

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASI
VE MALİYET ANALİZİ

Burak AYRAK
YÜKSEL LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASI
VE MALİYET ANALİZİ

Burak AYRAK
YÜKSEL LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU

GEBZE
2010

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASI VE MALİYET ANALİZİ

YAZAR ADI: BURAK AYRAK

Yerleşim birimlerinde oluşan atıksuların en uygun teknoloji seçilerek ve en düşük maliyetle arıtılması esastır. Bunun için ülke çapında, ortaya çıkan atıksuların miktarı ile özelliklerinin bilinmesi gereklidir. O halde ülkemizde yapılması gereken ilk işin yerleşim birimleri baz alınarak meydana gelecek evsel atıksu miktarları ile bu atıksuların özelliklerinin bilinmesi gerekir. Aksi takdirde en uygun arıtma teknolojilerinin seçimi mümkün olmayacaktır. En ekonomik çözüm için ise atıksu arıtma tesislerinin maliyetlerinin incelenmesi gereklidir.

Ülkemizde büyüklü küçüklü 3.000'nin üzerinde belediye vardır. Ancak bunların pek çoğunda arıtma tesisi yoktur. Belediyelerin çoğunluğu orta büyüklüktedir. Bu nedenle nüfusu 5.000 ile 100.000 arasında olan yerleşim birimlerinde her nüfus dilimi için uygun maliyetli arıtma teknolojisinin seçimi kısıtlı maddi imkânlarla sahip olan ülkemizde uygulanabilir sistemlerin gelişmesini sağlayacaktır.

Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinin tasarımına yönelik bir çalışmada nüfus, deşarj standartları, enerji maliyetleri, alıcı ortam ve atıksu karakterizasyonu gibi parametreler büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de daha önceden yapılmış olan çeşitli proseslere ve değişik nüfuslara ait atıksu arıtma tesisi projelerinin inşaat ve işletme maliyetleri değişik tip arıtma sistemleri için farklı parametrelere bağlı olarak değerlendirilmiş, elde edilen grafiklerin sonuçları yorumlanmıştır. Elde edilen data'lara göre damlatmalı filtre, stabilizasyon havuzlar, klasik aktif çamur ve uzun havalandırılmalı aktif çamur olmak üzere dört tip atıksu arıtma prosesi incelenmiştir.

SUMMARY

**TITLE OF THE THESIS: DOMESTIC WASTEWATER
TREATMENT PLANTS AND COST ANALYSIS**

AUTHOR: BURAK AYRAK

It is essential to treat waste waters arisen from residential districts by choosing the most appropriate technology and the low costs. For this aim, quantities and features of waste waters arisen from the whole country must have been clearly considered. Therefore the first necessary thing to do for this aim is to determine quantities and features of domestic waste waters in connection with basis of residential districts. Otherwise it will not be possible to choose the most convenient water treatment Technologies. The most economical waste water treatment costs must have been analyzed in this connection.

In our country there are approximately above 3.000 municipalities in different sizes. But there is not any treatment facility in most of them. Great deal of such municipalities are in medium-sized. Therefore choosing of the most appropriate treatment technology in convenient cost per each residential slice of settlement areas in populations of 5.000 to 100.000 inhabitants, shall provide improvement of applicable systems in our country which has limited economic conditions.

In this study, current domestic wastewater treatment plants for different treatment processes and different parameters in Turkey was examined and the graphs for these process data was interpreted.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın araştırılmasında ve hazırlanmasında her türlü bilgi ve önerileriyle bana yön veren, sabır gösteren saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU'ya ve değerli mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın her anında desteğini benden esirgemeyen eşim Çevre Mühendisi Sayın Nilgün AYRAK'a, kızım Zeynep Eylül'e ve değerli aileme teşekkürü borç biliyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
SUMMARY	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. ATIKSULAR	3
2.1.SU KİRLENMESİ VE ATIKSU	3
2.2.ATIKSULARIN KARAKTERİZASYONU, ALICI ORTAMA	
ETKİLERİ VE ARITILMASI	3
2.2.1. ATIKSU MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ	3
2.2.2. ATIKSULARIN ALICI ORTAMA ETKİLERİ	6
3. ATIKSU ARITMA TESİSLERİ	8
3.1. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN TARİHİ GELİŞİMİ	8
3.2. PROJE SÜRESİ VE KADEMELERİNİN BELİRLENMESİ	9
3.3. NÜFUS TAHMİNLERİ	9
3.4. ATIKSU MİKTAR VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	10
3.5. DEŞARJ KRİTERLERİ VE SİSTEM SEÇİMİ	11
4. ATIKSU YÖNETİMİ BÖLGELERİ	15
4.1. GENEL	15
4.2. STABİLİZASYON HAVUZLARI VE HAVALANDIRMALI	
LAGÜNLERİN PROJELE KRİTERLERİ	17
5. ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ	18

5.1. MEKANİK ARITMA YÖNTEMLERİ	18
5.2. BİYOLOJİK ARITMA YÖNTEMLERİ	18
5.3. İLERİ ARITMA YÖNTEMLERİ	19
5.3.1. AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ	19
5.3.1.1 NİTRİFİKASYON	20
5.3.1.2. DENİTRİFİKASYON	20
5.3.2. BİYOLOJİK FOSFOR GİDERİMİ	21
5.4. MEKANİK ARITMA ÜNİTELERİ	22
5.4.1. KABA IZGARALAR	22
5.4.2. İNCE ÇUBUK IZGARALAR	22
5.4.3. KUM TUTUCULAR	22
5.4.4. DENGELEME HAVUZU	22
5.4.5. ATIKSU TERFİ ÜNİTELERİ	23
5.4.6. ÖN ÇÖKELTME HAVUZLARI	23
5.5. BİYOLOJİK ARITMA YÖNTEMLERİ	23
5.5.1. HAVALANDIRMALI SİSTEMLER	25
5.5.1.1. HAVALANDIRMALI SİSTEMLERİN MODİFİKASYONLARI	28
5.5.1.1.1. KLASİK AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ	28
5.5.1.1.2. UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR SİSTEMLERİ	29
5.5.1.1.3. OKSİDASYON HENDEĞİ	30
5.5.2. DAMLATMALI FİLTRELER	31
5.5.2.1. DAMLATMALI FİLTRENİN ÇALIŞMASI	31
5.5.3. DÖNER BİYOLOJİK DİSK	33
5.5.4. STABİLİZASYON HAVUZLARI	33
5.5.4.1. STABİLİZASYON HAVUZLARININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	34
5.6. SON ÇÖKTÜRME HAVUZLARI	37
5.7. ÇAMUR YOĞUNLAŞTIRMA TANKLARI	38
5.7.1. AEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU	39
5.7.2. ANAEROBİK ÇAMUR STABİLİZASYONU	39
5.8. ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	39
5.9. ATIKSULARIN ARAZİDE ARITIMI	40

6.	ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MALİYET UNSURLARI	42
	6.1. GENEL	42
	6.2. YATIRIM MALİYETLERİ	42
	6.3. İŞLETME MALİYETİ	44
	6.4. MALİYET VE MALİYET FAKTÖRLERİ ARASINDAKİ BAĞLANTILAR	45
	6.4.1. GENEL	45
	6.4.2. İLK YATIRIM MALİYETİNİN HESABI	45
	6.4.3. İŞLETME MALİYETLERİ	46
7.	MALİYET ANALİZİ	48
	7.1. İNŞAAT MALİYETLERİ	48
	7.1.1. DAMLATMALI FİLTRE	48
	7.1.2. STABİLİZASYON HAVUZU	52
	7.1.3. KLASİK AKTİF ÇAMUR	55
	7.1.4. UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR	59
	7.2. İŞLETME MALİYETLERİ	64
	7.2.1. DAMLATMALI FİLTRE TESİSLERİ	64
	7.2.2. STABİLİZASYON HAVUZU TESİSLERİ	66
	7.2.3. KLASİK AKTİF ÇAMUR TESİSLERİ	69
	7.2.4. UZUN HAVALANDIRMALI AKTİF ÇAMUR TESİSLERİ	71
8.	DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR	77
9.	KAYNAKLAR	80
10.	ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
4.1 Türkiye'nin atıksu yönetimi açısından bölgeleri	15
4.2 Stabilizasyon havuzları ve havalandırılmalı lagünlerin uygulama bölgeleri	17
5.1. Biyolojik Arıtma Teknolojileri	24
5.2 Havalandırılmalı sistemlerin çeşitli konfigürasyonları	26
5.3. Tipik Bir Aktif Çamur Akım Sistemi Akım Şeması	29
5.4. Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Prosesinin Akım Şeması	30
5.5. Damlatılmalı Filtre Sisteminin Akım Diagramı	32
5.6. Kontakt Stabilizasyon Havuzu Akım Şeması	34
7.1. Damlatılmalı Filtre Sisteminin Akım Şeması	49
7.2. Damlatılmalı Filtre Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	50
7.3. Damlatılmalı Filtre Tesisleri için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi	50
7.4. Damlatılmalı Filtre Tesisleri için Kapasite- İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	51
7.5. Damlatılmalı Filtre Tesisleri Kapasite-Arıtılan Birim Debi İlişkisi	51
7.6. Stabilizasyon Havuzları	52
7.7. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	53
7.8. Stabilizasyon Havuzları için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi	54
7.9. Stabilizasyon Havuzları için Kapasite- İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	54
7.10. Klasik Aktif Çamur Sisteminin Akım Diyagramı	53
7.11. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	57
7.12. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Kişi Başına m ³ debi ile İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	57
7.13. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi	58
7.14. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Kapasite- İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	58
7.15. UHAÇ Tesisleri için Akım Diagramı	59
7.16. UHAÇ Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	60
7.17. UHAÇ Tesisleri için Kapasite- İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi	61
7.18. UHAÇ Tesisleri için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi	61
7.19. UHAÇ Tesisleri için Kapasite- Birim Arıtma Maliyeti İlişkisi	62
7.20. Atıksu Arıtma Prosesleri Nüfus-İlk Yatırım Maliyetleri Arasındaki İlişki	63

7.21. Damlatmalı Filtre Tesisleri Nüfus-İşletme Bedeli Arasındaki Bağntı	65
7.22. Damlatmalı filtre tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağıntı	66
7.23. Stabilizasyon havuzları tesisleri enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasındaki Bağıntı	67
7.24. Stabilizasyon havuzları tesisleri nüfus-enerji bedeli arasındaki bağıntı	68
7.25. Stabilizasyon havuzları tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağıntı	68
7.26. Klasik aktif çamur tesisleri enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasındaki bağıntı	70
7.27. Klasik aktif çamur tesisleri nüfus-enerji bedeli arasındaki bağıntı	70
7.28. Klasik aktif çamur tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağıntı	71
7.29. Uzun havalandırmalı ktif çamur tesisleri enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasındaki bağıntı	72
7.30. Uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri nüfus-enerji bedeli arasındaki Bağıntı	73
7.31. Uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki Bağıntı	73
7.32. Atıksu Arıtma Prosesleri Nüfus-Enerji Bedelleri Arasındaki İlişki	74

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1. Evsel atıksu birim değeri	4
2.2. Evsel atıksuların özellikleri	5
3.1 Nüfusa bağılı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değışimi	10
Ek 1C. Hassas Koy, Körfez ve Kıyılar	12
Ek 2. Az Hassas Koy, Körfez ve Kıyılar	13
3.2 Değişik arıtma sistemleri için çıkış suyu kaliteleri	14
4.1 Nüfus aralıklarına göre arıtma teknolojileri	16
4.2.Stabilizasyon havuzları ve havalandırılmalı lagünlerin uygulama bölgeleri ve projelendirme kriterleri	17
5.1 Havalandırılmalı sistem prosesleri için tasarım parametreleri	27
5.2 Biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri	36
5.3. Yapay Sulak Alan (Doğal) Arıtma Tiplerine Göre Yaklaşık Yatırım ve Arıtma Alan İhtiyacı	41
6.1. Nüfusa bağılı olarak su tüketimlerinin değışimi	42
6.2. İller Bankası'na göre kişi başına kirlletici yükleri	43
7.1. Damlatılmalı Filtre Tesisleri	49
7.2. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri	53
7.3. Klasik Aktif Çamur Tesisleri	56
7.4. Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Tesisleri	60
7.5. Damlatılmalı Filtre Tesisleri İşletme Değerleri	65
7.6. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri İşletme Değerleri	67
7.7. Klasik Aktif Çamur Tesisleri İşletme Değerleri	69
7.8. Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Tesisleri İşletme Değerleri	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAÇB	Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi
AÇ	Aktif Çamur
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
ÇO	Çözünmüş Oksijen
F / M	Besin / Mikroorganizma
Өc	Çamur Yaşı
HAS	Hidrolik Alıkoyma Süresi
KAS	Katı Alıkonma Süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TSS	Toplam Katı Madde Miktarı
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UHAÇ	Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur
VSS	Volatil Askıda Katı Madde

1.GİRİŞ

Atıksu arıtma tesisleri ve buna bağılı inşa edilen diğler tesisler büyük finansman gerektiren altyapı tesisleridir. Bu tesisler için yapılması düşünölen masraflar, özellikle gelişmekte olan ölkelerde ciddi finansman problemlerine neden olabilmektedir. Atıksu arıtma tesislerinin yapılması aşamasına geçmeden önce, atıksu arıtma tesisleri, planlama aşamasında değlerlendirilmeli ve bu tesislerden; teknolojik, ekonomik ve işletme olarak en uygununun seçilmesi gerekmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri insan sağlığı açısından ortaya çıkacak problemlerin önlenmesinde önemli bir yer tutar. Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma teknikleri günümüzde hızla gelişmektedir. Bu hızlı gelişmeyle birlikte, aşırı kirlenme sorunu ve özellikle endüstriyel kaynaklı yeni kirleticiler nedeniyle oluşan yüksek maliyetler, atıksuların tasfiyesinin en uygun metotla yapılmasını ve farklı sistemlerin maliyet karşılaştırmalarının yapılarak optimum çözümlere ulaşılmasını zorunlu hale getirmektedir. Atıksu arıtma tesisleri gibi büyük altyapı projelerinin boyutlandırılmasında, yatırımın çevre ve maliyet fonksiyonu göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden ikisidir.

Uygulama aşamasına geçmeden daha planlama safhasında atıksu arıtma tesisleri arasından biri diğlerine alternatif olabilecek projelerden ekonomik alternatifin seçimi hususu çok önemlidir. Bu yüzden yapılacak yatırımın daha planlama safhasında arıtma tesislerinden istenen verimliliğin sağlanması, tesislerin işletilebilir olması, arazi durum ve şartlarına göre uygun şekilde boyutlandırılmaları, tesislerin maliyetlendirilmesi ve tüm bunların kısa sürede yapılabilmesi günümüzde bilgisayar programları ile mümkün hale gelmiştir.

Gereken arıtma tesisi seçilmesinde ve buna dayalı olarak veriminin belirlenmesinde, arıtma metodunun seçilmesinde ve mansap olanaklarının araştırılmasında atıksuyun miktarı kadar karakteristik yapısını ortaya koyabilen özelliklerinin de bilinmesi gereklidir. Atıksular oluştukları kaynaklara bağılı olarak önemli farklılıklar göstermekte olup, bu farklılıklar arıtma sistemleri arasından doğru olanının seçiminde kullanılır.

Atıksu arıtma tesisi yapımı ve işletilmesinde doğal kaynakların rasyonel olarak kullanılması kadar farklı arıtma tesisleri arasından belirlenen kriterlere uygun olanın seçilmesi sürecinin kısa sürede tamamlanması da önemlidir.

2.ATIKSULAR

2.1. Su Kirlenmesi ve Atıksu

Su kirliliği, su kaynağının fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarda kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde ve enerji atıklarının su kaynağına boşaltılmasıyla oluşur.

Atıksu ise; evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlarda yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda oluşan sular olarak tanımlanabilir.

2.2. Atıksuların Karakterizasyonu, Alıcı Ortama Etkileri ve Arıtılması

2.2.1. Atıksu Miktar ve Özellikleri

Çeşitli amaçlar için kullanılma sonucu oluşan atıksuyun miktarı ve zamana, şartlara bağlı olarak değişimi, arıtma sistemlerinin dizaynı ve işletilmesinde büyük önem taşır. Her şeyden önce atıksu miktarını belirlerken öncelikle atıksu kaynağının bilinmesi gereklidir. Bir kentin atıksuları, evsel kaynaklar, endüstriyel kaynaklar, sızma ve akış, yağmur suyu olmak üzere başlıca 4 ayrı kaynaktan oluşmaktadır.

Evsel nitelikli atıksular, yerleşim yerlerindeki mutfak, banyo, bahçe sulama, araba yıkama gibi ev yönetimindeki ve dışındaki normal insan gereksinimleri sonucu oluşmaktadır. Oteller, alışveriş merkezleri, okullar, hastaneler, çamaşırhaneler, eğlence merkezleri, lokantalar gibi hizmet sektörlerinden kaynaklanan atıksular da evsel niteliklidir. Çeşitli

amaçlar çerçevesindeki su sarfıyatı kişi başına veya kullanım birimi başına belirli değer aralıkları arasında yer alır. Bu değerler Tablo 2.1. 'de verilmiştir.

Endüstriyel atıksular ise endüstriyel amaçlı su kullanımı sonucu oluşmaktadır. Endüstrilerin üretim teknolojisi, çalışma şekli, proses suyunun çeşidi gibi faktörler endüstriyel atıksuların özelliklerini geniş ölçüde etkilemektedir. Bu bakımdan endüstri kuruluşunun çeşidine göre atıksular tamamıyla farklı özellikler gösterebilmektedir.

Tablo 2.1. Evsel atıksu birim değerleri (Tünay, O. ve Meriç, S. 2000).

Kullanım	Birim	Değişim Aralığı
Evsel	L/N-gün	150-500
Otel	L/misafir-gün	150-225
Büro	L/çalışan-gün	30-75
Lokanta	L/müşteri-gün	30-40
Hastane	L/yatak-gün	50-1000
Okul	L/öğrenci-gün	60-120

Atıksuların karakterizasyonunda, atıksu miktarının bilinmesinin yanında asıl özellikler fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler ile tanımlanır. Atıksuların özellikleri, atıksu karakterine göre Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Evsel atıksuların özellikleri (Arceivala, S.J., 2002)

Madde	Atıklarda Bulunma Değeri (g/kişi-gün)
BOI, 5 günlük, 20 °C	45-54
KOI	1,6-1,9 x BOI ₅
Toplam organik karbon	0,6-1,0 x BOI ₅
Toplam katı maddeler	170-220
Askıda katı maddeler	70-145
Grit (inorganik, 0,2 mm ve yukarısı)	5-15
Makine yağı	10-30
Alkalinite (kalsiyum karbonat olarak, CaCO ₃)	20-30
Kloridler	4-8
Toplam azot, N	6-12
Organik azot	~ 0,4 x toplam N
Serbest azot	~ 0,6 x toplam N
Nitrit	-
Nitrat	~ 0,0-0,5 x toplam N
Toplam fosfor, P	0,6-4,5
Organik fosfor	~ 0,3 x toplam P
İnorganik (ortho- ve polifosfatlar)	~ 0,7 x toplam P
Potasyum (potasyum oksit olarak, K ₂ O)	2,0-6,0
<i>Atıksuda bulunan mikroorganizmalar (100 ml. Atıksu içinde)</i>	
Toplam bakteri	10 ⁹ -10 ¹⁰
Koliformlar	10 ⁹ -10 ¹⁰
Feacal Streptococci	10 ⁵ -10 ⁶
Salmonella typhosa	10 ¹ -10 ⁴
Protozoa kistleri	10 ³ miktarına kadar
Helminth yumurtaları	10 ³ miktarına kadar
Virüsler (plak oluşturan birimler)	10 ² -10 ⁴

2.2.2. Atıksuların Alıcı Ortama Etkileri

Organik maddeler, pestisidler, ağır metaller, radyoaktif maddeler gibi unsurlar bir taraftan akarsular, göller, denizler ve toprakta kirlilik oluştururken, bir taraftan da bu ortamlardaki canlıların bünyesine girmek suretiyle besin zincirine geçer. Atıksular, doğrudan deşarj, yağışlarla yeraltı ve yüzeysel sulara taşınarak tatlı su kaynaklarının kirlenmesine neden olurlar. Buna bağlı olarak ekosistemdeki canlı türlerinin sayısının azalmasına ve ekolojik dengenin bozulmasına sebep olur.

Atıksuların içerdikleri organik maddeler, alıcı ortamlarda mikroorganizmalar aracılığıyla ayrıştırılırlar. Bu ayrışma başlangıçta aerobik şartlarda oluşur. Sudaki çözünmüş oksijen, mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri için tüketilir. Tüketilen oksijen atmosferle su arasında gerçekleşen gaz transferi ile yeniden kazanılır. Bu, doğal bir döngü içerisinde sürekli olarak cereyan eden doğal arıtma sürecidir. Doğal arıtmayı gerçekleştiren canlı türleri, bunlar arasındaki etkileşimler ve organik maddenin parçalanması sırasında oluşan biyokimyasal reaksiyonlar çok karmaşık yapılara sahiptir.

Organik maddeler, aerobik ayrışma normal süreçte devam ettiği müddetçe herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Ne var ki, alıcı ortama verilen organik madde yükünün hızla artması durumunda, aşırı miktarda oksijen tüketimine neden olacağından sudaki çözünmüş oksijen değeri sınır değerlerin altına düşebilir. Sulardaki oksijen tüketim hızı oksijen kazanma hızından çok daha yüksek ise, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0 mg/L'ye kadar düşebilir. Bunun sonucu olarak da anaerobik ortam oluşur. Anaerobik mikroorganizmalar da sulardaki organik maddeyi tüketir. Biyokimyasal reaksiyon sonucu açığa çıkan hidrojen sülfür, çürük yumurta kokusunu andırmasıyla anaerobik ortamın en belirgin işaretçisidir.

Atıksuların alıcı ortamlarda ortaya çıkardığı en önemli çevre sorunlarından bir tanesi de ötrofikasyondur. Fosfor ve azotça zengin olan evsel atıksuları, tarımsal drenaj suları ve bazı endüstriyel atıklar alıcı ortamda beslenmeyi arttırarak fotosentezle aşırı alg üremesine ve organik madde miktarının artmasına ve sonuçta birtakım kimyasal değişikliklerin meydana

gelmesine neden olur. Su ortamında besin zenginleşmesi ve aşırı organik madde üretiminin şekillendiği bu kirlenmeye ötrofikasyon adı verilir (Uslu, O. ve Türkman, A. 1987).

Yağ ve benzeri maddeler su yüzeyini kaplayarak estetik açıdan olumsuz bir görüntü oluştururlar. Yüzeyde oluşan bu yağ tabakası atmosferden oksijen transferini büyük ölçüde engeller ve atıksuların neden olduğu kritik oksijen değerlerini negatif yönde etkiler. Sulardaki ayrışabilirlikleri açısından yağların kökenleri de önem taşır. Bitkisel ve hayvansal kökenli yağların su ortamında parçalanmaları, mineral kökenli yağlara nazaran daha hızlıdır.

3.ATIKSU ARITMA TESİSLERİ

3.1. Atıksu Arıtma Tesislerinin Tarihi Gelişimi

Atıksuların uzaklaştırılması problemi insanlık tarihi kadar eskidir ve her zaman için uygarlığın bir göstergesi olagelmıştır. Yunanlılar, sıcak ve soğuk su tesisatlarını geliştirmiş, Romanlılar da umumi banyo sularını umumi tuvaletlerin yıkanmasında kullanarak bir döngü sağlamışlardır. Atıksular hendekler vasıtasıyla yerleşim yerlerinin dışına taşınarak göl, akarsu gibi su kaynaklarına deşarj edilmiştir. Eski Avrupa ve Doğuda her zaman için içme suyu ile atıksuyun birbirine karışmaması gerektiği düşüncesi hakim olmasına karşılık, ilk atıksu toplama sistemleri, atıksuları yüzeysel sulara boşaltmaktan ibarettir. Lağım çukurları ve kulübe şeklindeki tuvaletler, bireysel sistemler olarak binlerce yıl kullanılmıştır. Bazı tarihçilere göre, MS 476'da Roma İmparatorluğunun çöküşünden sonra Avrupa'da kamu sağlığı teknolojisi de gelişmiştir. Lağımaları içme suyundan uzak tutma gayretleri başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Ulutaş, Ş. 1998).

Sanayi devriminden sonra kent nüfusunun hızla artması, şehir planlaması ve kamu işlerinin tekrar düzenlenmesini zorunlu kılmıştır. Dünyada modern manada ilk arıtma tesisi 1842 yılında Hamburg'da (Almanya) inşa edilmiştir. Bundan 12 yıl sonra, 1855'de Chicago'da ilk kanalizasyon yapımına başlanmıştır. Tasfiye tesislerinin inşası ise 1870 yılından sonradır. Arıtma, sadece suyun kendi kendini temizleme kapasitesinin aşılmasından ve kirlenmenin tolere edemeyeceği durumlardan sonra göz önünde bulundurulmuştur. 1800'lü yılların sonunda 1900'lü yılların başında ve 1920'ye kadar çeşitli arıtma prosesleri denenmiştir. Son 30 – 40 yıldır atıksu arıtımında büyük avantajlar yakalanmış ve orijinal prosesler geliştirilip formüle edilmiştir. Öyle ki, evsel atıksulardan içme suyu kalitesinde su elde eden ileri arıtma teknikleri dahi geliştirilmiştir. (Muslu, Y. 1994).

Ondokuzuncu yüzyılda birçok yerde ihtiyaç duyulan su doğrudan kaynak veya yüzey sularından sağlanıyordu ve hiçbir arıtmaya tabi tutulmadan kullanılıyordu. Oluşan atıksuların su kaynaklarına ulaşmasıyla kolera, tifüs gibi hastalıklar ortaya çıktı. Bundan ötürü içme suyu, uzaktaki kirlenmemiş su rezervlerinden sağlanmaya başlandı. Zamanla suya duyulan

ihtiyaç ve suyun efektif bir şekilde kullanılamaması atıksu oluşumunu arttırmıştır. 1850 – 1900 yılları arasında İngiltere’deki atıksu sorunlarını inceleyip rapor etmekle sorumlu kurullar atıksular için en uygun alıcı ortamın arazide arıtım olduğu yönünde karar vermişlerdir. 1900’lü yıllara kadar teknik yönden doğal bir arıtım şekli olan arazide arıtım, atıksuyun gübre etkisinden dolayı ön planda yer aldı. Uygun zemine ve arazi şartlarına sahip olmayan yerlerde bu teknik kullanılmadı. Bunun yerine fiziksel arıtım yöntemleri olan ızgaralar, elekler çökeltme ve filtre yapıları devreye girdi. İngiltere ve Amerika’da atıksu çürütme tanklarının hakim olduğu dönemlerde, Almanya’da 1907 yılında Imhoff tarafından geliştirilen 2 kademeli çökeltme ve çürütme tankları kullanıldı (Laak, R. 1986).

3.2.Proje Süresi ve Kademelerinin Belirlenmesi

Atıksu arıtma tesislerinin imalatı inşaat ve elektrik-mekanik olarak iki bölüme ayrıldığında inşaat genelde 30-40 yıl, elektrik-mekanik kısım 10-15 yıl süreyle hizmet vermektedir. Projenin kademelendirilmesi nüfusun artış hızına bağlı olarak değerlendirilmelidir. Tesisin toplam faydalı ömrü ve toplam kapasitesi üzerinden kademelendirme yapılarak zamana bağlı inşaat ve elektromekanik yatırım ihtiyaçları planlanmalıdır. Atıksu arıtma tesisinin elektromekanik ekipmanları her 10-15 yılda bir yenilenmelidir. Atıksu arıtma tesisleri genelde 15’er yıllık 2 veya 10’ar yıllık 3 kademe halinde planlanmaktadır (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).

3.3.Nüfus Tahminleri

Atıksu arıtma tesislerinin boyutlandırılmasında gelecekteki nüfus sayısının uygun bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Türkiye için çeşitli kurumlar tarafından geleceğe yönelik olarak yapılmış nüfus artış hesaplamaları ve artış yüzdeleri vardır. Nüfus artış yüzdesi olarak kullanılabilecek kaynaklar arasında, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Birleşmiş Milletler (UNDP) ve İller Bankası’nın hazırlamış olduğu nüfus hesaplama metotları kullanılabilir. Nüfus artış metoduna göre gelecekteki nüfusların hesabında;

$$N_t = N_0 (1+(p/100))^t \text{ (İller Bankası Metodu)}$$

ifadesi kullanılmaktadır. Burada,

N_0 : Son nüfus sayımı değerini (TÜİK tarafından verilen 2007 veya daha sonraki nüfus değerleri)

N_t : Son sayımdan t yıl sonraki nüfusu

p : Nüfus artış/azalma hızını (%)

t : Son nüfus sayımından itibaren geçen süreyi (yıl) göstermektedir.

3.4. Atıksu Miktar ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Nüfusu 100.000'nin üstünde olan atıksu toplama altyapısının mevcut olduğu yerleşimlerde, kişi başına atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinden hesaplanan atıksu miktarı ve karakterinin kontrol edilebilmesi için, yaz ve kış ayları ile kurak hava şartlarını temsil edecek debi ölçümü ve 24 saatlik karakterizasyonunun yapılması gerekir. Bu karakterizasyonda KOİ, BOİ₅, AKM, TKN, TP, PO₄-P, NH₄-N parametrelerinin izlenmesi gerekmektedir. Özellikle endüstriyel deşarjın yüksek olduğu bölgelerde bu parametrelere ait konsantrasyonlar literatürde önemli farklılıklar gösterebilmektedir.

Türkiye'de nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yükleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Nüfusu 100.000'e kadar olan yerleşim birimlerinin atıksularının arıtma tesisleri tasarımında Tablo 3.1'deki debi ve kirlilik yükleri esas alınmaktadır (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).

Tablo 3.1 Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi

Nüfus aralığı	Atıksu Debisi L/kişi.gün	KOİ g/kişi/gün	BOİ g/kişi/gün	AKM g/kişi/gün	TN g/kişi/gün	TP g/kişi/gün
2.000- 10.000	80	55	40	35	5	0.9
10.000-50.000	90	75	45	45	6	1.0
50.000-100.000	100	90	50	50	7	1.1

Tablo 3.1’de verilen debilerde kirlilik yüklerinin konsantrasyon olarak ifadesinde infiltrasyon debisi de dikkate alınır. Atıksu arıtma tesisine ulaşan atıksu karakterinin belirlenebilmesi için evsel atıksu debisinin yanında, sızma ve endüstriyel atıksu debileri ile bunlara ait kirlетici yüklerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Atıksu toplama sistemine yeraltı suyundan gelen sızma debisi miktarı, yeraltı suyu seviyesi ile kanal sisteminin durumuna bağılı olarak değişmektedir. Birim sızma debisi yerleşim yerinin yeraltı su seviyesinin yüksekliğine, sahilde bulunup bulunmamasına, zemin yapısına, içme suyu şebekelerinin kaçak oranına ve kanalizasyon şebekesinin yaşına v.b. hususlara bağılı olarak değişmekle birlikte 0.1-0.2 l/sn.ha aralığında kabul edilebilir.

3.5.Deşarj Kriterleri ve Sistem Seçimi

Arıtılmış suyun deşarj edileceğı ortamın “Hassas Bölge”, “Normal Bölge” veya “Az Hassas Bölge” sınıfında değerlendirilmesine göre arıtma tesisinin tipi seçilir. Hassas ve Az Hassas bölgelerdeki arıtılmış su deşarj limitleri için “Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliğı” uygulanmalıdır.

Az hassas su alanı; morfoloji, hidroloji ya da özel hidrolik şartlara göre atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediğı deniz, haliç ve lagün gibi kıyı su ortamları ile hassas su alanları haricindeki kıyı suları olarak, hassas su alanı; ötrofik olduğı belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gölleri, diğеr tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları, önlem alınmaması halinde yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel tatlı sular ve diğеr sebeplerle daha ileri arıtma gerektiren alanlar ve normal su alanı ise; hassas su alanları dışında kalan kıta içi su ortamları olarak ifade edilmektedir (27271 Sayılı Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliğı, 2009, Çevre ve Orman Bakanlığı).

Hassas su alanlarının ve az hassas su alanları, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinin EK I’inde yer alan kriterlere göre belirlenir. Bu kriterler Tablo 3.2. EK1 ve EK2 de gösterilmektedir.

HASSAS ALANLAR

Ek:1A Hassas Havzalar

1. Konya Kapalı Havzası
2. Burdur Kapalı Havzası
3. Van Gölü Kapalı Havzası
4. Akarçay Kapalı Havzası
5. İhsu Baraj Havzası

Ek:1B İçme ve kullanma suyu temin edilen ya da temini amacıyla Yatırım Programına alınmış olan yüzeysel su kaynaklarının havzaları, (havza sınırı memba tarafındaki bir önceki rezervuarların sınırına kadardır)

Ek:1C Hassas Koy, Körfez ve Kıyılar

	X1	Y1	X2	Y2	Durumu
İskenderun - Mersin Mezitli	36d06'07.31"E	36d33'46.18"N	34d32'34.57"E	36d44'33.73"N	Hassas
Mersin Kızkalesi-Taşucu Burnu	34d10'19.37"E	36d28'38.26"N	33d52'55.62"E	36d18'54.63"N	Hassas
Fethiye Koyu	29d05'42.86"E	36d38'19.6"N	29d06'39.17"E	36d39'13.74"N	Hassas
Marmaris Koyu	28d18'42.36"E	36d49'04.71"N	28d15'19.84"E	36d47'25.75"N	Hassas
Güvercinlik – Didim	27d32'26.21"E	37d07'37.72"N	27d14'31.44"E	37d20'13.12"N	Hassas
Karaburun-İzmir Körfezi (Foça)	26d37'13.36"E	38d31'46.52"N	26d46'32.48"E	38d36'57.15"N	Hassas
Aliğa Koyu	26d57'54.32"E	38d50'07.76"N	26d36'34.33"E	39d16'23.27"N	Hassas
Ayvalık - Altınoluk	26d36'34.33"E	39d16'23.27"N	26d44'18.6"E	39d34'02.07"N	Hassas
Bandırma Körfezi	27d57'02.99"E	40d25'13.6"N	28d00'01.51"E	40d21'59.91"N	Hassas
Gemlik Körfezi - İstanbul Boğazı Doğu girişi	28d49'47.18"E	40d22'56.64"N	29d01'22.3"E	40d59'28.32"N	Hassas
İstanbul Boğazı Batı girişi – Büyükçekmece	28d56'09.68"E	40d59'59.86"N	28d32'09.33"E	40d59'13.97"N	Hassas
Ünye-Samsun-Bafra arası	37d26'42.85"E	41d04'29.85"N	35d43'18.57"E	41d39'33.18"N	Hassas
Haliç Körfezi	-	-	-	-	Hassas

AZ HASSAS ALANLAR

Az Hassas Koy, Körfez ve Kıyılar

	X1	Y1	X2	Y2	Durumu
Yayladağ – İskenderun: İskenderun Körfezi Doğusu ve Dış Körfez	35d54'56.4"E	35d55'46.98"N	36d06'07.31"E	36d33'46.18"N	Az hassas
Mersin Mezitli-Kızılkalesi	34d32'34.57"E	36d44'33.73"N	34d10'19.37"E	36d28'38.26"N	Az hassas
Taşucu Burnu-Manavgat	33d52'55.62"E	36d18'54.63"N	31d25'31.23"E	36d45'18.17"N	Az hassas
Serik (Antalya) – Fethiye	30d53'09.84"E	36d51'05.94"N	29d05'42.86"E	36d38'19.6"N	Az hassas
Fethiye koyu-Marmaris koyu	29d 06' 39.17"E	36d 39' 13.74"N	28d 18' 42.36"E	36d 49' 04.71"N	Az hassas
Torunç (Marmaris) – Bodrum Yarımadası	28d15'19.84"E	36d47'25.75"N	27d26'55.64"E	37d00'56.18"N	Az hassas
Kuşadası Körfezi Kuzey Ucu - Alaçatı (İzmir)	26d25'15.1"E	38d19'51.67"N	26d52'30.98"E	38d02'06.52"N	Az hassas
Çeşme İlçe Sınırı - Karaburun	26d23'30.41"E	38d13'16.74"N	26d37'13.36"E	38d31'46.52"N	Az hassas
İzmir Körfezi (Foça) – Nemrut Koyu Arası	26d46'32.48"E	38d36'57.15"N	26d56'20.86"E	38d50'04.74"N	Az hassas
Altınoluk – Çanakkale Boğazı Güney Girişi	26d44'18.6"E	39d34'02.07"N	26d11'37.28"E	40d00'15.18"N	Az hassas
Tekirdağ – Gelibolu Yarımadası Güneyi	27d 31' 0.37"E	40d 58' 24.79"N	26d10'58.04"E	40d02'33.44"N	Az Hassas
Çanakkale Boğazı	26d10'58.04"E	40d02'33.44"N	26d11'17.43"E	40d35'39.42"N	Az hassas

Ayrıca, atıksu deşarj standartlarına ek olarak arıtma tesisinden çıkan çamurun stabilizasyonunun da gerekli olması durumunda, atıksu arıtma sistemlerinin çamur arıtma teknolojileri ile birlikte ele alınması gerekmektedir. Sistem seçimi için bazı arıtma sistemlerinin sağladığı çıkış suyu kalite parametreleri Tablo 3.3’de verilmiştir (27271 Sayılı Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği, 2009, Çevre ve Orman Bakanlığı).

Tablo 3.2. Değişik arıtma sistemleri için çıkış suyu kaliteleri

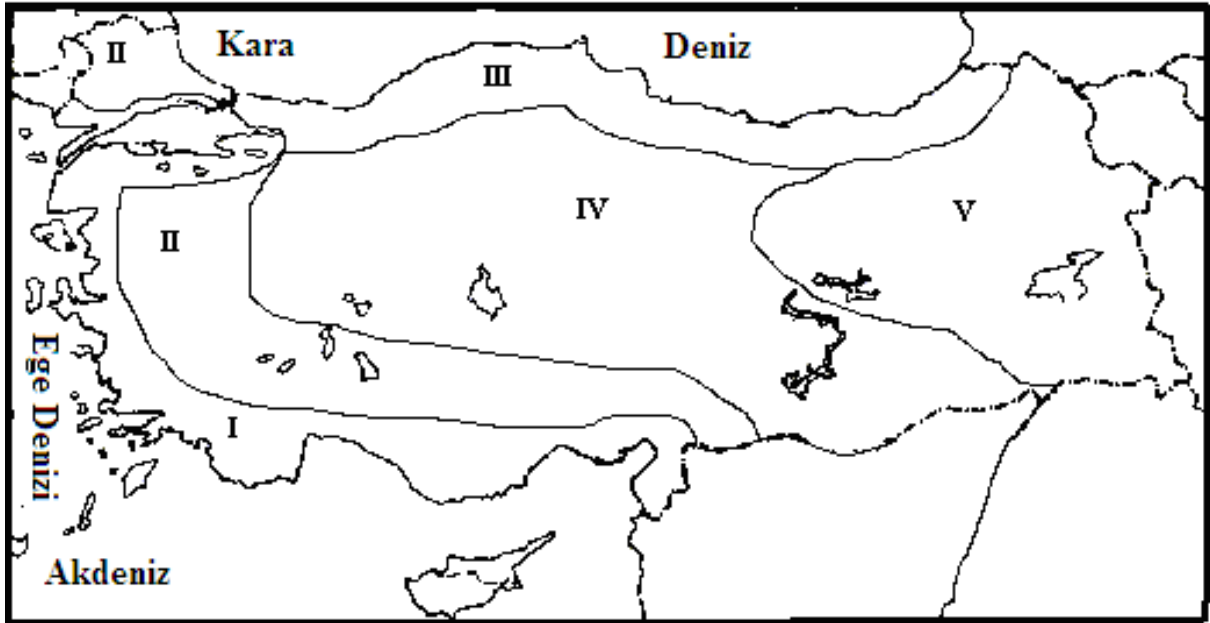
Parametre	Birim	Arıtma sistemleri						
		Ham atıksu	Kon. Aktif çamur	Kon. Aktif çamur + filtrasyon	BNR*	BNR+ Filtrasyon	Membran biyo-reaktör (MBR)	Kon. Aktif çamur + mikro-filtrasyon + ters osmoz
AKM	mg/L	120-400	5-25	2-8	5-20	1-4	<2	<1
BOİ	mg/L	110-350	5-25	5-20	5-15	1-5	<1-5	<1
KOİ	mg/L	250-800	40-80	30-70	20-40	20-30	<10-30	<2-10
Amonyum iyonu	mg N/L	12-45	1-10	1-6	1-3	1-2	<1-5	<0.1
Toplam azot	mg N/L	20-70	15-35	15-35	3-8	2-5	<10	<1
Toplam fosfor	mg P/L	4-12	4-10	4-8	1-2	<2	<0.3-5	<0.5
TDS	mg/L	270-860	500-700	500-700	500-700	500-700	500-700	<5-40

*Biyolojik besi maddesi (N, P) giderimli arıtma tesisi

4.ATIKSU YÖNETİM BÖLGELERİ

4.1.Genel

Türkiye atıksu yönetimi açısından beş değişik bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge Akdeniz ve Ege kıyıları, ikinci bölge Akdeniz ve Ege Bölgelerinin iç kesimleri ile Marmara Bölgesinin Trakya kısmı, üçüncü bölge Karadeniz kıyıları, dördüncü bölge İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri ve beşinci bölge Doğu Anadolu Bölgesidir (Şekil 4.1). (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).



Şekil 4.1 Türkiye'nin atıksu yönetimi açısından bölgeleri

Akdeniz ve Ege kıyıları turistik açıdan en gelişmiş bölgelerdir ve hassas bölge sınıfındadır. Bu bölgelerde, birincil arıtmayı takiben karbon, azot ve fosfor gideriminin de olduğu biyolojik arıtma sistemleri uygulanmalıdır. Arıtılmış su, gerektiğinde kurak mevsimlerde sulamada kullanılabilir, yağışlı mevsimlerde ise denize deşarj edilebilir.

Karadeniz Bölgesinin iklimi Akdeniz ve Ege kıyılarından farklıdır. Havalandırılmalı lagünler, stabilizasyon havuzları, aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve döner

biyolojik diskler tercih edilebilir. Stabilizasyon havuzları, kış mevsiminde havalandırmalı lagün şeklinde çalıştırılabilir (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).

Karadeniz kıyıları için değişik nüfus aralıklarına göre tavsiye edilen arıtma stratejileri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Nüfus aralıklarına göre arıtma teknolojileri

Nüfus	Arıtma Teknolojileri	
Tarih	-2015	2015-2030
>300,000	III + DDD	III + DDD
50,000-300,000	II (veya III) + DDD	III + DDD
10,000-50,000	I + DDD	II (veya III) + DDD
<10,000	I + DDD	II + DDD

I- Mekanik arıtma (ızgara-döner elek + havalandırmalı kum tutucu)

II- I + kimyasal ilaveli ön çökeltme + kireç ile çamur stabilizasyonu

III- I + biyolojik arıtma (Ardışık kesikli reaktör)+ havasız çamur çürütme

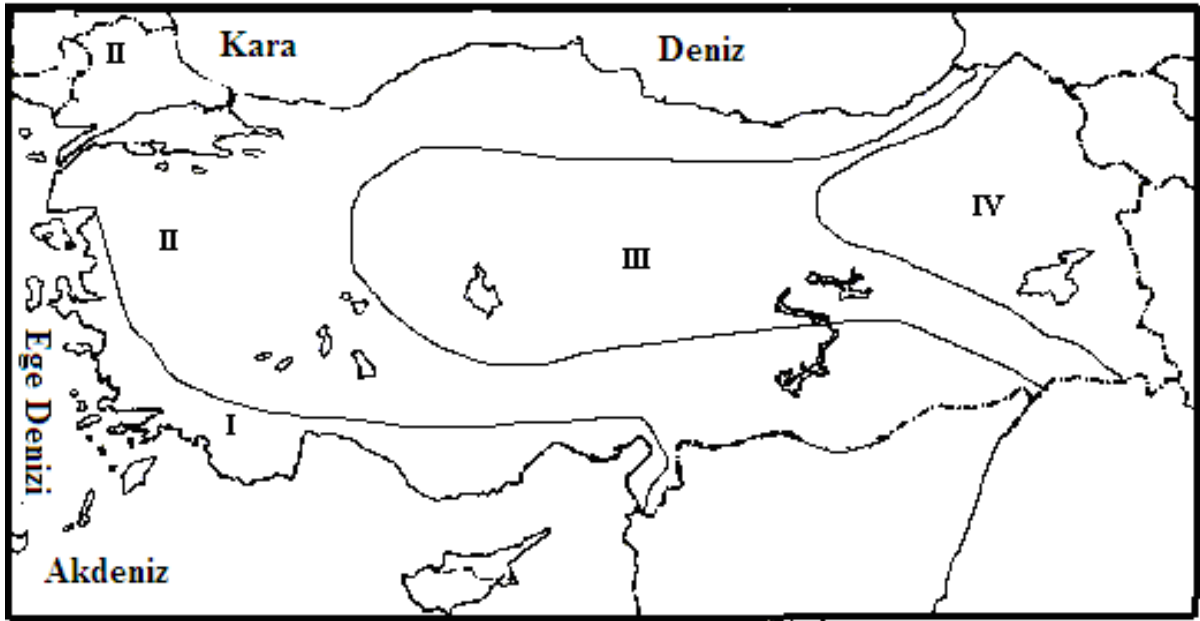
DDD- Derin deniz deşarjı (Minimum derinlik =35 m, Minimum deşarj uzunluğu =1300 m)

İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinde, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünler ve yapay sulak alanların uygulanma potansiyeli yüksektir. Ön arıtma olarak yüksek hızlı havasız arıtma kurulabilir.

Doğu Anadolu Bölgesinin çok soğuk bir iklimi vardır. Nüfusun 500’ün altında olduğu yerlerde septik tanklar kurulabilir. Nüfusun 500’ün üstüne çıktığı yerlerde ise havalandırmalı lagünler, oksidasyon hendeği veya uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri kurulabilir. Havalandırmalı lagünler, yazın stabilizasyon havuzu gibi çalıştırılabilir.

4.2.Stabilizasyon Havuzları ve Havalandırmalı Lagünlerin Proje Kriterleri

Türkiye, stabilizasyon havuzları ve havalandırmalı lagünlerin projelendirilmesi için dört değişik iklim bölgesine ayrılmıştır (Şekil 4.2). Her bir bölgede, projelendirmedeki projelendirme kriterleri Tablo 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Stabilizasyon havuzları ve havalandırmalı lagünlerin uygulama bölgeleri.

Tablo 4.2.Stabilizasyon havuzları ve havalandırmalı lagünlerin uygulama bölgeleri ve proje kriterleri (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).

Bölgeler	Havuz suyu sıcaklığı, °C	Kritik güneş radyasyonu, kal/cm ² /gün	Yük/alan/gün, kg BOİ ₅ /ha/gün
I	15	106	150
II	10	61	100
III	5	87	80
IV	Buzla kaplı	-	50

5. ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ

Atıksu arıtma yöntemleri temel olarak 3'e ayrılır. Bunlar;

- Mekanik arıtma yöntemleri
 - Biyolojik arıtma yöntemleri
 - İleri arıtma yöntemleri
- olarak adlandırılırlar.

5.1. Mekanik Arıtma Yöntemleri

Kirlilik unsurunun fiziksel özelliklerine (maddenin boyutları, viskozitesi ve özgül ağırlığı) bağlı olarak uygulanan arıtma yöntemleridir. Mekanik arıtma yöntemleri;

- Izgaralar
- Kum tutucular
- Çökeltme tankları
- Filtrasyon havuzları

olarak adlandırılırlar.

5.2. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyokimyasal reaksiyonlar neticesinde atıksudaki çözünmüş organik kirleticilerin uzaklaştırıldığı yöntemlerdir. Bunlar;

- Biyolojik filtreler
- Aktif çamur ve modifikasyonları
- Stabilizasyon havuzları ve modifikasyonları
- Anaerobik sistemlerdir.

5.3. İleri Arıtma Yöntemleri

Yüzeysel suların kalitesinin korunmasında konvansiyonel arıtma metotlarının yetersiz kaldığı yerlerde yeni teknolojilerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte ileri arıtma yöntemleri önem kazanmıştır. Atıksu arıtımında ileri arıtmanın temel amacı, ötrofikasyon etkisinde olan yüzeysel sulardan kimyasal çöktürme ile fosfat giderilmesi yanında azotun indirgenmesidir.

5.3.1. Azot ve Fosfor Giderimi

Çözünmüş organik karbonlu maddelerin alıcı ortamlarda çözünmüş oksijen azalmasına neden oldukları gibi azotlu bileşikler de parçalanmaları sırasında çözünmüş oksijen tüketimine neden olmaktadır. Özellikle NH_3 'ün $\text{NO}_3\text{-N}$ 'una oksitlenmesi sırasında sucul ortamlarda çözünmüş oksijen azalması meydana gelmektedir. 1 g $\text{NH}_3\text{-N}$ 'un oksitlenmesi sırasında 4,57 g oksijen tüketilmektedir. Ayrıca NH_3 'ün balıklar üzerinde toksik bir etkisi bulunmaktadır.

Azotun yanında fosfor da aşırı alg üremesine neden olarak ötrofikasyona neden olmakta, aşırı organik madde birikimi ve oksijenin ortamda parçalanması ortamın anaerobikleşmesine neden olmaktadır. Azot ve fosfor, evsel ve endüstriyel kaynaklı olabilmektedir. Evsel kaynaklı üre, protein ve $\text{NH}_3\text{-N}$ 'u yanında, endüstriyel kaynaklı gübre, et, süt ve azotlu madde üreten endüstrilerden gelen organik ve inorganik azotlu ve fosforlu maddeler, alıcı ortamlarda aşırı azot ve fosfor kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle azot ve

fosforun, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi gibi ileri arıtma yöntemleri ile arıtılarak alıcı ortama verilmesi gerekmektedir.

5.3.1.1. Nitrifikasyon

Atıksuyun oksijen ihtiyacının bir bölümü amonyağın nitrata oksitlenmesi sürecine aittir. Bu iki kademeli dönüşümü ototrofik bakteriler olan “nitrosomonas” ve “nitrobacter” gerçekleştirir. Bu organizmalar ototrofik olduklarından, hücre büyümesi için sudaki CO₂ ve bununla ilgili iyonik türler (HCO₃⁻ ve CO₃⁼) gibi oksitlenmiş karbon bileşiklerini indirgemeleri gerekir. Sonuç olarak, bu özellik nitrifikasyon organizmalarının karışık bir kültürle rekabet edebilme özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Amonyağı oksitleyen “nitrosomonas” türleri gerek duydukları enerjiyi, amonyak azotunun nitrit azotuna yükseltgenmesi ile, nitrit oksitleyen “nitrobacter” türleri ise, nitrit azotunun nitrat azotuna oksidasyonu ile elde ederler.

Birçok evsel nitelikli atıksu için, nitrifikasyon, gerekli olan oksijen ve güç ihtiyacını % 30 ila 40 oranında arttırır. Çünkü tam nitrifikasyon için gerekli olan oksijen miktarı 4,3 ila 4,6 mg O₂/mg NH₃-N arasındadır. Atıksuyun 10 ila 30 mg/l arasında değişen NH₃-N sahip olduğu dikkate alınacak olursa oksijen ihtiyacının artacağı kesindir. Nitrifikasyon sistemleri % 90’dan daha yüksek bir verim eldesine yönelik şekilde işletilirler. Nitrifikasyon bakterileri aerobik bakterilerdir ve bu nedenle sisteme yeterli çözünmüş oksijen (Ç.O.) sağlanmalıdır. Minimum kabul edilebilir Ç.O. konsantrasyonu 2 ila 3 mg/l’dir. Bu değer 1 mg/l’nin altına indiğinde nitrifikasyon inhibe edilir. Nitrifikasyon bakterilerinin büyümesi için optimum pH değeri 8-9’dur. pH’ın 7’nin altına düşmesi durumunda nitrifikasyon aktivitesinde azalma görülür.

5.3.1.2. Denitrifikasyon

Çözünmüş oksijenin “sıfır” olduğu ortamlarda; nitrat, fosfat ve sülfat gibi inorganik anyonlar elektron alıcısı olarak iş görmektedirler. Elektron verici olarak organik maddelerin, elektron alıcı olarak da NO₃ PO₄ gibi maddelerin olduğu bir ortamda mikroorganizmalar

enerjilerini bu tür elektron alıcılarını kullanarak kazanmaktadırlar. Özellikle atıksularda çok düşük çözülmüş oksijen konsantrasyonunun (sıfıra yakın) olduğu biyolojik denitrifikasyon olayları anoksik olarak tanımlanıp olay diğer anaerobik proseslerden ayrılmaktadır.

5.3.2. Biyolojik Fosfor Giderimi (BPG)

Fosfor, atıksularda ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}_3$) polifosfat (P_2O_7) ve organik bağlı formda bulunmaktadır. Polifosfatlar ve organik bağlı fosfatlar hidroliz reaksiyonları ile ortofosfatlara ve serbest fosfatlara parçalanarak mikroorganizmaların kullanabileceği forma dönüştürülür. Atıksuda bulunan fosfora ilave olarak fosforu bünyelerine alan mikroorganizmaların atıksuya fosforu salmaları ve tekrar bünyelerine almaları ile mikroorganizmaların oluşturduğu çamur % 10-30 oranında fosfor içermektedir. Bu nedenle fosfor gideren bu biyolojik sistemlere biyolojik aşırı fosfor gideren sistemler (BAPGS) denir.

Mekanik arıtma üniteleri olarak gruplandırabileceğimiz; kaba ızgaralar, ince ızgaralar ve kum tutucular her atıksu arıtma tesisinde yer alan ünitelerdir. Biyolojik arıtma üniteleri olarak çok değişik sistemler kullanılabilir. Hangi biyolojik arıtma sisteminin kullanılacağına, projeci, proje alanının özelliklerini ve gerekli arıtma verimi ihtiyacını dikkate alarak karar verir. Arıtılmış atıksular eğer sulama suyu olarak kullanılacaksa dezenfeksiyon işlemi uygulanmalıdır. Eğer projelendirilecek arıtma sistemi azot ve fosfor gideriminden herhangi birini veya her ikisini de kapsıyorsa sistemimiz ileri arıtma olarak adlandırılmaktadır. Tüm biyolojik arıtma sistemlerinde yan ürün olarak çamur oluşmaktadır. Bu oluşan çamurun çevreye zarar vermeyecek şekilde bertarafı için değişik çamur çürütme (stabilizasyon) sistemleri ve susuzlaştırma ekipmanları kullanılabilir.

5.4. Mekanik Arıtma Üniteleri

5.4.1. Kaba Izgaralar

Uzaklaştırılmadıkları takdirde, arıtma tesisinin ızgaradan sonraki ünitelerinde tıkanmalara yol açabilecek büyüklükte olan kaba organik ve inorganik maddelerin atıksudan ayrılması için kullanılırlar. Kaba ızgaralarda çubuklar arası genişlik 4 cm'nin üzerindedir ve yatayla 30-60°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilirler. Kaba ızgaralar genellikle el ile temizlenirler.

5.4.2. İnce Çubuk Izgaralar

İnce ızgaralarda çubuklar arası genişlik 1,5-3,0 cm arasında değişmektedir ve yatayla 30-60°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilirler. İnce ızgaralar elle veya mekanik olarak temizlenebilir. Çubuk ızgara tipinden başka, yay tipi, döner elek tipi, döner tambur tipi ince ızgara tipleri mevcuttur.

5.4.3. Kum Tutucular

Arıtma tesisine gelen pissuda bulunan kum, çakıl v.b gibi kolayca çökebilen maddeler, pompaların aşınmasına, kanallar, borular, çökeltme havuzları ve çamur çürütme tanklarında tıkanmalara sebebiyet vereceğinden kum tutucular vasıtasıyla pissudan uzaklaştırılırlar. Kum tutucular dairesel veya dikdörtgen kesitli, havalandırmalı veya havalandırmasız tipte olabilirler. Temel amaç 0,2 mm'den büyük kum tanelerinin tutulmasıdır. Kum tutucuda yatay hızın 0,3-0,4 m/sn olması temin edilmeli, organik menşeli katıların çökmesine izin verilmemelidir.

5.4.4. Dengeleme Havuzu

Arıtma tesislerinde dengelemenin amacı, atıksu debilerindeki değişiklikleri minimize ederek, arıtma kademelerinde optimum şartları sağlamaktır. Dengeleme ünitesinin boyutu ve

tipi, atıksuyun miktarı ve değişimi ile ilgilidir. Dengeleme tankı, atıksu debisindeki farklılıkları ve üretimden dolayı zaman zaman verilen veya istemeyerek dökülen bazı konsantre atıksu akımlarını biriktirebilecek boyutta tasarlanmalıdır.

5.4.5. Atıksu Terfi Üniteleri

Atıksu terfi üniteleri arıtma üniteleri olmayıp, atıksu arıtma tesisinde proses üniteleri arasında atıksuyun enerji kaybetmesi neticesinde oluşacak yük kaybını telafi etmek ve tesise gelen atıksuyu belirli bir kottan sisteme alabilmek için yapılan ünitelerdir. Pompalar burgulu (Arşimet) tipte veya santrifüj tipte seçilebilir. Eğer santrifüj tipte pompa seçilecekse, atıksuyun ince ızgara ve kum tutucudan geçirildikten sonra terfi edilmesi gereklidir. Aksi takdirde atıksu içindeki inorganik malzeme pompanın arızalanmasına sebep olacaktır. Eğer terfi pompası olarak burgulu tip kullanılacaksa, atıksuyun sadece kaba ızgaradan geçirildikten sonra terfi edilmesi mümkün olabilecektir.

5.4.6. İlk Çökeltme Havuzları

Kaba çökebilen maddelerden çoğu ızgara ve kum tutucularda alıkonulduktan sonra, organik esaslı ve büyük ölçüde kirletici karakterde olan geriye kalmış askıdaki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılması gerekmektedir. İlk çökeltme havuzunun başlıca amacı atıksuyu iki temel bileşene; çamur ve atıksuya ayırmaktır. Böylece bu iki bileşen ayrı ayrı arıtılabilir. İlk çökeltme havuzlarında askıdaki katı maddelerin %50-70'i ve BOİ'nin % 25-40'ı uzaklaştırılabilir. Çökeltme havuzları dikdörtgen ve dairesel kesitli olabilirler. Çökelen çamurun biriktirilmesi için çamur konisi ve bu koniye çamuru sıyırarak sıyırma ekipmanları gerekmektedir. İlk çökeltme havuzlarında atıksuyun bekletilme süresi 1,5-2,5 saat arasında değişebilmektedir.

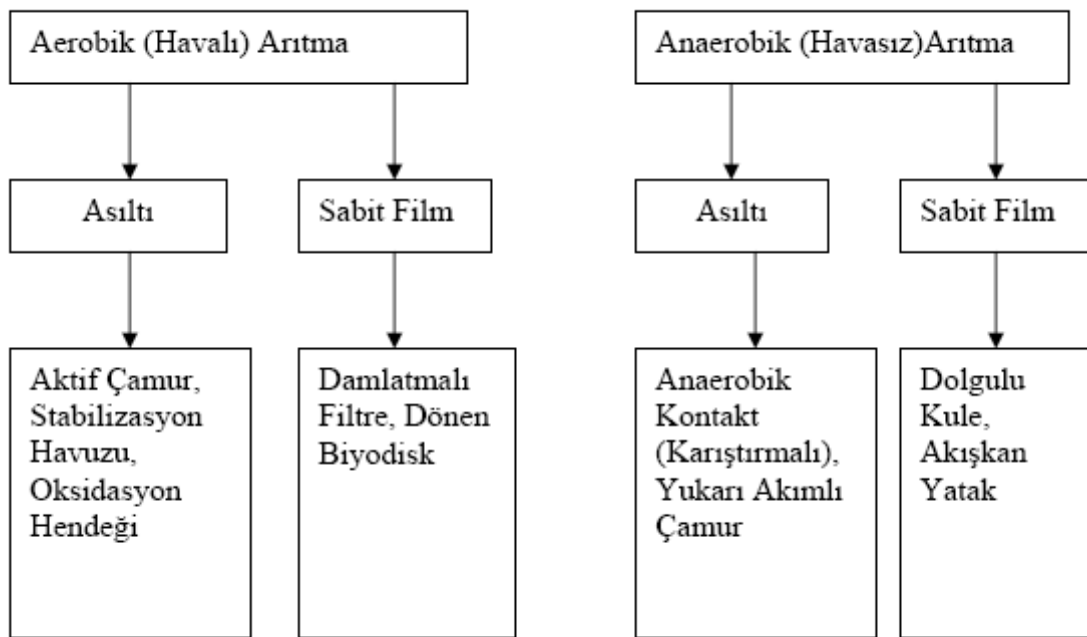
5.5. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Mekanik arıtma metotları ile uzaklaştırılamayan çözünmüş ve kolloidal organik maddelerin uzaklaştırıldığı arıtma basamağıdır. Biyolojik arıtmanın amacı, atıksudaki

çökelmeyen kolloidal katıları pıhtılaştırarak gidermek ve organik maddeleri kararlı hale getirmektir. Çözünmüş ve kolloid organik maddeler basit çökeltme metotları ile arıtilamayacağı için, bu maddelerin çökelebilen katılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Söz konusu dönüşüm bu maddeler ile mikroorganizmaları (bakteriyi) bir araya getirmekle gerçekleşir. Mikroorganizmalar çözünmüş ve kolloid maddeler üzerinde beslenirken büyürler ve çoğalırlar bu arada da çözünmüş ve kolloid maddeleri de çökelebilen katılar haline dönüştürürler. İşte biyolojik arıtma yöntemleri bu işlemleri gerçekleştiren biyolojik prosesler ve gerekmesi durumunda kullanılan son çökeltme tanklarını içerirler.

Mekanik arıtmada genelde ham atıksu bulunan BOİ'nin %30-40'ı, AKM'nin %60'ı uzaklaştırılmaktadır. Daha fazla BOİ giderimi için biyolojik arıtma uygulanması gerekmektedir. Çökelemeyen veya çözünmüş organik maddeler biyolojik arıtma ünitelerinde kısmen okside olurken kısmen de yeni bakteri kütlesi haline dönüştürülürler.

Biyolojik arıtma sistemleri serbest ortamdaki oksijen varlığına göre aerobik ve anaerobik olarak sınıflandırılabilir. Aerobik arıtmada organik maddeler sentez ve oksidasyon yolu ile giderilir. Şekil 5.1. de biyolojik arıtma teknolojileri gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Biyolojik Arıtma Teknolojileri

Aerobik arıtma sistemlerin organizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film prosesleri olarak sınıflandırılır. Askıda prosesler, havalandırmalı havuzlar ve bunun değişik uygulamalarıdır. Sabit film prosesleri ise damlatmalı filtreler, biyodiskler ve akışkan yataklı sistemlerdir.

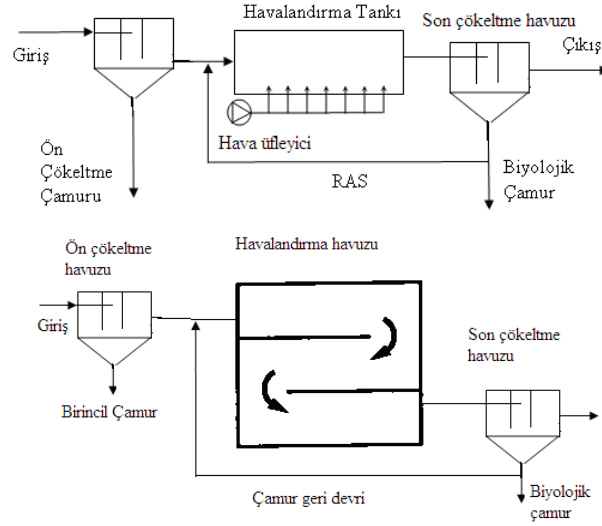
5.5.1. Havalandırmalı Sistemler

Aerobik atıksu tasfiye sistemleri ile atıksularda bulunan organiklerin büyük bir kısmını daha az zararlı inorganik maddelere, kontrollü bir şekilde dönüştürmek mümkündür. Havalandırmalı sistem, çözünmüş ve kolloidal yapıdaki maddeleri biyolojik yumaklar haline dönüştürmek için kullanılan bir sistemdir.

Havalandırmalı sistem süreci, atıksuyun bünyesindeki çözünmüş, partiküler ve kolloidal yapıdaki organik maddelerin arıtılmasında en yaygın kullanılan yöntem olma özelliğine sahiptir. Sürecin temel tasarım parametreleri oldukça iyi bilinmektedir, fakat uygun olmayan işletme koşulları süreç verimini etkilemektedir. Havalandırma süreci, arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmaların askıda büyüme özelliklerine sahip olduğu bir aerobik biyolojik arıtma yöntemidir. Arıtım olgusu, oksijen ihtiyacına sahip olan maddelerin mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ile son ürünlere dönüştürülmesi ve yüksek kalitede çıkış suyunun eldesine yöneliktir.

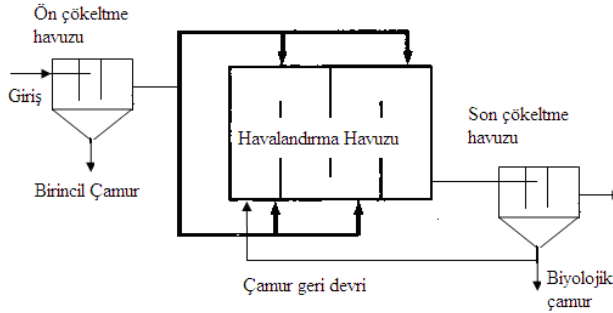
Biyolojik arıtma amacı ile kullanılan bu arıtma yöntemi, aynı zamanda bir ileri (üçüncül) arıtım süreci olma özelliklerini de taşıyabilir. Havalandırma sistemleri genellikle kendisinden önce yer alan bir ilk çökeltme havuzuna sahiptir; fakat atıksuyun özelliklerine ve süreç tasarımına bağlı olarak, ilk çökeltme havuzu kullanılmayabilir (Metcalf and Eddy, 1991). Havalandırma sistemlerinin bir modifikasyonu (uzun havalandırmalı), günümüzde, atıksuyun bünyesindeki amonyak konsantrasyonunun azaltılması amacı ile bir nitrifikasyon-denitrifikasyon süreci olarak da uygulanmaktadır. Amonyak, yüksek konsantrasyonlarda sucul yaşam için toksik özellikler sergileyen ve alıcı ortamda oksijen ihtiyacına neden olan bir inorganik kirleticidir.

Havalandırma sistemlerinin çeşitli konfigürasyonları Şekil 5.2’de verilmiştir. Tablo 5.1’de, karbon giderimi yapan havalandırmalı prosesler için tasarım parametreleri verilmiştir.

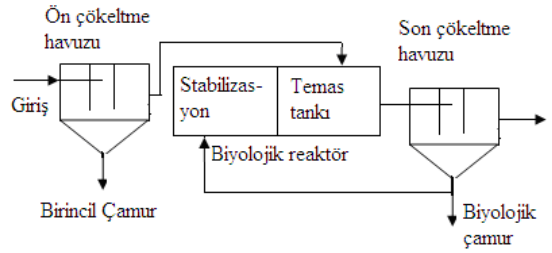


a) Klasik (konvansiyonel) havalandırmalı sistem

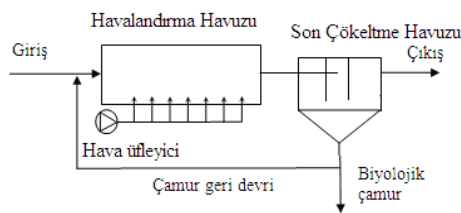
b) Piston akımlı havalandırmalı sistem



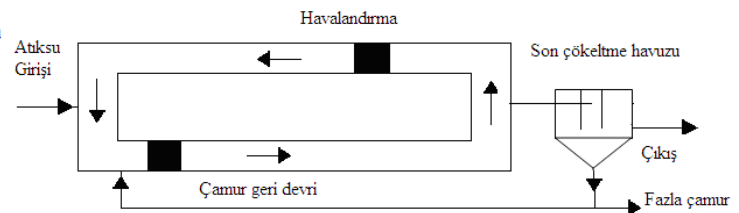
c) Kademeli beslemeli havalandırmalı sistem



d) Temas stabilizasyonlu havalandırmalı sistem



e) Uzun havalandırmalı sistem



f) Oksidasyon Hendeği

Şekil 5.2 Havalandırılmalı sistemlerin çeşitli konfigürasyonları.

Tablo 5.1 Havalandırılmalı sistem prosesleri için tasarım parametreleri

Proses çeşitleri	θ_c , gün	F/M, kg BOI/kgTAKM.g	kg BOI ₅ / m ³ .g	TAKM, mg/L	t=V/Q, saat	Q _r /Q
Konvansiyonel	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.75
Tam karışımli	5-15	0.2-0.6	0.8-1.92	2500-4000	3-5	0.25-1
Kademeli besleme	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Değiştirilmiş havalandırılmalı	0.2-0.5	1.5-5.0	1.2-2.4	200-1000	1.5-3	0.05-0.25
Temas stabilizasyonu	5-15	0.2-0.6	0.96-1.2	(1000- 3000) ^a (4000- 10000) ^b	(0.5-1) ^a (3-6) ^b	0.5-1.5
Uzun havalandırılmalı	20-30	0.05-0.15	0.16-0.4	3000-6000	18-36	0.5-1.5
Yüksek-hızlı havalandırma	5-10	0.4-1.5	1.6-16	4000- 10000	2-4	1-5
Kraus prosesi	5-15	0.3-0.8	0.64-1.6	2000-3000	4-8	0.5-1
Saf oksijenli	3-10	0.25-1.0	1.6-3.2	2000-5000	1-3	0.25-0.5
Oksidasyon hedeği	10-30	0.05-0.3	0.08-0.48	3000-6000	8-36	0.75-1.5
AKR	^c	0.05-0.3	0.08-0.24	(1500- 5000)	12-50	^c
Tek kademeli nitrifikasyon	8-20	0.1-0.25	0.08-0.32	2000-3500	6-15	0.5-1.5
İki kademeli	15-100	0.05-0.2	0.05-	2000-3500	3-6	0.5-2.0

nitrifikasyon			0.144			
---------------	--	--	-------	--	--	--

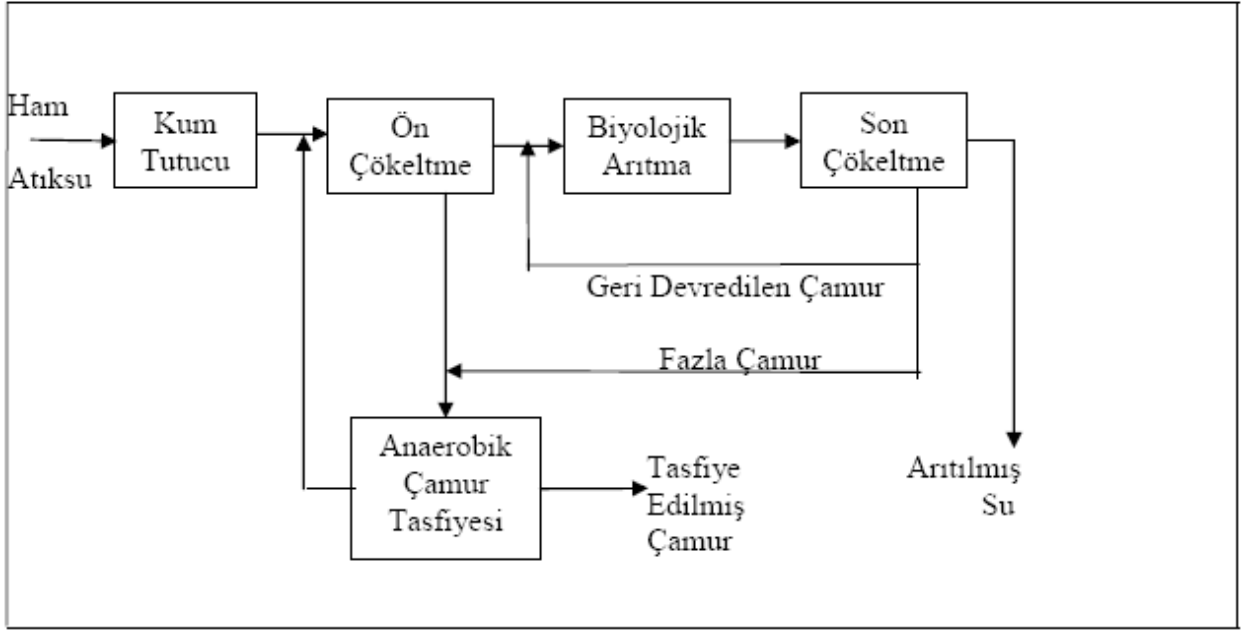
^a Temas birimde ^b Temas stabilizasyon birimi ^c Uygulanamaz

Havalandırılmalı sistemlerin çeşitli modifikasyonları bulunmaktadır. Biyolojik arıtmada kullanılan belli başlı modifikasyonlar klasik aktif çamur sistemi, kontakt stabilizasyon, uzun havalandırılmalı sistemler olarak sayılabilir.

5.5.1.1. Havalandırılmalı Sistemlerin Modifikasyonları

5.5.1.1.1. Klasik Aktif Çamur Sistemi

Aktif çamur prosesi, sürekli çalışan havalandırılmalı sığ bir tank ile bu tankın çıkışına yerleştirilen çökeltme havuzundan ibarettir. Çökeltim çamuru geri döngüyle tankın girişine verilir ve bir kısmı da sistemden uzaklaştırılır. Sistem geri döngüsüz olarak da çalıştırılabilir ancak geri döngülü sistemler daha verimli çalışır. Bu arıtım yöntemi genel olarak ikincil arıtma işlemi olarak kabul edilmekte ve ön çökeltme birimini izlemektedir. Bununla birlikte atıksuyun özelliklerine bağlı olarak ön çökeltme kaldırılabilir (Metcalf and Eddy, 1991). Bu proseste mikroorganizmaların havalandırma havuzu içindeki karışık sıvıda askıda tutulması esastır. Çökeltim özelliği arttırılan biyolojik yumaklar, biyolojik üniteyi takiben çökeltme havuzuna geçer. Arıtılan su, sistemi terk ederken çöken çamurun bir kısmı havalandırma havuzunda istenen mikroorganizma konsantrasyonunu korumak üzere geri devrettirilir. Fazla çamur ise çamur işleme ünitelerine gönderilerek uzaklaştırılır. Aşağıda tipik bir aktif çamur arıtma sistemi akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Tipik Bir Aktif Çamur Sistemi Akım Şeması

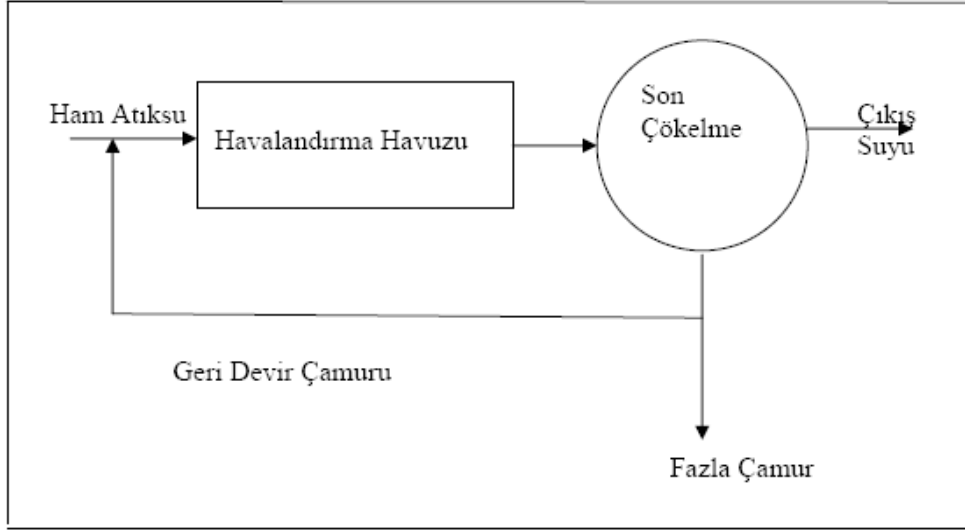
5.5.1.1.2. Uzun Havalandırılmalı Aktif Çamur Sistemleri

Klasik aktif çamur sistemlerinin değiştirilmiş bir şeklidir. Bu sistemde, çamur yükü çok düşük tutulduğundan mikroorganizmalar, çoğalma eğrisinde ölme fazında faaliyet gösterirler. Uzun süreli bir havalandırma uygulandığı için çamur yaşı yüksek olup daha stabil bir çamur elde edilmektedir. Sistemde oluşan fazla çamur, doğrudan çamur kurutma yataklarına veya mekanik su alma tesislerine verilebilir. Küçük (paket) arıtma sistemleri ve oksidasyon havuzları, uzun havalandırılmalı aktif çamur tarzında çalışmaktadır. Boyutlandırma kriterleri aşağıdaki gibi alınabilir:

- F/M : 0.05 - 0.15 kg BOİ₅/kg UAKM .gün
- Hacimsel yükleme : <0.35 kg BOİ₅/m³.gün
- Çamur konsantrasyonu : 3-6 g UAKM/L;
- Bekleme süresi: yaklaşık olarak 24 saat (uzun havalandırma)
- Çamur yaşı: 20-30 gün
- O₂ gereksinimi: yaklaşık olarak 1.8 O₂/kg giderilen BOİ₅

-Karıştırıcı gücü:

- 30 ile 40W/m³ türbin tipi yüzey havalandırıcıları için
- 3 ile 10 W/m³ karıştırıcılar için
- 10-20 W/m³ ince kabarcıklı havalandırma sistemleri için



Şekil 5.4. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Prosesinin Akım Şeması

5.5.1.1.3. Oksidasyon Hendeği

Oksidasyon hendekleri dairesel ya da oval şekilli hendekler olup mekanik yöntemlerle (rotor ya da yüzey havalandırıcı) havalandırılırlar. Izgaradan geçirilerek veya çöktürülerek katılardan arındırılmış atıksu, hendek içinde 0.3-0.4 m/s yatay hızla hareket ederken havalandırılmaktadır. Oksidasyon hendekleri, genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi özelliğindedir. Hendek çıkışında diğer biyolojik sistemlerde olduğu gibi, çöktürme tankı ile katıların (çamurun) çökmesi sağlanmaktadır. Düşük atıksu debileri (küçük ve orta nüfuslu yerleşimler) için uygun olup, diğer sistemlere kıyasla daha az teknoloji gerektiren ve fazla işletme becerisi gerektirmeyen sistemlerdir. Boyutlandırma kriterleri aşağıdaki gibi alınabilir:

-Bekleme süresi: yaklaşık olarak 24 saat

-Çamur yaşı: 20 gün

-Çamur konsantrasyonu : 2-5 g UAKM/L;

-Yatay Akış hızı: 0.3-0.4 m/s

5.5.2. Damlatmalı Filtreler

Damlatmalı filtreler, ilk geliştirilen arıtma tesislerinden olup; paketlenmiş yataklı yapışık film reaktörleridir. Damlatmalı filtrelerdeki biyolojik bozunma, aktif çamur prosesindeki gibi olur. Ancak, burada aktif çamur sistemindeki MLSS yerine, katı bir ortama (taş veya plastik) yapışık biyofilm vardır. Katı ortam, yaklaşık 2 m derinliğinde bir yatağa yerleştirilir ve atıksu bunun üzerine dozlanır (serpiştirilir).

Eski ve güvenilir biyolojik arıtma sistemlerinden olan damlatmalı filtreler %70 ile 85 oranında BOİ giderirler ve filtre yatağı 4 cm ile 12.5 cm arasında taş veya özel imal edilmiş malzeme ile teşkil edilir.

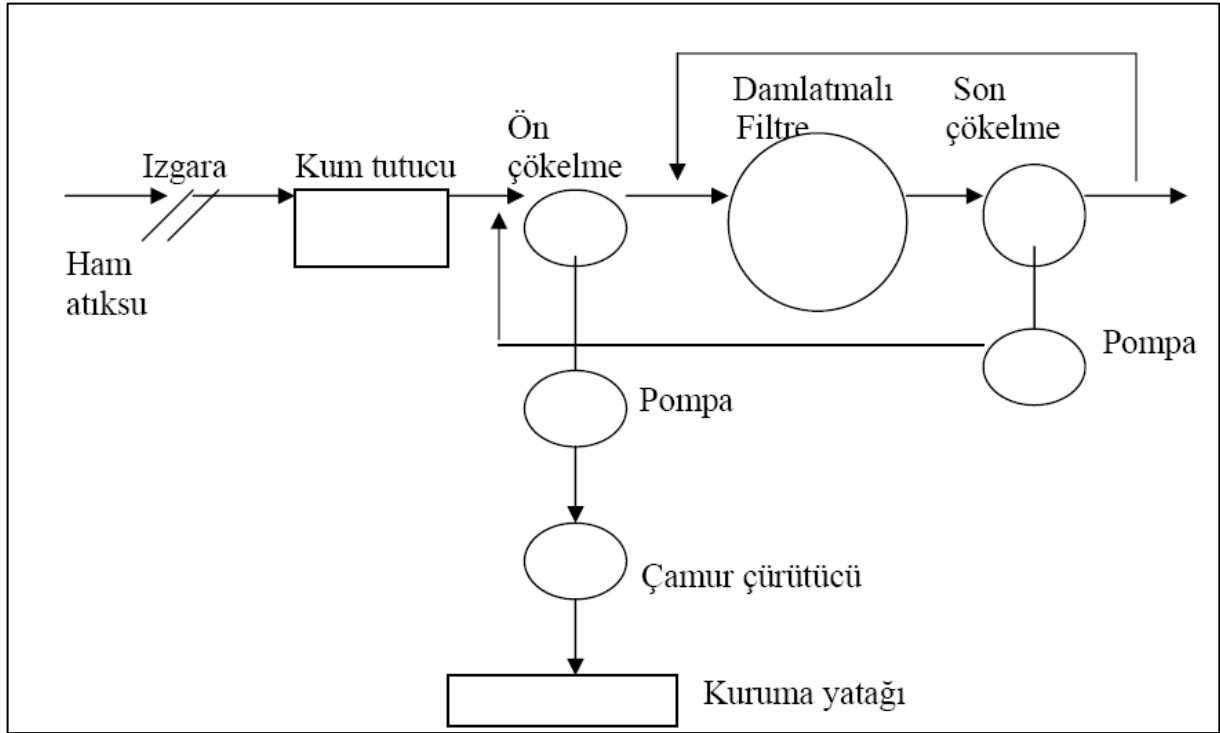
5.5.2.1. Damlatmalı Filtrenin Çalışması:

Çoğu damlatmalı filtreler geniş çaplı fazla yüksek olmayan, içi çakılla doldurulmuş silindir yapıda olup üst tarafında atıksuyu filtre yüzeyine serpen bir dağıtıcı bulunmaktadır. Damlatmalı filtrelerin değişik şekilleri inşa edilmiştir. Bunlar:

- Yavaş filtreler
- Yüksek hızlı filtreler
- Kaba filtreler
- Kademeli (ardışık) filtrelerdir

Damlatmalı filtrede organizmaların filtre malzemesi üzerinde gelişmesini sağlamak başarılı bir işletme için önemli bir husustur. Ancak bu yaşanan ve pürüzlülüğü iyice giden biyofilmin yenilenmesi gerekir. Bu işlem ise daha çok geri devir sayesinde yapılır. Biyofilmin koparılması göllenmeyi önlemekte ve filtrenin havalanmasını artırmaktadır. Hidrolik yüklemenin de artırılması sümüklü böcek ve filtre sineklerinin çoğalmasını da azaltır. Biyofilm tabakası kalınlığının doğrudan, atıksuyun çözünmüş organik madde konsantrasyonu ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Yine burada geri devir uygulamasıyla filtreye verilen atıksu seyreltilebilmekte, böylece aşırı biyofilm üretiminin önüne geçilebilmektedir.

Geri devir, sabit veya kesikli, kararlı veya düzensiz olabilmektedir. Geri devir, bazen debinin düşük olduğu durumlarda dağıtıcı kolun dönmeye devam etmesini sağlamak bazen biyofilmin korunmasını bazen ise filtrenin donmasını önlemek maksadıyla da uygulanmaktadır. Maksimum verim için filtre yüzeyindeki biyofilm tabakası oldukça aerobik olmalıdır.



Damlatmalı Filtrenin Avantajları:

- İşletme maliyeti düşüktür.
- Teknik kontrol ihtiyacının azdır, yetişmiş eleman gerektirmez.
- Çok kirli endüstriyel atıksular ile kirlilik yükü dalgalanan atıksular için uygundur.
- Yüksek nitrifikasyona uğramış akış suyu üretir ve sentetik deterjanlardan kaynaklanan köpüklenme problemi azdır.
- Havalandırıcı/karıştırıcı gerektirmez.

Damlatmalı Filtrenin Dezavantajları:

- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması,
- Kışın göllenme ve donma gibi işletme problemlerinin görülmesi,
- Geniş yer gereksinimi, sinek ve koku oluşumu,
- Çıkış suyu AKM konsantrasyonunun yüksek olması.

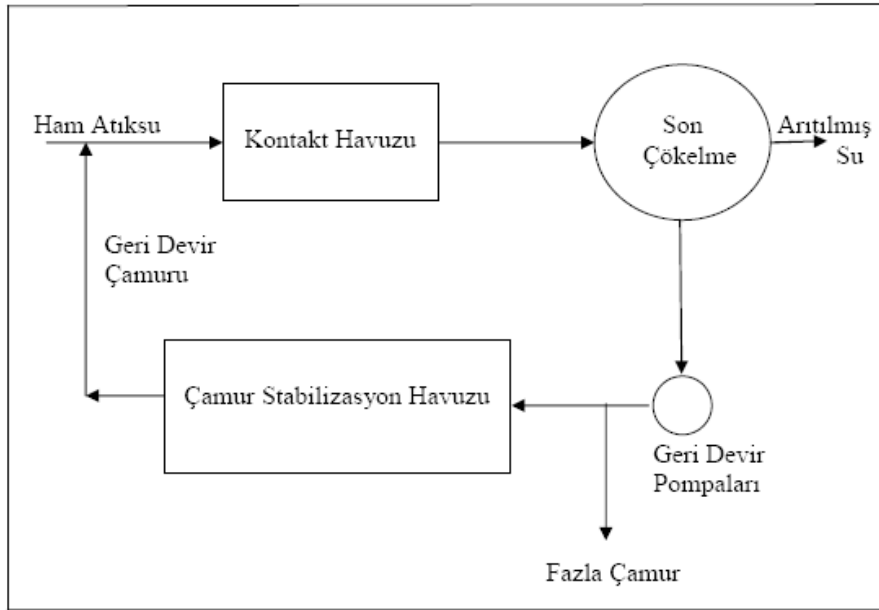
- Verimleri düşüktür ve çamur problemi vardır.
- Kendilerinden önce yağ giderilmiş olmalıdır.

5.5.3. Döner Biyolojik Disk

Döner biyolojik disk (biyodisk) sistemleri, mikroorganizmaların üzerinde üremesi için uygun bir yüzeyi sağlayacak şekilde yapılmış, gelen atıksuyun muhtemel korozif özelliğinden etkilenmeyecek, plastik malzemelerin diskler halinde, döner bir şaft (mil) üzerine yerleştirildiği veya içi dolgu malzemesi ile dolu delikli tambur şeklindeki silindirik bir yapıdan oluşmaktadır. Oksijen ihtiyacı, dönme sırasında havadan sağlamaktadır. Disklerin yüzeylerinde mikroorganizmalar biyolojik film oluşturur. Diskler kısmen batırıldıkları için yüzeyde kalan (hava ile temas eden) döngüleri biyofilmlerin oksijen ihtiyacını karşılamaktadır. Biyodisklerde genelde uygulanabilir çaplar 1.5-3.0 m'dir. Şaftın her 1 metresine 2 cm aralıklarla 20-30 adet disk yerleştirilebilir ve uzunluk 6 m'ye kadar çıkabilir. Dolgulu tambur tiplerinde ise istenen toplam dolgu malzemesi yüzeyi sağlanacak şekilde boyutlandırma yapılmaktadır. Döner disk veya tambur şaftlarının her biri ayrı bir silindir haznesine (kanala), % 45'i su içinde batık olacak şekilde monte edilir.

5.5.4. Stabilizasyon Havuzları

Stabilizasyon havuzları, atıksuların içindeki organik maddelerin ayrıştırılıp, zararsız hale getirildiği, topraktan yapılmış nispeten sığ havuzlardır. Stabilizasyon havuzlarının, havalandırılmalı lagünlerden farkı, burada gerekli oksijenin havuzun yüzey kısmında üreyen alg yosunları tarafından tabii olarak sağlanmasıdır. Dolayısıyla normal olarak bir havalandırma tertibatına ihtiyaç göstermezler. (Eroğlu, V., 2002)



Şekil 5.6. Kontakt Stabilizasyon Havuzu Akım Şeması

Stabilizasyon havuzları küçük yerlerde bilhassa çok kullanılır. Çünkü bu halde diğer arıtma metotlarına nazaran inşaat ve işletme masraflarının düşüklüğü önemli bir ekonomik bir avantaj teşkil eder.

Stabilizasyon havuzları, atıksuyun bileşimine, meydana gelen biyokimyasal olayların cinsine, inşaat sekline göre aerobik havuzlar, anaerobik havuzlar ve aerobik-anaerobik havuzlar (fakültatif) havuzlar olmak üzere üçe ayrılarak sınıflandırılırlar.

5.5.4.1. Stabilizasyon Havuzlarının Avantajları ve Dezavantajları

Stabilizasyon havuzlarının atıksu atımında kullanılan diğer metotlara göre birçok avantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

- Güneş enerjisi dışında enerji gereksinimlerinin bulunmaması, yatırım ve işletme masraflarının düşüklüğü
- Bakım gereksinimlerinin çok basit olması

- Yaz aylarında artan nüfusla birlikte debi artışlarını karşılayabilme ve hidrolik, organik açısından aşırı yüklemelere dayanabilmesi.
- Ağır metallere karşı nispeten daha az duyarlı olmaları ile birlikte, biyolojik bakımdan parçalanabilir sanayi ve tarımsal atıksuları arıtılabilmeleridir.

Dezavantajları:

Bu sistemlerin diğer atıksu arıtma sistemlerinden daha geniş alana gereksinim göstermeleri ve inşa edilirken özel zemin gereksinimlerinin bulunmasıdır. Bu yüzden, proje mühendisleri yerel arazi fiyatlarını ve zeminin elverişliliğini göz önüne alarak, atıksuların arıtılmasında en ekonomik yöntemi seçilmelidir (Arceivala, S., J. 2002)

Havuzların diğer sakıncaları da son çıkış sularında yüksek konsantrasyonda alg içermeleri ve sıcak, kuru iklimlerde buharlaşma kayıplarından dolayı arıtılmış atıksuyun miktarını önemli ölçüde azaltmasıdır. Dolayısıyla aşırı hidrolik yüklemelerden dolayı havuzlarda anaerobik bir ortamın sonucunda arıtma veriminin azalması, çıkış suyunun kalitesinin düşmesine sebep olacaktır. Böylece çıkış suyunda bulunan yüksek miktardaki algler alıcı ortamda ötrofikasyona sebep olacaktır.

Tablo 5.2 Biyolojik azot ve fosfor giderimi için önerilen temel tasarım parametreleri

Aktif Çamur Sistemi	θ_X^a	MLSS ^b	θ_H^c (saat)				Çamur Geri Devri	İşsel Geri Devir
Proses	gün	g/L	Toplam	Havasız Reaktör	Anoksik Reaktör	Havalı Reaktör	% · Q _{Giriş}	% · Q _{Giriş}
Azot Giderimi								
Ön denitrifikasyon	7-20	3-4	5-15		1-3	4-12	50-100	100-200
Ardışık Kesikli Reaktör	10-30	3-5	20-30		Değişken	Değişken	-	-
Bardenpho (4-kademeli)	10-20	3-4	8-20		1-3	4-12	50-100	200-400
					(1. tank)	(2. tank)		
					2-4	0.5-1		
Oksidasyon Havuzu	20-30	2-4	18-30		Değişken	Değişken	50-100	
Biodenitro TM	20-40	3-4	20-30		Değişken	Değişken	50-100	
Orbal	10-30	2-4	10-20		6-10	3-6	50-100	İsteğe bağlı
						(1. tank)		
						2-3		
Biyolojik Fosfor Giderimi								
A/O	2-5	3-4		0.5-1.5	-	1-3	25-100	
A ² /O	5-25	3-4		0.5-1.5	0.5-1	4-8	25-100	100-400
UCT	10-25	3-4		1-2	2-4	4-12	80-100	200-400
								(anoksik)
								100-300
								(havalı)
VIP	5-10	2-4		1-2	1-2	4-6	80-100	100-200
								(anoksik)
								100-300
								(havalı)
Bardenpho (5-kademeli)	10-20	3-4		0.5-1.5	1-3	4-12	50-100	200-400
					(1. tank)	(1. tank)		
					2-4	0.5-1		
					(2. tank)	(2. tank)		
AKR	20-40	3-4		1.5-3.0	1-3	2-4		

^a Çamur yaşı ^b Reaktördeki askıda katı madde konsantrasyonu ^c Hidrolik bekletme süresi

5.6. Son Çöktürme Havuzları

Son çöktürme havuzları biyolojik arıtmadan sonra arıtılmış atıksuyu biyokütleden yerçekimi etkisi ile fiziksel olarak ayıran dairesel ya da dikdörtgen planlı havuzlardır. Dairesel havuzlarda biyokütle atıksu karışımı besleme şekli olarak merkezden ya da çevreden yapılmakta, arıtılan su radyal doğrultuda hareket etmektedir. Dikdörtgen planlı havuzlarda ise yatay hareket ederek çöktürme tankından çıkmaktadır. Giriş yapısı ve çamur toplama sisteminin tasarımı çöktürme tankındaki laminar akım koşullarını ve çamurun çökelme özelliğini bozmayacak şekilde yapılmalıdır. Ayrıca, giriş yapısı ve köprünün hızı, karışımın enerjisini kırıncı düzenekler ile donatılmalı ve gerekli hız tahkikleri yapılmalıdır.

Çökeltilmiş su, son çöktürme havuzlarından savaklar yardımı ile toplanmaktadır. Birim savak yükleri hesaplanarak, toplam savak uzunluğu ve savak sayısına karar verilmektedir. Gerekli görüldüğü takdirde tek ve çift taraflı savaklar teşkil edilmektedir. Savaklar genellikle, dikdörtgen veya üçgen tipli olarak seçilmektedir. Savak yapıları minimum ve maksimum yükleri geçirecek şekilde planlanmalıdır.

Yüzeydeki köpük ve tabandaki biyolojik çamur birikintilerinin uzaklaştırılması için uygun bir yüzey ve taban sıyırma tertibatı bulunmalıdır. Tabandan çamur toplama işlemi köprüye bağlı sıyırıcı ya da pompa ile emme tipli olarak projelendirilir. Çamur haznesinin büyüklüğü çamurun özelliklerine ve çamur boşaltma aralıklarına uygun olmalıdır. Köprüye bağlı sıyırıcı olan sistemlerde havuz tabanı uygun teşkil edilmelidir. Emme tipli sıyırma tertibatında son çöktürme tankının tabanı düz olmalıdır. Son çöktürme tankındaki kenar su derinliğinin en az 3 m civarında olması öngörülmektedir.

Özellikle biyolojik nütrient (azot ve fosfor) giderimi yapan sistemlerde son çöktürme tankının tasarımı, sistemin verimi açısından büyük önem taşımaktadır. Son çöktürme tankında bekletme süresi ve besleme şekli, denitrifikasyondan dolayı serbest azot gazının ortaya çıkmasına izin vermeyecek şekilde seçilmelidir. Aksi halde serbest azot gazı biyolojik çamurun yüzmesine neden olabilir. Ayrıca çamurun son çöktürme tankında çok beklemesi sonucu havasız koşulların oluşması fosfor depolayan bakterilerin bünyesine aldığı fosforu

tekrar salmasına neden olmakta ve çıkış suyu kalitesini bozmaktadır. Dolayısı ile projelendirmede bu hususlar göz önüne alınmalıdır.

Son çöktürme havuzları için ana tasarım parametreleri, bekletme süresi (t), katı madde yükü (q_M), yüzeysel hidrolik yük (q_H) ve kenar su derinliğidir (H_S). Bu parametrelerden katı madde yükü havalandırma havuzundan son çöktürme tankına gelen (atıksu ve çamur geri devir debileri ile birlikte) toplam katı madde yükünün havuzun etkin yüzey alanına bölünmesi ile bulunmaktadır. Yüzeysel hidrolik yük ise havuzun yüzeyinden savaklanan arıtılmış su debisinin havuzun yüzey alanına bölünmesi ile bulunmaktadır. Son çöktürme tankının tasarım kriterlerinin maksimum debi koşullarında da kontrol edilmesi gereklidir. Biyolojik fazla çamur, geri devir akımından (ya da biyolojik reaktörden) düzenli olarak atılmalı ve çamur işleme ünitelerine hemen ulaştırılmalıdır. Son çöktürme havuzu boyutlandırma kriterleri aşağıda özetlenmiştir:

Yüzey yükü: $< 0.6-0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{sa}$

Bekletme süresi: 2-4 sa

Derinlik: 2.5-5 m

Katı madde yükü: $< 3-6 \text{ kg AKM}/\text{m}^2.\text{sa}$

5.7. Çamur Yoğunlaştırma Tankları

Çökeltme tanklarına benzer bir geometrisi vardır. İşlem daha sonra arıtılacak çamur hacminin azaltılması için çamur suyunun ayrılmasını içermektedir. Genelde yapılan uygulama son çökeltme çamurlarının yoğunlaştırılması, ön çökeltme çamurunun ise doğrudan çürütücülere yollanması şeklindedir. Çünkü ön çökeltme çamuru zaten yaklaşık %4 katı konsantrasyonundadır.

Yoğunlaştırma işlemi yerçekimli yoğunlaştırıcılar (çökeltme havuzları benzeri) veya basınçlı hava ile yüzdürme sistemleri ile gerçekleştirilebilir. Yoğunlaştırıcıda çamurun kalma süresi ortalama olarak 24 saattir.

5.7.1. Aerobik Çamur Stabilizasyonu

Aerobik çamur stabilizasyonu, arıtma tesisinde elde edilen organik çamurun oksijenli ortamda çürütülmesi işlemidir. Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinde bu işlem zaten proses içinde gerçekleşmektedir. Yani sistemde oluşan çamur havalandırma tankında çürütülebilecek bir süre (yaklaşık 20-30 gün) alıkonulmaktadır. Aerobik çamur stabilizasyonu işleminde çamur bir havalandırma tankına alınmakta ve burada 10-12 gün süre ile havalandırılmaktadır. Bu sistemde genellikle yüzeysel havalandırıcılar kullanılmaktadır. Çürütülen çamur kokusuz, biyolojik filtre çamuruna benzer, biyolojik bakımdan dengeli bir son üründür. (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).

5.7.2. Anaerobik Çamur Stabilizasyonu

Anaerobik çamur stabilizasyonu, arıtma tesisinde elde edilen organik çamurun oksijensiz ortamda çürütülmesi işlemidir. Bu sistemde çamur üstü kapalı tanklara alınmakta ve yaklaşık 20 günlük bir süre içerisinde bu tankta kalmaktadır. Tankın sıcaklığına bağlı olarak anaerobik çürütme işlemi isimlendirilmektedir. Tank sıcaklığı 20°C'nin altında ise soğuk, 20-40°C arasında ise mezofilik, 40-50°C arasında ise termofilik çürüme olarak adlandırılır. Tanka giren çamur, ısı eşanjörleri ile ısıtılır. Çürüme esnasında yan ürün olarak metan gazı elde edilir. Bu gaz ısı eşanjörlerine sıcak su sağlayan kazanların ısıtılmasında ve tank muhteviyatının karıştırılması işleminde kullanılır. Bu sistem aerobik çamur çürütme sistemine kıyasla işletilmesi zor bir çamur çürütme yöntemidir. Ancak, işlem sırasında oluşan metan gazının kullanım imkanı işletme giderini azaltmaktadır. Anaerobik çamur çürütücüler silindirik veya yumurta şeklinde inşa edilebilmektedir. (27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı).

5.8. Çamur Susuzlaştırma Yöntemleri

Aerobik veya anaerobik olarak çürütülen çamur son işlem olarak susuzlaştırma işlemine tabi tutulur. Bu amaçla kullanılan sistemler şunlardır;

- Çamur kurutma yatakları
- Çamur lagünleri
- Çamurun araziye yayılması
- Belt filtreler
- Santrifüjler
- Vakum filtreler
- Filtre Presler

Çamur susuzlaştırma yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak çamurun katı içeriği %20- 40'a kadar yükseltebilmektedir. İlk üç yöntem dışarıdan herhangi bir enerji girdisi gerektirmeyen çok basit uygulamalardır. Ancak, doğal kuruma işleminin gerçekleşebilmesi için çok geniş alanlara ve ılıman veya sıcak iklimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Çamur kurutma yataklarında çamurun kalma süresi yaklaşık 25 gündür. Halbuki mekanik susuzlaştırma yöntemlerinde proses sürekli olup, çamur beklemeksizin susuzlaştırılabilir. Mekanik sistemlerde dışarıdan enerji girdisi ve kimyasal madde ilavesi gerekmektedir. Mekanik sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri yüksektir.

5.9. Atıksuların Arazide Arıtımı

Doğal sulak alanlar: Doğal sulak alanlar, dünyanın her yerinde bulunurlar. Doğal sulak alanlar, bitki ve hayvan yönünden zengin ekosistemlerin korunmasında önemli rol oynarlar. Genellikle su ile doymuş zemin şartlarına sahiptirler. Sığ sularda öfotik tabakada yetişen çok bol köklü bitkiler vardır. Doğal sulak alanlarda fotoplanktonlar da bulunur.

Yapay sulak alanlar: Yapay sulak alanlar, ya özel değeri olan ekosistemin korunması amacıyla, yada atıksu arıtımı, maden drenajı, veya yağmursuyu drenajı amacıyla insanlar tarafından inşa edilirler. Yapay sulak alanlarda köklü bitkiler de yasar. Ancak, sivrisinek probleminden ve kötü koku oluşmasından korunmak için yüzen bitkiler tercih edilir.

Su bitkileri havuzları: Buralarda su bitkilerinin ve serbestçe yüzen makrofitlerin yaşaması sağlanır. Bu su bitkileri arasında su sümbülleri, timsah otu, su mercimeği, hydrilla, mart,

solmalar, vs. sayılabilir. Bu bitkilerin havuzlarda yetiştirilmesindeki amaç ağır metalleri, fenoller, pestisidleri, nütrientleri (N ve P), vs. gidermeleri ve kaliteli arıtılmış su sağlamalarıdır. Ayrıca, besin değerleri yüksek olduğundan, yeni bitkilerin gelişmesine de yardımcı olurlar.

Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğünce 500, 1.000 ve 2.000 Kişilik 6°C (Soğuk İklim Şartları için) ve 10°C (Normal ve Sıcak İklim Şartları için) alternatif sıcaklık ortamlarına uyumlu “Yapay Sulak Alan Tip Projeleri” geliştirilmiştir. Bu projelerle ilgili proses ve yatırım maliyetleri Tablo 5.3. de verilmektedir.

Tablo 5.3. Yapay Sulak Alan (Doğal) Arıtma tiplerine göre yaklaşık yatırım ve arıtma alan ihtiyacı (Çevre ve Orman Bakanlığı Su ve Toprak Yönetimi Daire Başkanlığı)

YAPAY SULAK ALANI ARITMA TİPİ (Eşdeğer Nüfus)	ALTERNATİFLER (Atıksu sıcaklığına göre)	YATIRIM MALİYET İ (TL)	İŞLETİM MALİYE Tİ (m³/TL)	TOPLAM HAVUZ ALAN İHTİYACI (m²) Kurutma Yatağı Hariç
500 kişilik	6°C Sıcaklık için	108.469,58	0,00	1600
	10°C Sıcaklık için	102.522,44	0,00	1200
1000 kişilik	6 °C Sıcaklık için	212.027,24	0,00	3200
	10 °C Sıcaklık için	192.626,19	0,00	2400
2000 kişilik	6 °C Sıcaklık için	398.447,40	0,00	6000
	10 °C Sıcaklık için	317.005,39	0,00	4800

6. ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MALİYET UNSURLARI

6.1.Genel

Atıksu arıtma tesisi maliyetine tesir eden faktörler aşağıda kısaca özetlenmiştir: Arıtma tesislerinin boyutlandırılması ve arıtma tesisi maliyetlerinin hesap edilebilmesi için genel olarak arıtılacak atıksuyun miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bunun için yerleşim biriminin nüfusuna ve kişi başına kullanılan günlük su miktarına ihtiyaç vardır. Türkiye’de kişi başına kullanılan su miktarı nüfusa bağlı olarak Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Arıtılacak suyun miktarı arıtma tesisinin büyüklüğünü doğrudan etkilediği için atıksu arıtma maliyetine etki eden ana unsurdur.

Atıksu arıtma tesisi maliyetlerine tesir eden ikinci ana faktör arıtılacak atık suyun özellikleridir. Kirletici parametrelerin yüksek olduğu atıksuların mevcut standartları sağlayacak şekilde arıtılması diğer atık sulara göre daha maliyetli olmaktadır. İller Bankasına göre klasik atık su arıtma sisteminde kabul edilen kirletici yükleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo.6.1. Nüfusa bağlı olarak su tüketimlerinin değişimi (Muslu, Y., 1994)

Nüfusu Proje	Köy Hizmetleri (lt/kişi.gün)	İller Bankası (1985) (Lt/kişi.gün)
>3.000	60	60
3.001-5.000	60-80	70
5.001-10.000	70-80	80
10.001-30.000	--	100
30.001-50.000	--	120
50.001-100.000	--	170
100.001-200.000	--	200
200.001-300.000	--	225

Gelecekteki nüfusu 300.000'e kadar olan beldelerde yukarıda verilen değerlere yol, ev bahçesi, park, okul, hastane, mezbaha, otel v.b. yerlerin ihtiyacı için tüketilecek su miktarları da dahildir. Ancak hesabı etkileyebilecek özel durumlarda bu miktarlar hesaba ayrıca eklenir.

Gelecekteki nüfusu 300.000'den büyük yerlerde insan başına ve özel su ihtiyacı gibi hususlarda proje aşamasında idarelerle anlaşmaya varılarak, imar planlarına göre gelişim ve yerleşim durumlarında değişik karakter gösteren alanlarda farklı ihtiyaç miktarları da düşünülür.

Tablo.6.2. İller Bankası'na göre kişi başına kirletici yükleri (İller Bankası Proses Şartnamesi)

Parametre	Yük gr/kişi-gün
BOİ5	50-60
AKM	70-90
N	10-12
P	3-4

Kirletici parametre yükleri hayat standartlarına bağlı olarak bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye değişmektedir. Burada sözü edilen kişi başına kullanılan su miktarları ve kişi başına ortaya çıkan kirletici yükleri hem arıtma tesislerinin boyutlarını hem maliyetlerini etkilemektedir. Arıtma tesislerinin maliyetleri bütün diğer tesislerde olduğu gibi iki ana gruptan oluşur. Bunlar yatırım ve işletme maliyetleridir.

6.2.Yatırım Maliyetleri

Atıksu arıtma tesislerinin seçiminde değişik sistemler düşünülerek optimum çözümün bulunması gereklidir. Bunun için öngörülen her sistem için ilk yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanarak toplam maliyetler bulunur. Bu maliyetler kıyaslanarak optimum çözüm seçilir. İlk yatırım maliyetleri tesis işletmeye alınana kadar yapılan bütün harcamaları kapsar. Bu harcamalar aşağıda özetlenmiştir.

- Arıtma tesisinin inşa edileceği arsa bedeli.
- Arıtma tesisi için yapılacak projelendirme müşavirlik, fizibilite v.b.raporlama giderleri.
- Arıtma tesisinin inşaat bedeli (temel sondajları dahil).
- Arıtma tesisi için gerekli olan mekanik ve elektrik ile ilgili ekipmanların satın alınması, taşınması ve montaj maliyetleri.
- Arıtma tesisleri ile ilgili borç alınmışsa bu para ve kredilere ödenen faizler (finansman giderleri).

Atıksu arıtma tesisinin maliyetlerini etkileyen faktörlerin başında projeye esas alınacak nüfus ve birim atık su kullanımı gelmektedir. Atıksuların özellikleri ve arıtılmış atıksuların sağlayacağı standartlar seçilmiş olan sistemdeki arıtma birimlerinin boyutlarını etkiler. Örnek olarak sistemdeki hidrolik bekletme süreleri arıtma verimini etkiler. Optimum arıtma veriminin elde edilmesi için gerekli bekletme süresi arıtma tesisinin ilgili biriminin hacmini etkiler. Bu ise doğrudan arıtma tesisinin hem yatırım hem de işletme maliyetini artırır.

6.3. İşletme Maliyeti

Atıksu arıtma tesisi çalışmaya başladıktan sonra sistemin işletilmesi için gerekli olan harcamaları ve ekipmanların amortismanlarını kapsar. İşletme maliyetleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

- Gerekli kimyasal maddelerin maliyeti
 - Personel giderleri
 - Her türlü nakliye giderleri
 - Yakıt, su ve elektrik giderleri
 - Bakım ve onarım giderleri
 - Sigorta giderleri
 - Danışmanlık uzman vb. hizmet alımları
 - Genel giderler
- olarak adlandırılırlar.

6.4.Maliyet ve Maliyet Faktörleri Arasındaki Bağlantılar

6.4.1. Genel

Arıtma tesislerinin maliyetlerinin hesaplanabilmesi için arıtma teknolojisinin seçilmiş olması gerekir. Arıtma teknolojilerinin seçiminde arıtılacak atıksuyun özellikleri ile arıtılmış suyun deşarj standardı en önemli iki faktördür. Ayrıca arıtılacak suyun miktarı da diğer önemli unsurlardan biridir.

6.4.2. İlk Yatırım Maliyetinin Hesabı

Atıksu arıtma tesislerinin ilk yatırım maliyetlerinin hesaplanabilmesi için en azından avan projelerinin hazırlanmış ve kullanılacak ekipmanlara karar verilmiş olması gerekir. Karar verilmesi veya kabul edilmesi gereken teknik bilgiler aşağıda özetlenmiştir. Aktif çamur tesislerinde çökeltme havuzları ile havalandırma havuzlarındaki bekleme süreleri bilinmelidir (havuzların büyüklüklerinin hesabı için).

Atıksu arıtma tesisinin inşaat maliyetinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır.

- Arıtma tesisinin inşa edileceği alanla ilgili bilgiler; gerekli arazi miktarı, bölgenin zemin yapısı depremsellik, arazinin hazırlanması vb. bilgiler.
- Atıksu arıtma tesisine gelen ana kolektörün derinliği.
- Atıksu arıtma tesisinden sonra arıtılmış suyun verileceği alıcı ortam ile ilgili bilgiler.
- Arıtılacak atıksuların özellikleri ve miktarı
- Hava temini için difüzör-blower veya yüzey havalandırıcılardan hangisinin kullanılacağı
- Çamur uzaklaştırma sisteminin ne olacağı
- Tesiste kullanılacak mekanik ekipmanın cinsi (paslanmaz çelik veya epoksi boya vb.)
- Tesiste kullanılacak terfi sistemi ile ilgili bilgiler

Bir atıksu arıtma tesisindeki inşaat işleri aşağıdaki kısımlardan oluşur.

1. Kazı yapılması
2. Grobeton
3. Normal beton
4. Kalıp ve iskele işleri
5. Betonarme demiri ve demir işçiliği (malzeme ve işçilik birlikte değerlendirilmelidir)

Arıtma tesisindeki mekanik aksam maliyetleri ise aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

1. İnce ve Kaba ızgaralar
2. Debi ölçerler
3. Pompalar
4. Elektrik tesisatı
5. Elektrik otomasyonu
6. Kimyasal hazırlama ve dozlama (çamur susuzlaştırma ünitesinde)
7. Laboratuar ve ekipmanı
8. Borular vb.

Bu kalemlere taşıma işçilik ve montaj bedelleri de dahildir.

6.4.3. İşletme Maliyetleri

Atıksu arıtma tesisi işletme giderleri kurulmuş olan tesisin işletilmesi gerekli olan kimyasallar personel nakliye ve enerji giderlerini kapsar. İşletme giderleri aşağıdaki kalemlerden oluşur. Bunlar;

- Personel giderleri
 - o Tesis sorumlusu (müdür veya şef)
 - o İşçiler (yeteri kadar)
 - o Sekreter
 - o Laboratuar teknisyeni (Laboratuar varsa)
 - o Güvenlik elemanları

- Kimyasal madde giderleri
- Nakliye
- Enerji (Elektrik)
- Jeneratör (bulunması halinde)

olarak adlandırılırlar.

7. MALİYET ANALİZİ

Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinin tasarımına yönelik bir çalışmada nüfus, deşarj standartları, enerji maliyetleri, alıcı ortam ve atıksu karakterizasyonu gibi parametreler büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde Türkiye’de daha önceden yapılmış olan çeşitli proseslere ve değişik nüfuslara ait atıksu arıtma tesisi projelerinin maliyetleri değişik tip arıtma sistemleri için farklı parametrelere bağlı olarak değerlendirilmiş, elde edilen grafiklerin sonuçları yorumlanmıştır. Maliyet analizi yapılırken atıksu arıtma tesisleri arazi bedelleri, elde edilen atıksu arıtma tesisi bilgilerinde bazı tesislerin alanları için kamulaştırma yapıldığı, bazı tesislerin ise hazine arazisi tahsis edilerek yapıldığı belirlenmiştir. Arıtma tekniklerinin mukayesesi yapılırken elde edilen veriler, arazinin kamulaştırma veya tahsis maliyetinin olmadığı verilerdir. Yapılan araştırma sonucu elde edilen verilere göre dört tip atıksu arıtma prosesi incelenmiştir.

Bunlar;

1. Damlatmalı filtre,
2. Stabilizasyon havuzları,
3. Klasik aktif çamur,
4. Uzun havalandırılmalı aktif çamur.

7.1. İnşaat Maliyetleri

7.1.1. Damlatmalı Filtre

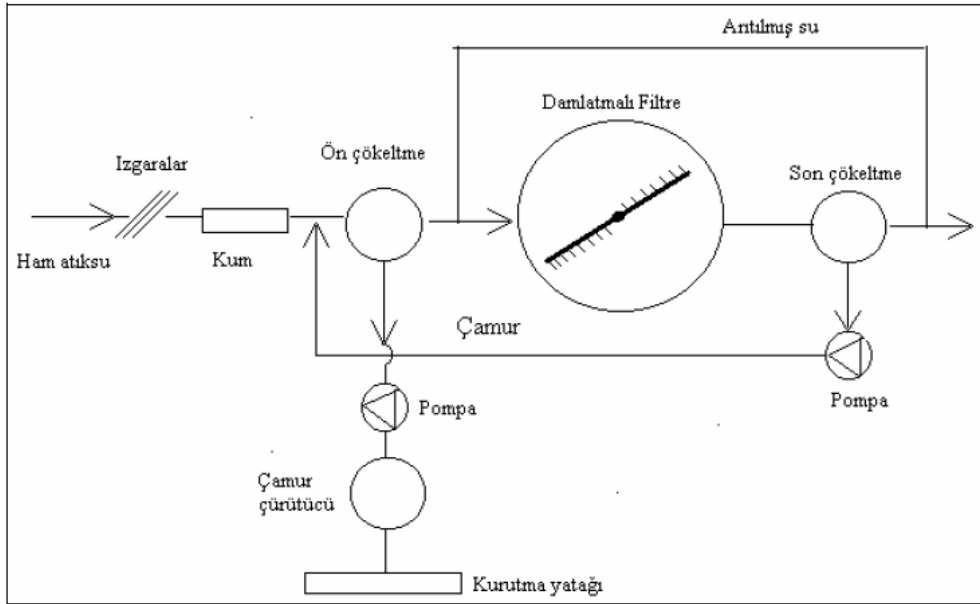
Daha öncede bahsedildiği gibi damlatmalı filtreler, atıksuların değişik dolgu malzemeleri üzerinde dağıtılarak aşağıya doğru akıtılmaları prensibi ile çalışmaktadır. Dolgu malzemesi üzerinde biyofilm tabakası oluşmakta ve mikroorganizma, oksijen ihtiyacını havadan almaktadır. Damlatmalı filtrelerde taş veya plastik dolgu malzemesi kullanılabilir.

Yapılan araştırma sonucu 5 adet damlatmalı filtre tesisinin bilgileri elde edilmiştir. Bu tesisler Tablo 7.1’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak nüfus-ilk yatırım maliyetleri

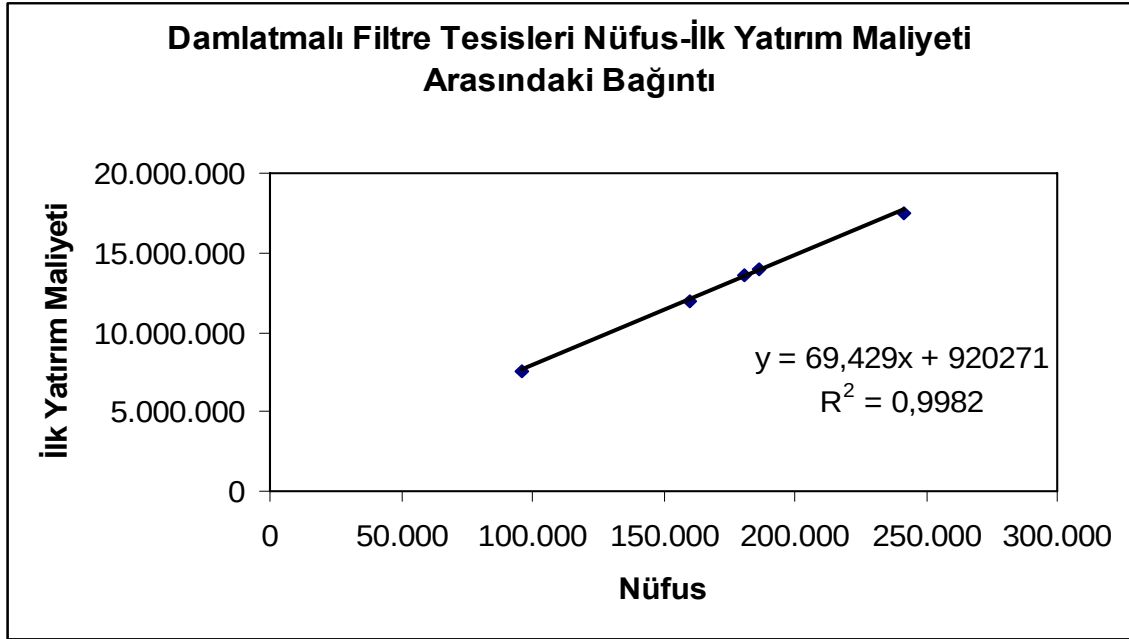
ile artırılan birim atıksu debisi-ilk yatırım maliyetleri arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Damlatmalı Filtre Tesisleri

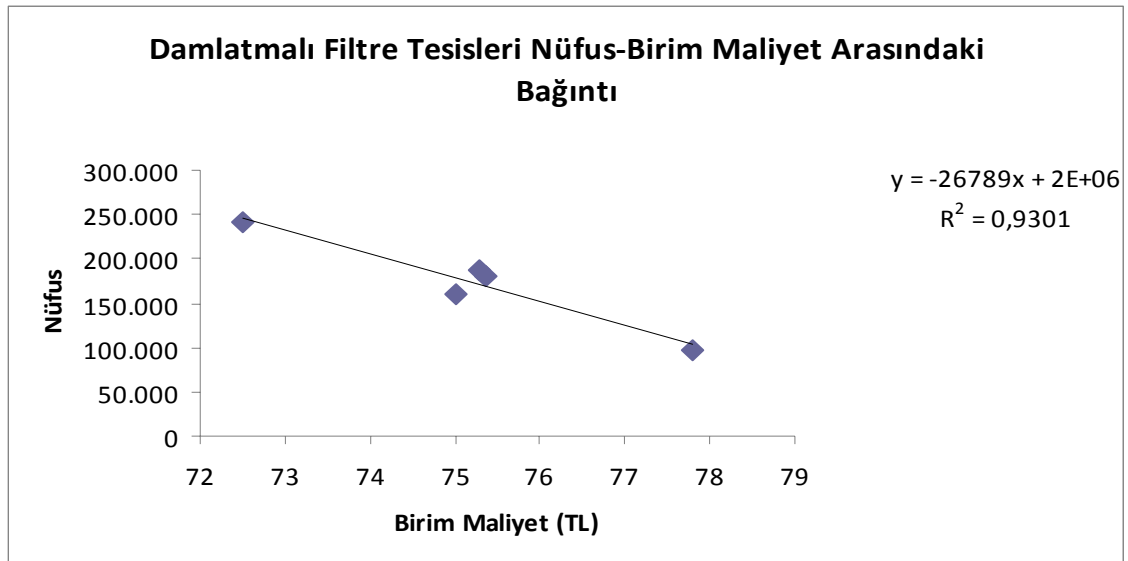
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	KAPASİTE (m ³ /gün)	KEŞİF BEDELİ (TL)
1	Akhisar-Manisa	96.393	9.500,00	7.500.000
2	Afyonkarahisar-Merkez	159.967	40.472,00	12.000.000
3	Osmaniye-Merkez	180.477	64.805,00	13.600.000
4	Antakya-Hatay	186.243	65.762,00	14.022.000
5	Balıkesir- Merkez	241.404	67.000,00	17.500.000



Şekil 7.1. Damlatmalı Filtre Sisteminin Akım Şeması

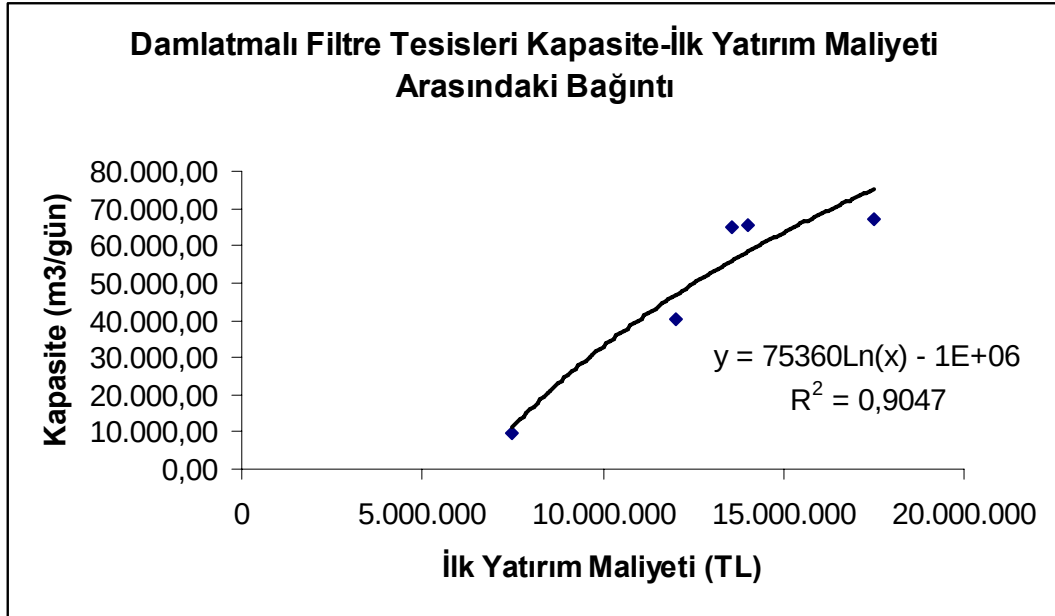


Şekil 7.2. Damlatmalı Filtre Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi

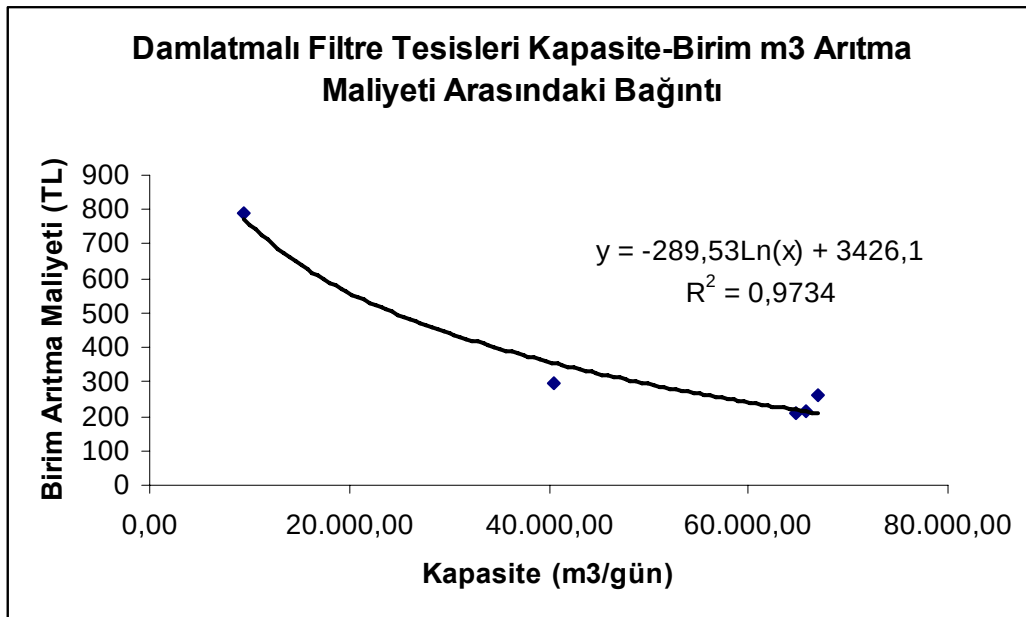


Şekil 7.3. Damlatmalı Filtre Tesisleri için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi

Yapılan incelemede nüfus arttıkça ilk yatırım maliyetinin arttığı, ancak birim yatırım maliyetinin düştüğü görülmektedir. Her iki durum için elde edilen korelasyon katsayıları ($R^2 = 0,9982$ ve $R^2 = 0,9301$) da inceleme sonucunu desteklemektedir. Nüfusun 100.000 kişi olduğu yerlerde kişi başına damlatmalı filtre inşaat maliyeti, incelenen tesisler baz alındığında yaklaşık 80 TL olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.4. Damlatmalı Filtre Tesisleri için Kapasite-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi



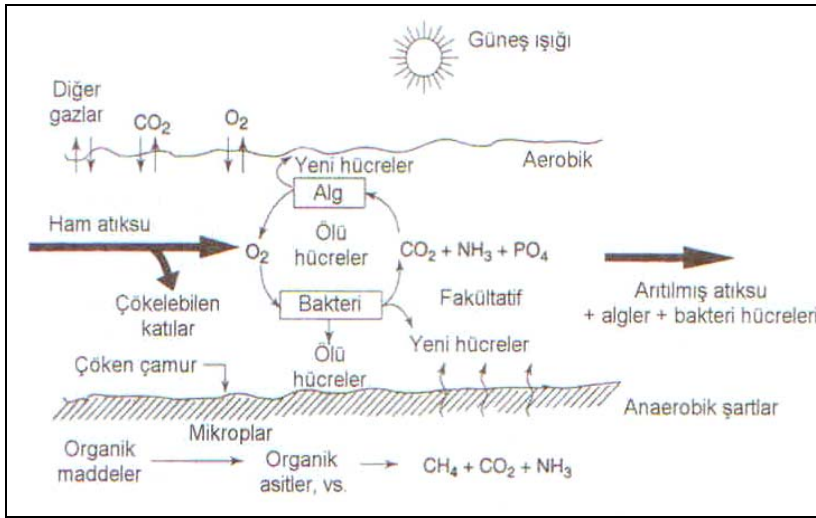
Şekil 7.5. Damlatmalı Filtre Tesisleri için Kapasite-Arıtılan Birim m³ Maliyet İlişkisi

Yine incelenen damlatmalı filtre tesisleri baz alındığında arıtma tesisine gelen debi arttıkça, arıtılan birim debi başına düşen yatırım maliyeti azalmaktadır. 40.000-80.000 m³/gün kapasitede birim arıtma maliyeti 250-400 TL arasında olarak bulunmuştur.

Grafikler sayesinde, bir damlatmalı filtre tesisi projesi tasarlanırken, yapılacak ön etüt çalışmasında hangi nüfus ve debi değerleri için tahmini ilk yatırım bedelleri belirlenebilir.

7.1.2. Stabilizasyon Havuzları

Stabilizasyon havuzları, en basit ve işletilmesi kolay arıtma sistemler olduğundan daha önce bahsedilmiştir. Bu havuzlarda, enerji ve mekanik teçhizata ihtiyaç yoktur. Ayrıca yetişmiş işletme elemanına da ihtiyaç duyulmaz. Bu sistemde atıksular sığ havuzlarda uzun süre bekletilmekte ve organik maddelerin ayrışması sağlanmaktadır. Bu nedenle çok geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 7.2. de incelenen stabilizasyon havuzları tesisleri gösterilmektedir.

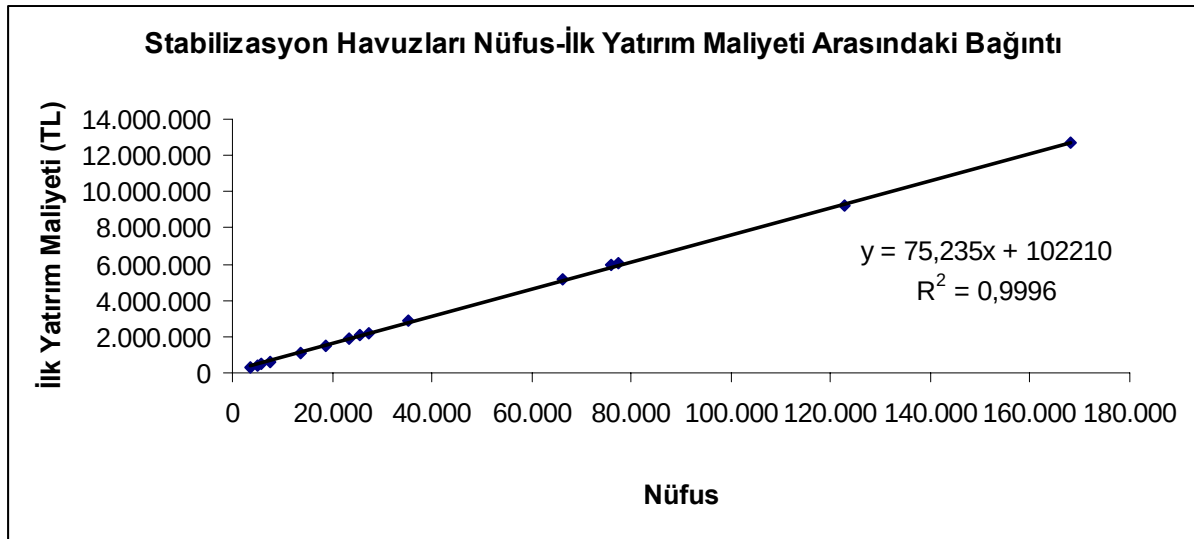


Şekil 7.6. Stabilizasyon Havuzları

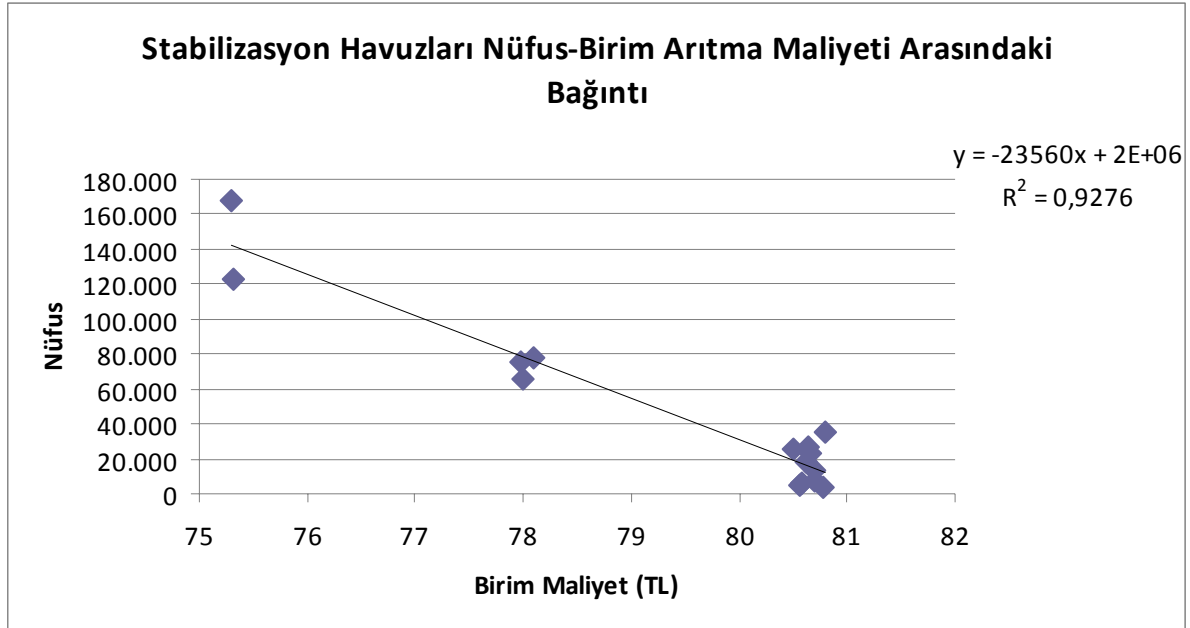
Yapılan araştırma sonucu 15 adet stabilizasyon havuzları tesisinin bilgileri elde edilmiştir. Bu tesisler Tablo 7.2’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak nüfus-ilk yatırım maliyetleri ile arıtılan birim atıksu debisi-ilk yatırım maliyetleri arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9 da gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri

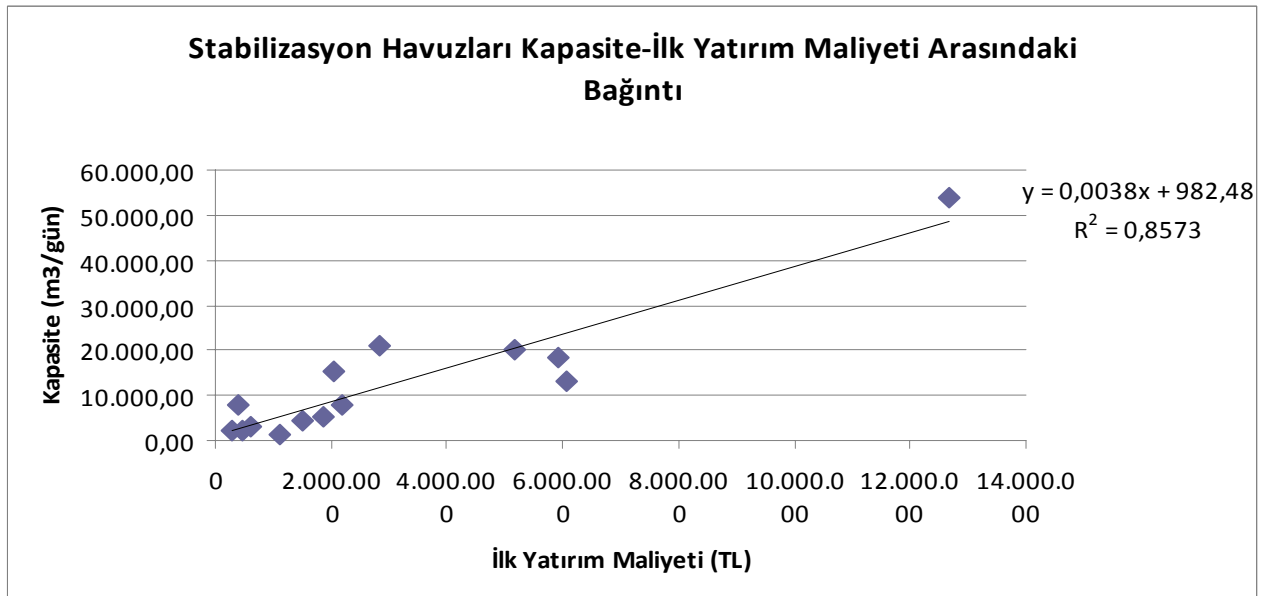
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	KAPASİTE (m ³ /gün)	KEŞİF BEDELİ (TL)
1	Çukurkuyu-Niğde	3.429	2.074,00	277.000
2	Güneysınır-Konya	5.089	7.726,00	410.000
3	Yeniçağa-Bolu	5.796	2.250,00	467.000
4	Hekimhan-Malatya	7.708	3.010,00	622.000
5	Muradiye-Van	13.816	1.506,00	1.115.000
6	Gediz-Kütahya	18.728	4.234,00	1.510.000
7	Gerede-Bolu	23.310	5.184,00	1.880.000
8	Devrek-Zonguldak	25.463	15.120,00	2.050.000
9	Selçuk-İzmir	27.284	8.000,00	2.200.000
10	Bor-Niğde	35.151	21.227,00	2.840.000
11	Söke- Aydın	66.156	20.000,00	5.160.000
12	Iğdır- Merkez	75.927	18.360,00	5.920.000
13	Erciş-Van	77.464	13.144,40	6.050.000
14	Karaman-Merkez	122.809	87.696,00	9.250.000
15	Aydın-Merkez	168.216	53.831,00	12.667.000



Şekil 7.7. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.8. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi



Şekil 7.9. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri için Kapasite-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi

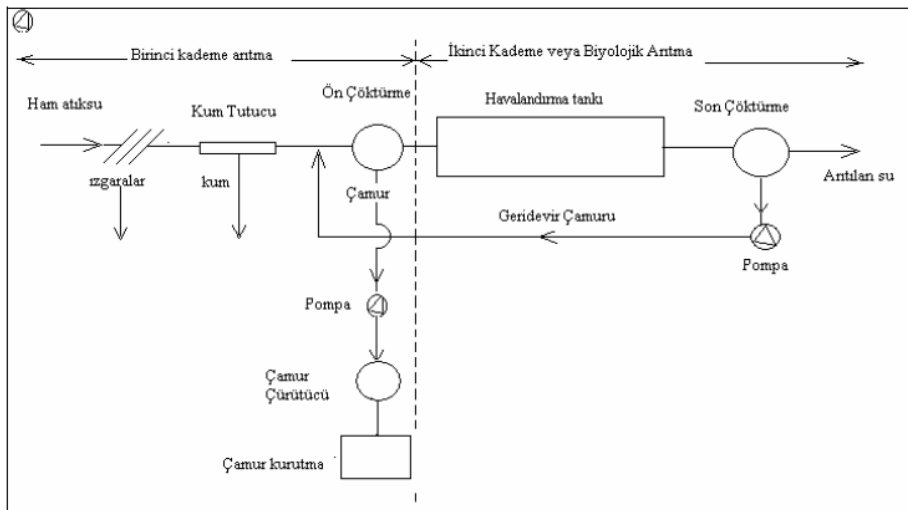
Stabilizasyon havuzlarında da damlatmalı filtre tesislerinde olduğu gibi nüfus arttıkça birim yatırım maliyetinin düştüğü görülmektedir. İncelenen nüfusun büyük bir kısmı 100.000 kişinin altındadır. Kişi başına stabilizasyon havuzu inşaat maliyeti, incelenen tesisler baz

alındığında yaklaşık 76-81 TL arasındadır. Nüfus arttıkça bu değer daha da azalmaktadır. Debi arttıkça (tesis kapasitesi) yatırım maliyeti değerinde çok büyük bir düşüş olmamaktadır. Bir stabilizasyon havuzu prosesi tasarlanırken elde edilen grafiklerdeki değerler incelenerek tasarım aşamasında tahmini yaklaşık maliyetler bulunabilir.

7.1.3. Klasik Aktif Çamur

Klasik aktif çamur prosesi, havalı biyolojik arıtma metotları arasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu metot 1912-1914 yıllarında geliştirilmiş ve karmaşık biyolojik mekanizması nedeni ile araştırmacıların diğer proseslere kıyasla daha fazla ilgisini çekmiştir. Bu sebeple aktif çamur prosesinin yıllar içerisinde birçok çeşidi (modifikasyonu) geliştirilmiştir.

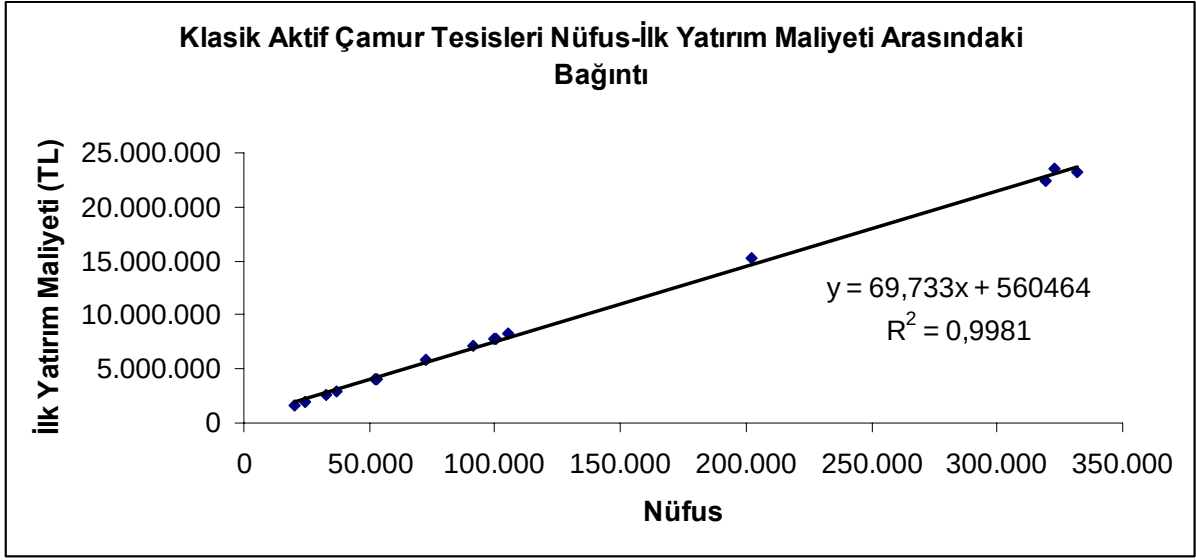
Yapılan araştırma sonucu 15 adet Klasik aktif çamur tesisinin bilgileri elde edilmiştir. Bu tesisler Tablo 7.3’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak nüfus-ilk yatırım maliyetleri ile arıtılan birim atıksu debisi-ilk yatırım maliyetleri arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14 de gösterilmiştir.



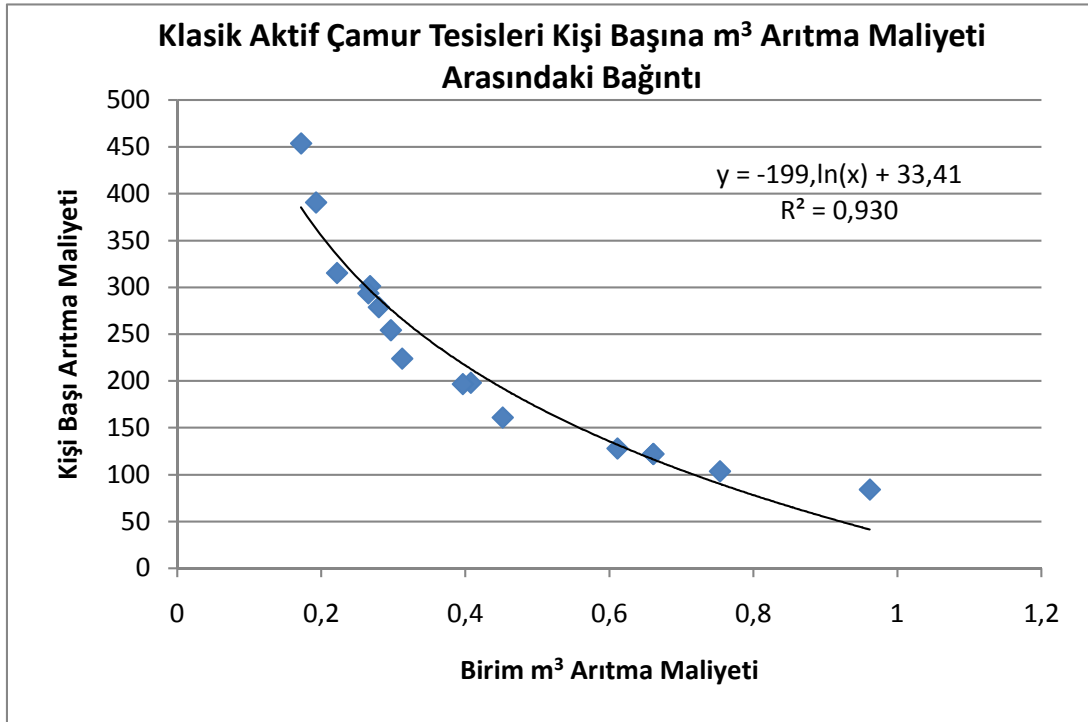
Şekil 7.10. Klasik Aktif Çamur Sisteminin Akım Diyagramı

Tablo 7.3. Klasik Aktif Çamur Tesisleri

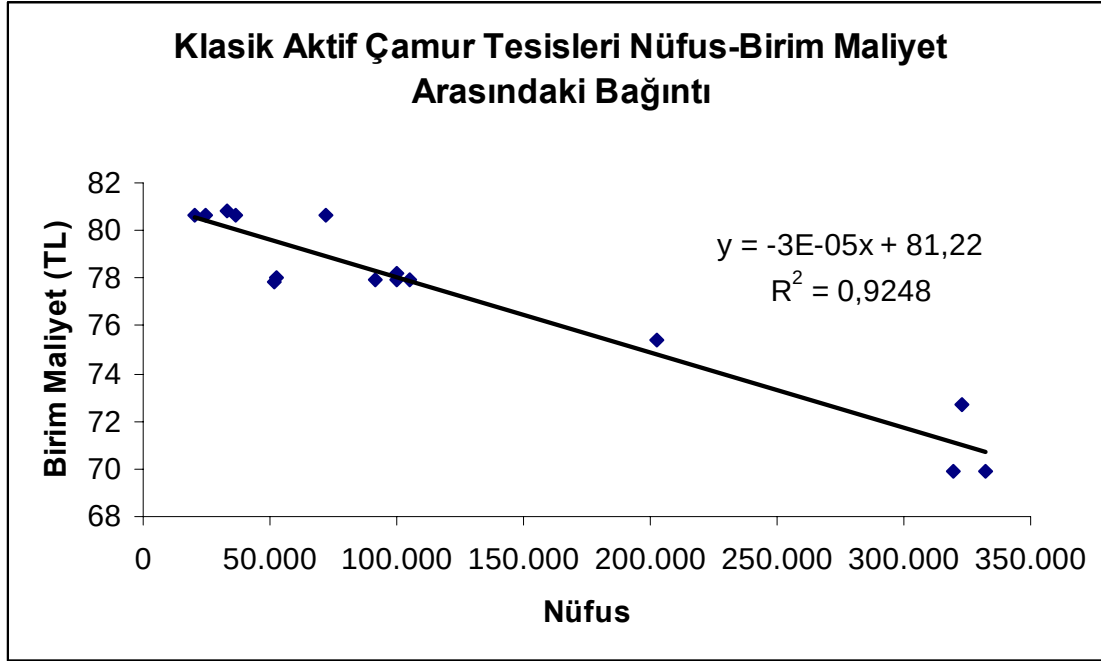
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	KAPASİTE (m ³ /gün)	KEŞİF BEDELİ (TL)
1	Eğirdir-Isparta	20.340	5.444,70	1.640.000
2	Dinar-Afyonkarahisar	24.340	9.918,00	1.964.000
3	Beyşehir-Konya	32.799	31.536,00	2.650.000
4	Burhaniye-Balıkesir	36.696	24.250,00	2.960.000
5	Karacabey-Bursa	52.016	13.800,00	4.050.000
6	Silifke-Mersin	52.961	21.000,00	4.130.000
7	Yozgat- Merkez	72.183	47.703,12	5.820.000
8	Nizip-Gaziantep	91.486	25.596,00	7.134.000
9	Altınova-Yalova	100.000	17.193,60	7.798.000
10	Niğde- Merkez	100.418	61.368,00	7.850.000
11	Karabük- Merkez	105.159	79.229,00	8.200.000
12	Çorum- Merkez	202.322	60.000,00	15.250.000
13	Elazığ- Merkez	319.381	70.850,00	22.330.000
14	Denizli-Merkez	323.151	146.000,00	23.500.000
15	Van- Merkez	331.986	103.680,00	23.200.000



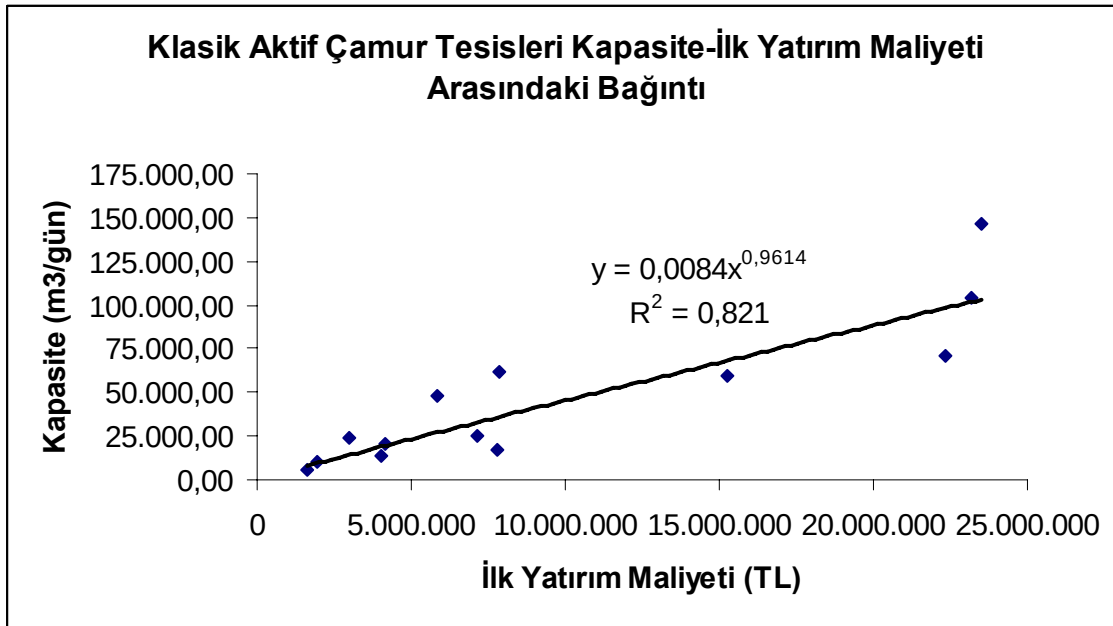
Şekil 7.11. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.12. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Kişi Başına m³ Debi-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.13. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Nüfus-Birim Maliyet İlişkisi



Şekil 7.14. Klasik Aktif Çamur Tesisleri için Kapasite-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi

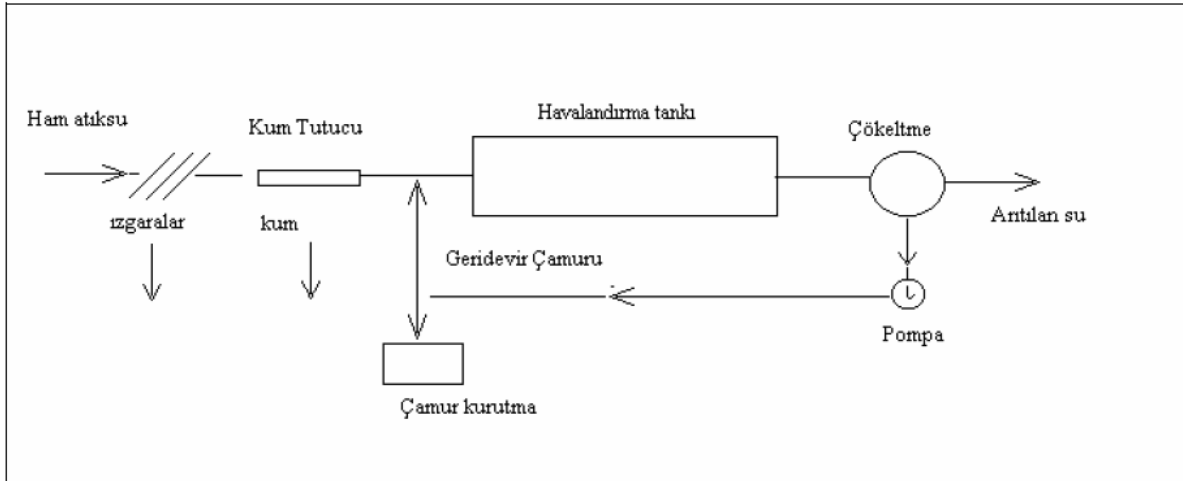
İncelenen tesisler göz önüne alındığında, nüfus arttıkça birim yatırım maliyetinin azaldığı görülmektedir. 100.000 kişi nüfusta, kişi başına klasik aktif çamur inşaat maliyeti, yaklaşık 78-80 TL arasındadır. Tesisin kapasitesi arttıkça ilk yatırım maliyeti de artmaktadır.

Ayrıca kişi başına arıtma maliyeti ile m³ başına arıtma maliyeti arasında manidar bir bağıntı vardır. Korelasyon katsayısı R² 0,930 bulunmuştur.

7.1.4. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Tesisleri

Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi, yaygın kullanımlı bir arıtma tesisidir. Bu prosesin Avrupa’da Pasveer tipi oksidasyon hendekleri ve Amerika’da paket tesisler şeklinde çeşitli uygulamaları vardır. Bu sistemde, çamur yükü çok düşük tutulduğundan mikroorganizmalar, çoğalma eğrisinde ölme fazında faaliyet gösterirler. Uzun süreli bir havalandırma uygulandığı için çamur yaşı yüksek olup daha stabil bir çamur elde edilmektedir.

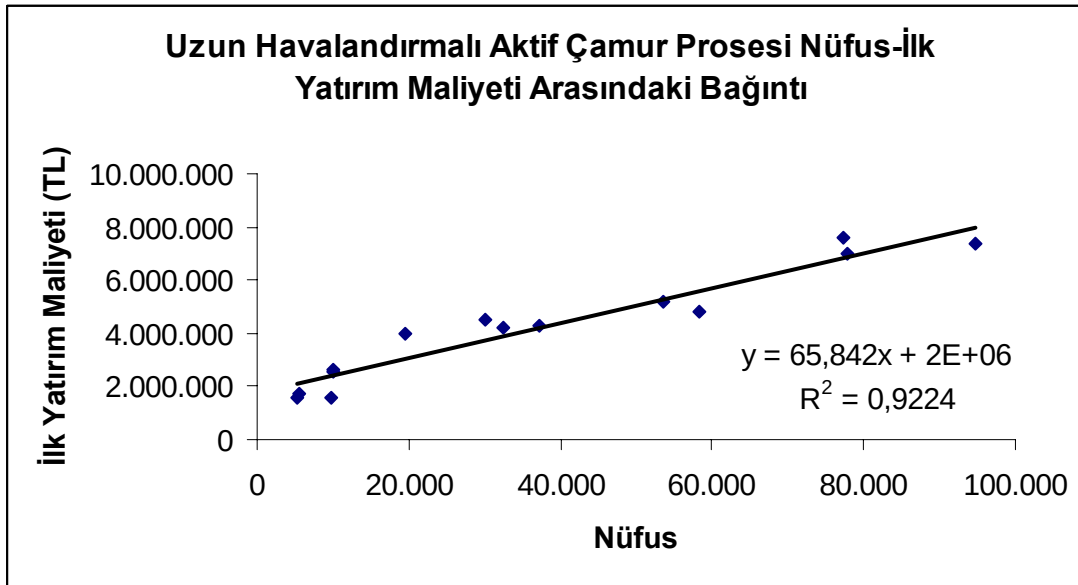
Yapılan araştırma sonucu 14 adet uzun havalandırmalı aktif çamur tesisinin bilgileri elde edilmiştir. Bu tesisler Tablo 7.4’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak nüfus-ilk yatırım maliyetleri ile arıtılan birim atıksu debisi-ilk yatırım maliyetleri arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.16, Şekil 7.17, Şekil 7.18 ve Şekil 7.19 da gösterilmiştir.



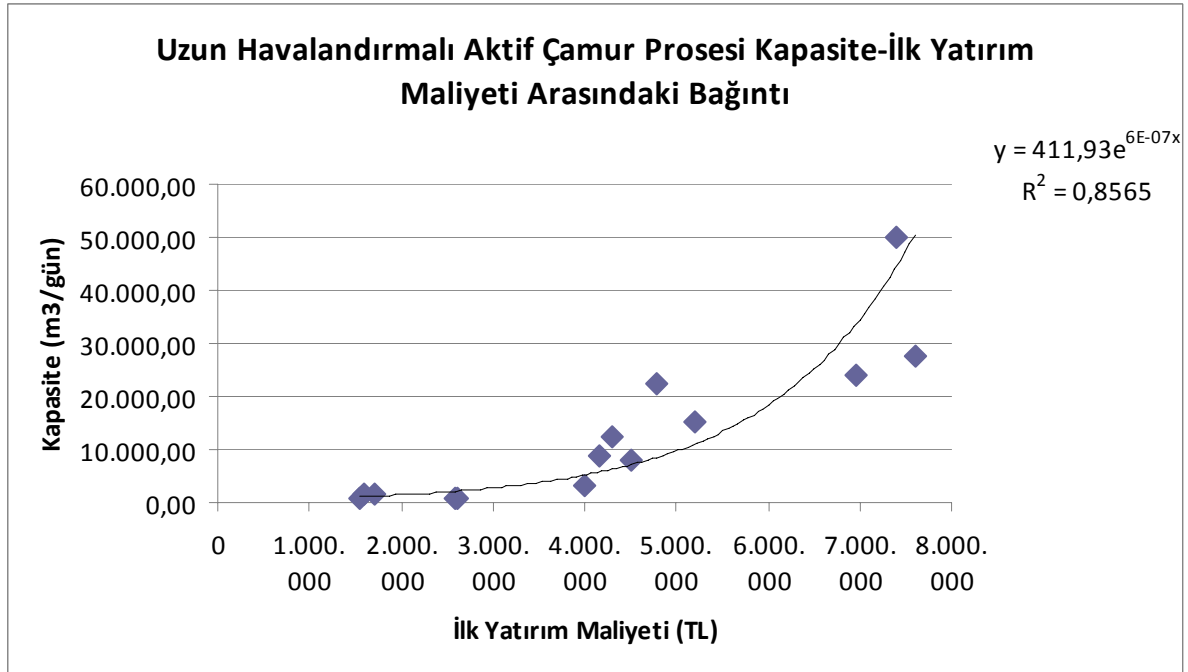
Şekil 7.15. UHAÇ Tesisleri için Akım Diagramı

Tablo 7.4. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Tesisleri

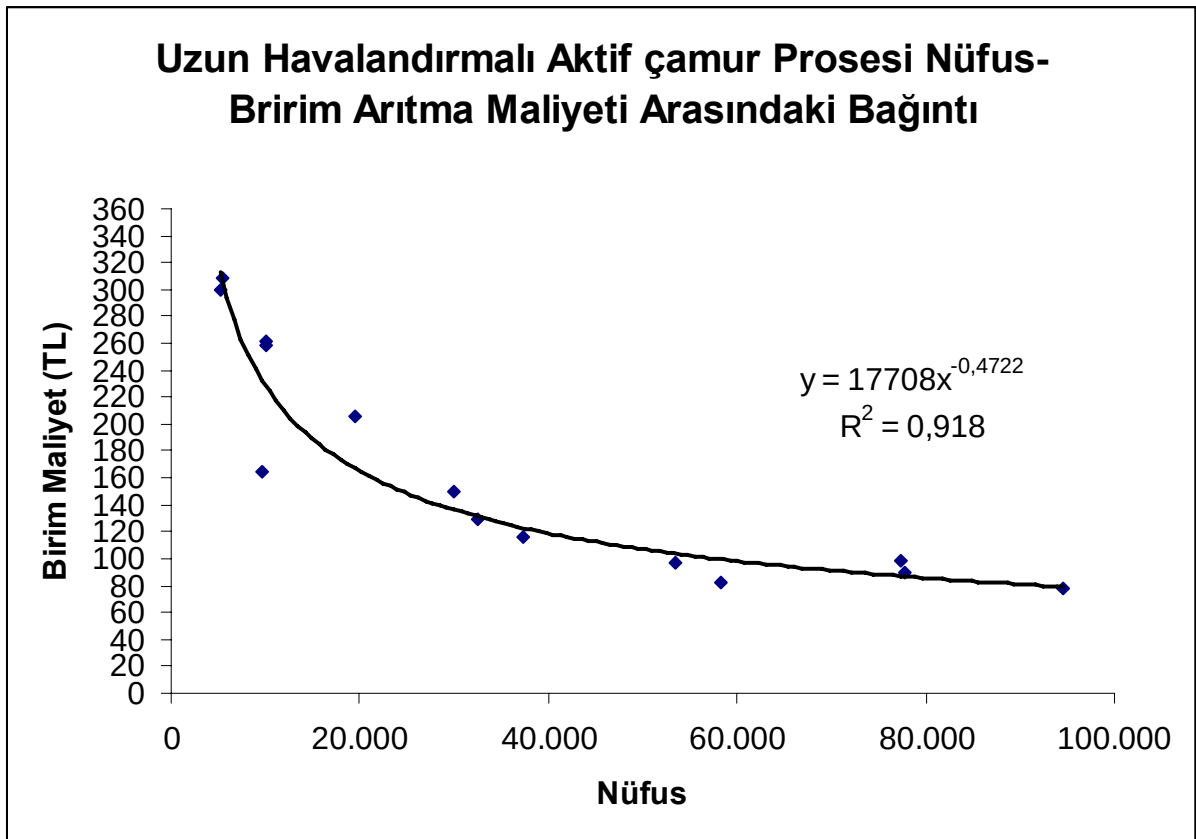
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	KAPASİTE (m ³ /gün)	KEŞİF BEDELİ (TL)
1	Selçikler-Uşak	5.160	1.000,00	1.550.000
2	Eceabat-Çanakkale	5.498	1.500,00	1.700.000
3	Uzungöl-Trabzon	9.700	1.427,00	1.600.000
4	Mumcular-Muğla	10.000	1.000,00	2.586.000
5	Karacasu-Aydın	10.000	1.000,00	2.621.000
6	Alaçam-Samsun	19.500	3.024,00	4.000.000
7	Enez-Edirne	30.000	8.117,00	4.500.000
8	Cihanbeyli-Konya	32.400	8.850,00	4.172.938
9	Suluova-Amasya	37.235	12.434,00	4.300.000
10	Çandarlı-İzmir	53.500	15.204,00	5.194.000
11	Bergama-İzmir	58.212	22.291,00	4.785.000
12	Kadirli-Osmaniye	77.379	27.540,00	7.600.000
13	Kilis-Merkez	77.706	23.926,00	6.958.000
14	Düzce-Merkez	94.637	50.000,00	7.400.000



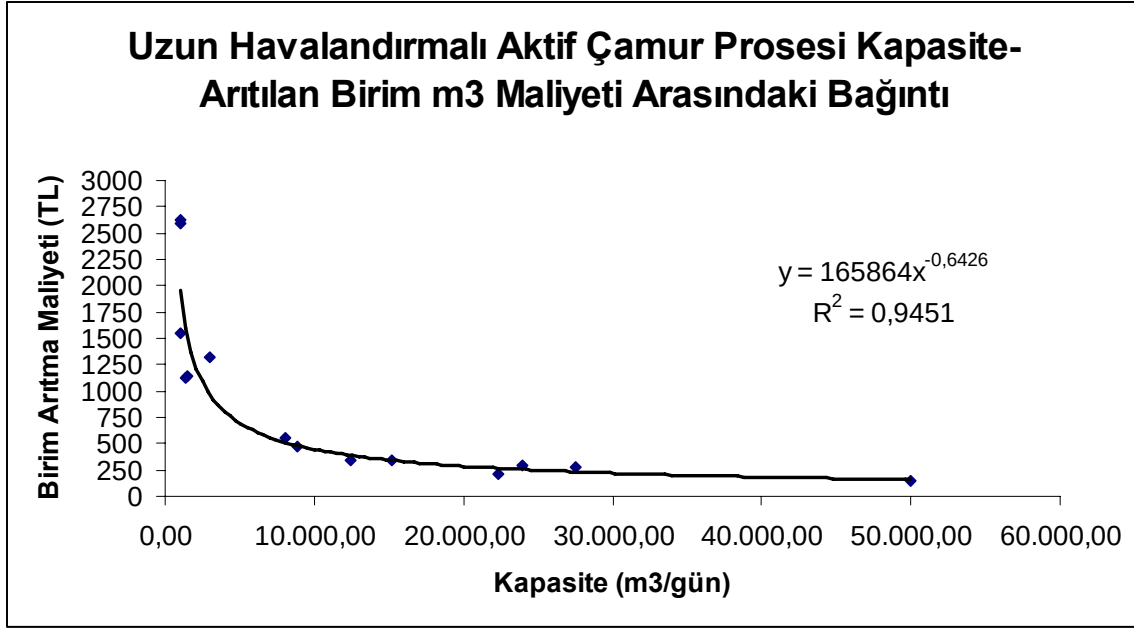
Şekil 7.16. UHAÇ Tesisleri için Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.17. UHAÇ Tesisleri için Kapasite-İlk Yatırım Maliyeti İlişkisi



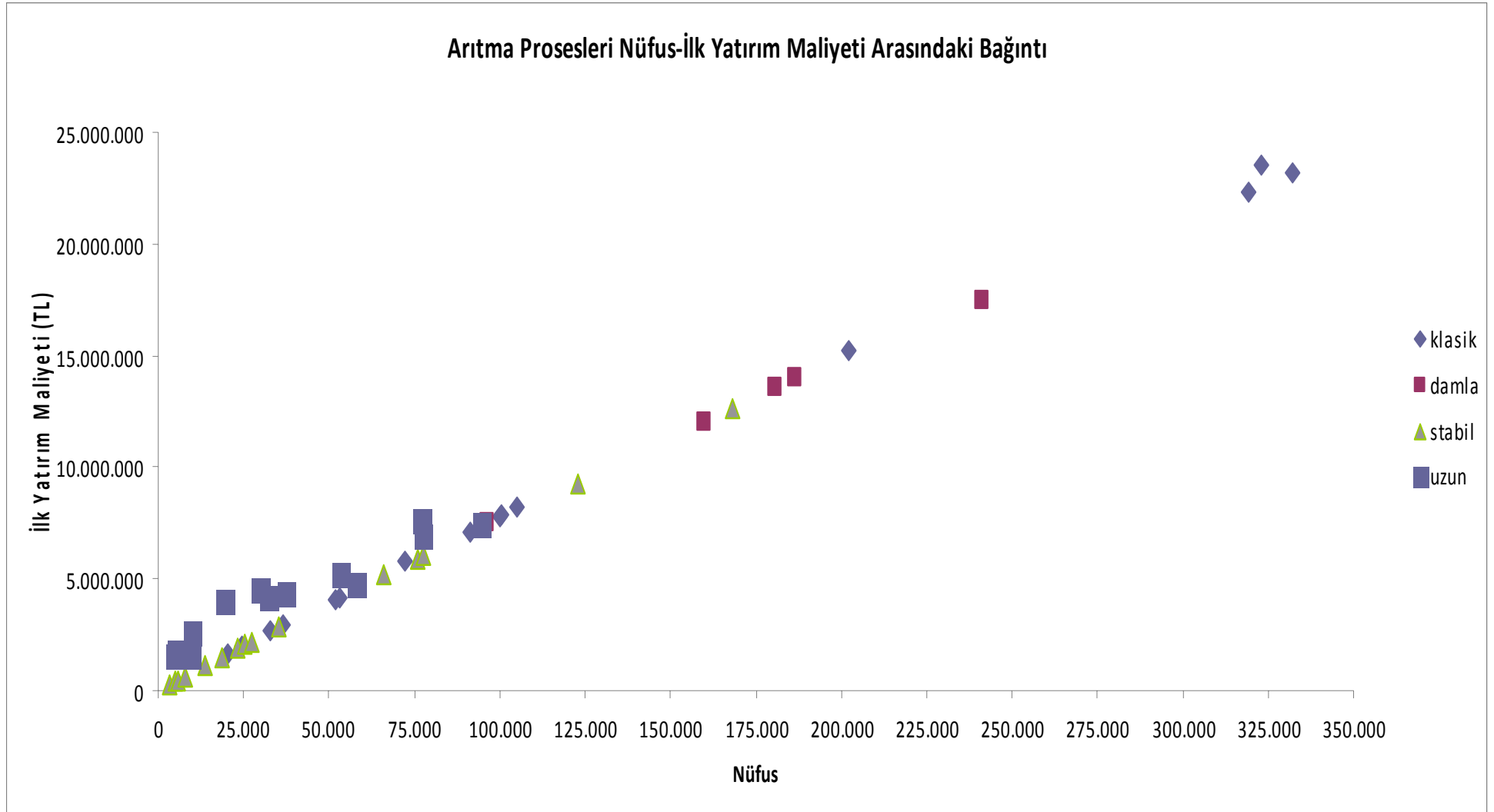
Şekil 7.18. UHAÇ Tesisleri için Nüfus-Birim Arıtma Maliyeti İlişkisi



Şekil 7.19. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Tesisleri için Kapasite-Arıtılan Birim m³ Maliyet İlişkisi

İncelenen tesisler göz önüne alındığında, nüfus arttıkça birim yatırım maliyetinin azaldığı görülmektedir. Kişi başına uzun havalandırmalı aktif çamur inşaat maliyeti, yaklaşık 75-320 TL arasındadır.

Yine incelenen uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri baz alındığında tesisin kapasitesi 20.000 m³/gün debisinden sonra arttıkça, arıtılan birim debi başına düşen yatırım maliyetinde çok büyük bir değişme olmamaktadır. 10.000 kişi nüfusun altında 150-300 TL arasında, daha yüksek nüfus değerlerinde ise 100 TL'nin altındadır. Ülkemizde son zamanlarda atıksu arıtma tesisi projelendirilmesinde en çok bu proses kullanılmaktadır. Bu nedenle bir uzun havalandırmalı aktif çamur tesisi tasarlanırken elde edilen grafiklerden yola çıkılarak nüfus ve debiye göre tahmini ilk yatırım maliyetleri değerlendirilebilir.



Şekil 7.20. Atıksu Arıtma Prosesleri Nüfus-İlk Yatırım Maliyeti Arasındaki Bağntı

7.2. İşletme Maliyetleri

Belediye sınırlarında yaşayan insanların tam bir altyapı hizmeti alabilmesi amacıyla çalışan belediyelerin, yapmış oldukları su dağıtımı ve arıtması, atıksu toplama ve arıtma yatırımlarına paralel olarak bu sistemlerin ve tesislerin standartlara uygun bir biçimde işletilmesi de gereklidir.

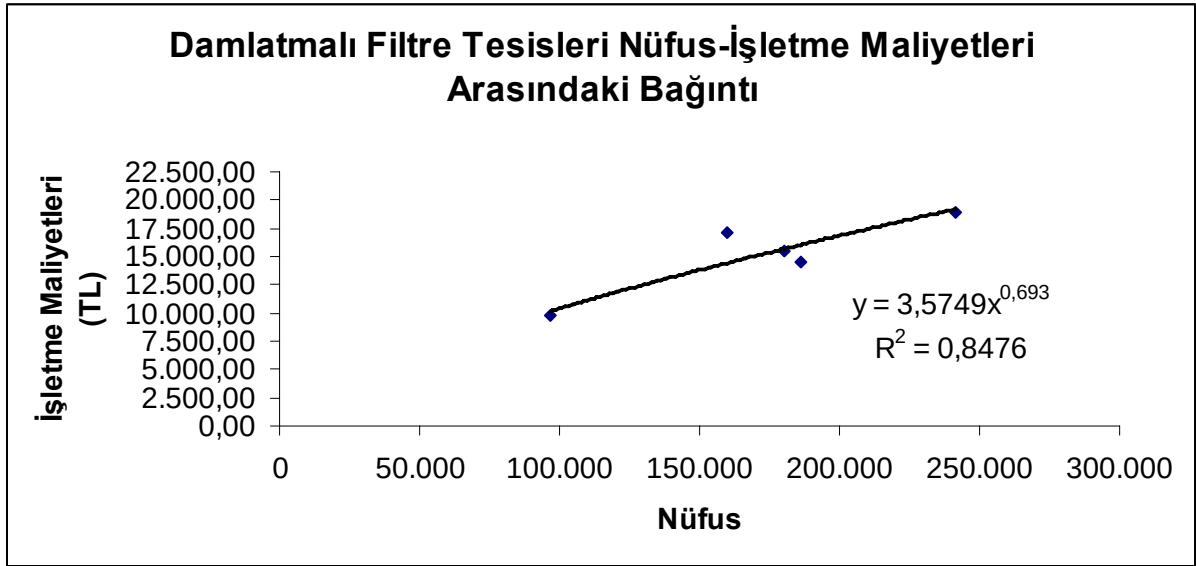
Uygun standartlarda bir işletmenin sağlanabilmesi için yeterli sayıda ve kalitede teknik personelin istihdam edilmesi, gerekli kimyasal maddelerin, enerjinin sağlanması, oluşan katı atıkların uzaklaştırılması vb. unsurların yerine getirilmesi gereklidir. Bir atıksu arıtma tesisinde en çok enerji giderleri işletme giderlerinde göz önüne alınmaktadır.

7.2.1. Damlatmalı Filtre Tesisleri

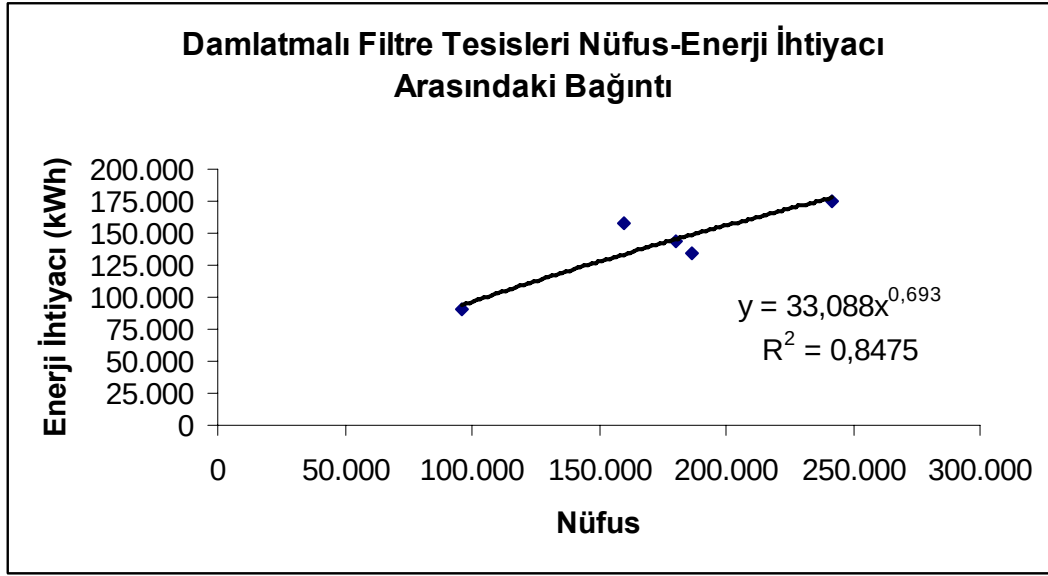
Yapılan araştırma sonucu elde edilen damlatmalı filtre tesislerine ait bilgiler Tablo 7.5’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak aylık enerji ihtiyacı-aylık enerji bedeli, nüfus-enerji bedeli ve nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de gösterilmiştir.

Tablo 7.5. Damlatmalı Filtre Tesisleri işletme değerleri

NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	AYLIK ENERJİ TÜKETİMİ (kWh)	AYLIK ENERJİ GİDERİ (TL)
1	Akhisar-Manisa	96.393	90.000	9.725,00
2	Afyonkarahisar-Merkez	159.967	158.000	17.072,00
3	Osmaniye-Merkez	180.477	143.352	15.490,00
4	Antakya-Hatay	186.243	135.000	14.587,00
5	Balıkesir-Merkez	241.404	175.000	18.910,00



Şekil 7.21. Damlatmalı filtre tesisleri nüfus-işletme bedeli arasındaki bağıntı.



Şekil 7.22. Damlatmalı filtre tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağıntı.

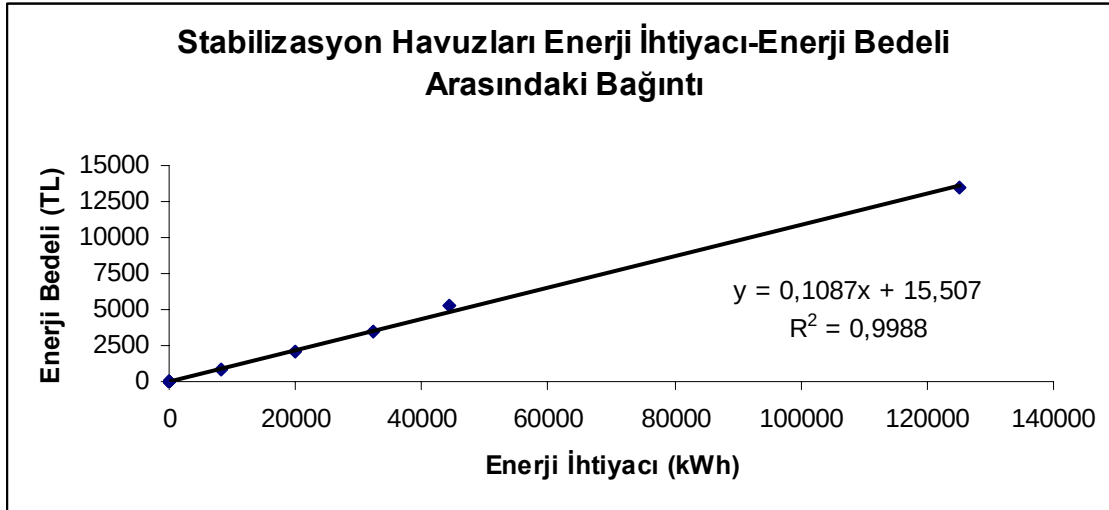
Damlatmalı filtre tesislerinde enerji ihtiyacı arttıkça aylık enerji bedelinin de birebir arttığı görülmektedir. Nüfus-enerji bedeli ve nüfus-enerji ihtiyacı arasında yapılan korelasyonlarda R^2 değeri 0.8475 olarak bulunmuştur.

7.2.2. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri

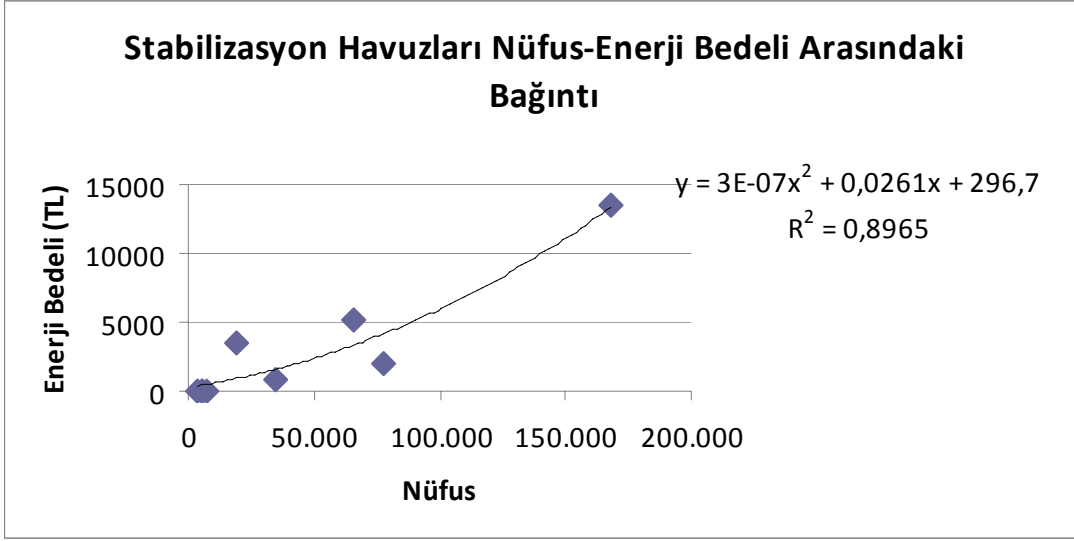
Yapılan araştırma sonucu elde edilen stabilizasyon havuzları tesislerine ait bilgiler Tablo 7.6'da gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak aylık enerji ihtiyacı-aylık enerji bedeli, nüfus-enerji bedeli ve nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.23, Şekil 7.24 ve Şekil 7.25'de gösterilmiştir.

Tablo 7.6. Stabilizasyon Havuzları Tesisleri işletme değerleri

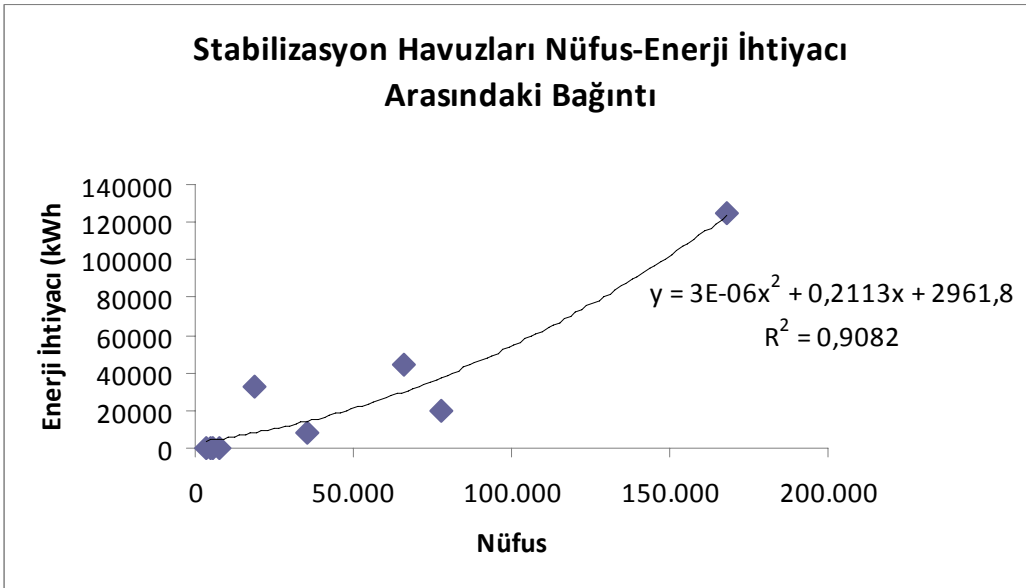
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	AYLIK ENERJİ TÜKETİMİ (kWh)	AYLIK ENERJİ GİDERİ (TL)
1	Aydın-Merkez	168.216	125.000	13.506,00
2	Söke- Aydın	66.156	44.500	5.240,00
3	Gediz-Kütahya	18.728	32.400	3.501,00
4	Çukurkuyu-Niğde	3.429	Yok	Yok
5	Hekimhan-Malatya	7.708	Yok	Yok
6	Erciş-Van	77.464	20.000	2.024,00
7	Güneysınır-Konya	5.089	Yok	Yok
8	Bor-Niğde	35.151	8.100	875,00
9	Yeniçağa-Bolu	5.796	Yok	Yok



Şekil 7.23. Stabilizasyon havuzları tesisleri enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasındaki bağıntı.



Şekil 7.24. Stabilizasyon havuzları tesisleri nüfus-enerji bedeli arasındaki bağıntı.



Şekil 7.25. Stabilizasyon havuzları tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağıntı.

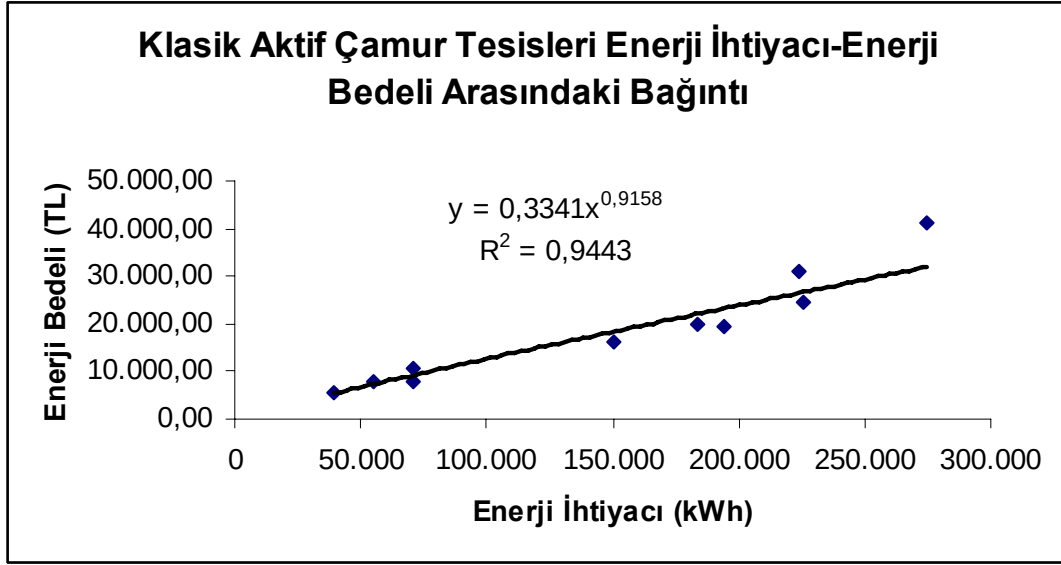
Stabilizasyon havuzları tesislerinde aylık enerji tüketimi arttıkça enerji bedeli de artmaktadır. Nüfus-enerji bedeli arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.8967, nüfus-enerji ihtiyacı arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.9178 olarak bulunmuştur.

7.2.3. Klasik Aktif Çamur Tesisleri

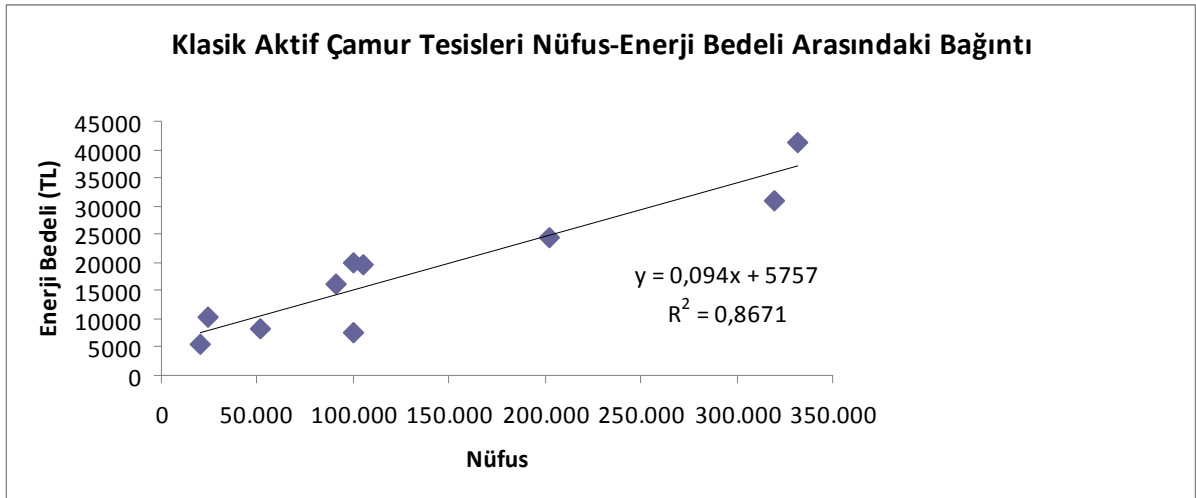
Yapılan araştırma sonucu elde edilen klasik aktif çamur tesislerine ait bilgiler Tablo 7.7’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak aylık enerji ihtiyacı-aylık enerji bedeli, nüfus-enerji bedeli ve nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.26, Şekil 7.27 ve Şekil 7.28’da gösterilmiştir.

Tablo 7.7. Klasik Aktif Çamur Tesisleri işletme değerleri

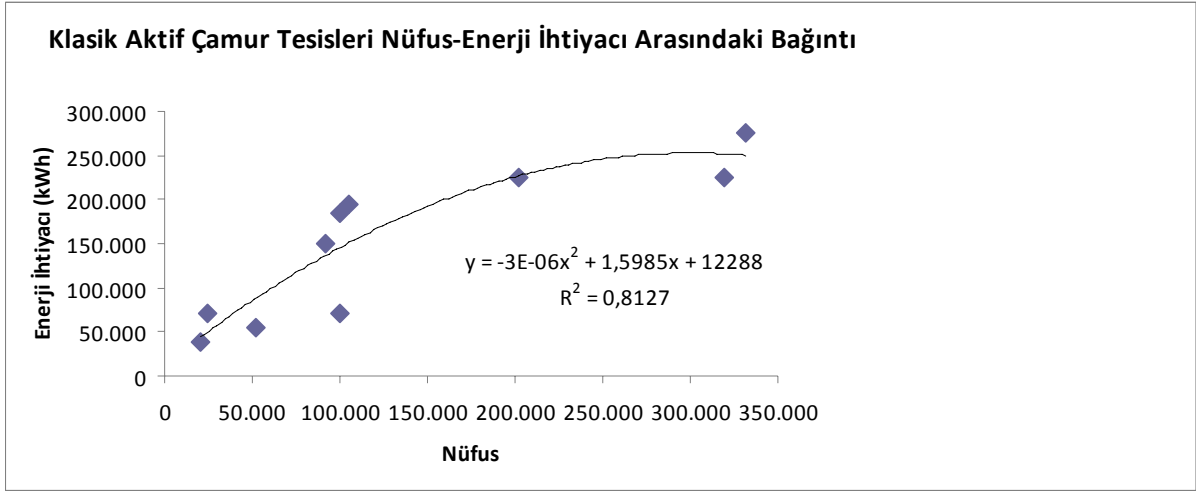
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	AYLIK ENERJİ TÜKETİMİ (kWh)	AYLIK ENERJİ GİDERİ (TL)
1	Dinar-Afyonkarahisar	24.340	70.585	10.468,00
2	Eğirdir-Isparta	20.340	39.219	5.637,00
3	Niğde- Merkez	100.418	183.600	19.838
4	Nizip-Gaziantep	91.486	150.000	16.218,00
5	Elazığ- Merkez	319.381	224.000	30.918,00
6	Van- Merkez	331.986	275.000	41.250,00
7	Karabük- Merkez	105.159	194.400	19.673,00
8	Altınova-Yalova	100.000	71.280	7.702,00
9	Karacabey-Bursa	52.016	55.476	8.100,00
10	Çorum- Merkez	202.322	226.000	24.419,00



Şekil 7.26. Klasik aktif çamur tesisleri enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasındaki bağıntı.



Şekil 7.27. Klasik aktif çamur tesisleri nüfus-enerji bedeli arasındaki bağıntı.



Şekil 7.28. Klasik aktif çamur tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağıntı.

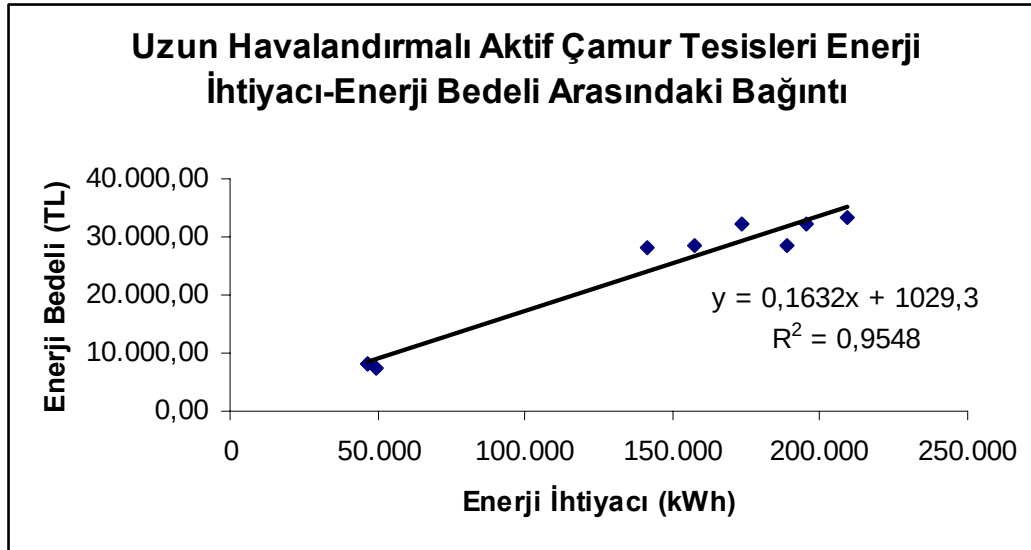
Klasik aktif çamur tesislerinde enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.9037, nüfus-enerji bedeli arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.8673 ve nüfus-enerji ihtiyacı arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.8127 olarak bulunmuştur.

7.2.4. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Tesisleri

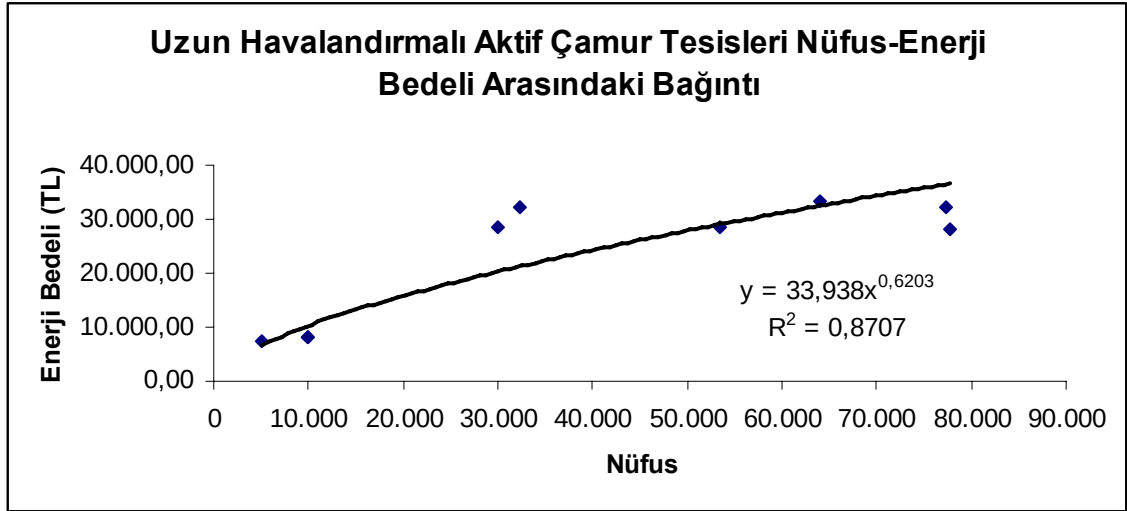
Yapılan araştırma sonucu elde edilen uzun havalandırmalı aktif çamur tesislerine ait bilgiler Tablo 7.8’de gösterilmektedir. Bu değerler kullanılarak aylık enerji ihtiyacı-aylık enerji bedeli, nüfus-enerji bedeli ve nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve Şekil 7.29, Şekil 7.30 ve Şekil 7.31’de gösterilmiştir.

Tablo 7.8. Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Tesisleri işletme değerleri

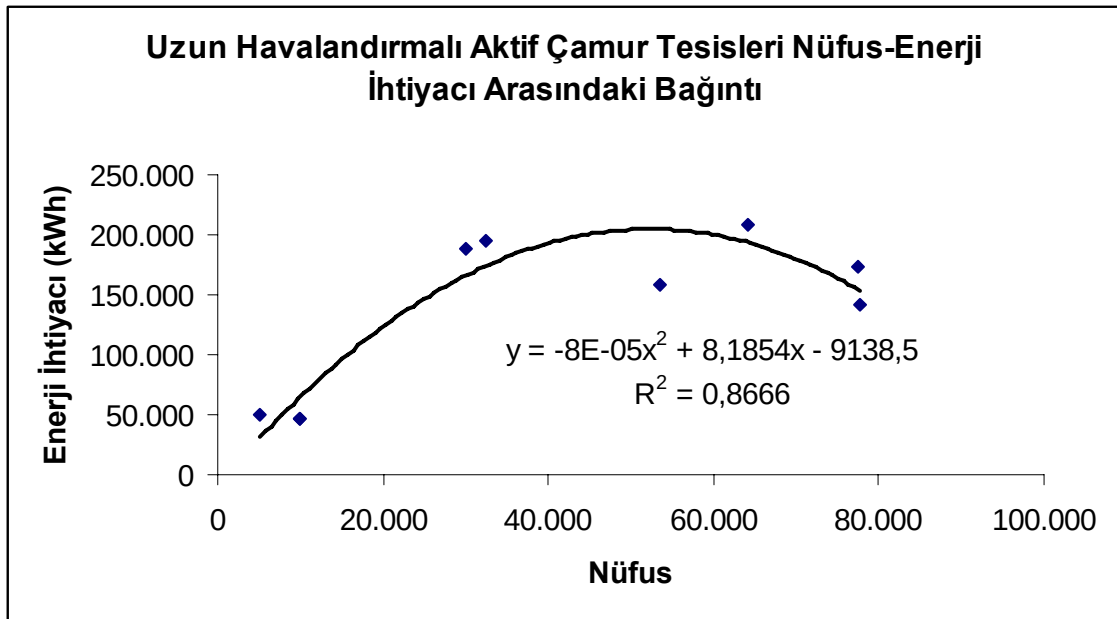
NO	TESİS ADI	NÜFUS (kişi)	AYLIK ENERJİ TÜKETİMİ (kWh)	AYLIK ENERJİ GİDERİ (TL)
1	Cihanbeyli-Konya	32.400	195.600	32.040,00
2	Enez-Edirne	30.000	189.136	28.370,00
3	Çandarlı-İzmir	53.500	157.696	28.400,00
4	Beypazarı-Ankara	64.100	209.099	33.455,00
5	Karacasu-Aydın	10.000	46.350	8.250,00
6	Mumcular-Muğla	10.000	46.350	8.250,00
7	Selçikler-Uşak	5.160	49.470	7.420,50
8	Kadirli-Osmaniye	77.379	173.200	32.040,00
9	Kilis-Merkez	77.706	141.392	28.278,00



Şekil 7.29. Uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasındaki bağntı.

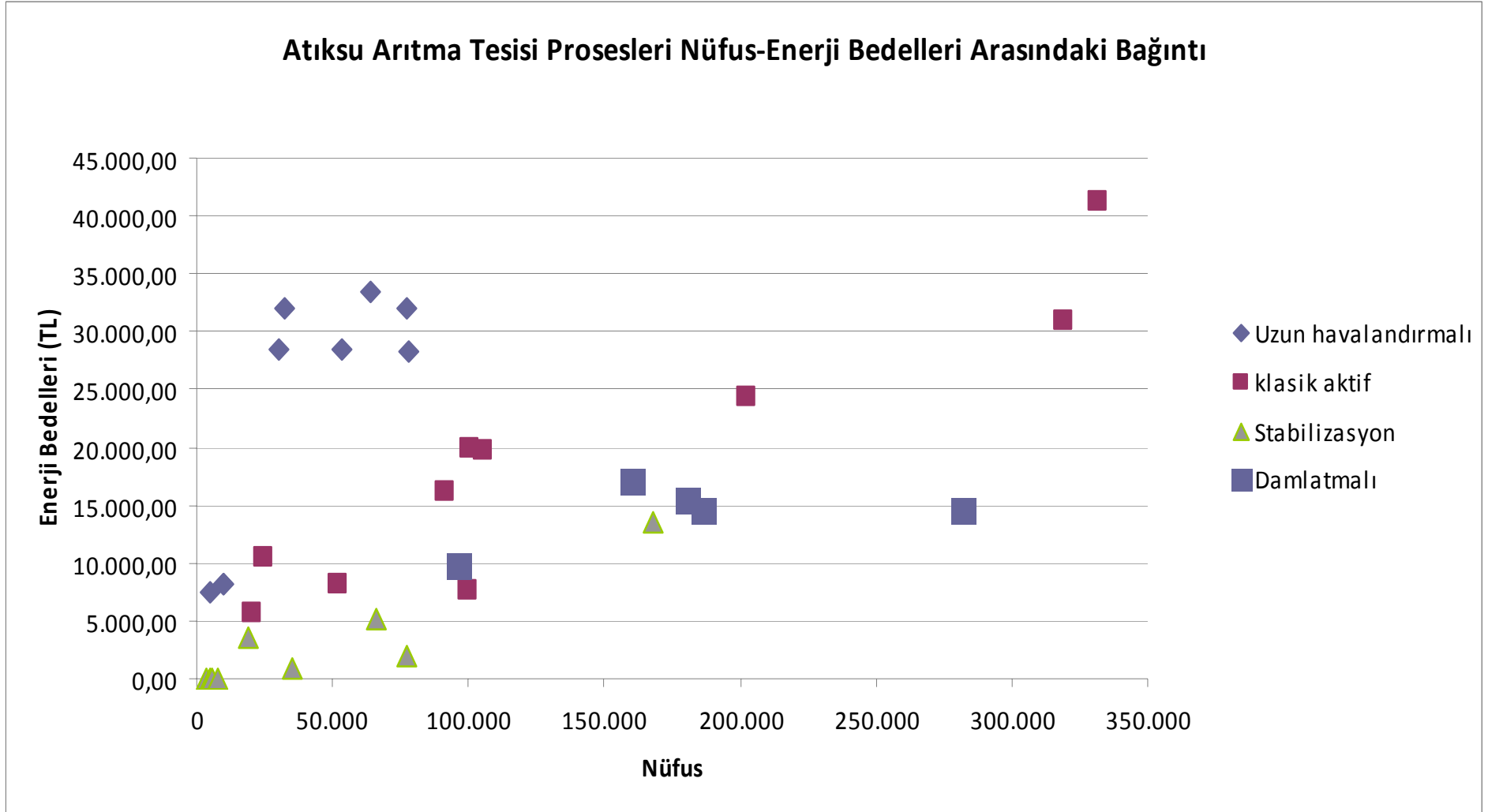


Şekil 7.30. Uzun havalandırılmalı aktif çamur tesisleri nüfus-enerji bedeli arasındaki bağntı.



Şekil 7.31. Uzun havalandırılmalı aktif çamur tesisleri nüfus-enerji ihtiyacı arasındaki bağntı.

Uzun havalandırılmalı aktif çamur tesislerinde enerji ihtiyacı-enerji bedeli arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.954, nüfus-enerji bedeli arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.926 ve nüfus-enerji ihtiyacı arasında yapılan korelasyonda R^2 değeri 0.866 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.32. Atıksu Arıtma Prosesleri Nüfus-Enerji Bedelleri Arasındaki İlişki

Yapılan değerlendirme neticesinde, nüfus ve yatırım maliyetleri arasında, kapasite ve yatırım maliyetlerine göre daha doğrusal bir bağıntının olduğu görülmektedir. Elde edilen damlatmalı filtre tesislerinin nüfus bilgileri 100.000-250.000 kişi arasında, stabilizasyon havuzu tesisleri 3.000-170.000 kişi arasında, klasik aktif çamur tesisleri 20.000-350.000 kişi arasında ve uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri 5.000-100.000 kişi arasında değişmektedir. Nüfus bağıntıları doğrusal bir şekilde değişirken debi bağıntıları çok değişkendir. Bunun nedeni ise tasarım aşamasında kabul edilen su tüketim değerleri, bölgenin turistik bir öneme sahip olup olmaması, yazlık-kışık debi değişimleri gibi nedenlerdir.

100.000 kişi nüfusa kadar uzun havalandırmalı aktif çamur tesislerinin en pahalı enerji bedeline sahip olduğu görülmektedir. Stabilizasyon havuzları eğer havalandırmalı tipte değilse hiç enerji ihtiyaı ve enerji bedeli gerektirmezler. Bu tesislerde sadece personel gideri işletme gideri olarak değerlendirilebilir. Havalandırmalı stabilizasyon havuzlarında ise enerji bedeli çok yüksek olmamakla beraber işletme maliyetlerinde dikkate alınması gereken bir unsurdur. Klasik aktif çamur tesisleri enerji bedelleri 100.000 kişi nüfusa kadar düşük ve ekonomik olarak görülse de daha yüksek nüfuslarda, bu tesislerdeki havasız çamur stabilizasyonu nedeniyle enerji bedelleri artmaktadır. Damlatmalı filtre tesisleri incelenen tesisler dikkate alındığında enerji bedeli olarak ekonomik olan proseslerden biri gözükmektedir.

Tüm prosesler değerlendirildiğinde işletme kolaylığı ve maliyeti açısından en ekonomik olan proses stabilizasyon havuzlarıdır. Alıı ortam özellikleri ve deşarj standartları göz önüne alındığında 100.000 kişi nüfusa kadar uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri pahalı olarak gözükse de en verimli arıtma yüzdesine sahip olması ve klasik aktif çamur tesislerine ve damlatmalı filtre tesislerine göre işletme ve avantajlarının olması bu prosesi daha cazip kılmaktadır.

8. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

1- Türkiye'deki Belediyelerin çoğunluğunun nüfusu 2.000-100.000 arasında değişmektedir.

2- Belediyelerin yeteri kadar mali gücü olmadığından atıksu arıtma tesislerine gerekli finansman ayırlanamamaktadır.

3- Kişi başına düşen atıksu arıtma maliyetleri nüfus arasındaki bağıntılar araştırılmış ve matematik bağıntılar elde edilmiştir. Korelasyon katsayısı değerleri damlatmalı filtre için nüfus-birim maliyet arasında $R^2=0,9301$, stabilizasyon havuzları için nüfus-birim maliyet arasında $R^2=0,9276$, klasik aktif çamur için nüfus-birim maliyet arasında $R^2=0,9248$ ve uzun havalandırılmalı aktif çamur için nüfus-birim maliyet arasında $R^2=0,918$ olarak bulunmuştur.

4- Basit olmaları ve işletme kolaylığı sebebiyle atıksu arıtımında en basit arıtma sistemi stabilizasyon havuzlarıdır. Sistem ekipmansız çalışacağından dolayı, biyolojik aktivite yavaş işler. Bu nedenle uzun kalma zamanına ve dolayısı ile geniş arazilere ihtiyaç duyulmaktadır. İklim ve havuzun doğal şartları biyolojik aktiviteyi etkiler. Bu nedenle, arazinin bol ve ucuz, iklim şartlarının uygun olması stabilizasyon havuzlarının kullanımını artırır. Stabilizasyon havuzları, reaksiyon kinetikleri ve akım şekilleri yönünden reaktörlere benzemektedir. Arıtım verimi, BOİ giderimi ile birlikte mikroorganizma ve besin maddeleri (N ve P) arıtımında da istenilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Ancak bu tesislerin arıtma verimi % 80-85 arasındadır.

5- Yukarıda bahsedilen arıtma sistemleri karşılaştırıldığında, Klasik Aktif Çamur ile Uzun Havalandırılmalı aktif çamur arasında arıtma verimi yönünden fazlaca bir farktan söz etmek mümkün olmamakla beraber Klasik Aktif Çamur sistemine göre Uzun Havalandırılmalı aktif çamur sisteminin BOİ giderim kapasitesi daha yüksektir. Uzun Havalandırılmalı aktif çamur sisteminde % 97-98 mertebesinde BOİ giderilebilir. Klasik Aktif Çamur tesislerinin verimi % 90-95 arasındadır. Uzun havalandırılmalı sistemde ön çökeltme olmaması ve çamur probleminin nispeten daha az olması Klasik Aktif çamur tesis tipine üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca havalandırma havuzunun giriş bölmesi anoksik olarak çalıştırmak yoluyla nitruentlerin

kontrolü de sağlanabilmektedir. Uzun havalandırmalı arıtma sistemleri, atıksuyun havalandırma havuzlarında kalış süresinin uzun olması sebebiyle şok yüklere karşı oldukça dayanıklıdır. Eğer atıksu üçüncü derece arıtmadan sonra tekrar kullanılacaksa, bu proses tercih edilmelidir.

6- Damlatmalı filtreler ise prosesinin oldukça basit olması sebebiyle son derece zayıf sistemlerdir. Verimleri, Klasik Aktif Çamur ve Uzun Havalandırmalı sistemlerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Maksimum verimleri %70-80'ler civarındadır. Buna karşılık son çökeltme havuzlarında ve çamur prosesinde işletme problemi söz konusudur. (Çamur çökmeme, çıkış suyunda askıda katı madde fazlalığı ve çamur çürütücülerin yeterli verimde çalıştırılmaması gibi).

7- İncelenen proses tiplerindeki tesislerin nüfusları çok değişkendir. Damlatmalı filtre tesislerinin nüfusları 95.000-250.000 kişi arasında (5 tesis), stabilizasyon havuzu tesisleri 3.000-170.000 kişi arasında (15 tesis), klasik aktif çamur tesisleri 20.000-330.000 kişi arasında (15 tesis) ve uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri ise 5.000-100.000 kişi arasında (14 tesis) değişmektedir.

8- Genel bir yaklaşım olarak incelenen tesisler baz alındığında kişi başına ülkemizdeki maliyetler damlatmalı filtre tesisleri için 72-80 TL/kişi, stabilizasyon havuzları için 75-81 TL/kişi, klasik aktif çamur için 70-82 TL/kişi ve uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri için 80-315 TL/kişi dir.

9- Klasik aktif çamur ve uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri, 100.000 kişiye kadar birbirlerine çok yakın olmalarına rağmen, 100.000 kişiden sonra uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin yatırım bedeli, klasik aktif çamur sisteminde anaerobik çamur stabilizasyonu yapılması nedeniyle klasik aktif çamur sisteminden daha ucuz olmaktadır. Anaerobik çamur stabilizasyonu klasik aktif çamur sisteminde elektrik ve mekanik ekipman yatırım maliyetini de arttırmaktadır.

10- Uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminin kişi başına ilk yatırım maliyeti nüfus azaldıkça diğer proseslere oranla daha çok artmaktadır.

11- Arıtılan birim debi başına arıtma maliyetleri tesis kapasitesi arttıkça azalmaktadır. Damlatmalı filtre tesislerinde debi-yatırım maliyetleri 200-800 TL arasında, stabilizasyon havuzlarında 76-82 TL arasında, uzun havalandırmalı aktif çamurda 75-325 TL arasında değişmektedir.

12- Nüfus arttıkça yatırım maliyetlerinin bire bir artmadığı bir gerçektir. Nüfusun üç kat artması durumunda yatırım maliyetleri yaklaşık iki kat, nüfusun altı kat artması durumunda ise yatırım maliyetlerindeki artış yaklaşık dört kat olmaktadır.

13- Tüm prosesler değerlendirildiğinde işletme kolaylığı ve maliyeti açısından en ekonomik olan proses stabilizasyon havuzlarıdır. Alıcı ortam özellikleri ve deşarj standartları göz önüne alındığında 100.000 kişi nüfusa kadar uzun havalandırmalı aktif çamur tesisleri pahalı olarak gözüксе de en verimli arıtma yüzdesine sahip olması ve klasik aktif çamur tesislerine ve damlatmalı filtre tesislerine göre işletme avantajlarının olması bu prosesi daha cazip kılmaktadır.

14- Görüldüğü üzere tüm prosesler için kişi başına arıtma maliyetleri 70-315 TL değerleri arasında değişmektedir. Türkiye atıksu yönetimi açısından beş değişik bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge Akdeniz ve Ege kıyıları, ikinci bölge Akdeniz ve Ege Bölgelerinin iç kesimleri ile Marmara Bölgesinin Trakya kısmı, üçüncü bölge Karadeniz kıyıları, dördüncü bölge İç Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri ve beşinci bölge Doğu Anadolu Bölgesidir. Proje tasarım aşamasında iken bölgelerle ilgili nüfus, alıcı ortam özellikleri, deşarj standartları, arazi fiyatları, işletme parametreleri, jeolojik ve topoğrafik faktörlerin her biri dikkate alınmalıdır. Hassas alanlar tebliğine göre alıcı ortam deşarj standartları değişmektedir. Bu nedenle proje yapılması planlanan bölgenin az hassas, hassas ve normal bölge olmasına göre proses tipi belirlenmelidir.

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

9.KAYNAKLAR

- 1- CHEN, H.W., CHANG, N.B., 2002. A comparative analysis of methods to represent uncertainty in estimating the cost of constructing wastewater treatment plants. Journal of Environmental Management, 65,4,383-409.
- 2- METCALF and EDDY, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse. McGraw-Hill _nc., 3rd. Edition.
- 3- MUSLU, Y., 1994. Atıksuların Arıtılması. İ.T.Ü Matbaası, İstanbul, 754s.
- 4- SPERLING, M.V., 1996. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. Water Science and Technology, 33,3,59-72.
- 5- TUNA, M., 1995. Atıksu Arıtma Tesisleri Maliyet İndeksi ve Debi – Maliyet İlişkileri. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 6- EROĞLU, V., 2002. Atıksuların Tasfiyesi, Su Vakfı Yayınları.
- 7- TOPACIK, D., 2000. Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El Kitabı, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi İski Genel Müdürlüğü.
- 8- ERDOĞAN, A. O., (2004). Türkiye’de optimum maliyete dayalı atıksu arıtma tesisi tasarımı, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- 9- DÖLGEN, D., (2004). Ülkemizdeki kentsel atıksu arıtma tesisleri ve maliyetleri üzerine bir araştırma. Kentsel Atıksuların Arıtılması Sorunları ve Çözüm Önerileri Sempozyumu Kitabı 117-127. İzmit Büyükşehir Belediyesi, Çevre Mühendisleri Odası İzmit Şb. 2004 İzmit.
- 10- DULKADİROĞLU, H., YÜCEER, A., “Aktif Çamur Atıksu Arıtma Tesislerinde Maliyet Analizi”, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi,11(1):33-42 (2001).

- 11- ARCEİVALA, S., J, “Wastewater Treatment for Pollution Control”, Çeviri Editörleri Balman A. H., Balman V., Tata Mc Graw-Hill Publishing Company New Delhi, 14-17,117-190 (2002)
- 12- SYED. R.QASIM, 1999, Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication.
- 13- KARPUZCU M.(2005) Su Temini ve Çevre Sağlığı, Kubbealtı Neşriyat, İstanbul
- 14- http://www.biokim-aritma.com/Evsel_Nitelikli_Atiksularin_Aritim_Yontemleri.pdf, Evsel Nitelikli Atık Suların Arıtma Yöntemleri, 25 Nisan 2008.
- 15- USLU, O. VE TÜRKMEN, A., Su Kirliliği ve Kontrolü-Water Pollution and Control, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlan Eğitim Dizisi, Ankara, 1987.
- 16- TÜNAY, O., MERİÇ, S. 2000. Atıksuların Karakterizasyonu. Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El Kitabı, s.30-38.
- 17- ULUTAŞ, Ş. 1998. Küçük Yerleşimler İçin Uygun Atıksu Arıtma Sistemlerinin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 18- LAAK, R. 1986. Waste Water Engineering Design for Unsewered Areas, Technomic Publishing Co. Inc., Lanchester.
- 19- YILDIRIMER, A. K., Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Debi-Maliyet İlişkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
- 20- TOLTAR, A. Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Maliyetlerine Etki Eden Faktörler ve Aralarındaki Bağantıların Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006.

21- 27271 Sayılı Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği, 2009, Çevre ve Orman Bakanlığı.

22- 27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, Çevre ve Orman Bakanlığı.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Kırıkkale Keskin' de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2002 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen İller Bankası Genel Müdürlüğü Proje Geliştirme Dairesi Başkanlığında görevine devam etmektedir.