal ilavesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Türkiye’de bulunan atıksu arıtma tiplerinin % oranları.....	4
Şekil 2.2	Arıtılan atıksuların deşarj edildikleri alıcı ortamlara göre % dağılımları.....	4
Şekil 2.3	Türkiye’de yıllara göre atıksu arıtma tesisi sayısı gelişimi.....	6
Şekil 2.4	Türkiye’de atıksu arıtma tesisi hizmeti alan belediye sayısı gelişimi.....	6
Şekil 2.5	Atıksu arıtma tipleri.....	12
Şekil 2.6	Atıksuların arıtılması için tipik birim maliyetler.....	13
Şekil 2.7	Batık membran reaktör.....	27
Şekil 2.8	Ters osmoz ünitesi.....	27
Şekil 2.9	Ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleri.....	28
Şekil 2.10	Membran kartuşları.....	28
Şekil 2.11	Atıksu geri kazanım tiplerinin şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.12	Paulownia’nın Türkiye’de yetiştirilebileceği en uygun bölgeler.....	42
Şekil 2.13	İzmir Fuar Alanı bir Paulownia ağacının görünümü.....	46
Şekil 3.1	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi proses akım şeması.....	49
Şekil 3.2	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ana terfi merkezi.....	50
Şekil 3.3	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi fiziksel arıtma üniteleri.....	51
Şekil 3.4	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi hava üfleyici motorlar.....	52
Şekil 3.5	Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde havalandırma havuzu.....	53
Şekil 3.6	Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde çökeltme havuzu.....	53
Şekil 3.7	Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde belt filtre pres ünitesi.....	54
Şekil 4.1	Kıvamlaştırıcı.....	64
Şekil 4.2	Buffer Tankı.....	64
Şekil 4.3	Ultraviyole ünitesi.....	65
Şekil 4.4	Dekantörler.....	65
Şekil 4.5	Senaryo 1 için Mahmutlar atıksu arıtma tesisinin proses akım şeması.....	73
Şekil 4.6	Senaryo 1 için fayda/maliyet analizi ile yatırımın geri dönüş süresi.....	77
Şekil 4.7	Senaryo 1 için yaşam boyu gelirler toplamı ve yatırımın geri dönüş süresi.....	79
Şekil 4.8	Senaryo 2 için Mahmutlar atıksu arıtma tesisinin proses akım şeması.....	80
Şekil 4.9	Senaryo 2 için fayda/maliyet analizi ile yatırımın geri dönüş süresi.....	83
Şekil 4.10	Senaryo 2 için yaşam boyu gelirler toplamı ve yatırımın geri dönüş süresi.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Türkiye’de sektörler tarafından kullanılan su miktarı.....	1
Çizelge 1.2	Su Varlığına Göre Ülkelerin Sınıflandırması.....	2
Çizelge 2.1	TÜİK (1994, 1998, 2002, 2006) Belediye Atıksu Temel Göstergeleri.....	5
Çizelge 2.2	Kültür ve Turizm Bakanlığının turizm bölgelerindeki 2009 yılına kadar yapmış olduğu atıksu arıtma tesisleri yatırımları.....	10
Çizelge 2.3	Kültür ve Turizm Bakanlığının turizm bölgelerindeki atıksu arıtma tesisleri 2009 yılı yatırımları.....	11
Çizelge 2.4	Türkiye’deki kentsel atıksu arıtma tesisleri için birim yatırım ve maliyetler.....	14
Çizelge 2.5	Atıksu arıtma tesisleri için birim yatırım maliyetleri.....	14
Çizelge 2.6	Türkiye’de mevcut değişik arıtma tiplerinin birim ilk yatırım ve işletme maliyetleri.....	15
Çizelge 2.7	Türkiye’de nüfusu 1.000.000’a kadar olan mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri.....	15
Çizelge 2.8	Türkiye’de nüfusu 1.000.000’dan büyük olan mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri.....	18
Çizelge 2.9	Türkiye’de atıksu arıtma tesisleri elektrik tüketim değerlerine göre çıkarılmış maliyetler.....	19
Çizelge 2.10	Dahili ve harici MBR sistemlerinin birbirilerine göre farkları.....	22
Çizelge 2.11	Membran biyoreaktörden çıkan arıtılmış suların tipik parametre değerleri.....	25
Çizelge 2.12	Değişik arıtma prosesleri için çamur üretimleri.....	26
Çizelge 2.13	1960’lı yıllar sonrasında uygulanan belli başlı atıksu geri kazanım uygulamaları.....	33
Çizelge 2.14	Türkiye’de arıtılmış suların tarımsal sulamada kullanılması.....	34
Çizelge 2.15	Sulamada izin verilen maksimum iz element konsantrasyonları.....	37
Çizelge 2.16	Resmi gazetede 7 Ocak 1991 tarihinde yayınlanan sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kriteri.....	39
Çizelge 2.17	İsrail’de geçerli olan tarımsal sulama için gerekli su kalitesi.....	40
Çizelge 3.1	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi aylık arıtma verimleri.....	55

Çizelge 3.2	Mahmutlar atıksu arıtma tesisinden 2008-2009 yılları arasında çıkan atık çamur miktarı.....	56
Çizelge 3.3	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun sulama suyu olarak değerlendirilebilmesi için yapılan analiz sonuçları.....	57
Çizelge 4.1	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti.....	60
Çizelge 4.2	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi 2008 yılı aylık işletme çizelgesi.....	61
Çizelge 4.3	Mahmutlar atıksu arıtma tesisi 2009 yılı aylık işletme çizelgesi.....	62
Çizelge 4.4	İleri arıtma teknolojileri ilk yatırım maliyeti.....	63
Çizelge 4.5	Ultrafiltrasyon membran proseslerin birim işletme maliyeti.....	66
Çizelge 4.6	Tez kapsamında hesaplanan Mahmutlar atıksu arıtma tesisi işletme masrafları.....	67
Çizelge 4.7	Atıkların yeniden kullanılması ile elde edilecek toplam gelir örnekleme.....	70
Çizelge 4.8	Tez kapsamında hazırlanan %10 yanılma payı ile düzeltilmiş gelir tablosu.....	72
Çizelge 4.9	Senaryo 1'e göre ilave maliyetlerle birlikte toplam maliyet.....	74
Çizelge 4.10	Ekonomik analiz için kullanılan birimlerin açıklamaları.....	75
Çizelge 4.11	Senaryo 1 için geri ödeme süresinin bulunması.....	76
Çizelge 4.12	Senaryo 1'de yaşam boyu analize göre proje sonu kazanımlar toplamı...	78
Çizelge 4.13	Senaryo 2'ye göre batık MBR sistemi yapılması durumunda gerek kalmayan birimlere ait ilk yatırım masrafları.....	81
Çizelge 4.14	Senaryo 2'e göre MBR ve diğer yeni teknolojilerin maliyetleri.....	81
Çizelge 4.15	Senaryo 2 için geri ödeme süresinin bulunması.....	82
Çizelge 4.16	Senaryo 2'de yaşam boyu analize göre proje sonu kazanımlar toplamı...	84

1. GİRİŞ

Su, canlılığın devam edebilmesi için gereken en önemli bileşendir. Yeryüzünde ki tüm canlı varlıkların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için temiz ve yeterli miktarda suya ihtiyaçları vardır.

Dünyada nüfusun hızlı artması sonucu kıt su kaynakları hızlı bir şekilde tüketilmektedir. Ülkemizde ve gelişmekte olan diğer ülkelerde tarım, endüstri ve kentsel su ihtiyaçları günden güne artmaktadır. Su kaynakları ise küresel ısınmanın etkisi ve diğer nedenlerden dolayı giderek azalmaktadır. Günümüzde yaşanan küresel petrol kaynaklarının ele geçirilmesi savaşı yerini gelecek yüzyılda küresel su savaşına bırakacağı üzerine komplo teorileri ortaya atılmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde halen içilebilir özellikteki sular gereksizce kullanılmaktadır. Kullanılmış sular uygun arıtma proseslerinden geçirilmedikleri yahut direkt deşarj edildikleri için içme suyu kaynakları üzerinde kirliliğe neden olmaktadır.

Dünya da 1.400 milyon km³ su olduğu bilinmektedir. Ancak bu miktarın çok küçük bir miktarı (yaklaşık %1'in altında) kullanılabilir durumdadır. DSİ' ye göre Türkiye'de su kaynakları potansiyeli ortalama 501 milyar m³/yıl olarak hesaplanmaktadır. Yağış, akış, yer altı suyu beslemesi ve komşu ülkelere gelen miktarlar göz önüne alındığında, brüt toplam yenilebilir yüzeysel su potansiyeli 234 milyar m³/yıl olmaktadır. Ancak, mevcut teknolojik ve ekonomik şartlar altında bu değer, yılda toplam 112 milyar m³ mertebesinde değerlendirilebilmektedir. Bu miktarın 2004 yılı verilerine göre 40,1 milyar m³'ü kullanıma açılmıştır. 40,1 milyar m³ suyun %74'ü sulama sektöründe, %15'i içme suyu temininde ve %11'i ise sanayide kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1 Türkiye'de sektörler tarafından kullanılan su miktarı

Yıl	Toplam Su Tüketimi		Sektörler					
			Sulama		İçme-Kullanma		Sanayi	
	km ³	% oranı	km ³	% oranı	km ³	% oranı	km ³	% oranı
1990	30,6	% 28	22,0	% 72	5,1	% 17	3,4	% 11
2004	40,1	% 36	29,6	% 74	6,2	% 15	4,3	% 11
2030	112	% 100	72	% 64	18	% 16	22	% 20

Türkiye, su kaynakları açısından zengin bir ülke olmadığı gibi, mevcut su kaynaklarının ülke geneline dağılımı da eşit değildir. Ülke içinde 25 akarsu havzası bulunmakta olup, bu havzaların yalnızca dördü yıllık yağışın % 37'sini karşılayabilmektedir (Atıksu Arıtımı Eylem Planı 2008).

Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.000 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir. Bu veride Türkiye'nin birkaç yıl içinde su fakiri sınırındaki ülkeler arasında olacağını göstergesidir. Su varlığına göre ülkelerin sınıflandırılmasına ait bilgiler Çizelge 1.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2 Su Varlığına Göre Ülkelerin Sınıflandırması

Kişi Başına Su Tüketimi (m ³)	Ülkenin Durumu
> 10.000	Su zengini
3.000 – 10.000	Kendi ihtiyaçlarını karşılayabilen
1.000 – 3.000	Su sıkıntısı bulunan
< 1.000	Su fakiri

Lazarova'nın yapmış olduğu nüfus projeksiyonuna göre 2025 yılında dünya nüfusunun yaklaşık 2/3'ü yüksek su sıkıntısı ile karşı karşıya kalacaktır.

Su kaynaklarının etkin gözetimi, gereksiz su kullanımının önüne geçilmesi, kentsel ve endüstriyel kullanılmış suların uygun arıtma yöntemleri ile arıtılıp yeniden kullanılması gerekmektedir. Atıksu “yanlış yerde bulunan bir kaynaktır”, ekonomik değeri vardır ve geri çevrimi veya geri kazanımı faydalar getirir (King 2000).

Bu araştırma, özellikle turizm bölgelerindeki evsel kaynaklı atıksu arıtma tesislerinin uygun ileri arıtma teknolojileri ile arıtılıp oluşan ürünlerin yeniden kullanılmasının gerekliliğini ve sürdürülebilir çevre yönetimi ile sürdürülebilir ekonomi kavramlarının birbirleri ile büyük ölçüde örtüştüğünü sayısal olarak ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri

Atıksuların arıtılmasında damlatmalı filtre 1901, imhoff tankı 1909, klorla dezenfeksiyon 1914 ve aktif çamur sistemi 1916 yıllarında uygulama bulmuştur (Samsunlu A. 2006).

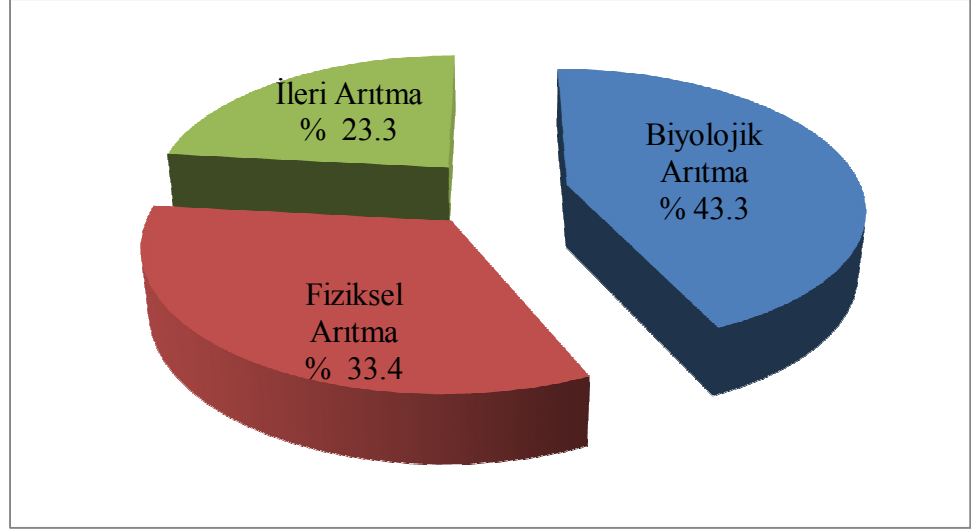
1892 yılında yalnızca 25 eyalette atıksuların arıtılması yapılırken günümüzde şu anda Amerika Birleşik Devletlerinde 16.000'in üzerinde atıksu arıtma tesisi vardır. Nüfusun yaklaşık % 75'i atıksu arıtma işleminden faydalanırken arıtılan suların % 30 ileri arıtma sistemleri ile yapılmaktadır (EPA 2004).

Kentsel atık su arıtması, genel olarak üç kategoriye ayrılmıştır. Primer (birincil) arıtmada, katı maddelerin/dışkılarının fiziksel olarak temizlenmesi, filtrelenmesi yapılır; sekonder (ikincil) arıtma ise biyolojiktir, mikrobiyolojik kirlenme ve oksijen tüketen organik maddelerin ortadan kaldırılması ya da nötrleştirilmesi gerçekleştirilir. En gelişmiş olanı ise üçüncül arıtmadır, burada özellikle besin maddeleri gibi daha ayrışması zor kirletici maddelerin ortadan kaldırılması için kimyasal yöntemler uygulanır. Avusturya, Danimarka, Finlandiya, Almanya, Hollanda ve İsveç gibi ülkelerdeki atık suların %70'ten fazlası üçüncül arıtmaya tabi tutulur, güney Avrupa'da ise bu oran yalnızca %10 civarındadır (Avrupa Çevre Ajansı 2005).

Türkiye'de atıksu arıtma tesisleri inşası 1978'lerden sonra tek tük görülmeye başlandı. Türkiye'de nüfusun hızlı artışının yanı sıra 1982 yılından sonra gerek turizm ve gerekse sanayi sektöründe atılan büyük adımlardan dolayı kullanılmış suların arıtılması için çalışmalara başlandı.

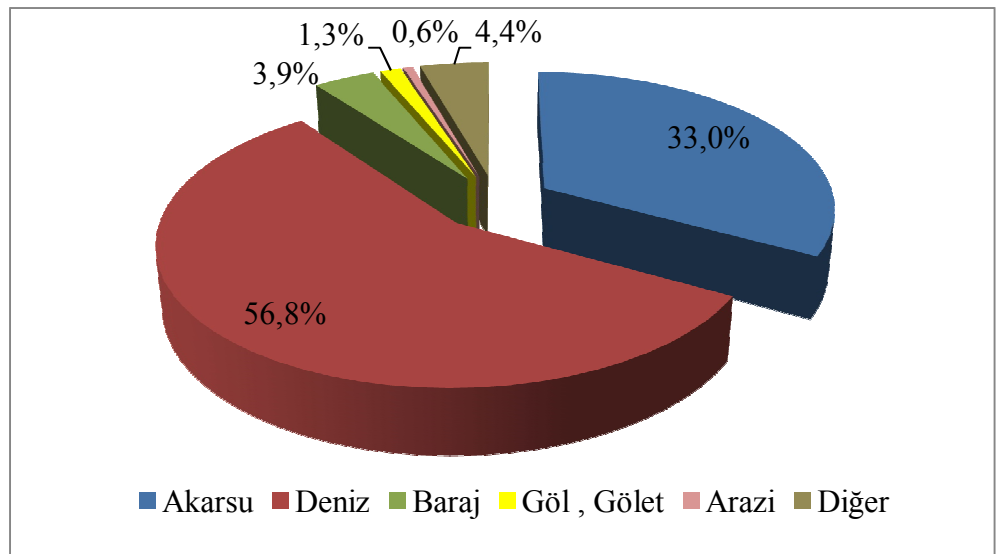
TÜİK'in yapmış olduğu Belediye Atıksu Temel Göstergelerine göre, 1994-2006 döneminde, ülke genelinde atıksu arıtma tesisine bağlı nüfus oranı yaklaşık 4 katına çıkmıştır. 2006 yılı Belediye Kanalizasyon İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre; anket uygulanan 3.225 belediyeden 2.321'inde kanalizasyon şebekesi ile hizmet verildiği tespit edilmiştir. Kanalizasyon şebekesi ile toplanan 3,37 milyar m³ atıksuyun 2,14 milyar m³'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır.

Aritılan atıksuyun % 43,3'üne biyolojik, %33,4'üne fiziksel ve %23,3'üne ileri arıtma uygulanmıştır (TÜİK 2006). Şekil 2.1'de Türkiye'de bulunan atıksu arıtma tiplerinin yüzdelik oranları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Türkiye'de bulunan atıksu arıtma tiplerinin % oranları

Aritılan atıksuyun % 56,8'i denize, % 1,3'ü göl ve gölete, % 33'ü akarsulara, % 0,6'sı araziye, % 3,9'u baraja ve % 4,4'ü ise diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Şekil 2.2'de arıtılan atıksuların deşarj edildikleri alıcı ortamlara göre yüzdelik dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Arıtılan atıksuların deşarj edildikleri alıcı ortamlara göre % dağılımları

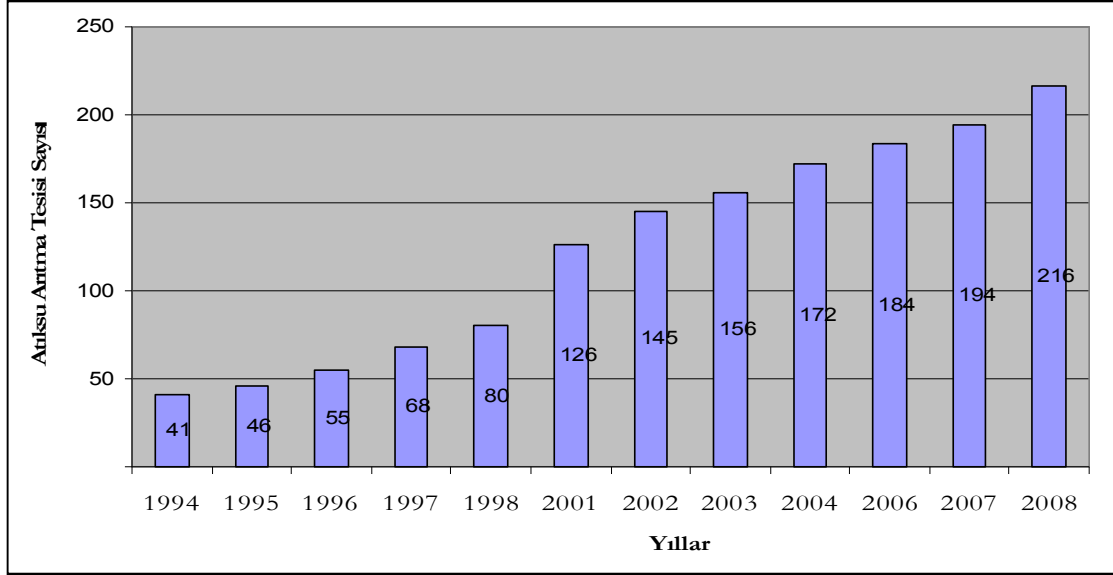
Çizelge 2.1’de TÜİK verilerine göre 1994, 1998, 2002 ve 2006 yılları için Türkiye’deki belediye atıksu temel göstergeleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 TÜİK (1994, 1998, 2002, 2006) Belediye Atıksu Temel Göstergeleri

	1994	1998	2002	2006
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen belediye sayısı	1 188	1 647	2 115	2 321
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	52	59	65	72
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen nüfusun belediye nüfusuna oranı (%)	69	78	83	87
Deşarj edilen atıksu miktarı (milyon m ³ /yıl)	1 510	2 091	2 498	3 367
Atıksu arıtma tesisi sayısı	41	80	145	184
Fiziksel	3	13	28	26
Biyolojik	38	67	114	135
Gelişmiş	-	-	3	23
Atıksu arıtma tesisi toplam kapasitesi (milyon m ³ /yıl)	585	1 559	2 358	3 648
Fiziksel	377	739	771	1 329
Biyolojik	209	820	1 320	1 511
Gelişmiş	-	-	267	808
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (milyon m ³ /yıl)	150	590	1 312	2 140
Fiziksel	78	282	344	714
Biyolojik	72	308	746	927
Gelişmiş	-	-	222	500
Atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen belediye sayısı	71	119	248	362
Atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	10	17	28	42

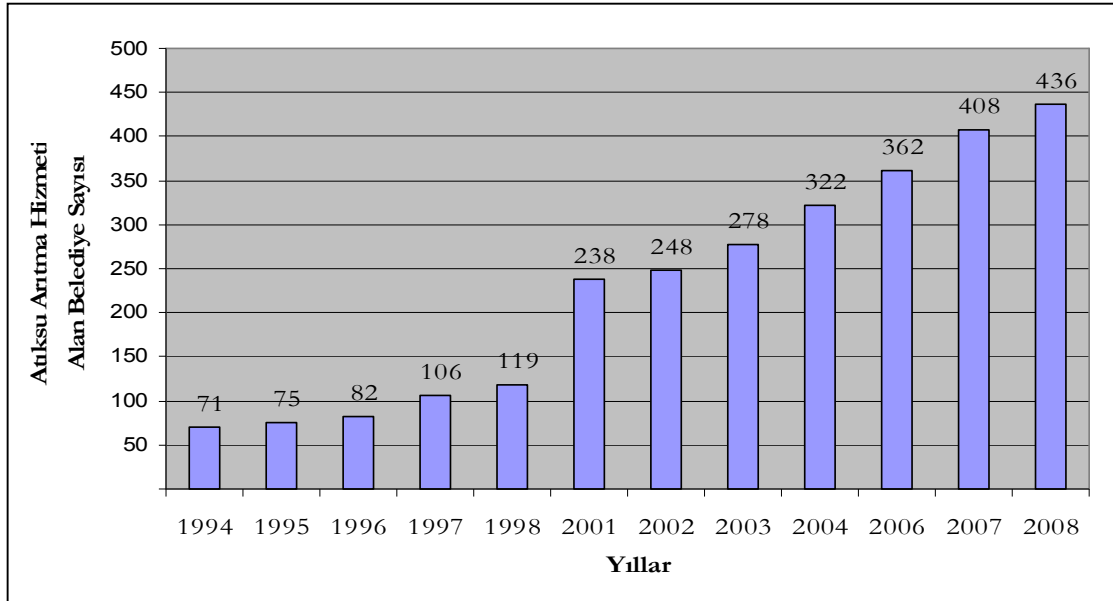
NOT: Değer * 1.000 m³/yıl

Atıksu arıtma tesisleri ile hizmet edilen belediye nüfusunun oranı ise Türkiye nüfusu içinde % 42, toplam belediye nüfusu içinde % 51 olarak hesaplanmıştır (TÜİK 2006). Çevre ve Orman Bakanlığı verilerine göre Türkiye’de yıllara göre atıksu arıtma tesisi sayısı gelişimi Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Türkiye’de yıllara göre atıksu arıtma tesisi sayısı gelişimi

Çevre ve Orman Bakanlığı verilerine göre Türkiye’de atıksu arıtma tesisi hizmeti alan belediye sayısı gelişimi Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Türkiye’de atıksu arıtma tesisi hizmeti alan belediye sayısı gelişimi

2.2. Türkiye’de Atıksu Yönetimi

Türk ulusal çevre mevzuatında atıksu sektörü ile ilgili yer alan başlıca düzenlemeler aşağıda sıralanmaktadır:

- 6200 sayılı Devlet Su İşlerinin Teşkilatlanması ve Görevleri Hakkında Kanun,
(Resmi Gazete: 25 Aralık 1953, No. 8592).
167 Sayılı Yeraltı Suları Kanunu,
(Resmi Gazete: 23 Aralık 1960, No. 10688).
- 2464 Sayılı Belediye Gelirleri Kanunu,
(Resmi Gazete: 29 Mayıs 1981, No. 17354).
5035 sayılı kanun tarafından değiştirilmiştir;
(Resmi Gazete: 02 Ocak 2004, No. 25334).
- 2872 sayılı Çevre Kanunu,
(Resmi Gazete: 11 Ağustos 1983, No. 18132).
5491 sayılı kanun tarafından değiştirilmiştir;
(Resmi Gazete: 13 Mayıs 2006, No. 26167).
- 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığının Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun,
(Resmi Gazete: 08 Mayıs 2003, No. 25102).
- Su Ürünleri Kanunu
(Resmi Gazete: 04 Nisan 1971, No. 1380).
- Su Ürünleri Yönetmeliği,
(Resmi Gazete: 29 Haziran 2004, No. 25507).
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği,
(Resmi Gazete: 31 Aralık 2004, No. 25687).
- Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirlenmesine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği,
(Resmi Gazete: 18 Şubat 2004, No. 25377).
- Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği,
(Resmi Gazete: 26 Kasım 2005, No. 26005).
- Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliği,
(Resmi Gazete: 08 Ocak 2006, No. 26047).

Türkiye’de atıksu yönetiminde planlama, hizmet, finansman sağlama ve denetleme konularında birçok aktör kuruluş mevcuttur.

i. Çevre ve Orman Bakanlığı:

Atıksu yönetimi ile ilgili yönetmeliklerin çıkarılması, planlama ve denetim görevlerinin yanı sıra kurumlar arası koordinasyon görevi üstlenmiştir.

➤ Devlet Su İşleri (DSİ):

Planlama ve hizmet alanında aktif rol oynar.

➤ Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı (ÖÇK):

Türkiye’de 14 bölgede özel çevre koruma sahası vardır. Bu alanların, yönetimi, arazi kullanım planlaması, alt yapının sağlanması ve alanların korunması görevi Özel Çevre Koruma Kurumu’nun sorumluluğundadır. Bu bölgelerde atıksu ile ilgili planlama, hizmet ve denetim aşamalarında ÖÇK etkin kuruluştur.

ii. Sağlık Bakanlığı:

Arıtılmış suların denetimi konusunda yetki sahibidir.

iii. Bayındırlık Bakanlığı:

➤ İller Bankası Genel Müdürlüğü:

Atıksu arıtma ve kanalizasyon sistemlerinin planlanması, uygun teknolojilerin takip edilmesi, tesislerin finansmanın sağlanmasında ve proje-ihale-inşaat aşamasında denetiminin yapılmasında etkin bir kurumdur.

➤ Valilik - İl Özel İdare:

Planlama aşamasında etkindir.

➤ Belediye:

Ülkemizde halka kentsel atık su hizmetlerinin getirilmesi ve atık suların arıtılması görevi kanunlarla büyükşehir belediyelerinde su ve kanalizasyon idarelerine bu idarelerin bulunmadığı belediyelerde ise belediyelere verilmiştir. Belediyeler kendi sınırları içinde atıksu yönetimi ile ilgili planlama yapılması,

hizmet verilmesi ve tesislerin finansmanın sağlanmasında direkt etkili mercidir. Hizmetin sunumu için gerekli olan yatırımların yapılması görevi de yine belediyelerindir. Ancak, belediyelerde yeterli teknik birikimin oluşmadığı durumlarda merkezi idare kaynaklarından finanse edilen yatırımların sorumluluğu merkezi idare kuruluşlarına aittir.

iv. Başbakanlık:

- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT): Kamuyu ilgilendiren bütün konularda stratejik kararların belirlenmesinden sorumludur. Planlı kalkınmayı yönlendirmek ve kamu kuruluşları arasında koordinasyonu sağlamak için beş yıllık kalkınma planları hazırlar. Bu planların uygulamasında en önemli araç olan yatırımların seçimi, önceliklendirilmesi ve kaynakların tahsisinden sorumludur.
- GAP İdaresi: Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan ve çevresel zararları kritik olan yerleşim yerlerinin atık su alt yapılarının projelendirme, ihale ve kontrollük hizmetlerini üstlenebilmektedir.

v. Turizm ve Kültür Bakanlığı:

Turizm bölgelerinde atıksu yönetimi ile ilgili kanalizasyon ve atıksu arıtma tesislerinin hizmet ve finansman sağlanmasında etkili kurumdur.

Kültür ve Turizm Bakanlığının turizm bölgelerindeki 2009 yılına kadar yapmış olduğu atıksu arıtma tesisleri yatırımları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Bu tesislerin çoğunun inşaatında bakanlık yatırım ve işletmeler genel müdürlüğü kontrollük hizmeti de vermiştir. Çizelge 2.3’de ise Kültür ve Turizm Bakanlığının turizm bölgelerindeki atıksu arıtma tesisleri 2009 yılı yatırımları gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Kültür ve Turizm Bakanlığının turizm bölgelerindeki 2009 yılına kadar yapmış olduğu atıksu arıtma tesisleri yatırımları

YERİ	ADI	KAPASİTESİ (m ³ /gün)	EŞDEĞER NÜFUS (Kişi)	YATIRIM TUTARI (\$)
Antalya	Beldibi A.A.T.	15.200	30.000	2.510.000
Antalya	Kızıltepe A.A.T.	9.500	38.000	2.470.000
Antalya	Tekirova A.A.T.	10.000	25.000	1.430.000
Antalya	Belek-1 A.A.T.	7.000	25.000	900.000
Antalya	Belek-2 A.A.T.	7.600	25.500	600.000
Antalya	Belek-1 A.A.T. I. Tevsii	6.000	20.000	1.000.000
Antalya	Belek-2 A.A.T. I. Tevsii	5.000	16.500	800.000
Antalya	Belek-2 A.A.T. II. Tevsii	10.000	45.000	1.240.000
Antalya	Kumköy A.A.T.	50.000	143.000	5.107.000
Antalya	Side-Titreyengöl A.A.T.	9.900	28.000	1.860.000
Antalya	Çamyuva A.A.T.	11.860	33.920	4.500.000
Antalya	Kemer A.A.T.	12.800	36.500	4.690.000
Antalya	Serik A.A.T.	9.900	28.000	890.000
Antalya	Kalkan A.A.T.	4.000	12.000	423.255
Antalya	Kaş A.A.T.	5.400	25.000	850.000
Antalya	Avsallar A.A.T.	5.000	23.000	2.300.000
Antalya	Avsallar A.A.T. I.Tevsii	10.000	30.000	998.750
Antalya	Boğazkent A.A.T.	10.000	50.000	1.562.500
Antalya	Lara A.A.T.	31.250	92.000	17.143.000
Antalya	Mahmutlar A.A.T.	20.000	57.000	5.000.000
Antalya	Oba A.A.T.	30.000	85.000	5.930.000
Antalya	Türkler A.A.T.	15.000	43.000	3.570.000
Antalya	Manavgat A.A.T.	50.000	143.000	4.904.000

(Devamı arkada)

Çizelge 2.2'nin Devamı

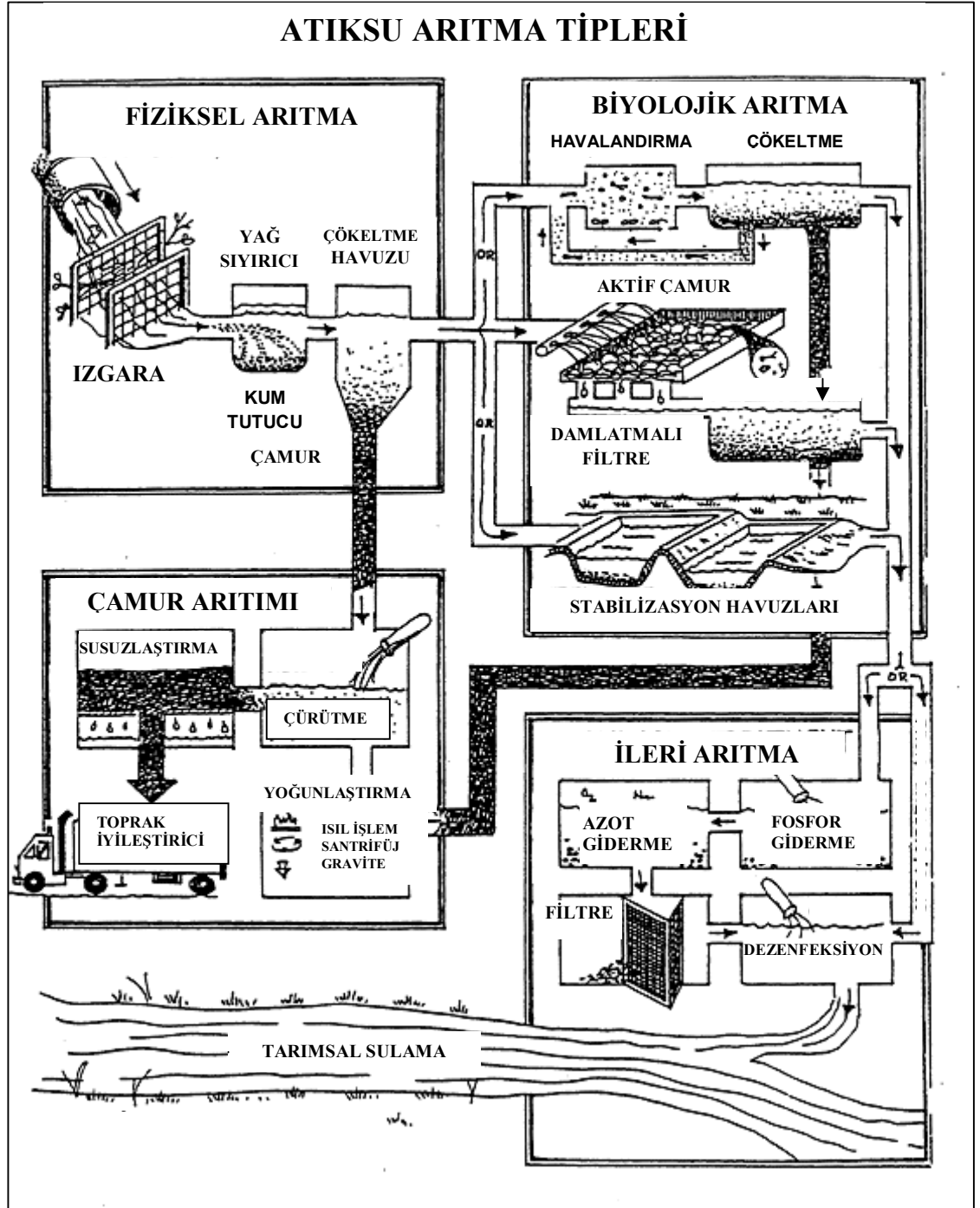
YERİ	ADI	KAPASİTESİ (m ³ /gün)	EŞDEĞER NÜFUS (Kişi)	YATIRIM TUTARI (\$)
Balıkesir	Edremit A.A.T.	24.000	110.000	1.980.000
Muğla	Bodrum Türkbükü A.A.T.	5.000	17.500	250.000
Muğla	Bodrum Bitez A.A.T.	3.500	12.250	207.000
Muğla	Bodrum İçmeler A.A.T.	10.000	35.000	745.000
Muğla	Sarıgerme 1 A.A.T.	4.500	15.750	770.000
Muğla	Sarıgerme 2 A.A.T.	10.000	25.000	2.900.000
Muğla	Belcekız A.A.T.	3.500	15.000	1.300.000
Nevşehir	Avanos A.A.T.	6.500	19.000	2.600.000
Nevşehir	Ürgüp A.A.T.	8.800	25.000	2.015.000
Çanakkale	Ezine - Geyikli A.A.T.	5.000	25.000	1.900.000
TOPLAM		426.210	1.353.920	85.345.505

Çizelge 2.3 Kültür ve Turizm Bakanlığının turizm bölgelerindeki atıksu arıtma tesisleri
2009 yılı yatırımları

NO	YERİ	ADI	2009 yılı (TL)
1	Aydın-Kuşadası	Davutlar Güzelçamlı A.A.T.	6.950.000
2	Antalya-Gazipaşa	Gazipaşa A.A.T.	2.500.000
3	Muğla-Ortaca	Sarıgerme A.A.T.	2.500.000
4	Muğla-Bodrum	Konacık A.A.T.	1.500.000
5	Bartın-Merkez	Arit A.A.T.	1.500.000
6	Antalya-Alanya	Alanya A.A.T.	3.500.000
7	Mersin-Erdemli	Erdemli A.A.T.	2.000.000

2.3. Atıksu Arıtma Tesisi Maliyetleri

Atıksu arıtma maliyetleri arıtma tipine, arıtma derecesine, eşdeğer nüfus ve birim atıksu üretimine bağlı olarak değişir. Şekil 2.5'te Atıksu arıtma tipleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Atıksu Arıtma Tipleri

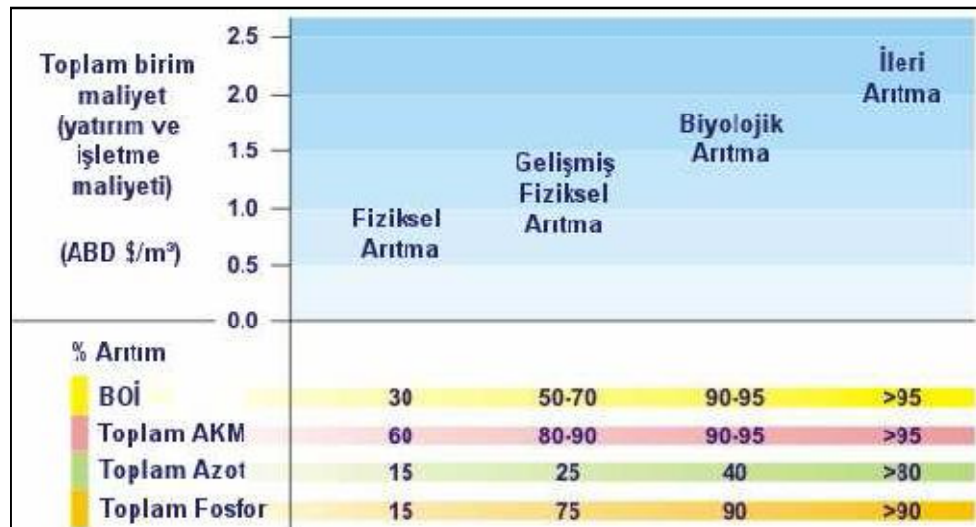
Atıksu arıtma tesisi optimum ekonomik analizi yapılırken birim atıksu arıtma maliyeti hesaplanmalıdır. Toplam birim atıksu arıtma maliyeti, tesisin ilk yatırım maliyeti ile proje ömrü boyunca tesis işletme maliyetleri toplamının proje debisine oranlanmasıyla bulunur. Şekil 2.6'da Batı Avrupa ve ABD verilerine göre atıksuların arıtılması için tipik birim maliyetler şematik olarak gösterilmiştir (Veenstra vd 1997).

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
- Nakliye masrafları
- Bakım ve tamir giderleri
- Sigorta masrafları
- Genel masraflar



Şekil 2.6 Atıksuların arıtılması için tipik birim maliyetler

Birim biyolojik atıksu arıtma maliyeti olarak, Türkiye’deki mevcut atıksu arıtma tesisleri özellikleri, kapasiteleri ve maliyetleri göz önüne alınarak yapılmış araştırma sonucunda belirlenen ortalama birim arıtma maliyeti Çizelge 2.4’te verilmiştir (Alpaslan ve Dölgen 2005).

Çizelge 2.4 Türkiye’deki kentsel atıksu arıtma tesisleri için birim yatırım ve maliyetler

AAT Kapasitesi (kişi)	Yatırım maliyeti	Birim maliyeti
N<100.000	<5 Milyon (USD/kişi)	<50 (USD/kişi)
100.000<N<500.000	<20 Milyon (USD/kişi)	<50 (USD/kişi)
N>500.000	<30 Milyon (USD/kişi)	<30 (USD/kişi)

Çizelge 2.5’te 100.000 eşdeğer nüfus için arıtma tiplerine göre birim yatırım maliyetleri gösterilmiştir (Odegaard ve Henze 1992).

Çizelge 2.5 Atıksu arıtma tesisleri için birim yatırım maliyetleri

Arıtma Türü (Birim su tüketimi $Q=400 \text{ L/kişi*gün}$)	Yatırım Maliyeti US \$/m ³
Mekanik Arıtma	0,110
Kimyasal Arıtma (Birincil Çöktürme)	0,133
Biyolojik Arıtma (Düşük yük)	0,180
Biyolojik/Kimyasal Arıtma (Ön Kimyasal Çöktürme)	0,167
Biyolojik/Kimyasal, N-giderimi (Ön denitrifikasyon)	0,283

Yetiş’in 2005 yılında yapmış olduğu araştırmalar sonucu Türkiye’de mevcut değişik arıtma tiplerinin birim ilk yatırım ve işletme maliyetleri Çizelge 2.6’da detaylı olarak gösterilmiştir. Çizelge 2.7’de ise Dölgen’in 2004 yılında yapmış olduğu araştırmalar sonucu Türkiye’de nüfusu 1.000.000’a kadar olan mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Türkiye’de mevcut değişik arıtma tiplerinin birim ilk yatırım ve işletme maliyetleri

Arıtma Teknolojisi	İlk Yatırım (€/kişi)	İşletme Masrafı (€/m ³)
Konvansiyonel Aktif Çamur	13,76 – 46,67	0,0146 – 0,0903
Azot Gideren Aktif Çamur	32,30 – 266,2	0,0473 – 0,0553
Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur	29,00 – 49,85	0,0320 – 0,1260
Azot Gideren Oksidasyon Hendeği	12,72 – 83,47	0,0528 – 0,1534

Çizelge 2.7 Türkiye’de nüfusu 1.000.000’a kadar olan mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri

Arıtma Tesisi	Nüfus (kişi)	Debi (m ³ /gün)	Yatırım Maliyeti 10 ⁶ (USD)	Birim Maliyeti (USD/kişi)	Finansman Kaynağı	Proses
İst-Terkos	10.000	1.700	1,64	164	ÖK	UAC-NG
Gerede	20.500	583	4,4	213	ÖK-İB	SH
Kadıhanı	28.735	1.607	2,8	96	ÖK-İB	SH
Arifiye	32.459	3.504	1,1	35	ÖK-İB	OH
Bilecek	34.215	1.466	1,2	35	ÖK-İB	AC
Develi	40.164	2.448	1,6	40	ÖK-İB	DF
İst-Ataköy	45.000	7.650	11	244	ÖK	AC
Dinar	46.000	3.936	1,6	34,5	ÖK-İB	AC

(Devamı arkada)

Çizelge 2.7'nin Devamı

Arıtma Tesisi	Nüfus (kişi)	Debi (m ³ /gün)	Yatırım Maliyeti 10 ⁶ (USD)	Birim Maliyeti (USD/kişi)	Finansman Kaynağı	Proses
Erçiş	48.052	2.892	3,0	62	ÖK-İB	SH
Afşin	56.531	4.085	1,8	35,5	ÖK-İB	UAC
Niğde-Bor	64.574	2.976	7,6	117	ÖK-İB	SH
Yozgat	64.917	5.232	2,3	34,5	ÖK-İB	AC
Foça	70.000	14.083	13	184	DK-İsp. FAD	UAC-NG
Lüleburgaz	70.408	3.571	2,8	39	ÖK-İB	DF
Niğde	79.609	5.544	2,8	35	ÖK-İB	AC
Dalaman	80.000	20.000	49	612,5	DK-Dresdner	UAC-NG
Reyhanlı	82.291	7.008	1,8	22,3	ÖK-İB	SH
Ağrı	92.475	9.240	3,2	35	ÖK-İB	AC
Kilis	99.500	6.384	3,9	39	ÖK-İB	DF
İzmir-Güzelbahçe	100.000	20.000	3,5	35	ÖK	UAC-NG
Adıyaman	113.720	6.139	4,4	38	ÖK-İB	DF
Kırşehir	119.055	10.212	3,0	25	ÖK-İB	SH
Turhal	128.403	11.112	4,1	32	ÖK-İB	AC
Nevşehir	137.000	10.416	4,6	34	ÖK-İB	AC
Karaman	139.400	9.989	11,5	82	ÖK-İB	SH

(Devamı arkada)

Çizelge 2.7'nin Devamı

Arıtma Tesisi	Nüfus (kişi)	Debi (m ³ /gün)	Yatırım Maliyeti 10 ⁶ (USD)	Birim Maliyeti (USD/kişi)	Finansman Kaynağı	Proses
Osmaniye	152.374	8.146	5,7	38	ÖK-İB	DF
Karabük	179.056	11.237	5,8	32	ÖK-İB	AC
Kütahya	230.000	53.952	5,9	26	ÖK-İB	AC
Isparta	240.000	53.825	14,5	60,5	DK-KfW	AC
Körfez	260.000	19.512	8	31	ÖK-İB	UAC
Balıkesir	274.416	30.835	9,4	34	ÖK-İB	DF
Eskişehir	300.000	75.000	9,6	32	ÖK-İB	AC
Tarsus	312.398	43.000	19,2	61,5	DK-KfW	UAC
Kahramanmaraş	324.511	27.432	10,1	31	ÖK-İB	AC
İskenderun	432.000	86.400	50	115,7	DK- American Exim Bank	UAC
Adapazarı	505.107	50.952	14,5	29	ÖK-İB	AC
Bursa I. Kademe	885.600	177.12	117	132	DK-World Bank	An.stab.
Diyarbakır	900.000	180.000	23,7	26	DK-KfW	UAC

Dölgen'in 2004 yılında yapmış olduğu araştırmalar sonucu Türkiye'de nüfusu 1.000.000'dan büyük olan mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri Çizelge 2.8'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.8 Türkiye'de nüfusu 1.000.000'dan büyük olan mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin maliyetleri

Arıtma Tesis	Nüfus (kişi)	Debi (m ³ /gün)	Yatırım Maliyeti 10 ⁶ (USD)	Birim Maliyeti (USD/kişi)	Finansman Kaynağı	Proses
İst-Paşaköy	1.065.000	500.000	29	27,3	ÖK	UAC-NG
Konya	1.600.000	320.000	28,4	18	DK-İsp. FAD	UAC-NG
Tuzla	1.800.000	224.000	26,4	15	ÖK-İB	AC
Adana	1.800.000	311.973	47,6	26	DK-EIB	AC+K
Bursa 2.Kademe	2.500.000	495.500	95	38	DK-EB	UAC-NG_k
İzmir-Çiğli	3.024.000	604.800	60	20	ÖK	UAC-NG
İst-Tuzla	4.500.000	900.000	72	16	ÖK	UAC-NG
Ankara	6.000.000	800.000	175	29	DK-KfW	UAC-NG

Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde en büyük maliyet elektrik sarfiyatıdır. Arıtma tesislerinde genelde hava üfleyici motorlar ile terfi pompalarından dolayı büyük elektrik sarfiyatı yapılır. Arıtma tesisinin yeri seçilirken gereksiz terfilerden kaçınılmalı mümkün olan en düşük kota tesis konumlandırılmalıdır. Arazi şartları müsaade ediyorsa terfilerin olmayışı işletme masraflarını oldukça düşürmektedir. Havalandırma havuzlarındaki biyolojik arıtımı gerçekleştiren aerobik bakteriler için gerekli hava günümüzde hava üfleyici motorlar vasıtası ile verilir. Eğer otomosyan PLC-Scada sistemleri tesiste mevcut değilse hava üfleyici motorların manuel olarak

çalıştırılmasında oldukça dikkat edilmelidir. Zira hava üfleyici motorlar yüksek oranda elektrik tüketerek çalıştıkları için işletme maliyetlerini bir hayli kabartmaktadırlar. Havalandırma havuzlarında optimum çözünmüş oksijen değeri 1-2 mg/l'tir. Otomasyon iyi ayarlandığı zaman hem havalandırma havuzundaki uygun koşullar sağlanacak hem de gereksiz elektrik harcanmasının önüne geçilecektir. Gökçay'ın (2008) derlemiş olduğu Türkiye'de ki bazı tesislere ait elektrik tüketim değerlerine göre çıkarılmış maliyetler Çizelge 2.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.9 Türkiye'de atıksu arıtma tesisleri elektrik tüketim değerlerine göre çıkarılmış maliyetler

	Belediye	İlk Yatırım (10 ⁶ €)	İlk Yatırım (€/kişi eşdeğeri)	Elektrik (kwh/ay)	İşletme maliyeti (€/yıl)	Birim Maliyet (€/m ³)
UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ	Akçakoca	1,16	29	83,7	215.000	0,1260
	İzmit	6,83	43,78	445	245.000	0,0320
	Tarsus	15,6	49,85			
	Kemer	2,92	80		590.000	0,1534
	Belek 1	1,67	23,85	240.000	270.000 – 450.000	0,0752
	Belek 2	1,67	23,85	285.000	270.000 – 450.000	0,0747
	Avsallar-İncekum	1,92	83,47	250.000		
	Titreyengöl	1,55	28,18	96.913	176.400	0,0450
KONVANSİYONEL AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ	Gaziantep	46,67	46,67			
	Nizip	1,26	13,76	120.000	329.670	0,0903
	Tuzla			1.000.000	2.500.000	0,0394
	Karabük	2,83		194.400		
	Kütahya	5	22	280.000		
	Marmaris			195.150	769.230	0,0468
	Ankara	142,66	36,58	2.394.634	3.391.923	0,0176
	Nazilli	3,62	33,41	120.000	494.508	0,0753
	Elazığ			224.000	277.777	0,0190
	Eskişehir	7,23	24,1	387.116	363.474	0,0146
NUTRIENT ARITAN BNR SİSTEM	İskenderun	14,15	32,3	370.195	535.000	0,0488
	Kayseri	47,4	59,3	1.050.000	1.553.049	0,0473
	Fethiye	8,12	266,2	277.421	488.606	0,0553

2.4. İleri Arıtma Teknolojilerinden Membran Biyoreaktör

Arıtılmış suların yeniden güvenle kullanılabilmesi için ileri arıtma teknolojilerine ihtiyaç vardır. Bu ileri teknolojilere örnek son 15 yıl içinde geliştirilen biyolojik membran reaktörlerdir. Biyolojik membran reaktörden (MBR) çıkan arıtılmış sular hemen hemen bütün yeniden kullanım faaliyetlerinde güvenle kullanılabilirler.

MBR'ler membran ekipmanı sayesinde arıtılmış su ve biyokütlenin fiziksel olarak filtrasyon ile ayrıldığı süspansiyon büyüme modundaki biyokimyasal oksidasyon (aktif çamur gibi) prosesidir (Adham ve Gagliardo 1998, Buisson vd. 1998, Cicek 1998, Crawford vd. 2000, Liu vd. 2000, Stephenson vd. 2000, Yiğit 2007).

Konvansiyonel aktif çamur prosesinde iki ayrı tankta gerçekleşen biyokimyasal oksidasyon (havalandırma tankında) ve su/biyokütle ayrımı (sedimentasyon ile çökeltim tankında) MBR'lerde tek tankta gerçekleşmektedir. Bu tank içinde havalandırma suretiyle aktif çamur oluşturulmakta, tankın içinde suda gömülü olan membran kasetlerindeki fiberlerin ya da düz tabaka membranların çok küçük gözeneklerinden vakum uygulanarak arıtılmış su çekilmekte ve biyooksidasyon ile karbon giderimini yapan biyokütle tank içerisinde kalmaktadır (Yiğit 2007).

Son 5–10 yıl içinde polimer endüstrisindeki hızlı gelişmeler ve membran maliyetlerindeki azalmalar neticesinde, MBR'ler ekponansiyel bir artışla özellikle gelişmiş batı ülkelerinde atıksu arıtımı ve geri kazanımında uygulanmaya başlanmıştır. MBR'lerin konvansiyonel aktif çamura göre birçok avantajı mevcuttur. MBR'lerde ki yüksek MLSS konsantrasyonundan dolayı gerekli hidrolik bekleme süresi azdır; bu da küçük reaktör hacmi ve ilk yatırım maliyetinde azalma anlamına gelir. Biyokütle ayrımı mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon ile gerçekleştiği için aktif çamurun çökelebilmek özelliğinden bağımsızdır; diğer bir deyimle son çökeltim ihtiyacı olmayıp çamur şişmesi, filamentli büyümeden kaynaklanan çökeltim problemleri söz konusu olamaz.

Yüksek MLSS konsantrasyonlarından dolayı sisteme fazla organik yükleme yapılabilir. MBR'lerde nitrifikasyonun olumsuz etkilenmesi veya toksik organiklerin engelleyici etkileri bağlamındaki işletme problemleriyle daha az karşılaşılır. Çünkü MBR'lerde konvansiyonel aktif çamura göre daha fazla çamur yaşı (SRT) ile

çalışılabilir. Yüksek SRT değerleri, oluşan biyokütle miktarını da azaltır. MBR'ler mükemmel bir fiziksel dezenfeksiyon sağlar. Çünkü biyolojik olarak arıtılmış su aynı tank içinde batık mikrofiltrasyon (gözenek çapı yaklaşık 0,1–1 µm) veya ultrafiltrasyon (gözenek çapı yaklaşık 0,01–0,1 µm) membranlarıyla vakum ile çekilip, yaklaşık >6 log (logaritmik giderim) protozoa, 5-6 log bakteri ve 1-2 log virüs giderimi sağlanır. Bahsedilen avantajlar ve özellikle mikrofiltrasyon/ultrafiltrasyondan dolayı MBR'lerde çıkış suyu kalitesi konvansiyonel aktif çamur sistemlerinden çok daha iyidir (Yiğit 2007).

Genellikle mikrofiltrasyon (yaklaşık 0,2 µm gözenek büyüklüğü) ya da ultrafiltrasyon (yaklaşık 0,01 µm gözenek büyüklüğü) membran üniteleri MBR'lerde kullanılmaktadır. Arıtma sırasında zamanla fiberler üzerinde oluşan kek/kirlenme tabakası bu gözenekleri daha da küçültmekte ve su/biyokütle ayrımını, askıda katı madde ve mikroorganizma giderme verimini artırmaktadır. MBR'ler kompakt sistemler olduğu için konvansiyonel sistemlere göre çok daha az arazi gereksinimi vardır. Dahili sistem MBR'lerde tüm arıtma aşamaları (havalandırma, sıvı/biyokütle ayrımı ve fiziksel dezenfeksiyon) tek bir tankta gerçekleşmektedir. MBR'lerin belki de en heyecan verici özelliği hâlihazır işletimde olan konvansiyonel aktif çamur sistemlerinin kolaylıkla MBR sistemlerine dönüştürülebilmesidir (Fane ve Chang 2002). Hâlihazır havalandırma tankına batık membranlar yerleştirilerek bu işlem gerçekleştirilebilmektedir.

Uygulanmakta olan MBR sistemleri harici (sıvı/biyokütle ayrımının çapraz akışlı membran filtrasyonu ile ayrı bir ünite de gerçekleştiği) ve dahili-entegre (sıvı/biyokütle ayrımının biyoreaktör içinde batık membranlar ile gerçekleştiği) olmak üzere 2 ana konfigürasyondadır (Yiğit 2007).

Dahili MBR'lerde farklı amaçlar için genellikle iki tür havalandırma uygulanır. Reaktör tabanındaki difüzörlerden verilen kaba hava kabarcıklı havalandırma ile biyokütlenin oksijen ihtiyacı hedeflenir. Öte yandan membran yüzeyine uygulanan ince hava kabarcıklı havalandırma ile membran yüzeyine maddelerin birikip akıyı azaltması engellenmeye çalışılır. Yükselen hava kabarcıkları membran yüzeyinde türbülanslı karşı akım yaratıp (yaklaşık 1 m/s), membran yüzeyinde materyallerin birikmesini azaltır, böylece sistem daha etkin çalışır. Reaktördeki türbülanslı karışım ve reaktör

hidroliğinden dolayı iki havalandırma türü de pratikte hem temizleme hem de oksijen ihtiyacı taleplerini karşılayabilir. Membranlar arıtma tesislerinde dahili batık şekilde yada ayrı harici olarak konumlandırılabilir. Dahili ve harici sistemlerin birbirlerine göre farkları Çizelge 2.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10 Dahili ve harici MBR sistemlerinin birbirlerine göre farkları

<i>Dahili/Entegre MBR</i>	<i>Harici MBR</i>
Yüksek havalandırma masrafı	Düşük havalandırma masrafı
Düşük pompaj masrafı	Yüksek pompaj masrafı
Düşük akı (büyük alan gereksinimi)	Yüksek akı (küçük alan gereksinimi)
Daha nadir temizleme ihtiyacı	Daha sık temizleme ihtiyacı
Düşük işletme maliyeti	Yüksek işletme maliyeti
Yüksek ilk yatırım	Düşük ilk yatırım

Dahili batık MBR’ler daha düşük işletme akılarında çalıştırıldıkları için daha fazla geçirimsizliğe (permeabiliteye) dolayısıyla da daha fazla hidrolik verimliliğe sahiptirler. Düşük akı ile çalışmak batık MBR’lerde önemlidir çünkü bu uygulama membran kirlenmesini veya tıkanmasını minimize eder. Membran tıkanması MBR’lerin en önemli dezavantajlarından birisi olup, maliyeti artırıcı ve işletmeyi zorlaştıran temizleme mekanizmalarını gerektirir. Dahili batık MBR’ler harici MBR’lere göre daha düşük pompalama masrafları gerektirse de daha yoğun havalandırma ihtiyacı arz ederler. Bunun nedeni havalandırmanın membran tıkanmasını engelleyici ana yöntem olmasıdır. Ayrıca, batık MBR’lerde düşük akı ile çalışılması sabit süzüntü suyu debisi üretimi baz alındığında daha fazla membran yüzey alanı (dolayısıyla daha fazla ilk yatırım maliyeti) gerektirir. Ancak bu dezavantajlara rağmen, orta ve büyük ölçekli kentsel atıksu arıtmaları için genellikle seçilen ve uygulanan konfigürasyon dahili batık MBR’lerdir (Judd 2002a, Yiğit 2007).

2.4.1. MBR'lerin konvansiyonel sistemlere göre avantajları

MBR'lerde biyolojik askıda katı madde (mixed liquor suspended solids, MLSS) konsantrasyonları 12.000–15.000 mg/L değerlerine kadar ulaştırılabildiği için (konvansiyonel aktif çamurda MLSS yaklaşık 2.000–4.000 mg/L) arıtma için gerekli hidrolik bekleme süresi (HRT) konvansiyonel sistemlere göre azdır. Havalandırma havuzlarının hacim dizaynında HRT temel parametre olduğu için düşük HRT gereksinimi gerekli havuz hacmini düşürüp, ilk yatırım maliyetini azaltıp, işletme kolaylığı da sağlar (Judd 2001, 2006). Buna ek olarak arazi gereksinimi de azalır. Yine konvansiyonel aktif çamur sistemlerine göre MBR'lerde son çökeltme tankına ihtiyaç olmadığı için bu da ilk yatırım ve işletme maliyetini azaltıcı bir etmendir (Yiğit 2007).

MBR'lerde yüksek MLSS konsantrasyonlarından dolayı fazla çamur yaşı (solids retention time, SRT) ile işletim yapılabilir. Yirmi günden fazla SRT ile çalışıldığında çeşitli avantajlar ortaya çıkar. Bunlardan birincisi artırılmış iç solunumdan dolayı oluşan yeni biyokütle (yield) azalır ve bertaraf edilmesi gereken atık biyokütle miktarının azalması maliyeti düşürür. İkinci olarak, yüksek SRT değerlerinde nitrifikasyon daha verimli gerçekleşir ve nitrifikasyonun çeşitli ortam şartlarından olumsuz etkilenme şansı azalır. Üçüncü avantaj sentetik toksik organik maddelerin biyolojik ayrışmasını sağlayan özel mikroorganizmaların yüksek SRT değerlerinde daha etkin çalışmalarıdır. Yine yüksek MLSS konsantrasyonlarında çalışıldığında sisteme fazla organik yükleme de yapılabilir. Bu yüksek biyokütle konsantrasyonu aynı zamanda şok toksik yüklemelere karşı da daha dayanıklıdır. MBR'lerin en önemli avantajlarından birisi biyokütle/su ayrımı biyokütlenin çökelebileme özelliğinden bağımsızdır. Bunun nedeni bu ayırım prosesinin çökeltim prensibi ile değil fiziksel filtrasyon ile yapılmasıdır. Dolayısıyla, konvansiyonel sistemlerin son çökeltme havuzu işletiminde çok problem arz eden çökelemeyen biyokütle (filamentli flokların veya *Nocardia* türü mikroorganizmaların oluşmasından dolayı) durumu MBR'lerde yoktur. Aynı zamanda, MBR'lerde mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon ile çok küçük gözeneklerle ayırma yapıldığı için biyokütlenin tamamı tutulur (Ortiz vd. 2007). Buna bağlı olarak deşarj standartlarından birisi olan toplam askıda katı madde (AKM) MBR'lerde genelde çok düşük olur (yaklaşık 1-3 mg/L). İyi işletilen konvansiyonel sistemlerde ise bu rakam 10–30 mg/L arasındadır. Filtrasyon sonucu bulanıklık da MBR'lerde düşük değerlere düşer

(<0,5 NTU) ve çıkış suyu çok berrak bir görünüm alır. Bu kaliteli su üretiminden dolayı özellikle A.B.D.'de bu proses ile arıtılan atıksular geri kazanılmakta ve sulamada (tarımsal, rekreasyon, inşaat alanları, vs), endüstriyel ve diğer alanlarda (proses suları, yangın söndürme, tuvalet pisuarları, vs) kullanılmaktadır (Adham ve Trussel 2001). Böylece hem içme suyu kaynakları az kullanılıp korunmuş, hem de arıtılmış atıksular değerlendirilmiş olur. MBR'lerde işletim sırasında SRT konvansiyonel sistemlere göre çok daha rahat kontrol edilir. Çünkü son çökeltim tanklarında biyokütlenin bazı durumlarda iyi çökmemesinden dolayı savaklardan AKM kaçma durumu MBR'de yoktur (Yiğit 2007).

MBR'de biyokütlenin sistemden tek çıkma noktası nihai bertaraf için atılan atık çamurdur (Visvanathan vd. 2000, Lesjean vd. 2004). MBR'lerde fiziksel biyokütle ayrımı yanında aynı zamanda da çok kaliteli bir fiziksel dezenfeksiyon sağlanmış olur. A.B.D.'de gerek pilot gerekse de gerçek tesislerde MBR'lerin yaklaşık tüm protozoaları giderdiği, 5–6 log (logaritmik, ya da %99,999-%99,9999) bakteri, ve 1–2 log virüs giderimi sağladığı gözlenmiştir. Klorla dezenfeksiyona dayanıklı olan patojenik protozoalardan *Cryptosporidium* ve *Giardia* da MBR'de rahatlıkla tutulur. Bu rakamlar yaklaşık membrandaki 0,1 µm gözenek büyüklüğü dikkate alındığında beklenen rakamlardır. Bu bağlamda düşük bulanıklık yanında çok düşük patojen içerikli arıtılmış su rahatlıkla zirai sulama amaçlı kullanılabilir. Konvansiyonel sistemlere göre MBR'le arıtılmış atıksu çevre sağlığı ve mikrobiyal içerik yönünden çok daha güvenlidir. A.B.D.'deki standartlara göre MBR'le arıtılmış atıksular son bir dezenfeksiyon yapmak koşuluyla (geri kalan virüsleri bertaraf etmek ve sonradan oluşabilecek mikrobiyal büyümeyi engellemek için) direk tarımsal sulamada kullanılabilir (Yiğit 2007).

2.4.2. MBR'lerin genel dezavantajları

MBR'de arıtma prosesi tek bir havuzda gerçekleştiği için sistem mekanik ve kontrol açısından konvansiyonel sistemlere göre daha komplekstir. Ancak %100 otomasyon sayesinde işletim kolaylaşır. İşletim sırasında zamanla membran gözenekleri tıkanır ve arıtılmış su çekimi (akı) azalır, bunu engellemek için belirli aralıklarda basınçlı hava/su (backpulse) ve kimyasallarla (sitrik asit, sodyum hipoklorit, gibi) gözenekler temizlenir

(Judd, 2002a). Tüm bu temizlik işlemi otomatik yapılır. Ancak bu kimyasallar için az hacimlerde de olsa biriktirme amacıyla depolama tankları gerekir.

Evsel atıksuları arıtan MBR’lerde tipik çıkış suyu kaliteleri Çizelge 2.11’de gösterilmiştir (Adham ve Gagliardo 1998, Adham vd. 2001).

Çizelge 2.11 Membran biyoreaktörden çıkan arıtılmış suların tipik parametre değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Tipik Değerler</i>
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	< 2,0 mg/L
Toplam askıda katı madde (AKM)	< 2,0 mg/L
NH ₃ -N	< 1,0 mg/L (nitrifiye eden tesislerde)
Toplam Fosfor (TP)	< 0,1 mg/L (biyolojik olarak ya da kimyasal olarak alum katkısıyla)
Toplam Azot (TN)	< 10,0 mg/L (orta sıcaklıktaki iklimlerde)
Toplam Azot (TN)	< 3,0 mg/L (sıcak iklimlerde)
Silt yoğunluk indeksi (SDI)	< 3,0
Bulanıklık	< 0,5 NTU
<i>Mikrobiyolojik</i>	
Bakteriler	5-6 log giderim
Virüsler	1-2 log giderim
Protozoalar (Cryptosporidium ve Giardia)	Tam giderim

Çizelge 2.12’de MBR ve diğer biyolojik sistemlerde tipik çamur üretimleri karşılaştırılmıştır. MBR’ler yüksek SRT değerlerine ulaşabildiklerinden çamur üretimleri konvansiyonel aktif çamura göre önemli derecede azdır (Mayhew ve Stephenson 1997, Cicek vd. 1999a, Judd 2002b). Çamur işleme ve bertarafı toplam arıtma işletim maliyetinin önemli bir kısmını oluşturduğu için bu yönden az çamur üretimi MBR’ler açısından avantajdır.

Çizelge 2.12 Değişik arıtma prosesleri için çamur üretimleri

<i>Arıtma Prosesi</i>	<i>Çamur Üretimi (kg/kg BOİ₅)</i>
Batık tip MBR	0,0 – 0,3
Düzenli medya biyolojik havalandırmalı filtre	0,15 – 0,25
Damlatmalı Filtre	0,3 – 0,5
Konvansiyonel Aktif Çamur	0,6
Granüler medya biyolojik havalandırmalı filtre	0,63 – 1,06

Son on yıldan günümüze kadar polimer kimyasındaki gelişmeler, polimer üreticileri arasındaki rekabetten dolayı membran fiyatları oldukça düşmüştür (Daigger vd. 2005). MBR sistemi ile arıtılan suların geri kullanılması ile birlikte MBR sistemlerinin yatırım maliyetleri neredeyse konvansiyonel sistemlerle aynı olmaktadır (Daigger vd. 2005, Galil ve Levinsky 2007).

Şekil 2.7’de İzmir Torbalı Organize Sanayi Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi’nde bulunan batık membran reaktör gösterilmektedir.

Şekil 2.8’de Bodrum Konacık Evsel Atıksu Arıtma Tesisi’nde bulunan ters osmoz ünitesi gösterilmektedir. Batık membran biyoreaktörden çıkan arıtılmış sular ters osmoz ünitesinden geçiriliyor. Çıkan su pilot içmesuyu depolarına aktarılarak tesis içerisinde kullanma suyu olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 2.9’da Konya Organize Sanayi İçmesuyu Arıtma Tesisi’nde bulunan ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleri gösterilmektedir.

Şekil 2.10’da ise Konya Organize Sanayi İçmesuyu Arıtma Tesisi’nde bulunan kimyasallarla temizlenen membran kartuşları gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Batık membran reaktör
(İzmir Torbalı Organize Sanayi Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi)



Şekil 2.8 Ters osmoz ünitesi
(Bodrum Konacık Evsel Atıksu Arıtma Tesisi)



Şekil 2.9 Ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleri
(Konya Organize Sanayi İçmesuyu Arıtma Tesisi)



Şekil 2.10 Membran kartuşları (Konya Organize Sanayi İçmesuyu Arıtma Tesisi)

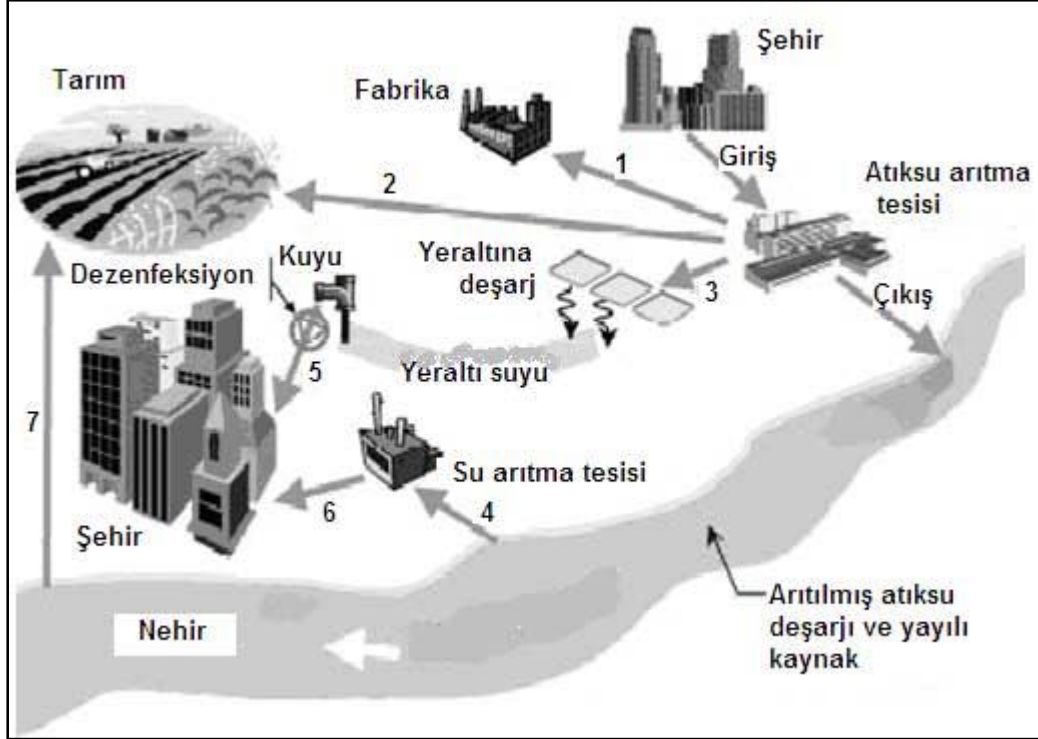
2.5. Atıksuların Yeniden Kullanılması

Hızlı nüfus artışı, aşırı sanayileşme, artan kuraklık ve aşırı tüketim anlayışı ile birlikte su kaynakları hızlıca tüketildiği için günümüzde alternatif su kaynaklarının kullanılması bilinci hızla gelişmektedir. Talebe karşılık tatlı su kaynaklarını yenileyip artırmak teknik ve ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek değişik pratik çözümlere gerek vardır. Bu bağlamda temiz su kaynaklarının korumanın ilk yolu atıksuların arıtılıp geri kazanılarak yeniden kullanmasıdır. Atıksuların arıtılarak yeniden kullanılması sayesinde hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılacak hem de arıtılmış suların deşarj edildikleri alıcı ortamlara olan çevresel etkileri minimize edilmiş olacaktır.

2.5.1. Arıtılmış suların yeniden kullanım alanları

- Kentsel Kullanım
 - 1) Refüjler, parklar, rekreasyon alanları, spor tesisleri, otoyol kenarları
 - 2) Uydu kentlerde yeşil sahalar
 - 3) Ticari ve endüstriyel gelişme alanları ve tuvalet pisuarları
 - 4) Golf merkezleri
 - 5) İnşaat projelerinde toz kontrol ve beton üretimi
 - 6) Araç yıkama tesisleri
- Endüstriyel kullanım
 1. Soğutma suyu
 2. Kazan besleme
 3. Tesis yeşil alan sulaması
- Yangın söndürme
- Zirai sulama
- Yeraltısuyu beslemesi/enjeksiyonu
- Sahil bölgelerinde tuzlu suyun yer altı tatlı su kaynaklarına girişiminin engellenmesi
- İçmesuyu veya kullanma suyu kalitesindeki akiferlerin beslenmesi
- Aşırı yer altı suyu pompalanması sonucu oluşabilecek göçüklerin engellenmesi (Metcalf&Eddy 2006).

EUREAU'nın (2004) derlemiş olduğu bir bildiriden alınan atıksu geri kazanım tipleri şematik olarak gösterimi Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 Atıksu geri kazanım tiplerinin şematik gösterimi

(1: Direkt endüstriyel geri kullanım, 2: direkt tarımsal geri kullanım, 3: Yeraltına deşarj, 4: Nehirden dolaylı kullanım, 5: Kuyulardan dolaylı kullanım, 6: İçme suyu şebekesine, 7: Dolaylı tarımsal kullanım)

2.5.2. Dünya'da atıksuların yeniden kullanılması

Dünya'daki geri kazanım uygulamaları yeni değildir ve çok eskilere dayanmaktadır. 1926'da Arizona'da Grand Canyon Doğal Parkında, arıtılmış atık sular ikili su temin sistemi ile ilk olarak tuvaletlerde, bahçe sulamalarında, soğutma suyu ve kazan besleme suyu olarak kullanılmışlardır. 1929'da California Pomona kentinde arıtılmış atık suların bahçe ve tarla sulamasında kullanımı için bir proje başlatılmıştır. 1912'den önce, atık sular (önce arıtılmadan ve septik tanklarda arıtıldıktan sonra) San Francisco Golden Gate Parkta arazi sulaması için kullanılmışlardır. 1932'de parka yakın bir atıksu arıtma tesisi inşa edilmiş ve arıtılmış atık sularının geri kullanımı 1985'e kadar devam etmiştir.

1942 yılında arıtma tesisi çıkış suyunu klorlayarak kullanmaya başlayan bir çelik fabrikası, günümüzde ön metal soğutma ve çelik işlemeden gelen yaklaşık 400.000 m³/gün debideki ikincil arıtma çıkış suyunu yeniden kullanmaktadır.

Ancak, modern geri kazanım uygulamaları 1960'lı yıllardan sonra başlamıştır. 1960'lı yıllarda, atıksu arıtma teknolojisindeki gelişmelerle birlikte modern geri kazanım uygulamaları da başlamıştır. 1960'da Colorado'da ikili su temin sistemi geliştirilmiş ve arıtılmış evsel atık sular golf sahaları, parklar, oto yollardaki yeşil alanların sulanması için kullanılmaya başlamıştır. 1975 yılında Kaliforniya'daki geri kazanım tesisi (Water Factory 21), geri kazanılmış atıksuyun kullanım suyu olarak kullanıldığı dolaylı kullanıma ilk ve en güzel örneklerden birisidir. Yeraltına enjekte edilen arıtılmış atıksu, kuyularla tekrar çekilerek kullanım suyu olarak şebekede tüketilmektedir. İkili su temin sistemine benzer kentsel atıksu geri kullanım sistemi Florida'da 1977'de kurulmuştur. Arıtılmış sular şimdi yaklaşık 320 km'lik çiftli su dağıtım sistemi ile şehir parklarının, golf sahalarının, okul bahçelerinin, kırsal yerleşimlerin sulanması ve soğutma kulesi sularının hazırlanması için kullanılmaktadır. 1962 yılında Los Angeles, California'da Whittier Narrovs'da arıtılmış kentsel atık sular ile yeraltı suyu besleme projesi başlatılmıştır. 20 yıllık kayıtlardan çoğundaki yoğun sağlık etkilerinin değerlendirilmesinden sonra, araştırmacılar bölgede yeraltı suyunda ölçülebilir herhangi bir ters etki olmadığını saptamışlardır (Tchobanoglous ve Burton 1991).

Ürdün, Filistin, Tunus ve İsrail vb. kurak ve yarı kurak iklimin egemen olduğu ülkelerde atıksuların yeniden değerlendirilmesi oldukça yaygındır. İsrail, kullanılan suların %70'lik kısmının toplanarak arıtılması ve bu arıtılmış suların tarımsal sulamada yeniden kullanılması yönünden dünya lideri konumundadır. (Kanarek ve Michail 1996).

Japonya, parkların, golf sahalarının ve spor sahalarının sulanmasında, otoban temizliği ve yangın söndürme işlemleri gibi kentsel su ihtiyaçlarını geri kazanabilen suların kullanması yönünden dünya lideri konumundadır. Yeniden kullanılan arıtılmış suların %8'i (yani yaklaşık 8 milyon m³/yıl) kentsel su ihtiyaçlarını sağlamada kullanılıyor (Takashi 2000).

St. Petersburg’da geri kazanılmış atıksuların çeşitli amaçlar için kullanılması konusunda öncülük eden kentlerdendir. Kentte 1990’lı yıllarda 7.000 kullanıcıya günde 79.000 m³ geri kazanılmış su tahsis edilmiştir. Bu amaçla 420 km uzunluğunda ve çapları 5 ila 122 cm arasında değişen borulardan teşkil bir dağıtım şebekesi inşaatı yapılmıştır. Tahsis edilen su bahçe, park ve beyzbol sahalarının sulanmasında, yangınla mücadelede ve soğutma suyu olarak endüstrilerde kullanılmaktadır. (Crook vd. 1992).

200.000 kişinin yaşadığı Limassol’da 1995 yılından beri yılda 3,5 Mm³ kentsel atıksu geri kazanılarak parkların ve golf sahalarının sulanmasında, yeraltı suyuna suni beslemede ve sulamada kullanılmaktadır. Limassol deneyimi su temini ve tehdit altında bulunan çevresel değerlerin (yeraltı suyu kaynakları) korunması için kentsel atıksuların değerli bir kaynak olduğunu göstermiştir (Papaiacovou 2001).

Çin’de 400’den fazla kentte su sıkıntısı yaşanmaktadır. Nüfus ve endüstriyel faaliyetlerdeki artış kentsel atıksuların geri kazanılması için projelerin geliştirilmesine neden olmuştur. Merkezi hükümet ve yerel otoriteler de konu üzerinde yapılan araştırma ve projeleri desteklemiştir. Birçok kentte kentsel atıksu geri kazanma ve yeniden kullanma projesi planlanmış ve hayata geçirilmiştir. Beijing kentinde 2008 yılı sonunda geri kazanılan atıksu oranının % 50’ye çıkartılması planlanmıştır. Suyun sulama, kullanma suyu (temizlik, tuvalet vb.) ve rehabilitasyon amaçlı kullanılması düşünülmektedir. Yine aynı kente bulunan Gaobeidian Atıksu Artıma Tesisi’nden geri kazanılan 300.000 m³/gün atıksu soğutma suyu, rehabilitasyon ve peyzaj amaçlı olarak kullanılmaktadır. Tianjin, Qingdao, Xi ve Hefei kentlerinde de kentsel atıksular geri kazanılmaktadır. Elde edilen su bahçe sulamada, kullanma suyu temininde, endüstriyel üretimde vb. kullanılmaktadır (Xingcan 2002).

Çizelge 2.13’te Dünya’da yaşanan atıksuların yeniden kullanımı ile ilgili önemli gelişmeler MetCalf-Eddy (2006) tarafından verilmiştir. Genelde, geri kazanım uygulamalarının büyük bir kısmı tarımsal sulama maksatlı olarak yapılmıştır. Doğrudan kullanım için ise Singapur’daki NEWater projesi çok güzel bir örnektir. İleri teknoloji ile arıtılmış atıksu, doğrudan şehir şebekesine verilmekte ve şişe suyu olarak satılmaktadır.

Çizelge 2.13 1960'lı yıllar sonrasında uygulanan belli başlı atıksu geri kazanım uygulamaları

Zaman	Yer	Uygulama
1960	Sacramento, ABD	Kaliforniya'da atıksu geri kazanımı teşvik edilmeye başlanmıştır.
1962	Los Angeles, ABD	Aritılmış atıksuyun yer altına sızdırılması projesi başlanmıştır.
1962	La Soukra, Tunus	Aritılmış atıksuyun yeraltına deşarjı ve sulamada kullanılması başlanmıştır.
1965	San Diego, ABD	Aritılmış atıksular ile beslenen göller balıkçılık ve yüzmeye açılmıştır.
1965	İsrail	İkincil arıtma çıkışı bitki sulamasında kullanılmaya başlanmıştır.
1975	Fountain Valley, ABD	Aritılmış atıksuların kullanma suyu temin edilen yeraltı kuyularına beslenmesine başlanmıştır.
1977	Irving, ABD	Aritılmış atıksu ikinci bir şebeke ile yeşil alan sulamasında kullanılmaya başlanmıştır.
1977	St.Petersburg, FL	Büyük bir atıksu geri kazanım projesi başlatılmıştır.
1977	Tel Aviv, İsrail	Dan Region Projesi: Aritılmış atıksu yeraltına deşarj ediliyor ve kuyularla çekilip 100 km uzaklıktaki bölgelerin sulaması yapılıyor.
1984	Tokyo, Japonya	Evsel atıksu arıtma çıkışından gelen arıtılmış atıksu, ikinci bir şebeke ile büyük iş merkezlerinin tuvalet sifonlarında kullanılmaktadır.
1989	Girona, İspanya	Golf sahalarının sulaması gerçekleştirilmektedir.
1999	Adelaine, Avustralya	Avustralya'nın en büyük geri kazanım uygulaması olan 120.000 m ³ /günlük evsel atıksu arıtma tesisi çıkışı tarımsal sulamada kullanılmaktadır.
2002	Singapur	NEWater projesinde ters osmoz çıkışı direkt olarak şebekeye verilmektedir.
2003	Sacramento, ABD	Su geri kullanımı projesi başlatılmıştır.

2.5.3. Türkiye’de atıksuların yeniden kullanımı

Türkiye’de atıksuların arıtılıp yeniden kullanılmasına yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmasına rağmen halen yeteri düzeyde değildir. Türkiye’de arıtılmış atıksuların yeniden değerlendirme yöntemlerinden biri olan tarımsal alanların sulanmasına yönelik örnek çalışmalar Çizelge 2.14’te gösterilmiştir (Gökçay 2008).

Çizelge 2.14 Türkiye’de arıtılmış suların tarımsal sulamada kullanılması

Yeri	Adı	m ³ /yıl	Alıcı Ortam	Sulama Şekli
Aksaray (Ön arıtma)	Aksaray Belediyesi A.A.T	9.125.000	Karasu Irmağı	Dolaylı*
Ankara	ASKİ, Ankara Merkezi A.A.T.	192.695.545	Ankara Deresi	Dolaylı*
Eskişehir **	ESKİ, Eskişehir Merkezi A.A.T.	24.820.000	Porsuk nehri	Doğrudan
Gaziantep **	GASKİ, Gaziantep Merkezi A.A.T.	73.000.000	Seyhan nehri	Doğrudan
Iğdır	Iğdır Merkezi A.A.T. (Havalandırılmalı Lagün)	551.880	Aras Irmağı	Dolaylı*
Kayseri	Kayseri Merkezi A.A.T	32.850.000	Karasu Irmağı	Dolaylı*
Adana	Kozan Merkezi A.A.T.	2.780.000	Kozan Çayı	Dolaylı*
Adana	Yumurtalık Merkezi A.A.T.	48.000	Ayas Çayı	Dolaylı*
Konya	İlgın Merkezi A.A.T.	2.838.240	Bulasan Irmağı	Dolaylı*
Nevşehir	Ürgüp Merkezi A.A.T.	-	Damsa Çayı	Dolaylı*
İzmir	İZSU, İzmir Merkezi A.A.T.	182.500.000	İzmir Körfezi	Doğrudan

Dolaylı*: Atıksular önce bir ırmağa boşalır oradan sulama için çekilir,

** GASKİ A.A.T. 8000 ha; ESKİ A.A.T. 5.000 ha arazinin sulanmasında kullanılıyor,

Sulama projeleri hazırlanmakta olanlar;

Küçük tesisler: Konya-Kadınhanı ve Niğde-Bor A.A.T atıksuları doğrudan tarımsal sulamada kullanılmaktadır. (toplam 5000 ha)

2.5.4. Arıtılmış suların tarımda sulama suyu olarak kullanılmasına etki eden faktörler

Arıtılmış atıksu, sulama suyu olarak düşünüldüğünde ürün verimi ve toprak özellikleri önemle dikkate alınmalıdır. Farklı birçok sulama suyu kalite standartları mevcuttur.

Ürün yetiştirme, toprak koşulları ve sulama yönetimi üzerinde su kalitesinin uzun süreli etkisi düşünülür ve standartlar temiz su ve arıtılmış atıksu için uygulanabilir. Su kalitesi ile birlikte potansiyel yönetim problemleri dört gruba ayrılır:

- Tuzluluk
- Özgül iyon toksisitesi
- Su infiltrasyon hızı
- Çeşitli problemler

✓ Tuzluluk

Sulama suyunda tuzluluk, elektriksel iletkenlik ölçülerek tanımlanır ve bir suyun sulama için kullanılabilirliğinin tanımlanmasında en önemli parametredir. Suyun elektriksel iletkenliği (EC), toplam çözünmüş katı madde konsantrasyonunun (TDS) ölçümü olarak kullanılır. Elektriksel iletkenlik mmhos/cm veya dS/m olarak verilir.

$$(1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ dS/m})$$

Tuzluluk değerleri aynı zamanda mg/L TDS olarak da verilebilir.

$$\text{TDS (mg/L)} = \text{EC (mmhos/cm veya dS/m)} * 640$$

Tuzların varlığı bitki yetişmesini üç şekilde etkiler:

- Osmotik etkiler (toprak suyundaki toplam çözünmüş tuz konsantrasyonu nedeniyle olur)
- Özgül iyon toksisitesi, (bireysel iyon konsantrasyonları nedeniyle)
- Toprak partikül dispersiyonu (yüksek sodyum ve düşük tuzluluk nedeniyle)

Sulanmış alanlarda tuz, bölgesel yeraltı suyundan veya uygulanan sulama suyundaki tuzdan kaynaklanır. Tuz evapotranspirasyona bağlı olarak kök bölgesinde yoğunlaşır ve toprak tuzluluğunun artışı ile bitki zarar görür.

Bu koşullarda, suyun sürekli hareketini sağlamak için iyi bir drenaj esastır ve böylece tuz kök bölgesinin altına iner. Arıtılmış atık suların sulama için uzun süreli kullanımı yeterli drenaj olmaksızın mümkün değildir.

Bitki kullanımından daha çok su kullanılırsa, suyun fazlası kök bölgesinin altına inecektir, bu sırada biriken tuzların bir kısmını da beraberinde taşıyacaktır. Sonuç olarak, toprak tuzluluğu sızan kısma bağlı olarak sabit bir değere ulaşacaktır.

✓ Özgül iyon toksisitesi

Bitki büyümesindeki azalma osmotik etkilerden çok özel iyonların konsantrasyonlarına bağlı ise bu durum "özüml iyon toksisitesi" olarak bilinir. Atıksu içinde bu duruma neden olan iyonlar sodyum, klorür ve bor'dur. Bunlar içinde en çok toksisiteye neden olan bor'dur. Bor kaynağı genellikle deterjanlar veya endüstriyel tesislerden yapılan deşarjlardır.

Hassas bitkiler için özüml iyon toksisitesinin, suyu veya bitkiyi değıştirmeksizin doğrulanması zordur. Yüksek evapotranspirasyon hızları, sıcak ve kuru hava koşullarına bağılı olarak gelişir.

Sulamada izin verilen maksimum iz element konsantrasyonları Çizelge 2.15'te özetlenmiştir. Bu seviyelerin üzerinde elementel konsantrasyonlar içeren suyun kullanıldığı bazı durumlarda bu elementler bitkide ve toprakta birikebilir ve insan ve hayvan sağılığı problemlerine neden olabilir veya bitkilerde phytotoksisiteye neden olur.

Çizelge 2.15 Sulamada izin verilen maksimum iz element konsantrasyonları

Parametre	Konsantrasyon(mg/L) (Bakteri hariç)
Alüminyum	5
Arsenik	0,1
Fekal koliform, MPN/100 mL	1000
Berilyum	0,1
Kadmiyum	0,01
Krom	0,1
Kobalt	0,05
Bakır	0,2
Florür	1
Demir	5
Kurşun	5
Lityum	2,5
Manganez	0,2
Molibden	0,01
Nikel	0,2
Selenyum	0,02
Vanadyum	0,1
Çinko	2

✓ Su infiltrasyon hızı

Yüksek sodyum içeriğinin diğer dolaylı etkisi toprağın fiziksel koşullarının bozulmasıdır. (Toprak permabilitesinin azalması gibi). İnfiltrasyon hızı önemli ölçüde azalırsa, ürün veya peyzaj bitkisinin yeterli su ile büyümesini sağlamak imkansızlaşır. Bu gibi durumlarda etkilenmiş alanı yeniden düzenlemek ve kazmak suretiyle toprak profillerini modifiye etmek gerekebilir. Su infiltrasyon problemi toprağın üstteki 5–10 cm'lik kısmında oluşur ve esas olarak yüzey toprağının yapısal stabilitesi ile ilişkilidir.

Potansiyel infiltrasyon problemini göstermek için sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) kullanılır ve aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$SAR = Na / (Ca + Mg) / 2^{1/2}$$

Bu bağıntıda katyon konsantrasyonları meq/L' dir.

Arıtılmış kentsel atık sular ile sulama uygulamalarında, toprak suyunda kalsiyum çözünürlüğündeki değişikliklerin de hesaba katıldığı düzenlenmiş sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) kullanımı tercih edilir. Çünkü bu değer zemin suyundaki kalsiyum değişikliklerini daha gerçekçi yansıtır. Verilen bir SAR değerinde tuzluluk artarken infiltrasyon hızları da artar.

Arıtılmış kentsel atık suların normal olarak kalsiyum değeri yüksektir ve yüzey toprağından kalsiyumun çözünmesi ve sızması arasında çok az bir ilişki vardır. Bununla birlikte sodyum değeri yüksek ise, arıtılmış kentsel atıksu ile planlanan sulama projelerinde kullanılan yüksek SAR değerleri önem taşımaktadır.

✓ **Nutrientler**

Arıtılmış kentsel atık sudaki nutrientler, ürünler ve peyzaj bitkileri için gübre değeri taşır. Bununla birlikte bitki ihtiyacının aşıldığı bazı durumlarda problemlere neden olabilir. Ziraat ve peyzaj yönetiminde önemli nutrientler N, P, K, Zn, B ve S'dür. Arıtılmış kentsel atık suda en yararlı ve en çok rastlanan nutrient azottur.

2.5.5. Arıtılmış atıksuların sulama suyu kalite kriterleri

T.C. Çevre Bakanlığınca 7 Ocak 1991 tarihli 20748 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliğine göre ülkemizde geçerli olan sulama suyu kalite kriterleri Çizelge 2.16'da verilmektedir. Ancak bu tebliğde bitki türüne göre herhangi bir sınıflandırma yapılmamıştır.

İsrail'de ve Kaliforniya'da uygulanan ve birbirine paralellik gösteren sulama suyu kriterlerinde ise bitki türleri esas alınarak çok daha hassas değerler belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 2.17'de verilmektedir (Shelef 2002).

Çizelge 2.17'de görüldüğü gibi ancak ileri arıtma yapılarak istenen kriterlerin altına inmek mümkündür. Ancak bunun bir ek maliyet getireceği de unutulmamalıdır.

Çizelge 2.16 Resmi gazetede 7 Ocak 1991 tarihinde yayınlanan sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kriteri

Kalite Kriterleri	I.Sınıf (çok iyi)	II. Sınıf (iyi)	III. Sınıf (kullanılabilir)	IV. Sınıf (ihtiyatla kullanılabilir)	V.Sınıf (zararlı)
EC25 *10 ⁶	0–250	250–750	750–2000	2000–3000	>3000
% Na	<20	20–40	40–60	60–80	>80
(SAR) oranı	<10	10–18	18–26	>26	
Sodyum Karbonat bakiyesi (RSC)					
meq/L	>1.25	1.25–2.5	>2.5		
mg/L	<66	66–133	>133		
Cl ⁻ , meq/L	0–4	4–7	7–12	12–20	>20
mg/L	0–142	142–249	249–426	426–710	>710
Top. Tuz, mg/L	0–175	175–525	525–1400	1400–2100	>2100
SO ₄ ⁼ , meq/L	0–4	4–7	7–12	12–20	>20
mg/L	0–192	192–336	336–575	575–960	>960
Bor, mg/L	0–0.5	0.5–1.12	1.12–2	>2	
NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺					
mg/L	0–5	5–10	10–30	30–50	>50
Fekal Koliform, */100mL	0–2	2–20	20–100	100–1000	>1000
BOI ₅ , mg/L	0–25	25–50	50–100	100–200	>200
AKM, mg/L	20	30	45	60	>100
pH	6.6–8.5	6.5–8.5	6.5–8.5	6.5–9	<6 veya >9
Sıcaklık °C	30	30	35	40	>40
Sulama suyu sınıfı	C1S1	C1S2. C2S2. C2S1	C1S3.C2S3. C3S3.C3S2. C3S1	C1S4.C2S4. C3S4.C4S4. C4S3.C4S2. C4S1	

Çizelge 2.17 İsrail’de geçerli olan tarımsal sulama için gerekli su kalitesi

	Pamuk, Şeker, Orman Sulaması	Zeytin, yer fıstığı, Fındık vb.	Futbol Sahası vb.	Serbest Bitkiler, Çimen
Çıkış Suyu Kalitesi				
Toplam BOİ ₅ (mg/L)	60	45	35	15
Çözünmüş BOİ ₅ (mg/L)	-	-	20	10
AKM (mg/L)	50	40	30	15
ÇO (mg/L)	0.5	0.5	0.5	0.5
Koliform/100mL	-	-	250	12
Kalıntı klor (mg/L)	-	-	0.15	0.5
Ek arıtma				isteğe
Kum filtresi				bağlı
Klorlamada min. kontak zamanı				120
Uzaklıklar				
Yerleşim yerinden, m	300	250	-	-

Teknik Usuller Tebliği arıtılmış suyun sulamada kullanılmadan önce klorlanmasına müsaade etmektedir. Ancak, bazı gelişmiş ülkelerde yapılan yeni araştırmalar klorun organik maddelerle verdiği reaksiyonların son ürünlerinin gerek bitki sağlığı gerekse bitkiler yolu ile alınmasını takiben insan sağlığı açısından sakıncalar yarattığını ortaya koyduğundan sulamada kullanılacak atıksuyun dezenfeksiyonunda klor kullanımının kısıtlanmasına gidilmiştir (Alman Standardı DIN 19650).

Arıtılmış atıksu ile sulama yapılması düşünülen alanlarda, yenen ürünler yerine, endüstriyel önemi olan bitki üretimi düşünülmelidir. Ayrıca, ahşap eldesi için ağaç yetiştirilmesinin ekonomik yönü de incelenebilir. Ancak, uygun bölgelerin seçilmesiyle, ağaç yetiştirilmesinin ikincil yararları da göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle paulownia ve okaliptüs türlerinin plantasyonları arıtılmış suların yeniden kullanılmasında değerlendirilebilir.

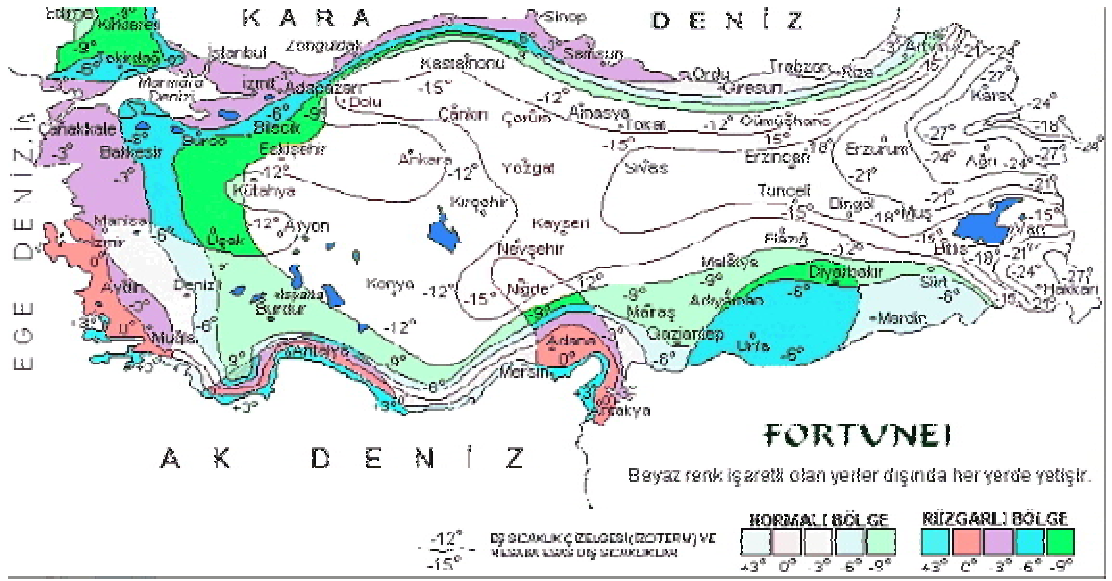
2.6. Paulownia Ağacı ve Paulownia'nın Çevresel - Ekonomik Yararları

Paulownia Sieb&Zucc., Çin'in kuzey-batı, batı ve güney batı bölgelerinde doğal yayılış yapan, Çin imparatoriçe ağacı, prenses ağacı yada Kiri ağacı olarak bilinen bir ağaç cinsidir. İlk olarak 1785 yılında İsviçreli botanikçi Thunberg tarafından teşhis edilmiştir. Çin ve Japonya'da 2600 yıldan beri yetiştirilmekte ve kullanılmaktadır. Dünyada Paulownia yetiştiriciliğinde önde gelen ülke Çin'dir. 1960 senesinden bu yana Çin Halk Cumhuriyetinde çiftçiler tarafından tamamen benimsenen Paulownia, günümüzde başta Çin Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Vietnam, Laos, Tayland, Hindistan, Yeni Zelanda, Malezya olmak üzere kırktan fazla ülkede yetiştirilmektedir. Çin Halk Cumhuriyetinde Paulownia ekili tarımsal ormancılık alanlarının toplam yüzölçümü 1.8 milyon hektardır. Gençleştirmenin kolay, yetiştirme maliyetinin düşük olması ve çok yönlü kullanımı üzerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Batılı ülkelerde de adaptasyon denemeleri yapılmaktadır. 20. yüzyılın son çeyreğinde Amerika'dan Avustralya'ya kadar dünyanın birçok yerinde yaygın olarak yetiştirilmeye başlanmıştır. Bugün dünyada yaklaşık 24 milyon dönümde çeşitli amaçlar için tarımı yapılmaktadır (Kaplan 2008).

Kombine ürün yetiştirmede önemli bir ağaçtır. Uygun koşullar altında sadece bir fert 1 m³'e yakın kerestelik emval verebilme yeteneğindedir. Sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynak yönetimi bakımından kütük sürgünlerinden yararlanılarak 1 kütükten 10 defa ürün almak mümkündür. Dolayısı ile ilk yatırımdan sonra çok az masraf ile yüksek gelir elde edilebilir (Kaplan 2008).

Ülkemizde paulownia ilk defa 1999 yılında Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü tarafından orijin denemelerine konu edilerek 4 farklı türün 20 orijinde denenmesine başlanmıştır.

Ülkemizin birçok bölgesinde yetişebilmelerine rağmen en uygun bölgeler Şekil 2.12'de Türkiye haritası üzerinde gösterilmiştir. Haritaya bakıldığında Paulownia ağacı beyaz renkli işaretli yerler dışında her yerde yetişir.



Şekil 2.12 Paulownia'nın Türkiye'de yetiştirilebileceği en uygun bölgeler

Kerestesi açık renkli, hafif ve kokusuzdur. Dış ortamda kurutulmuş Paulownia kerestesinin yoğunluğu 0.26 g/cm^3 ile 0.33 g/cm^3 aralığındadır. Mükemmel bir ağırlık - dayanım oranına sahip olmasından dolayı sert ağaçlar sınıfına girmektedir. Budaksız, düzgün desenli, işlenmesi kolay, dengeli, kırılmaya, çatlamaya, bükülmeye, çarpılmaya ve çürümeye karşı dayanıklıdır. Çekme katsayısı (% 0.27 - 0.37) yoğunlukla kullanılan pek çok ağaç türünden düşüktür. Oda sıcaklığında 25 günde % 10 nem içerecek kadar kuruyabilmesi, fırınlama maliyetini ortadan kaldırmaktadır. Fırınlama süresi sadece 1 gündür. % 21.31 nem ihtiva eden bir Paulownia kerestesinde bulunan su yoğunluğu, 0.056 g/m^3 'tür. Paulownia ağacından yapılan mobilyalar nemli ortamlarda dahi çarpılmaya, çatlamaya ve deformasyona dayanıklıdır. Paulownia kerestesi gemi içi dekorasyon ve kamara yapımında kullanılmaktadır.

Kontrplak ve kaplama yapımında kullanılmaktadır. Kaplama kalınlığı 0.25 mm'ye kadar düşürülebilmektedir. Kontrplak yapımında daha çok 1,2-1,4 mm kalınlığında kesim yapılmaktadır. Kolay işlenebilmesinden dolayı, dekoratif ahşap işlemeciliğinde kullanımı çok yaygındır. Model uçak ve planör yapımı için ideal bir malzemedir. Diğer ağaç türlerinden yaklaşık % 40 daha hafif olması, taşıma, paketleme kasa ve kutularında kullanıldığında, yükleme hacmini arttırmaktadır (Kaplan 2008).

Ev içinde kullanılan doğramalarda, yüksek mekanik dayanıklılığın gerektiği uygulamalar dışında, kapı, pencere, lambri yapımında kullanılmaktadır. Ses iletim özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı müzik aletleri yapımında tercih edilmektedir.

Termal geçirgenliği test edilen 40 ağaç türü içinde en düşük olan Paulownia, elektrik geçirgenliğinin de diğer ağaç türlerine oranla çok düşük olması nedeniyle çok iyi bir yalıtım, izolasyon malzemesidir. Son yıllarda duvar dekorasyon panellerinde kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Talaşı, soğutma sistemlerinin izolasyonunda kullanılmaktadır. Mobilya yapımında kullanılamayacak kadar küçük kesitli bölümleri daha çok sunta yapımında veya kâğıt hammaddesinde değerlendirilir. Tutkal tutuculuğu çok iyi olmasından dolayı, diğer ağaçlarla karıştırılarak iyi kalite sunta yapımında kullanılır. Beyaz ve çok kaliteli kâğıt hammaddesi elde edilir.

Kerestenin kokusuz olma özelliği gıda maddelerinin saklaması için kullanımını mümkün kılmaktadır. Bira, şarap ve yağ fıçısı, çay kutusu, meyve kasası yapımında kullanılmaktadır.

Paulownia kerestesinden yapılmış arı kovanları, diğer ağaçlardan yapılmış kovanlara göre hafif olmasının yanı sıra, yaz aylarında daha serin, kış aylarında da daha ılık bir ortam oluştururlar. Paulownia kerestesi, okullarda kara tahta olarak da kullanılmaktadır. Paulownia odun kömürü aktif karbon elde edilen endüstrilerde, mum boya ve havai fişek yapımında kullanılmaktadır. Soluk sarı ve bal görünümünde, kokusuz, pürüzsüz ve budaksızdır. Kg/m³'e yüksek miktarda kereste çıkar. Düşük çekme, kırılma ve deforme olmama ayrıca çok yüksek ısı direnci gibi özellikleri vardır. Selüloz oranı ise % 46-49 arasında değişir.

Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında Paulownia çok miktarda çiçek üretir. Hafif yapısının yanında yazın serin kışın sıcak tutabilen dokusu arı kovanları için uygun atmosferi eksiksiz sunmaktadır. Bu ağaçtan üretilen bal, açık renk olup özel bir aroması yoktur, ancak yüksek miktarda üretilir ve ticari karışımlar için ideal bileşim olarak kullanılır (Kaplan 2008).

Paulownialar çok geniş ve yüksek hacimde yaprak üretirler. Kuru yaprakların besin değeri yağ, şeker ve protein açısından zengin olup, ağırlıkları oranında tahıl ile aynı

değere sahiptir. Paulownia kök sistemi toprağın çok derinlerine giderek, fidanlıktaki diğer ürünlerin ulaşamayacağı rutubet ve besin maddelerini alır. İşte bu derin toprak tabakalardan alınan besinler ve rutubet, sonbaharda dökülen yapraklarla oluşan zengin örtüyü oluşturur.

Paulownia ağacının en büyük özelliği, diğer ağaçların 25-30 yılda gösterdiği büyüme performansını birkaç yılda göstermesidir. Yetiştiricilik yapmak isteyenlere hem kolay hem de kısa sürede yetişmesi açısından kazanç kapıları aralayan bu ağaç ülkemizde henüz tanınmamasına karşın, Çin'de yaklaşık 2600 yıldır yetiştirilmektedir

Ev Yapımında: Kerestesi çok kuvvetli olmadığından aşırı derecede yük binen mekanik aksamalarda kullanılması tavsiye edilmez. Bununla birlikte evin birçok yerinde kullanılabilir. Paulownia'dan yapılan çatı kirişleri hem estetik durur hem de uzun yıllara dayanır. Cichung Bölgesi, Szechuan Vilayetinde tümüyle Paulownia'dan yapılmış evler ve tapınaklar 100 yıllık olmalarına rağmen hala ayakta durmaktadırlar.

Kâğıt Hamuru ve diğer alanlarda: Paulownia model uçak yapımında, planörlerde teknelerde, yarış teknolojisinde hafif, sağlam, çatlamayan ve çürümeye dayanıklı yapısı nedeniyle gelişen dünyamızda rakipsiz bir ağaç olmuştur. Diğerlerinden % 40 hafifliğiyle ambalaj sanayine büyük kolaylık getirmiştir. Paulownia yününün soğutma sistemlerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılması idealdir. Paulownia hamuru açık renkli ve homojen olduğundan kâğıt hamurunda geleceği parlak bir malzemedir.

Sunta Yapımında: Paulownia, çapının genişliği ve budaksız oluşuyla kolaylıkla sunta yapımında kullanılabilir. Rahat kesilebildiği ve rendelenebildiğinden zorluk çıkarmaz. Çin'de birçok fabrika 1,2-1,5 mm kalınlığında ağaç kaplamalı sunta üretmektedir. Zımparalanmış yüzeyi viskozitesi doğru yapışkanla 0,25 mm ye kadar inceltilebilir. Paulownia suntası yüksek miktarlarda mobilya yapımında, kaplama da paketlemede ve daha birçok yerde kullanılmaktadır.

Mobilya Yapımında: Paulownia masa ve sandalye yapımında kullanılmaktadır. Özellikle kutu bardaklık ve raf için uygundur. Duman ve zararlı böceklere karşı yüksek direnci kullanışlılığını arttırır. On iki yasındaki paulownialar yağ şarap ve bira varilleri için kullanılmaktadır (Kaplan 2008).

Çiftlik aletleri: Sert ve hafif yapısı tarım aletleri için bilinen gürgen ve çamdan daha pratik bir alternatif sunmaktadır. Paulownia'dan yapılan harman teknesi, Cunninghamia lanceolata'dan daha fazla dayanır. Çin'in kimi eyaletlerinde Paulownialar çok amaçlı direkler için de kullanılmaktadır.

El Sanatlarında: Japonya, Çin ve diğer Kuzey Doğu Asya ülkelerinde Paulownia sanatkârların ellerinde ağaç vazolara, buda heykellerine, ashop balıklara, madalya ve mücevher kutularına dönüşmektedir. Ağacın işleme kolaylığı kutuların içerisine değerli taşların oyulmasına olanak tanır.

Diğerleri: Paulownia sörf tahtası, kızak, sal, karatahta yapımında, kömürü karakalem, siyah toz, havai fişek, endüstriyel aktif karbon, kabuğu da kumaş boyasında kullanılmaktadır.

İlaç Yapımında: Paulownia'nın yaprağı, kerestesi ve meyvesi bronşit tedavisine ve üst solunum yolu enfeksiyonlarında balgam sökücü özelliğe sahip olan ilaçların yapımında kullanılır. İlaç tablet ve enjeksiyon olarak hazırlanır. Tomentosa yaprakları ursolik asit, matteucinol, odunsu dokusu Paulowna'in ve Sesamin, kabukları syringin ve catalpinoside, meyvası asit, şişmanlatan yağlar, flavanone ve alkolooid içerir. Yaprakları ve meyvesi su ile kaynatıldığında oluşan solüsyon beyazlaşmış saçlara renk katar ve aynı zamanda beslenmesine yardımcı olur. Yapraklarının ve ağaç parçacıklarından oluşan solüsyon yorgun ayakların dinlenmesini sağlar. Farmakolojik deneyler meyve özlerinin astıma, soğuk algınlığına ve kan basıncının düşmesine iyi geldiğini saptamıştır.

Havanın Filtrelenmesinde: Büyük ve tüylü yapraklar tozun ve dumanın süzülmesinde önemli rol oynarlar. Szechuan vilayetinde hava kirliliğinin önüne geçebilmek için Paulownia dikimi yapılmış, sülfür dioksit oranı % 0.169-1.140 iken diğer ağaçlar yaprak döküp ölürken paulownialar firesiz yaşamayı başarmış ve hava kirliliğini yok edebilmiştir.

Paulownia yaprakları zengin nitrojen (azot) içermektedir ve rutubetli ortamlarda hemen dekompoze olarak gübre haline geçerler. Sürülen toprak, bu gübre ile karışarak toprağın verimliliğini arttırır. Paulownia, geniş yaprakları sayesinde geniş bir alan

kaplar. Bu nedenle özellikle deniz kenarında devamlı rüzgâra açık konutların korunmasında kullanılabilir.

Şekil verilmesi son derece kolay olan ağaçlarla; rüzgârın yön ve şiddeti dikkate alınarak Rüzgâr kıran perdeleri tesis edilebilir. Paulownia ağacının yaprakları toz, duman ve hava kirliliğini emerek temizler. Bir hektar, Paulownia yılda 6 kg. atmosferik kükürt emme kabiliyetine sahiptir. Tesis edildiği kentlerde % 80 oranında hava kirliliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra spor, polen vb. uçucu organizmaları yoktur. Paulownia derin kök sistemi sayesinde toprağı tutar ve neticede heyelanı (toprak kayması) önler. Yine geniş yapraklarıyla rüzgâr ve damla tesirinden toprağı korur.

Hayvan Yeminde: Yaprakları ve çiçekleri domuz, küçükbaş hayvan ve tavşan türleri için iyi bir besindir. Çiçek tomurcukları ve yapraklar yüksek oranlarda yağ, seker ve protein ihtiva ederler. Paulownia yaprakları bazı baklagillerle yarışabilecek düzeyde azot içerir. Aynı zamanda kuvvetli bir gübre kaynağıdır (Kaplan 2008).



Şekil 2.13 İzmir Fuar Alanı bir Paulownia ağacının görünümü
(3 yaşında Paulownia- Nisan 2003)

Sürdürülebilir çevre yönetiminin amacı gelecek nesillere çevrenin korunarak aktarılmasıdır. Çevrenin korunmasında uygulanan teknolojiler pahalı yatırımlardır. Bu yatırımlar yapılırken çevrenin azami korunmasının yanı sıra ekonomik şartlarında göz önüne alınması gerekmektedir.

Ülkemizde ve diğer devletlerde oluşan atıksuların belli bir yüzdesi toplanıp arıtmakla birlikte mevcut atıksu arıtma tesislerinde arıtılan milyarlarca metreküp atıksuyun boşu boşuna alıcı ortamlara deşarj edildiği bilinmektedir. Kötü işletme koşullarında yetersiz düzeyde arıtılan atıksular ve hiç arıtılamayan atıksular alıcı ortamlarda (deniz, göl ve akarsu gibi) kirliliğe neden olmaktadır.

Kıt su kaynaklarının kirlenmesinin önüne geçilmesi ve atıksuların yeniden kullanılarak su kaynaklarında tasarrufa gidilmesi gerekmektedir. Su kaynaklarının korunmasının yanında su tasarrufunun sağlanmasında en etkili yöntem atıksuların yeniden kullanılmasıdır. Atıksuların yeniden kullanılmasında en sınırlayıcı etken ise insan sağlığı ve çevre sağlığının yanı sıra uygulamanın ekonomik yapılabilirliğidir.

Arıtılmış suların yeniden güvenle kullanılabilmesi için ileri arıtma teknolojilerine ihtiyaç vardır. Bu ileri teknolojilere örneklerden biri de son 15 yıl içinde geliştirilen biyolojik membran reaktörlerdir. Biyolojik membran reaktörden (MBR) çıkan arıtılmış sular hemen hemen bütün yeniden kullanım faaliyetlerinde güvenle kullanılabilirler. Son 10 yıl içerisinde membran fiyatlarında gerçekleşen düşüş etkisi ile atıksuların arıtılmasında membran proseslerin gelişimi hızla artmaktadır.

Membran sistemlerinin diğer klasik arıtma sistemlerine göre daha cazip kılan özellikleri arasında:

- Sistemden çıkan atıksuların çok iyi fiziksel dezenfeksiyondan dolayı güvenle yeniden kullanılabilmesi,
- Turizm bölgeleri gibi arazi fiyatlarının çok yüksek olduğu bölgelerde daha az arazi gereksinimi özelliğiyle arazi ilk yatırım maliyetinin düşük olması,
- Bu sistemlerde biyokütle ayrımının çökeltmeden bağımsız olması nedeni ile çökeltme havuzlarına ihtiyaç duyulmaması,

- Kötü işletme koşullarında çamur şişmesi ve AKM kaçmasından dolayı alıcı ortamlarda biyolojik ve mikrobiyolojik kirliliğe neden olma gibi bir problemin olmaması,
- Çok az sayıda operatör ihtiyacı (düşük işçilik masrafı) ve
- Mükemmel çıkış suyu kalitesi bulunmaktadır.

Yukarıda ilgili paragraflarda belirtildiği üzere çevresel ve ekonomik yönden birçok faydası olan Paulownia ağacı dünyada en hızlı yetişen kavak ağacı türüdür. Paulownia plantasyonları yetiştirilmesi ve bu ağaç türünden gelir elde edilmesi için arıtılmış atıksular kullanılabilir.

Bu çalışmada;

1. Atıksuların klasik sistemler yerine çok iyi çıkış suyu kalitesi veren membran sistemlerle arıtılması gerekliliğini,
2. Arıtılmış atıksuların boşu boşuna alıcı ortamlara deşarj edilmesi yerine tarımsal amaçlı sulama suyu olarak yeniden kullanılmasının gerekliliğini ve
3. Paulownia gibi çevresel ve ekonomik yararı olan ağaçların yetiştirilmesinde arıtılmış atıksuların kullanılmasının gerekliliğini vurgulamak için Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi verilerinden yola çıkılarak ekonomik analizler yapılacaktır.

Çalışma sonunda elde edilecek sayısal veriler ve sonuçlar, ileride yapılacak projeler için ışık tutacaktır.

3. MATERYAL ve METOD

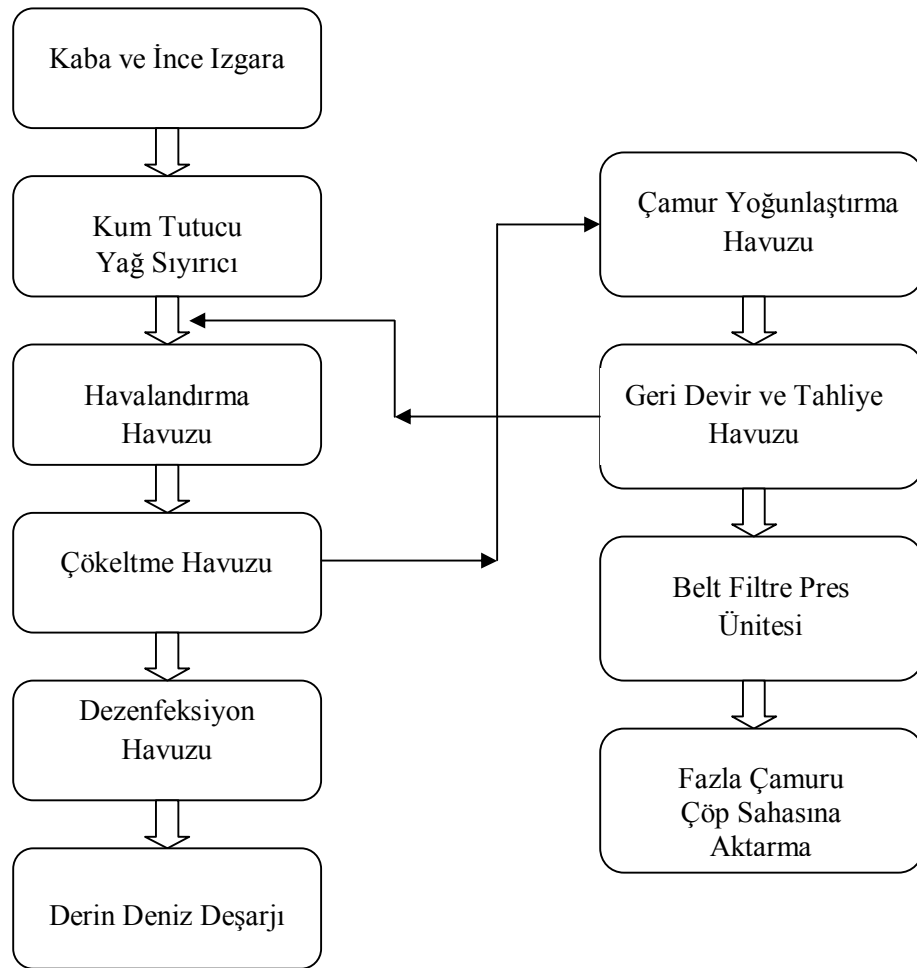
3.1. Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi Genel Bilgiler

Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi, Mahmutlar, Kargıcak ve Kestel beldelerinden kaynaklanan atıksuları arıtacak şekilde projelendirilmiştir. Tesis iki aşamada tamamlanacak şekilde inşa edilecektir. 2007 yılında tamamlanmış ilk aşamaya ait yükler;

Hidrolik yük (Atıksu debisi) : 20.000 m³/gün

Organik yük : 5.600 kg BOİ₅/gün

Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ait proses akım şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi proses akım şeması

3.2. Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi Üniteleri

✓ Terfi istasyonları:

Mevcut terfi merkezi, ana terfi merkezi ve geri devir terfi merkezi olmak üzere 3 adet terfi merkezi bulunmaktadır. Mevcut terfi merkezi belediye hizmet binası yanında yer almakta ve 3 adet 122 kW gücünde 250 litre/saniye kapasiteli dalgıç pompalar tesiste bulunan ana terfi merkezine su basmaktadır. Ana terfi merkezinde 3 adet 85 kW gücünde 200 litre/saniye kapasiteli dalgıç pompalar tesis ızgara girişine su basmaktadır. Geri devir terfi merkezinde ise 2 adet 56 kW gücünde 250 litre/saniye kapasiteli kuruda montaj dalgıç atıksu pompası, dağıtım yapısına çamur basmaktadır.

Şekil 3.2’de Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ana terfi merkezinin fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ana terfi merkezi

✓ **Fiziksel arıtma üniteleri:**

Izgara, havalandırmalı kum–yağ tutucu, yağ ayırıcı ünitelerinden oluşmaktadır. Izgarada atıksuda bulunabilecek 10 mm’den büyük katı maddelerin tutulması sağlanmaktadır. Havalandırmalı kum–yağ tutucu, kum vs. gibi ağır parçaların sudan çöktürülerek ayrılmasını ve yağ vs. gibi sudan hafif olan kısımların havalandırma sistemi ile yağ kanallarında tutulmasına olanak vermektedir. Büyük katı maddeler, kum ve yağ ayrıldıktan sonra atıksu dağıtım yapısına geçmekte ve bu ünitelerden havalandırma havuzlarına dağıtımı yapılmaktadır. Şekil 3.3’te Mahmutlar atıksu arıtma tesisi fiziksel arıtma ünitelerinin fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi fiziksel arıtma üniteleri

✓ **Biyolojik arıtma üniteleri:**

Biyolojik arıtma üniteleri 4 adet havalandırma havuzu, her havuzda 4 adet olmak üzere toplam 16 adet olan mikserler, her havuz için ayrı olacak şekilde 4 adet + 1 adet yedek olmak üzere toplam 5 adet hava üfleyici motorlar ve 2 adet son çökeltme havuzundan oluşmaktadır. Her biri 5.000 m³ kapasiteli olan havalandırma havuzlarında, gelen atıksu mikserler vasıtasıyla karıştırılmakta ve aktif çamur kütlesi askıda tutulmaktadır. 110 kW gücünde ve 4.080 m³/saat kapasiteli hava üfleyici motorlar ile havuzlara hava verilerek aktif çamur kütlesini oluşturan mikroorganizmalar canlı tutulmakta, böylece kirliliği oluşturan karbonlu bileşikler giderilmektedir. Her havuzda 528 adet (toplam 2.112 adet) bulunan disk difüzörler ile hava üniform olarak havuzlara verilmektedir. Havalandırma havuzlarından çıkan atıksu çamurundan ayrılmak üzere son çökeltme havuzlarına verilmektedir. Tesiste 2 adet 2.224 m³ hacminde çökeltme havuzu bulunmaktadır. Havalandırma havuzlarında mikroorganizma sayısının sabit tutulması amacıyla çökeltme havuzu tabanından alınan çöken çamurun bir kısmı geri devir terfi merkezine iletilmekte, buradan tekrar havalandırma havuzuna geri gönderilmektedir. Son çökeltme havuzlarından savaklanarak alınan arıtılmış atıksu klor temas havuzuna gönderilmekte ve burada klorlanmaktadır. Klorlanan arıtılmış çıkış suyunun derin deniz deşarj hattına verilmesiyle arıtma işlemi tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 3.4 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi hava üfleyici motorlar

Şekil 3.5’te Mahmutlar atıksu arıtma tesisindeki havalandırma havuzunun fotoğrafı, Şekil 3.6’da ise Mahmutlar atıksu arıtma tesisindeki çökeltme havuzunun fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde havalandırma havuzu



Şekil 3.6 Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde çökeltme havuzu

✓ **Çamur üniteleri:**

Çamur yoğunlaştırma havuzu ve belt filtre ünitesinden oluşmaktadır. Geri devir terfi merkezine gönderilen çamurun fazla kısmı yoğunlaştırma havuzuna gönderilmektedir. Çamur yoğunlaştırma havuzunda çamur içerisindeki katı madde oranı artırılarak çamur hacmi azaltılmaktadır. Yoğunluğu artan çamur belt filtre pres haznesine gönderilmekte, polielektrolit ilavesiyle kıvamlaştırılan çamur belt filtre pres ünitesi yardımıyla çamurdaki fazla su alınmakta ve çamur keki elde edilmektedir. Yoğunlaştırma tankı üst suyu, belt filtre süzöntü ve yıkama suları tekrar sistem başına döndürülerek arıtılmaktadır. Şekil 3.7’de Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde belt filtre pres ünitesi fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.7’de Mahmutlar atıksu arıtma tesisinde belt filtre pres ünitesi

Mahmutlar atıksu arıtma tesisi 2008-2009 yıllarındaki aylık arıtma verimleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi aylık arıtma verimleri

ARITMA TESİSİ AYLIK ARITMA VERİMLERİ (2008 yılı)									
AYLAR	HAM ATIKSU GİRİŞ SUYU PARAMETRELERİ (mg/L)			ARITILMIŞ ATIKSU ÇIKIŞ SUYU PARAMETRELERİ (mg/L)			ARITMA VERİMİ %		
	BOİ	KOİ	AKM	BOİ	KOİ	AKM	BOİ	KOİ	AKM
MART	54	97.6	30	6	41.3	1	89	58	97
NİSAN	58	117.1	29	6	24.9	3	90	79	90
MAYIS	170	330	146	6	26.6	8	96	92	95
HAZİRAN	214	310	148	6	33.8	3	97	89	98
TEMMUZ	201	303	114	7	33.1	3	96	88	98
AĞUSTOS	100	492	90	10	32.9	3	90	93	97
EYLÜL	190	540	75	6	12.5	2	97	98	97
EKİM	180	297.4	108	4	10	1	98	97	99
KASIM	150	372.6	242	4	11.3	2	97	97	99
ARALIK	150	224.5	192	2	6.9	1	99	97	99
ARITMA TESİSİ AYLIK ARITMA VERİMLERİ (2009 yılı)									
OCAK	60	158	75	5	11.9	2	92	93	97
ŞUBAT	45	133	45	2	14.8	1	96	89	98
MART	70	157	72	2	3.96	2	97	97	97
NİSAN	110	383	225	3	10.4	1	97	97	99
MAYIS	75	330	150	2	<10	1	97	97	99
HAZİRAN	75	238.2	191	6	29.7	2	92	88	99
TEMMUZ	135	282.3	306	3	16.9	<11	98	94	99
AĞUSTOS	135	213.1	212	8	<25	<11	94	90	96
EYLÜL	170	378.8	193	7	<25	<11	96	95	98

Mahmutlar atıksu arıtma tesisinden 2008-2009 yılları arasında çıkan atık çamur miktarı Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Mahmutlar atıksu arıtma tesisinden 2008-2009 yılları arasında çıkan atık çamur miktarı

2008 YILI VERİLERİ		
AYLAR	GELEN DEBİ (m³/ay)	ATIK ÇAMUR (ton/ay)
HAZİRAN	218.932	119
TEMMUZ	265.280	94
AĞUSTOS	220.579	131
EYLÜL	194.454	133
EKİM	173.058	140
KASIM	195.109	161
ARALIK	212.522	101
2009 YILI VERİLERİ		
NİSAN	312,221	294
MAYIS	256,567	200
HAZİRAN	223,679	175
TEMMUZ	279,230	190
AĞUSTOS	290,769	190
EYLÜL	255,000	225

3.3. Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Sulama Suyu Kalitesi

Mahmutlar atıksu arıtma tesisleri gibi genelde turizmden kaynaklanan atıksuların yeniden kullanılmasında en büyük engel arıtılmış suyun tuzluluğudur. Turizm bölgelerinde sanayi vs nedenleri endüstriyel kaynaklı kirleticiler olmadığı için özgül iyon toksisitesi sorunu yoktur. Mahmutlar atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun sulama suyu kriterini içeren analiz sonuçları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Belek-1 ve Belek-2 atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtılmış atıksularda da yeniden kullanım için aynı sorun bulunmaktadır.

Çizelge 3.3 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun sulama suyu olarak değerlendirilebilmesi için yapılan analiz sonuçları

Parametre	Değer	Sınıfı
İletkenlik (mS/cm)	1844	3.sınıf
Değişebilir % Na	41	3.sınıf
SAR	11.1	3.sınıf
Sodyum karbonat kalıntısı RSC (mg/L)	99,2	3.sınıf
Klorür (mg/L)	90	2.sınıf
Sülfat	43,1	1.sınıf
Toplam Tuz Konsantrasyonu (mg/L)	250	2.sınıf
pH	7,01	1.sınıf
BOİ ₅ (mg/L)	3	1.sınıf
AKM (mg/L)	4	1.sınıf
Bor (mg/L)	0,0606	1.sınıf
Amonyum (mg/L)	0,2438	1.sınıf
Fekal koliform (* /100 mL)	19.400	5.sınıf
Sulama suyu sınıfı (mg/L)	C1S3.C2S3. C3S3.C3S2. C3S1	3.sınıf

Turizm bölgelerinde ve sanayileşmenin olmadığı bölgelerdeki evsel nitelikli atıksuların arıtılıp yeniden kullanılmasında engellerin başında arıtılmış suyun tuzluluğu ve mikrobiyolojik içeriği gelmektedir. Arıtılmış suyun içeriğindeki tuzluluğunun ve zararlı mikroorganizmaların giderilebilmesi için klasik arıtma sistemlerinin yeterli olmadığı bilinmektedir. Arıtılmış suların güvenle tekrar yeniden kullanılabilmesi için tipik arıtma verimleri daha önce bahsedilen membran arıtma ünitelerine ihtiyaç vardır. Membran teknolojileri pahalı yatırımlar olmasına karşın arıtılmış suların yeniden kullanılmasının getirdiği çevresel ve ekonomik avantajlar dikkate alındığında sürdürülebilirlik çevre ve ekonomi prensiplerine uygun bu teknolojilerden faydalanmak gerekmektedir. Membran teknolojilerle arıtılmış çok iyi kalitedeki suların yeniden kullanılmasının ancak ekonomik kazanç verileri ile desteklenerek ortaya konulması gerekmektedir. Ancak bu durumda yetkililerin konuya ilgisi çekilebilir. Bu bağlamda önce mevcut pilot tesisin ekonomik verilerine ulaşılmış ve Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ait ilk yatırım ve işletme verileri detaylı olarak temin edilmiştir. Membran teknolojileri ve daha iyi çamur susuzlaştırma verimi veren mekanik susuzlaştırma üniteleri ile ilgili ilk yatırım maliyetleri bilgisi gerek literatür çalışmaları gerekse ilgili firmalardan alınan bilgiler sonucunda detaylı bir şekilde temin edilmiştir. Bu yeni teknolojilerin Türkiye’de uygulama alanı bulduğu Bodrum Konacık Evsel Atıksu Arıtma Tesisi’ne, İzmir Torbalı Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Arıtma Tesisi’ne ve Konya Organize Sanayi Bölgesi İçmesuyu Arıtma Tesisi’ne gidilerek bu teknolojiler hakkında bilgi alınmış ve bu tesislerin birim işletme maliyetleri temin edilmiştir.

Mahmutlar atıksu arıtma tesisi için iki senaryo öngörülmüştür. Senaryo 1’de mevcut tesis membran teknolojiler ve mekanik susuzlaştırma üniteleri ile revize edilmesi durumundaki maliyetler ile yeniden kullanım sonucu oluşan ürünlerin satış gelirleri karşılaştırılarak bu sistemlerin Excel tabanlı programla fayda maliyet analizi yapılacaktır. Senaryo 2’de ise tasarım aşamasında membran teknolojilerin ve mekanik susuzlaştırma ekipmanlarının konumlandırılması durumundaki maliyetler çıkarılacak ve sistem gelirlerine karşılık Excel tabanlı programla fayda maliyet analizi yapılacaktır. Her iki senaryoda da yatırımların geri ödeme süreleri Excel tabanlı program yardımıyla bulunarak karşılaştırma yapılacaktır.

Tez kapsamında hazırlanan senaryolarda Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ultrafiltrasyon batık membran tahsis edilmesi ve ters osmoz ünitesinden geçen arıtılmış atıksuyun tesisin yakınlarındaki DSİ kanalına verilerek halka satılmasına ve tesis yakınındaki 50 dekar arazide paulownia plantasyonu yetiştirilmek üzere sulama suyu olarak verilmesi kararlaştırılmıştır. Atık çamur ise mekanik susuzlaştırma sisteminden geçirilecek ve en son santrifüj dekantör sisteminden çıktıktan sonra hayvan gübresi ile karıştırılarak satılması hedeflenmektedir.

Senaryoya konu olan ekipmanların fiyatları, İzmir Torbalı Organize Sanayi batık membran prosesli biyolojik atıksu arıtma tesisini yapan Egeşis firmasının Turaş A.Ş.'ye ait Belek-1 ve Belek-2 arıtma tesislerinde yapmış olduğu incelemeler sonucu çıkarmış olduğu ön fizibilite çalışmalarında vermiş olduğu teklif fiyatlarının, birim maliyet yönünden eşdeğer nüfusa göre interpolasyon yöntemi ile belirlenmiştir.

Mekanik susuzlaştırma ekipmanları dekantör, kıvamlaştırıcı, buffer tankı ve hava üfleyici motorların fiyatları da Ağustos 2009 tarihinde işletmeye alınan Oba Belediyesi atıksu arıtma tesisi ekipman tedarikçisi Alfa Laval firmasından temin edilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Giderler

4.1.1. Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti

Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ait ilk yatırım işletme maliyeti detaylı bir şekilde temin edilmiştir. Çizelge 4.1’de Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ait ilk yatırım maliyeti gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi ilk yatırım maliyeti

Ekipman (2006 – 2007 yılı verileri)	Masraf (TL)
Mevcut terfi merkezi revize edilmesi	34.072,92
Terfi ve deşarj hattı yapılması	2.032.818,35
Kaba ızgara	69.612,67
Ana terfi merkezi	117.921,06
İnce Izgara, kum tutucu ve dağıtım yapısı	163.843,91
Havalandırma havuzları debi dağıtma yapısı	30.014,34
Havalandırma havuzları	1.195.051,88
Son çökeltme havuzları	552.692,34
Geri devir terfi merkezi	46.733,75
Çamur yoğunlaştırma havuzları debi dağıtma yapısı	10.601,04
Çamur yoğunlaştırma havuzu	79.356,20
Belt filtre pres ve süzüntü suyu geri devir terfi merkezi	108.902,05
Klor temas tankı	60.472,58
Blower binası	72.085,28
İdare binası	98.430,37
Trafo ve jeneratör binası	38.975,75
Bekçi binası ve giriş tankı	17.469,71
Saha içi borulama	300.000,00
İşletme talimatnamesi hazırlanması	7.000,00
İşletmeye alma ve işyeri deneyleri	22.900,00
İşletme personel eğitimi	8.000,00
Enerji ve otomasyon	612.046,00
Mekanik ekipman	1.300.000,00
Kümülatif Toplam (TL)	6.979.000,00

4.1.2. Mahmutlar atıksu arıtma tesisi birim işletme maliyeti

Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ait 2008 yılı aylık işletme masrafları detaylı bir şekilde Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi 2008 yılı aylık işletme çizelgesi

AYLAR	PERSONEL GİDERLERİ TL	ARAÇ- GEREÇ GİDERLERİ TL	ELEKTRİK GİD.		BÜRO GİDERLERİ TL	İŞLETME GİDERLERİ TL	MAL SARFIYATLARI TL	GELEN DEBİ m ³ / ay	GİDERLER TL
			KW	TL					
HAZİRAN	16.695,95	3.594,49	134.046	33.458,23	307	–	3.700,14	218.932	57.755,81
TEMMUZ	16.695,95	23.680,25	105.901	28.225,57	5.243	7.560	1.981,77	265.280	83.386,54
AĞUSTOS	19.102,41	6.550,59	142.203	52.280,98	460	8.16	2.934,30	220.579	89.490,28
EYLÜL	19.851,63	12.435,77	130.777	40.494,17	4.609	–	1.264,30	194.454	78.654,87
EKİM	18.611,59	1.904,76	123.763	37.087,01	251	6.490	1.638,65	173.058	65.983,01
KASIM	18.611,59	13.228,60	84.954	35.197,38	2.094	3.167	5.300,00	195.109	77.598,57
ARALIK	18.070,57	5.104,31	111.277	37.827,42	386,75	885	–	212.522	62.069,21

Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ait 2009 yılı aylık işletme masrafları Çizelge 4.3'te detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Mahmutlar atıksu arıtma tesisi 2009 yılı aylık işletme çizelgesi

AYLAR	PERSONEL GİDERLERİ TL	ARAÇ-GEREÇ GİDERLERİ TL	ELEKTRİK GİD.		BÜRO GİDERLERİ TL	İŞLETME GİDERLERİ TL	MAL SARFIYATLARI TL	GELE N DEBİ m ³ / ay	GİDERLE R TL
			KW	TL					
OCAK	23.688,88	5.414,67	123.710	31.163,29	398,43	–	9.680,00	346.305	70.345,27
ŞUBAT	23.688,88	10.717,68	125.106	44.239,55	7.685,18	4.380,00	966,25	335.506	91.677,54
MART	23.688,88	6.735,64	152.473	46.773,11	713,28	–	–	364.642	77.910,91
NİSAN	23.688,88	2.244,70	140.126	41.000,91	424,98	185,00	–	312.221	67.544,47
MAYIS	21.726,20	3.962,21	137.342	40.608,34	408,62	3.895,60	154,87	256.567	70.755,84
HAZİRAN	22.201,94	2.820,66	143.155	42.281,03	408,62	1.062,00	1.393,87	223.679	70.168,12
TEMMUZ	25.419,22	30.917,54	165.507	49.157,90	411,21	716,00	5.723,00	279.230	112.344,87
AĞUSTOS	25.761,41	26.818,74	187.412	64.694,20	426,95	7.031,26	34.540,30	290.769	159.272,86
EYLÜL	25.761,41	16.262,79	152.612	41.143,60	1.466,98	1.081,82	7.834,47	254.708	93.551,07

Ortalama aylık işletme masrafı 90.396,78 TL ve birim maliyet 0,90 TL/Nüfus*ay ve 0,31 TL/m³ olarak hesaplanmıştır.

4.1.3. İleri arıtma teknolojileri ilk yatırım maliyetleri

Mahmutlar atıksu arıtma tesisi için senaryolarda öngörülen membran teknolojileri ile mekanik susuzlaştırma ekipmanlarına ait ilk yatırım maliyetleri detaylı bir şekilde temin edilmiştir.

Çizelge 4.4'te Mahmutlar atıksu arıtma tesisi için senaryolarda düşünülen ileri arıtma teknolojileri için ilk yatırım maliyeti gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 İleri arıtma teknolojileri ilk yatırım maliyeti

Ekipman (2007 yılı verileri)	Masraf (TL)
Batık membran ünitesi (ultrafiltrasyon)	1.970.000
Ters Osmoz üniteleri	3.000.000
Ultraviyole ünitesi	300.000
Dekantör	132.000
Kıvamlaştırıcı	90.000
Buffer Tankı	100.000
Hava üfleyici motorlar	38.250
Elektrik, Otomasyon ve diğer masraflar	400.000
Kümülatif Toplam (TL)	6.030.250



Şekil 4.1 Kıvamlaştırıcı (Alanya Oba atıksu arıtma tesisi 2009)



Şekil 4.2 Buffer Tankı (Alanya Oba atıksu arıtma tesisi 2009)



Şekil 4.3 Ultraviyole ünitesi (Alanya Oba atıksu arıtma tesisi 2009)



Şekil 4.4 Dekantörler (Alanya Oba atıksu arıtma tesisi 2009)

4.1.4. İleri arıtma teknolojileri birim işletme maliyetleri

Filtrasyon konusunda dünya pazarında lider firma olan PALL şirketinin Orta Doğu Bölgesi satış müdürü Dr. T. BAUM ve S. THEISS'in Turaş A.Ş. şirketine verdikleri seminerden alınan bilgiler neticesinde membran sistemlerinin işletme maliyeti Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Ultrafiltrasyon membran proseslerin birim işletme maliyeti

Enerji İhtiyacı	0,41 kW/m ³
Enerji Maliyeti	0,08 TL / m ³
Temizleme Kimyasalı	0,001 TL / m ³
Bakım - Onarım	0,03 TL / m ³
Personel	0,21 TL / m ³
Membran Değişimi	0,07 TL / m ³
Toplam maliyet (2009 yılı)	0,391 TL / m³

Bodrum Konacık evsel atıksu arıtma tesisi Türkiye'de örnek bir projedir. Tesis 10.000 eşdeğer nüfus için 1.500 m³/gün kapasiteli olarak membran biyoreaktör sistemi ile tasarlanmıştır ve ters osmozdan çıkan arıtılmış sular pilot içmesuyu tesisinde biriktirilerek tesis içinde kullanılmaktadır. Tesisin bütün masrafları dahil birim işletme masrafları ortalama 0.5 TL / m³'dir.

İzmir Torbalı organize sanayi atıksu arıtma tesisinde de membran biyoreaktör sistemi vardır. Bu tesisin birim işletme masrafı 0,45 TL / m³'dir.

Konya organize sanayi içmesuyu arıtma tesisinde kuyulardan iletkenliği 2200 birim olan ham su, hızlı kum filtreleri, aktif karbon, ultrafiltrasyon ve ters osmoz sisteminden geçilerek iletkenliği 100'ün altında olarak içmesuyu ve kullanma suyu olarak temin ediliyor. Bu tesiste de bütün masraflar dahil birim işletme maliyeti 0.5 TL / m³'dir.

Senaryo 1 ve senaryo 2 de birim işletme maliyeti 0.5 TL / m³ olarak alınmıştır.

Mahmutlar atıksu arıtma tesisi proje ömrü boyunca hesaplanan işletme maliyetleri Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Tez kapsamında hesaplanan Mahmutlar atıksu arıtma tesisi işletme masrafları

Yıl	Debi (m ³)	Birim işletme maliyeti (TL/m ³)	İşletme maliyeti (TL)
2008	2.160.000	0,5	1.080.000
2009	2.300.400	0,5	1.150.200
2010	2.449.926	0,5	1.224.963
2011	2.609.171	0,5	1.304.586
2012	2.778.767	0,5	1.389.384
2013	2.959.387	0,5	1.479.694
2014	3.151.747	0,5	1.575.874
2015	3.356.611	0,5	1.678.305
2016	3.574.791	0,5	1.787.395
2017	3.807.152	0,5	1.903.576

Yıl	Debi (m ³)	Birim işletme maliyeti (TL/m ³)	İşletme maliyeti (TL)
2018	4.054.617	0,5	2.027.308
2019	4.318.167	0,5	2.159.084
2020	4.598.848	0,5	2.299.424
2021	4.897.773	0,5	2.448.886
2022	5.216.128	0,5	2.608.064
2023	5.555.177	0,5	2.777.588
2024	5.916.263	0,5	2.958.132
2025	6.300.820	0,5	3.150.410
2026	6.710.373	0,5	3.355.187
2027	7.146.548	0,5	3.573.274

4.1.5. Paulownia ağacı ile ilgili ilk yatırım maliyetleri

Tez kapsamında düşünülen senaryolarda membran proseslerden çıkan çok iyi kalitedeki arıtılmış atıksu, Paulownia plantasyonu yetiştirmek için ve halkın tarımsal amaçlı sulama suyu kullanması için DSİ kanalına verilmesi öngörülmüştür.

Fazla çamur ise kıvamlaştırıcı, buffer tankı ve dekantör prosesinden geçtikten sonra ortalama % 35-40 katı madde içeriğine ulaşmaktadır. Fazla çamur hayvan gübresi satan bir firmaya satılacağı öngörülmektedir. Hayvan gübresi satan firma, aldıkları çamur kekini, ağaçlardan dökülen Paulownia yaprakları ile hayvan gübresini karıştırarak satmayı hedeflemektedir.

- ✓ Tesis çevresinde 50 dekar (50.000 m²) araziye paulownia dikimi yapılacaktır.

Paulownia fidan dikim sıklığı:

Sıra adedi × Sıra üzeri

5 m x 5m = 40 fidan/da 4 m x 4m = 62 fidan/da 4 m x 2,5m =100 fidan/da

5 m x 4m = 50 fidan/da 4 m x 3m = 83 fidan/da 3 m x 3m = 110 fidan/da

Sunta üretimi ve enerji ormanlarında 2 m × 1 m ila 1 m × 1 m sıklıkta dikim yapılabilir.

Tez kapsamında düşünülen senaryoda 2 m x 2 m =124 fidan/da olarak fidan dikimi öngörülmüştür. 50 dekar alanımız olduğu için 50 × 124 = 6.200 fidan'a ihtiyaç vardır.

Paulownia ağaç fidanı Türkiye piyasasında temin edilmesi, nakliyesi ve işçiliği dahil toplam dikim masrafı yaklaşık 15 TL'dir.

Paulownia ağaç fidanı ilk yatırımı 6.200 × 15 TL = 93.000 TL'dir.

4.2. Gelirler

4.2.1. MDF tabakası geliri

Paulownia ağacı 3. yıldan itibaren kesim yılına kadar bir ağaç ortalama 250 kg yaş budalama dalı verir.

$$6.200 \text{ ağaç} \times 250 \text{ kg} \times 0.001 \text{ ton/kg} = 1.550 \text{ ton yaş budama dalı}$$

Bu yaş budama dalları kurumadan MDF (Medium Density Fibreboard) üretim tesisine aktarılır ve 1 ton' dan ort. 188mm. x 366mm. x 18mm. ölçülerine sahip olan ve en yaygın kullanım özelliğindeki mdf tabakalarından 15-20 adet üretilir.

Tez kapsamında düşünülen senaryoda 15 mdf tabakası elde edileceği öngörülmüştür.

$$1.550 \text{ ton} \times 15 \text{ mdf} = 23.250 \text{ tabaka mdf / yıl üretilir.}$$

1 tabaka mdf' den tüm giderler düştükten sonra en az 10 TL net kazanç elde edilir.

$$23.250 \text{ tabaka mdf / yıl} \times 10 \text{ TL} = 232.500 \text{ TL / yıl gelir elde edilir.}$$

4.2.2. Paulownia ağacından taşıyıcı palet geliri

Paulownia ağacı 5 sene sonra bir tomruğu ortalama 30 adet taşıyıcı palet üretilebilir.

1 paletin üretim maliyeti en çok 8 TL'dir. 1 paletin satış fiyatı ise en az 22 TL'dir.

$$\text{Net Kazanç: } 22-8 = 14 \text{ TL / palet}$$

İzmir Petkim 1 ayda ortalama 60.000 palet tüketiyor. Hali hazırda bu gibi işletmelerde bir palet piyasası da var.

$$\text{Her 5 yıl sonunda } 6.250 \text{ tomruk} \times 30 \text{ adet palet} = 187.500 \text{ palet üretilebilir.}$$

$$187.500 \text{ palet} \times 14 \text{ TL / palet} = 2.625.000 \text{ TL net gelir elde edilir.}$$

4.2.3. Bal üretim geliri

Bu büyüklükteki alana konulacak bal arısı kovanı sayısı ort. 744 adet olacak, kovan başına en az 20 kg. bal üretimi varsayımına göre (kovan başına 20 kg yılın ortalaması alınarak yılda 3 periyot dikkate alınmış ve kovan başına her periyot için en az 7 kg bal elde edileceği varsayılmıştır) bu alanda yılda en az 14,88 ton bal üretilecektir.

Yüksek kaliteli balın ton fiyatı 4.500 TL' dir. Bunun anlamı ise, yıllık süreçte en az 66.960 TL bal girdisidir. Kovanlar paulownia ağacından yapıldığı için kovan gideri dikkate alınmamıştır.

4.2.4. Diğer gelirler

Kirleten öder prensibine uygun olarak her aboneden birim atıksu bedeli olarak 0,4 TL / m³ alınacağı öngörülmüştür.

Halka tarımsal amaçlı sulama suyu olarak satılması düşünülen arıtılmış suyun birim fiyatı ise DSİ birim fiyatı ile eşdeğer olarak 0,3 TL / m³ olarak alınacağı öngörülmüştür.

Mekanik susuzlaştırma ekipmanlarından % 35-40 katı madde içeriğinde çıkan fazla atık çamur, hayvan gübresi satan firmaya tonu 50 TL üzerinden satılacağı öngörülmüştür. Yeniden kullanımlar ile ilgili elde edilecek toplam gelir örnekleme Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Atıkların yeniden kullanılması ile elde edilecek toplam gelir örnekleme

Gelir adı	Gelir Periyodu	2007 yılı Geliri (TL)	%10 Yanılma Payı	Düzeltilmiş Gelir (TL)
Mdf üretimi	Her yıl	232.500 TL	23.250 TL	209.250 TL
Taşıyıcı palet üretimi	5 yılda bir	2.625.000 TL	262.500 TL	2.362.500 TL
Bal üretimi	Her yıl	66.960 TL	6.696 TL	60.264 TL
Atık çamur geliri	Her yıl	75.000 TL	7.500 TL	67.500 TL

Gelirler her yıl için revize edilerek optimum piyasa fiyatlarına yakın değerlere ulaşması hedeflenerek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8’de senaryolarda öngörülen gelirlerin yıllara göre dağılımı gösterilmiştir. Gelirler % 10 yanılma payları ile düzeltilerek hesaplanarak hesaplarda güvenli tarafta kalınması amaçlanmıştır.

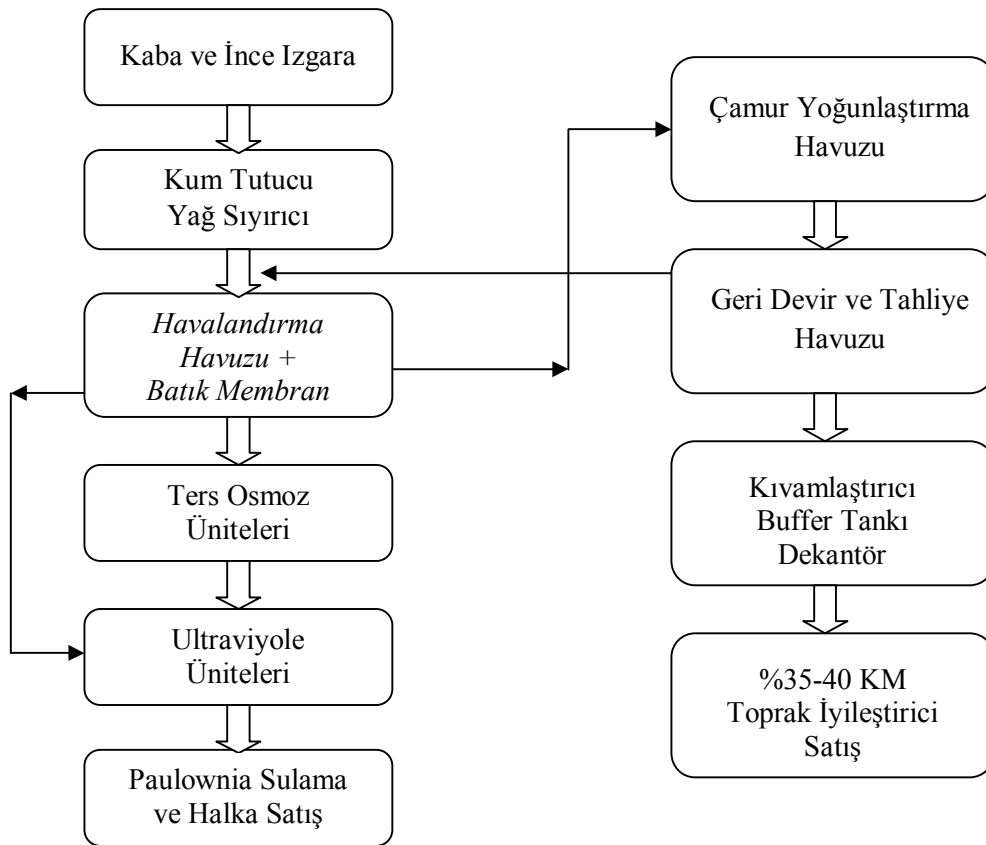
Çizelge 4.8 Tez kapsamında hazırlanan %10 yanılma payı ile düzeltilmiş gelir tablosu

Yıl	Sulama suyu (m ³)	Birim su satış geliri (TL/m ³)	Su satış geliri (TL)	Mdf üretim geliri (209.250TL)	Palet üretim geliri (2.362.500TL)	Bal üretim geliri (60.264TL)	Atıksu bedeli (0,4 TL/m ³)	Çamur keki (ton)	Birim çamur geliri (TL/ton)	Çamur geliri (TL)	Gelirler Toplamı (TL)
1.	1.080.000	0,30	324.000,00				864.000,00	1.500	50	75.000,00	1.263.000,00
2.	1.400.400	0,33	462.132,00				920.160,00	1.800	55	99.000,00	1.481.292,00
3.	1.729.926	0,36	627.963,14	278.511,75		80.211,38	979.970,40	2.100	60	126.000,00	2.092.656,67
4.	2.069.171	0,40	826.220,06	306.362,93		88.232,52	1.043.668,48	2.400	65	156.000,00	2.420.483,98
5.	2.418.767	0,44	1.062.395,17	336.999,22	3.804.829,88	97.055,77	1.111.506,93	2.700	70	189.000,00	6.601.786,96
6.	1.879.387	0,48	908.031,56				1.183.754,88	3.000	75	225.000,00	2.316.786,44
7.	2.251.747	0,53	1.196.732,34				1.260.698,94	3.300	80	264.000,00	2.721.431,29
8.	2.636.611	0,58	1.541.402,65	448.545,96		129.181,24	1.342.644,38	3.600	85	306.000,00	3.767.774,22
9.	3.034.791	0,64	1.951.602,98	493.400,55		142.099,36	1.429.916,26	3.900	90	351.000,00	4.368.019,16
10.	3.447.152	0,71	2.438.461,26	542.740,61	6.127.716,56	156.309,30	1.522.860,82	4.200	95	399.000,00	11.187.088,54
11.	2.974.617	0,78	2.314.617,07				1.621.846,77	4.500	100	450.000,00	4.386.463,84
12.	3.418.167	0,86	2.925.728,83				1.727.266,81	4.800	105	504.000,00	5.156.995,64
13.	3.878.848	0,94	3.652.045,88	722.387,75		208.047,67	1.839.539,15	5.100	110	561.000,00	6.983.020,46
14.	4.357.773	1,04	4.513.264,28	794.626,53		228.852,44	1.959.109,20	5.400	115	621.000,00	8.116.852,44
15.	4.856.128	1,14	5.532.341,67	874.089,18	9.868.748,80	251.737,68	2.086.451,30	5.700	120	684.000,00	19.297.368,63
16.	4.475.177	1,25	5.608.176,95				2.222.070,63	6.000	125	750.000,00	8.580.247,58
17.	5.016.263	1,38	6.914.877,96				2.366.505,22	6.300	130	819.000,00	10.100.383,18
18.	5.580.820	1,52	8.462.426,88	1.163.412,70		335.062,86	2.520.328,06	6.600	135	891.000,00	13.372.230,50
19.	6.170.373	1,67	10.292.029,87	1.279.753,97		368.569,14	2.684.149,38	6.900	140	966.000,00	15.590.502,36
20.	6.786.548	1,83	12.451.772,60	1.407.729,36	15.893.718,63	405.426,06	2.858.619,09	7.200	145	1.044.000,00	34.061.265,75

4.3. Senaryo 1.

Senaryo 1 pilot tesis olan mevcut Mahmutlar atıksu arıtma tesisinin membran teknolojilerle ve mekanik susuzlaştırma ekipmanları ile revize edilmesi öngörülmektedir. Mevcut tesisin maliyetlerine ileri teknolojilerin maliyetleri eklenerek toplam maliyet çıkarılmıştır. Paulownia türevleri gelirleri, arıtılmış atıksu satışı gelirleri ve atık çamur satışı gelirleri toplanarak toplam gelirler hesaplanmıştır. Toplam maliyetlerin toplam gelirlere göre fayda maliyet analizleri yapılarak yatırımın geri ödeme süresi bulunmuştur.

Mahmutlar atıksu arıtma tesisi senaryo 1'e ait proses akım şeması Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Senaryo 1 için Mahmutlar atıksu arıtma tesisinin proses akım şeması

Mahmutlar Belediyesi atıksu arıtma tesisini yaptırmadan önce ön arıtma ve derin deniz deşarjı ile atıksuların giderimini yapmaktaydı. 2007 yılında atıksu arıtma tesisi inşaatıyla

birlikte atıksular, biyolojik arıtma tesisinden geçirerek denize deşarj edilmektedir. Senaryo 1.'de derin deniz deşarjı maliyeti de ilk yatırım maliyetine eklenmiştir.

Mahmutlar atıksu arıtma tesisine ilave edilen ileri arıtım teknolojileri ekipmanlarıyla birlikte ilk yatırım masrafı $6.979.000 + 6.030.250 + 1.450.000 \text{ TL} = 14.459.250 \text{ TL}$ olmaktadır. Çizelge 4.9'da Senaryo 1'e göre toplam maliyet gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Senaryo 1'e göre ilave maliyetlerle birlikte toplam maliyet

a)	Tesis ilk yatırım	6.979.000 TL
b)	Derin deniz deşarjı	1.450.000 TL
c)	İleri teknoloji yatırımı	6.030.000 TL
d)	Paulownia fidanı	93.000 TL
e)	Diğer	100.000 TL
f)	% 10 yanılma payı (c+d+e)×0.10	622.300 TL
	TOPLAM (2007 yılı)	15.274.300 TL

Tesise membran teknolojileri konumlandırıldığı vakit son çökeltme havuzları boşa çıkmaktadır. Bu havuzlar borulama sistemi değiştirilerek arıtılmış su deposu olarak kullanılması düşünülmektedir.

Çizelge 4.10’da Senaryolar için yapılacak ekonomik analizlerdeki kullanılan birimlerin açıklamaları bulunmaktadır.

Çizelge 4.10 Ekonomik analiz için kullanılan birimlerin açıklamaları

BDh	t yılındaki giderin bugünkü değeri
S BDh	20 yıl için, yıllık giderlerin bugünkü değerlerinin toplamı
BDk	t yılındaki kazanımın bugünkü değeri
S BDk	20 yıl için, yıllık kazanımların bugünkü değerlerinin toplamı
$\sqrt[n]{\frac{S \text{ BDk}}{S \text{ BDg}}}$	Yatırımın geri dönüş süresi
$\frac{S \text{ BDk}}{S \text{ BDg}}$	Kazanımların giderlere oranı
YGDO	Yatırımın geri dönüş oranı
g	t yılındaki giderler toplamı
k	t yılındaki kazanımların toplamı
Nk	t yılındaki net kazanım
BDNk	t yılındaki net kazanımın bugünkü değeri
S (BDNk)	net kazanımların bugünkü değerlerinin toplamı

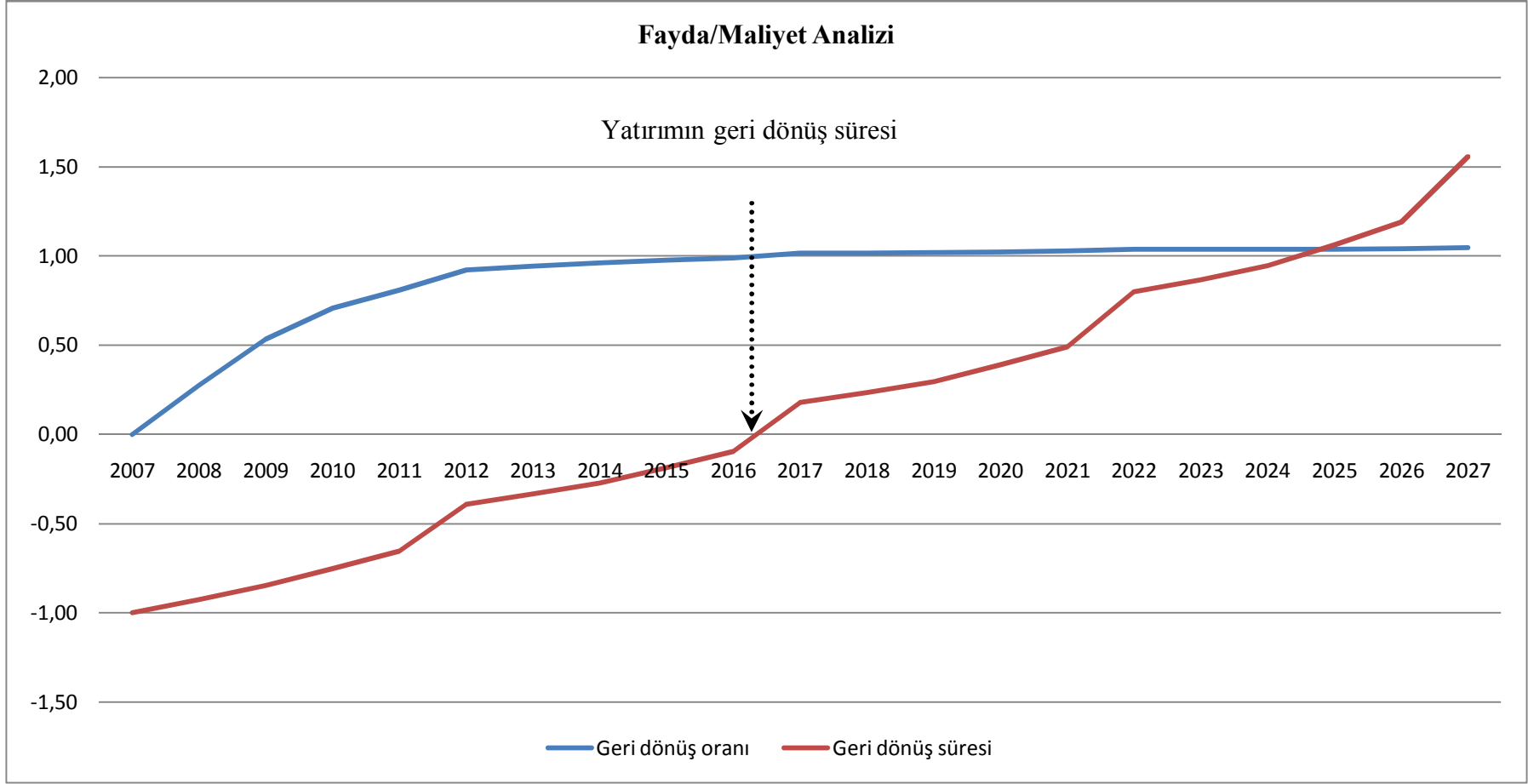
Finansal iskonto oranı % 10-15 arasında seyrederken, kamu projeleri için kullanılan ekonomik iskonto oranı % 6-8 arasındadır. Hatta gelecek kuşakların hakları ve çevresel etkilerin proje süresinin sonrasında da devam edebileceği göz önüne alındığında hesaplanan ekonomik (ya da sosyal) iskonto değerinin % 2-3 kadar az olduğu görülmüştür (Pearce and Ulph, 1995). Bu çalışmadaki ekonomik analizde iskonto değeri % 2 alınmıştır.

Çizelge 4.11’de Senaryo 1 için geri ödeme süresinin bulunması hesabı detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 Senaryo 1 için geri ödeme süresinin bulunması

$\underline{n}$ Yıl	BDg	S BDh	BDk	S BDk	$\frac{S\ BDk}{S\ BDg}$	$\sqrt[n]{\frac{S\ BDk}{S\ BDg}}$	YGDO
2007	14.974.804	14.974.804	0	0	0,00	0,00	-1,00
2008	1.038.062	16.012.866	1.213.956	1.213.956	0,08	0,28	-0,92
2009	1.083.859	17.096.725	1.395.855	2.609.811	0,15	0,53	-0,85
2010	1.131.676	18.228.402	1.933.291	4.543.102	0,25	0,71	-0,75
2011	1.181.603	19.410.005	2.192.307	6.735.409	0,35	0,81	-0,65
2012	1.233.733	20.643.738	5.862.198	12.597.607	0,61	0,92	-0,39
2013	1.288.162	21.931.900	2.016.902	14.614.509	0,67	0,94	-0,33
2014	1.344.993	23.276.893	2.322.715	16.937.224	0,73	0,96	-0,27
2015	1.404.331	24.681.224	3.152.705	20.089.929	0,81	0,98	-0,19
2016	1.466.287	26.147.511	3.583.297	23.673.226	0,91	0,99	-0,09
2017	1.530.976	27.678.487	8.997.362	32.670.588	1,18	1,02	0,18
2018	1.598.519	29.277.006	3.458.697	36.129.285	1,23	1,02	0,23
2019	1.669.042	30.946.048	3.986.525	40.115.810	1,30	1,02	0,30
2020	1.742.676	32.688.724	5.292.257	45.408.067	1,39	1,02	0,39
2021	1.819.559	34.508.282	6.030.941	51.439.008	1,49	1,03	0,49
2022	1.899.833	36.408.116	14.057.087	65.496.095	1,80	1,04	0,80
2023	1.983.650	38.391.765	6.127.692	71.623.787	1,87	1,04	0,87
2024	2.071.164	40.462.929	7.071.878	78.695.665	1,94	1,04	0,94
2025	2.162.538	42.625.467	9.179.110	87.874.775	2,06	1,04	1,06
2026	2.257.944	44.883.412	10.491.961	98.366.736	2,19	1,04	1,19
2027	2.357.560	47.240.971	22.472.799	120.839.536	2,56	1,05	1,56

Yatırımın geri ödeme süresi 10 yıl bulunmuştur.



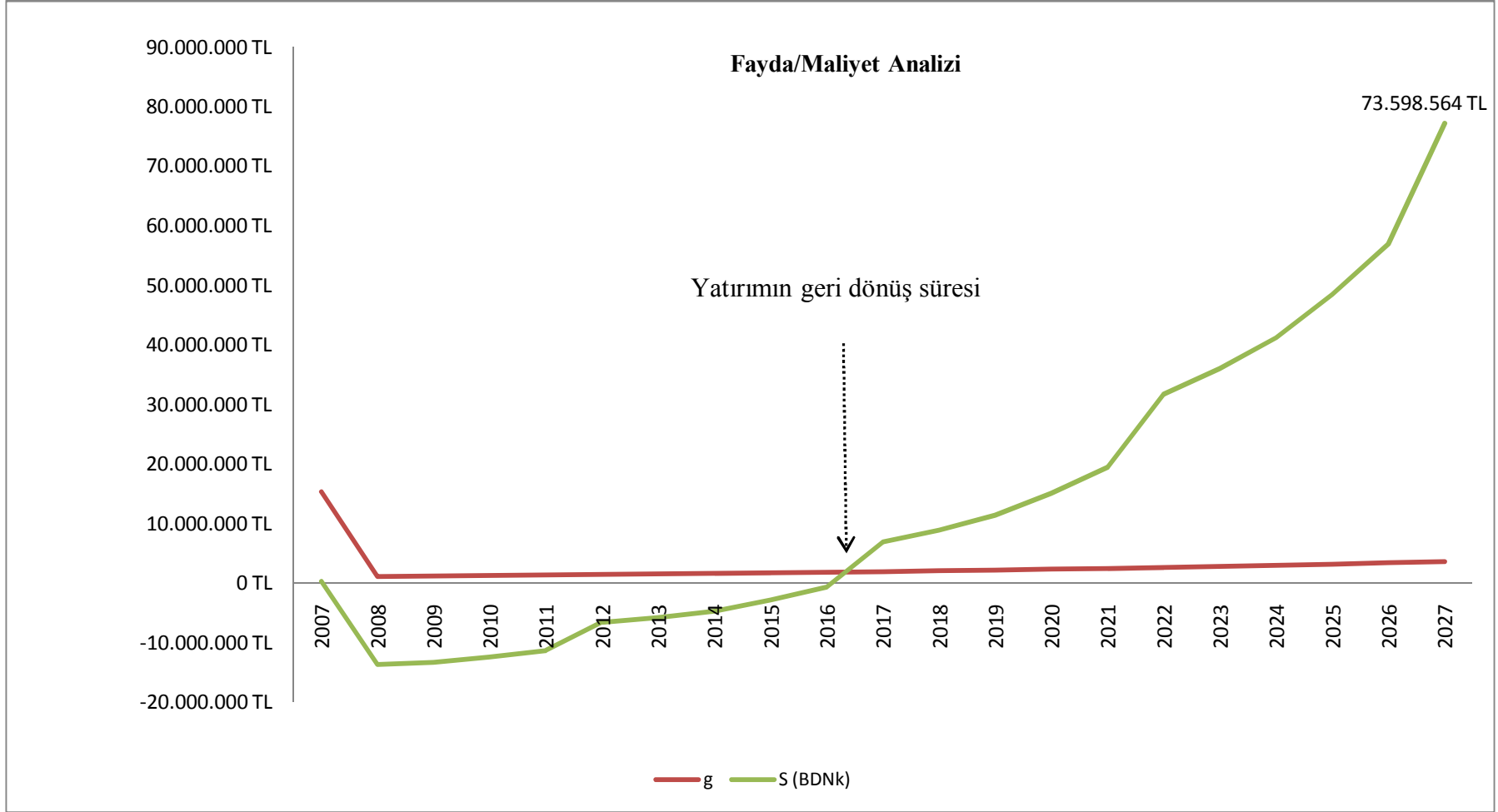
Şekil 4.6 Senaryo 1 için fayda/maliyet analizi ile yatırımın geri dönüş süresi

Senaryo 1’de yaşam boyu analize göre proje sonu kazanımlar toplamı detaylı bir şekilde Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12 Senaryo 1’de yaşam boyu analize göre proje sonu kazanımlar toplamı

Yıl	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>Nk</i>	<i>BDNk</i>	<i>S (BDNk)</i>
2007	15.274.300 TL	0 TL	-15.274.300 TL	-14.974.804 TL	-14.974.804 TL
2008	1.080.000 TL	1.263.000 TL	183.000 TL	175.894 TL	-14.798.910 TL
2009	1.150.200 TL	1.481.292 TL	331.092 TL	311.995 TL	-14.486.915 TL
2010	1.224.963 TL	2.092.657 TL	867.694 TL	801.615 TL	-13.685.300 TL
2011	1.304.586 TL	2.420.484 TL	1.115.898 TL	1.010.704 TL	-12.674.596 TL
2012	1.389.384 TL	6.601.787 TL	5.212.403 TL	4.628.465 TL	-8.046.131 TL
2013	1.479.694 TL	2.316.786 TL	837.093 TL	728.740 TL	-7.317.392 TL
2014	1.575.874 TL	2.721.431 TL	1.145.558 TL	977.722 TL	-6.339.669 TL
2015	1.678.305 TL	3.767.774 TL	2.089.469 TL	1.748.374 TL	-4.591.295 TL
2016	1.787.395 TL	4.368.019 TL	2.580.624 TL	2.117.010 TL	-2.474.285 TL
2017	1.903.576 TL	11.187.089 TL	9.283.513 TL	7.466.386 TL	4.992.101 TL
2018	2.027.308 TL	4.386.464 TL	2.359.155 TL	1.860.178 TL	6.852.279 TL
2019	2.159.084 TL	5.156.996 TL	2.997.912 TL	2.317.484 TL	9.169.763 TL
2020	2.299.424 TL	6.983.020 TL	4.683.597 TL	3.549.581 TL	12.719.343 TL
2021	2.448.886 TL	8.116.852 TL	5.667.966 TL	4.211.382 TL	16.930.726 TL
2022	2.608.064 TL	19.297.369 TL	16.689.305 TL	12.157.254 TL	29.087.980 TL
2023	2.777.588 TL	8.580.248 TL	5.802.659 TL	4.144.042 TL	33.232.022 TL
2024	2.958.132 TL	10.100.383 TL	7.142.252 TL	5.000.714 TL	38.232.736 TL
2025	3.150.410 TL	13.372.230 TL	10.221.820 TL	7.016.572 TL	45.249.308 TL
2026	3.355.187 TL	15.590.502 TL	12.235.316 TL	8.234.017 TL	53.483.325 TL
2027	3.573.274 TL	34.061.266 TL	30.487.992 TL	20.115.240 TL	73.598.564 TL

Yatırım 20 yıl sonunda bugünkü değerle 73.598.564 TL gelir elde edilecektir.

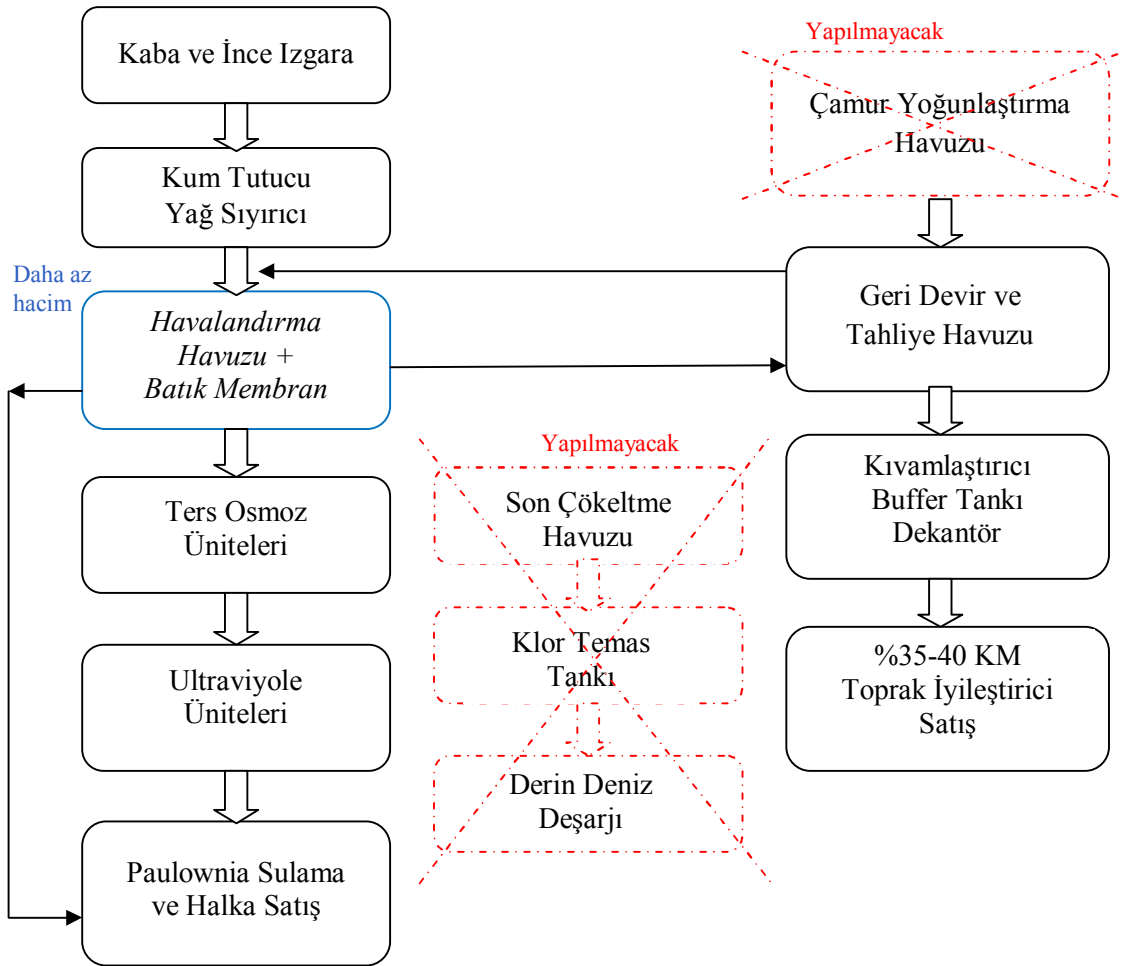


Şekil 4.7 Senaryo 1 için yaşam boyu gelirler toplamı ve yatırımın geri dönüş süresi

4.4. Senaryo 2

Senaryo 2’de proje aşamasında Mahmutlar atıksu arıtma tesisinin membran biyolojik reaktör ve mekanik susuzlaştırma teknolojileri ile yapılacağı durumu öngörülmektedir. Proje aşamasında tasarım gerçekleştirilirse derin deniz deşarjı, son çökeltme havuzları, belt filtre binası ve çamur yoğunlaştırma havuzları yapılmayacaktır. Havalandırma havuzu boyutları düşük HRT hesaplarına göre tasarlanacağı için daha küçük boyutlarda yapılacaktır.

Mahmutlar atıksu arıtma tesisi senaryo 2’e ait proses akım şeması Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Senaryo 2 için Mahmutlar atıksu arıtma tesisinin proses akım şeması

Çizelge 4.13’de Senaryo 2’ye göre batık MBR sistemi yapılması durumunda gerek kalmayan birimlere ait ilk yatırım masrafları gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 Senaryo 2’ye göre batık MBR sistemi yapılması durumunda gerek kalmayan birimlere ait ilk yatırım masrafları

Ekipman	Masraf (TL)
Derin Deniz Deşarjı	1.450.000
Havalandırma havuzu	510.000
Terfi – Deşarj hattı	1.015.250
Son çökeltme havuzları	550.000
Belt filtre pres ünitesi	169.000
Çamur yoğunlaştırma	90.000
Saha içi borulama	135.000
Enerji ve otomasyon	150.000
Mekanik ekipman	175.000
Kümülatif Toplam (2007 yılı)	4.244.250 TL

Atıksu arıtma tesisi ve derin deniz deşarjı ilk yatırım maliyeti 8.429.000 TL’dir.

Senaryo 2’ye göre tesis ileri arıtım teknolojileri üzerinden tasarım aşamasında inşa edilseydi o zaman 4.244.250 TL daha az masraf yapılacaktı.

$8.429.000 \text{ TL} - 4.244.250 \text{ TL} = 4.184.750 \text{ TL}$ olacaktır.

Çizelge 4.14 Senaryo 2’e göre MBR ve diğer yeni teknolojilerin maliyetleri

Ekipman	Masraf (TL)
Batık membran ünitesi (ultrafiltrasyon)	1.970.000
Ters Osmoz üniteleri	3.000.000
Ultraviyole ünitesi	300.000
Dekantör	132.000
Thickenner	90.000
Buffer Tankı	100.000
Blower	38.250
Elektrik, Otomasyon ve diğer masraflar	400.000
Toplam	6.030.250 TL
% 10 yanılma payı	603.025 TL
Kümülatif Toplam (2007 yılı)	6.633.275 TL

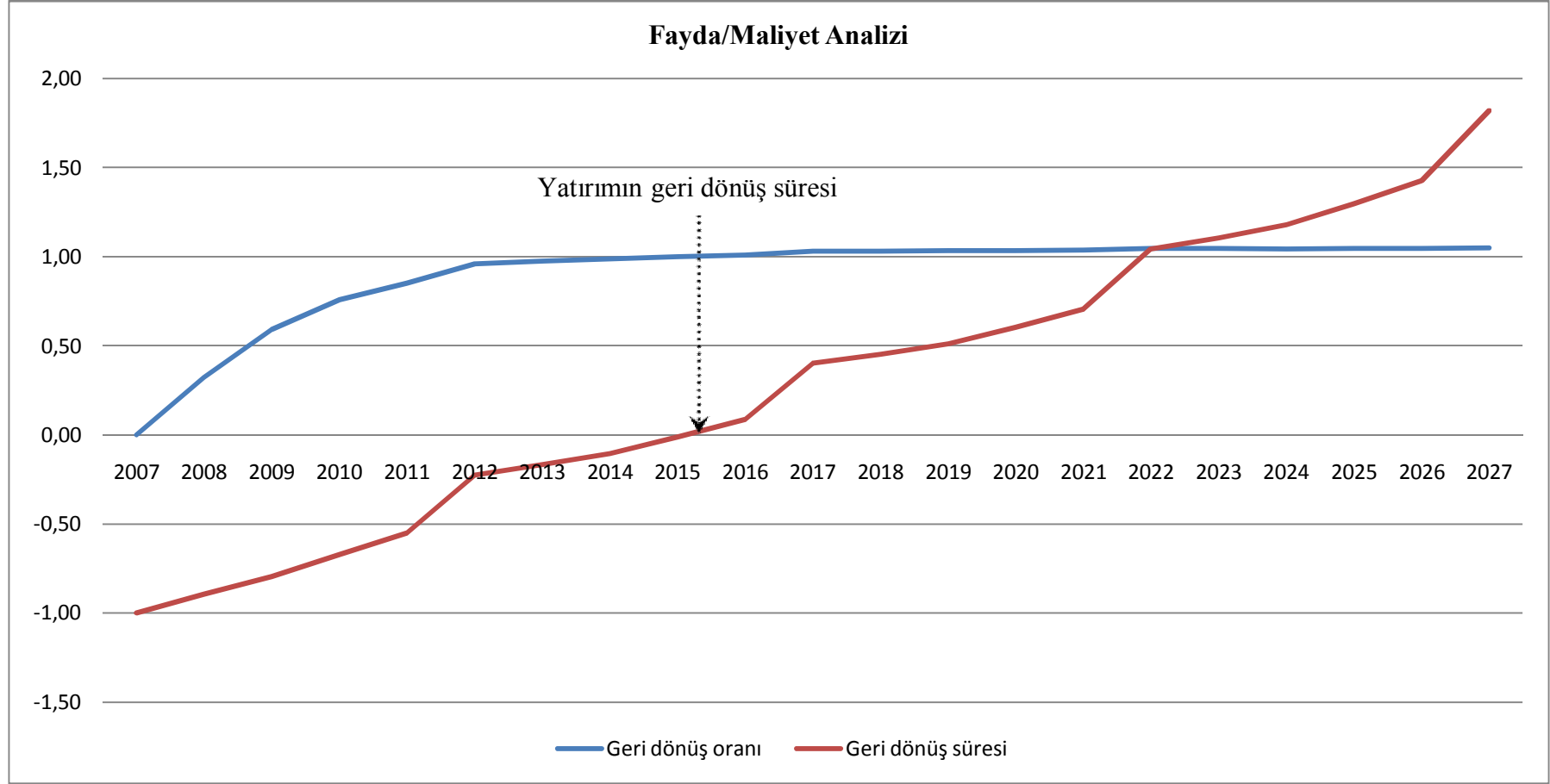
Senaryo 2' ye göre %10 yanılma payı ile birlikte ilk yatırım yaklaşık maliyeti
4.184.750 TL + 6.030.250 TL + %10 yanılma payı 603.025 TL = 10.818.025 TL olur.

Senaryo 2 için geri ödeme süresinin bulunması detaylı bir şekilde Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15 Senaryo 2 için geri ödeme süresinin bulunması

n Yıl	BDg (TL)	S BDh (TL)	BDk (TL)	S BDk (TL)	SBDk SBDg	$\sqrt[n]{\frac{SBDk}{SBDg}}$	YGDO
2007	10.605.907	10.605.907	0	0	0,00	0,00	-1,00
2008	1.038.062	11.643.969	1.213.956	1.213.956	0,10	0,32	-0,90
2009	1.083.859	12.727.828	1.395.855	2.609.811	0,21	0,59	-0,79
2010	1.131.676	13.859.505	1.933.291	4.543.102	0,33	0,76	-0,67
2011	1.181.603	15.041.108	2.192.307	6.735.409	0,45	0,85	-0,55
2012	1.233.733	16.274.841	5.862.198	12.597.607	0,77	0,96	-0,23
2013	1.288.162	17.563.003	2.016.902	14.614.509	0,83	0,97	-0,17
2014	1.344.993	18.907.996	2.322.715	16.937.224	0,90	0,99	-0,10
2015	1.404.331	20.312.327	3.152.705	20.089.929	0,99	1,00	-0,01
2016	1.466.287	21.778.614	3.583.297	23.673.226	1,09	1,01	0,09
2017	1.530.976	23.309.590	8.997.362	32.670.588	1,40	1,03	0,40
2018	1.598.519	24.908.109	3.458.697	36.129.285	1,45	1,03	0,45
2019	1.669.042	26.577.151	3.986.525	40.115.810	1,51	1,03	0,51
2020	1.742.676	28.319.827	5.292.257	45.408.067	1,60	1,03	0,60
2021	1.819.559	30.139.385	6.030.941	51.439.008	1,71	1,04	0,71
2022	1.899.833	32.039.219	14.057.087	65.496.095	2,04	1,05	1,04
2023	1.983.650	34.022.868	6.127.692	71.623.787	2,11	1,04	1,11
2024	2.071.164	36.094.032	7.071.878	78.695.665	2,18	1,04	1,18
2025	2.162.538	38.256.570	9.179.110	87.874.775	2,30	1,04	1,30
2026	2.257.944	40.514.515	10.491.961	98.366.736	2,43	1,05	1,43
2027	2.357.560	42.872.074	22.472.799	120.839.536	2,82	1,05	1,82

Yatırımın geri dönüş süresi 8 yıl bulunmuştur.



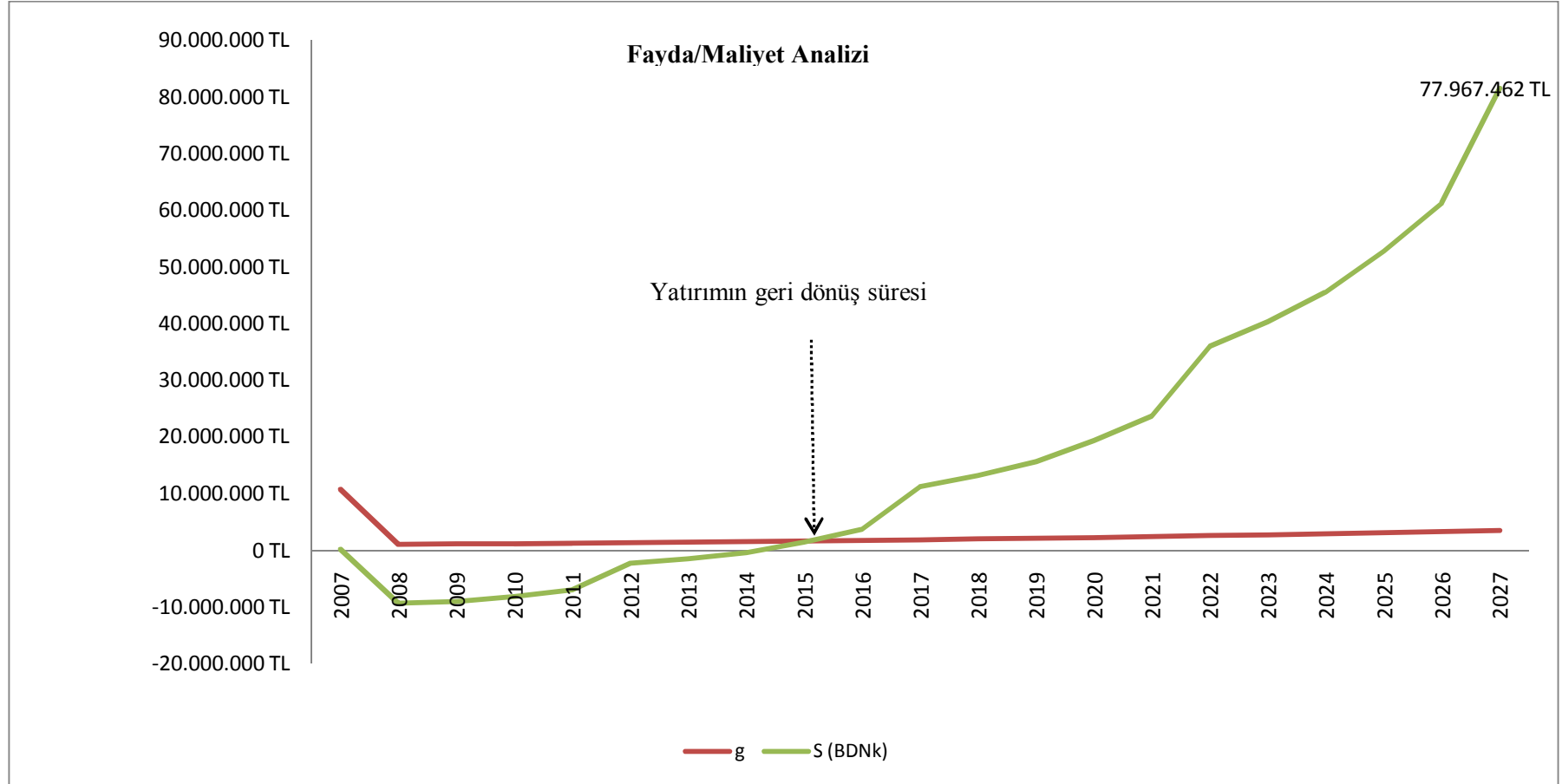
Şekil 4.9 Senaryo 2 için fayda/maliyet analizi ile yatırımın geri dönüş süresi

Senaryo 2 için yaşam boyu analize göre proje sonu kazanımlar toplamı Çizelge 4.16’da detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 4.16 Senaryo 2’de yaşam boyu analize göre proje sonu kazanımlar toplamı

Yıl	<i>g</i>	<i>k</i>	<i>Nk</i>	<i>BDNk</i>	<i>S (BDNk)</i>
2007	10.818.025	0 TL	-10.818.025 TL	-10.605.907 TL	-10.605.907 TL
2008	1.080.000 TL	1.263.000 TL	183.000 TL	175.894 TL	-10.430.013 TL
2009	1.150.200 TL	1.481.292 TL	331.092 TL	311.995 TL	-10.118.018 TL
2010	1.224.963 TL	2.092.657 TL	867.694 TL	801.615 TL	-9.316.403 TL
2011	1.304.586 TL	2.420.484 TL	1.115.898 TL	1.010.704 TL	-8.305.699 TL
2012	1.389.384 TL	6.601.787 TL	5.212.403 TL	4.628.465 TL	-3.677.234 TL
2013	1.479.694 TL	2.316.786 TL	837.093 TL	728.740 TL	-2.948.495 TL
2014	1.575.874 TL	2.721.431 TL	1.145.558 TL	977.722 TL	-1.970.772 TL
2015	1.678.305 TL	3.767.774 TL	2.089.469 TL	1.748.374 TL	-222.398 TL
2016	1.787.395 TL	4.368.019 TL	2.580.624 TL	2.117.010 TL	1.894.612 TL
2017	1.903.576 TL	11.187.089 TL	9.283.513 TL	7.466.386 TL	9.360.998 TL
2018	2.027.308 TL	4.386.464 TL	2.359.155 TL	1.860.178 TL	11.221.176 TL
2019	2.159.084 TL	5.156.996 TL	2.997.912 TL	2.317.484 TL	13.538.660 TL
2020	2.299.424 TL	6.983.020 TL	4.683.597 TL	3.549.581 TL	17.088.240 TL
2021	2.448.886 TL	8.116.852 TL	5.667.966 TL	4.211.382 TL	21.299.623 TL
2022	2.608.064 TL	19.297.369 TL	16.689.305 TL	12.157.254 TL	33.456.877 TL
2023	2.777.588 TL	8.580.248 TL	5.802.659 TL	4.144.042 TL	37.600.919 TL
2024	2.958.132 TL	10.100.383 TL	7.142.252 TL	5.000.714 TL	42.601.633 TL
2025	3.150.410 TL	13.372.230 TL	10.221.820 TL	7.016.572 TL	49.618.205 TL
2026	3.355.187 TL	15.590.502 TL	12.235.316 TL	8.234.017 TL	57.852.222 TL
2027	3.573.274 TL	34.061.266 TL	30.487.992 TL	20.115.240 TL	77.967.462 TL

Yatırım 20 yıl sonunda bugünkü değerle 77.967.462 TL gelir elde edilecektir.



Şekil 4.10 Senaryo 2 için yaşam boyu gelirler toplamı ve yatırımın geri dönüş süresi

5. SONUÇ

Bu çalışma, özellikle turizm bölgelerindeki evsel kaynaklı atıksu arıtma tesislerinin uygun ileri arıtma teknolojileri ile tasarlandırılması sonucu oluşan ürünlerin yeniden kullanılmasının gerekliliğini ve sürdürülebilir çevre yönetimi ile sürdürülebilir ekonomi kavramlarının birbirleri ile büyük ölçüde örtüştüğünü sayısal olarak ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

Çalışma kapsamında senaryo 1’de, pilot tesis olarak ele alınan Alanya Mahmutlar Atıksu Arıtma Tesis’inin ileri arıtma teknolojileri ile revize edilmesi varsayılmıştır. Senaryo 2’de ise yine bu pilot tesisin, tasarım aşamasındayken ileri arıtma teknolojileri ile planlanarak yapıldığı varsayılmıştır. Bu iki senaryoya göre tesisin ilk yatırım maliyetleri çıkarılmıştır. İleri arıtma sistemlerinden çıkan yeniden kullanılabilir ürünlerin ekonomik gelir eldesine dönüştürülmesi sonucu oluşabilecek kazanımlar hesaplanmıştır. Tesis toplam giderlerine karşılık tesis ürünleri kullanılarak elde edilen kazanımların fayda maliyet analizleri yapılmıştır.

Çin, Japonya, ABD ve AB üyeleri ülkelerde yetiştirilmesi için teşvik edilen, ticari değeri yüksek ve aynı kategorideki diğer ağaç türlerine göre daha hızlı yetişebilen Paulownia ağacının ülke ekonomisine kazandırılması gerekliliği yapılan ekonomik analizle ortaya koyulmuştur.

Kıt su kaynaklarının korunması ve bu kaynakların doğru kullanılması gerekmektedir. Kullanılan evsel ve endüstriyel suların alıcı ortamlara arıtılıp boşu boşuna deşarj etmek yerine bu suların uygun proseslerden geçirilip yeniden kullanılmasını hedef almak ve ona göre tasarımlar yapmak gerekir. Ekonomik kazançların gerekli analizler yapılarak gözler önüne serilmesi ve yetkililerin bu yönde dikkatlerinin çekilmesi gerekmektedir. Ancak bu sayede ileri arıtma teknolojilerin kullanılmasının yaygınlaştırılması gerçekleşebilecektir.

Çevre yatırımları büyük ekonomik yatırımlardır. Bu yatırımlar yapılırken çevre etkilerinin yanı sıra ekonomik kazanımların ve giderlerin dikkate alınması gerekmektedir. Yetersiz arıtma teknolojileri kullanılarak yapılacak yatırımlar ancak milyonlarca metreküp suyun alıcı ortamlara büyük bir külfet sonucu deşarj edilmesi

anlamına gelmektedir. Bu çalışmada da görüldüğü gibi ilerleyen teknolojik gelişmelerin takip edilerek uygulanması sonucu elde edilecek yeniden kullanılabilir ürünlerden kazanç sağlanması ve ülke ekonomisine girdi elde edilmesi gerekmektedir.

Senaryo 1’de mevcut tesise ilave ekipmanlarda dikkate alınarak yapılan maliyet analizinde ilk yatırım maliyeti 15.274.300 TL hesaplanmıştır. Sistemin gelirleri MDF, taşıyıcı palet, bal, çamur keki, sulama suyu satış gelirleri ve atıksu bedelidir. Yapılan yaşam boyu analizde ilave yatırımlar sonucu öngörülen sistem kendi kendini 10 senede amorti edeceği ve tesis ömrü olan 20. yılın sonunda net bugünkü değerle 73.598.564 TL gelir elde edileceği hesaplanmıştır.

Senaryo 2. de ise, ileri arıtma teknolojileri tasarım aşamasında gerçekleşseydi tesisin ilk yatırım maliyeti 10.818.025 TL olacağı hesaplanmıştır. Bu durumda yapılacak yatırımın geri ödemesi 8 yılda gerçekleşecek ve tesis ömrü olan 20. yıl sonunda net bugünkü değerle 77.967.462 TL gelir elde edileceği hesaplanmıştır. Bu değer de yaklaşık 7 adet eşdeğer tesisin ilk yatırım maliyetine tekabül etmektedir.

Ülkemizde kaynakların doğru kullanımının sağlanmasının yanında yeniden kullanımın yaygınlaştırılması için ilk yapılması gereken eylemlerden biri de bireylerin eğitim-öğretim aşamasında bu olguyu kavrayabilmelerine yardımcı olmaktır. Ülkemizdeki Çevre mühendisliği öğretimi veren üniversitelerinde halen çoğunda yeniden kullanma teknolojileri kapsamındaki dersler yüksek lisans seviyesinde verilmektedir. Yeniden kullanma teknolojilerinin konu alındığı bir dersin lisans müfredatına konulması ve deniz deşarjı gibi gelecek yılların koşullarını yansıtmayan derslerin müfredattan çıkarılması gibi hususların yeniden kullanımın yaygınlaştırılmasında katkı sağlayacağı kanısındayım.

KAYNAKLAR

- ADHAM, S. and GAGLIARDO, P. 1998. Membrane Bioreactors for Water Repurification Phase I. Desalination Research and Development Program Report No. 34, U.S Department of Interior, Bureau of Reclamation, USA.
- ADHAM S., GAGLIARDO P., BOULOS L., OPPENHEIMER J., TRUSSELL R., 2001. Feasibility of The Membrane Bioreactor Process for Water Reclamation. Water Sci. and Tech., 43(10), 203-209, USA.
- ADHAM S., TRUSSELL R., 2001. Membrane Bioreactors: Feasibility and Use in Water Reclamation, San Diego, CA, Final Report, Water Environment Research Foundation, Alexandria, VA. USA.
- ALMAN STANDARDI. DIN 19650 “Irrigation-Hygienic Concerns of Irrigation Water”
- ALPASLAN, M.N. ve DÖLGEN, D. 2005. Ülkemizdeki Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri ve Maliyetleri Üzerine Bir Araştırma. Çevre Bilim & Teknoloji, Cilt, Sayı 2, s.127-137, Türkiye.
- ANGIN, İ. 2002. Erzurum Kentsel Atıksuları ile Sulanan Tarımsal Alanlarda Ortaya Çıkan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- AVRUPA ÇEVRE AJANSI, 2005. Bütünleşik Değerlendirme Sulak Ortam Bölüm A, Avrupa’da Çevre Durum ve Genel Bakış, sayfa 122.
- BUISSON, H., COTE, P., PRADERIE, M., PAILLARD, H. 1998. The Use of Immersed Membranes for Upgrading Wastewater Treatment Plants. Wat. Sci. Tech., 37(9), 89-95.
- CICEK, N., WINNEN, H., SUIDAN, T.M., WRENN, B.E., URBAIN, V., MANEM, J. 1998. Effectiveness of Membrane Bioreactors in the Biodegradation of High Molecular Weight Compounds. Water Research, 32(5), 1553-1563.
- CRAWFORD, G., THOMPSON, D., LOZIER, J., DAIGGER, G., FLEISCHER, E. 2000. Membrane Bioreactors – A Designer’s Perspective. Proceedings of the Water Environment Federation Technical Symposia, Anaheim, California, USA.
- CROOK, J., AMMERMAN, D.,K., OKUN, D.A., MATTHEWS, R.L. 1992. Guideline for Water Reuse. Camp Dresser and McKee Inc., Cambridge, Massachusetts, USA.
- ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI, 2008. Atıksu Arıtımı Eylem Planı.

DAIGGER, G.T., RITTMANN, B.E., ADHAM, S., ANDREOTTOLA, G. 2005. Are Membrane Bioreactors Ready for Widespread Application?. Environ. Sci. Technol., 39(19), 399A-406A. USA.

DÖLGEN, D. 2004. Kentsel Atıksuların Arıtılması Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu Kitabı. İzmit Büyükşehir Belediyesi, Çevre Mühendisleri Odası İzmit Şb., İzmit.

EPA 2004. Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems. 832-R-04-001, page 9, USA.

EPA Semptember 2007. Membrane Bioreactors. Wastewater Management Fact Sheet, USA.

ESEN, S.E. 2002. Türkiye'nin Kentsel Çevre Altyapısı (Atıksu Bertarafı) Yatırım İhtiyacı, Fayda-Maliyet Analizleri ve Strateji Önerisi (2002-2023). Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Sosyal Fiziki Altyapı Dairesi Başkanlığı, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, No: 2656, Ankara.

EUREAU 2004. Why is Water Reuse so Important the EU?. Drivers, Benefits and Trends, European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services.

FANE, A., CHANG, S. 2002. Membrane Bioreactors: Design And Operational Options. Filtr. Sep., 39, pages 26-29.

GALIL, N.I., LEVINSKY, Y. 2007. Sustainable Reclamation and Reuse of Industrial Wastewater Including Membrane Bioreactor Technologies: Case Studies. Desalination, 202, 411-417.

GÖKÇAY, C. F. 10-11 Nisan 2008. Arıtılmış Suların Tarımda Geri Kullanılması. Sulama-Drenaj Konferansı, Adana

İŞÇİ, S. 2008. Mahmutlar Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi 2008 Yılı Faaliyet Raporu, Antalya.

JUDD S.J. 2001. A Review of Fouling of Membrane Bioreactors in Sewage Treatment, School of Water Sciences, Cranfield University, UK.

JUDD S.J. 2002a. The Development of the Membrane Bioreactor Technology for Sewage Treatment in the UK, School of Water Sciences, Cranfield University, UK.

JUDD S.J. 2002b. Submerged Membrane Bioreactors: Flat Plate or Hollow Fibre? Filtration and Separation, 39(5), 30-31, UK.

JUDD S.J. 2006. The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. Elsevier, Oxford, UK.

KANAREK A. and MICHAIL M. 1996. Groundwater Recharge with Municipal Effluent: Dan Region Reclamation Project, *Water Science & Technology*, 34, 11, 227-233, Israel.

KAPLAN, D. 2008. Paulownia Ağacının Kurşun Kalem Endüstrisinde Kullanım Olanakları Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın.

Kentsel Atıksu Yönetiminde Geleneksel ve Yenilikçi Yaklaşımlar 2005.

KING, N. 2000. New Strategies for Environmental Sanitation. 'Water 21' pages 11-12.

KONACIK Belediyesi 2009, Atıksu Arıtma Tesisi İşletme Raporu.

LAZAROVA V. 1999. Wastewater Reuse: Technical Challenges and Role in Enhancement of Integrated Water Management. *E.I.N. International*, 40-57.

LESJEAN, B., ROSENBERGER, S., SCHROTTER, J.C., RECHERCHE, A. 2004. Membrane-Aided Biological Wastewater Treatment an Overview of Applied Systems. *Membr. Technol.*, 5-10.

LIU, R., HUANG, X., WANG, C., CHEN, L., QIAN Y. 2000. Study on Hydraulic Characteristics in a Submerged Membrane Bioreactor Process, *Proc Biochem* 36, 249–254.

MAYHEW, M., STEPHENSON, T. 1997. Low Biomass Yield Activated Sludge: A Review. *Environmental Technology*, 18, 883-886.

METCALF and EDDY 2006. Water Reuse Issues, Technologies and Applications, McGraw Hill, New York.

ODEGAARD, H., HENZE, M. 1992. Evaluation of Alternative Municipal Wastewater Management Strategies, World Bank Report, Copenhagen.

ORTIZ, M., RALUY, R.G., SERRA, L., UCHE, J. 2007. Life Cycle Assessment of Water Treatment Technologies: Wastewater And Water-Reuse in a Small Town. *Desalination*, 204, 121-131.

PAPAIACOVU, I. 2001. Case Study- Wastewater Reuse in Limassol as an Alternative Water Source, *Desalination*, 138, 55-59.

PEARCE, D. W. and ULPH, D. 1995. *A Social Discount Rate for the United Kingdom*, CSERGE Working Paper 95-01, London.

SAMSUNLU, A. 2006. Atık Suların Arıtılması. Birsen Yayınevi, 3. Baskı, Sayfa 6, İstanbul.

SHELEF, G. and HALPERIN R. 2002. The Development of Wastewater Effluent Quality Requirements for Reuse in Agricultural Irrigation in Israel. *Proc. Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region*, Iraklio, Greece.

STEPHENSON, T., BRINDLE, K., JUDD, S., JEFFERSON, B. 2000. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, ISBN 1-900222-07-8, IWA Publishing, UK.

TAKASHI, A. 2000. Water Reuse; Issues, Technologies and Applications

TCHOBANOGLIOUS G. and BURTON F. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse.

TOLTAR, A. 2006. Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Maliyetlerine Etki Eden Faktörler ve Aralarındaki Bağlantıların Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze

TÜİK 2008. Belediye Atıksu İstatistikleri 2006, TÜİK Haber Bülteni, Sayı: 73, Ankara.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı 2007. Türkiye Çevre Durum Raporu 2007, Ankara.

VEENSTRA, S., ALAERTS, G., BİJLSMA, M. 1997. Technology Selection. HELMER, R., HESPANOL, I. (eds.) Water Pollution Control, a Guide to the Use of Water Quality Management Principles, E. & FN Spon, 45-85, Londra.

VISVANATHAN, C., BEN AIM, R. and PARAMESWARAN, K. 2000. Membrane Separation Bioreactors for Wastewater Treatment. Crit. Rev., Environ. Sci. Technol., 30, 1-48.

XINGCAN, Z. 2002. Research and Pilots Program on Municipal Wastewater and Reclamation and Reuse in China. Water Forum 2002, World Bank Headquarters, Washington.

YETİŞ, Ü. 2005. Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı. Medaware Projesi, ODTÜ, Ankara.

YİĞİT, N. Ö. 2007. Membran Biyoreaktörü İle (Mbr) Evsel Atıksu Arıtımı. Doktora Tezi, SDÜ, Isparta.

(2008) <http://www.bragfor.com.tr>, Bragfor A.Ş. , Paulownia fidancılık, 05 Nisan 2008

(2008) <http://www.tarımsal.com>, Tarım ve Hayvancılık A.Ş., Paulownia hakkında genel bilgiler, 05 Nisan 2008

(2009) <http://www.ktyatirimisletmeler.gov.tr>, Kültür ve Turizm Bakanlığı Yatırım İşletmeler Genel Müdürlüğü, Faaliyetler altyapı projeleri, 01 Eylül 2009

(2009) <http://www.tuik.gov.tr>, Türkiye İstatistik Kurumu, Çevre istatistikleri, Belediye Atıksu istatistikleri, 01 Eylül 2009

ÖZGEÇMİŞ

09.05.1982 tarihinde Ankara ilinde doğdu. İlkokul öğrenimini Ankara Sarar İlkokulu'nda bitirdi. Ortaokul öğrenimini Ankara Anıttepe Lisesi ortaokul kısmında tamamladıktan sonra Devlet Parasız Yatılı sınavını kazanarak 2 sene Ankara Çubuk Lisesi Devlet Parasız Yatılı kısmında öğrenim gördü. Lise son sınıfta okul değiştirerek Ankara Bahçelievler Deneme Lisesinden 1999 yılında mezun oldu. 2000 yılında girdiği sınavda Kara Harb Okulu'nu kazandı. Kara Harp Okulu'nda intibak eğitimi alırken kendi isteği ile KHO'dan ayrıldı. Yine aynı yıl Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü kazandığı için Ankara'dan Antalya'ya taşındı. Lisans eğitimi sırasında 2003-2004 eğitim-öğretim yılında Akdeniz Üniversitesi Öğrenci Konseyi Başkan Yardımcısı ve Mühendislik Fakültesi Öğrenci Temsilcisi olarak seçildi. 2005 senesinde Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Bölüm 1.'si ve Onur Mezunu olarak mezun oldu. Mezun olduktan sonra küçük çaplı yüzme havuzu inşaatı işlerinde çalıştıktan sonra 2006 yılında SARTES İnşaat San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde Alanya Mahmutlar Belediyesi Evsel Atıksu Arıtma Tesisi İnşaatı ve İşletmeye Alma işinde çalıştı. 2008 yılında ECETAŞ İnşaat San. ve Tic. A.Ş.'nin yükleniciliğini yaptığı Dünya Bankası-İller Bankası finansmanlı Antalya Büyükşehir Belediyesi ASAT W9-A41R sözleşme nolu Doğu Varsak Kanalizasyon ve İçmesuyu Şebeke ve Evsel Bağlantıları İnşaatı İş'i'nde Teknik ofis şefi ve Saha şefi pozisyonlarında çalıştı. 2009 yılı Eylül ayından beri halen TURAŞ Turizm San. ve Tic. A.Ş.'nde görev yeri olan Alanya Türkler Evsel Atıksu Arıtma Tesisinde işletme sorumlusu olarak çalışmaktadır.