

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT ARITMA TESİSLERİNDE UYGUN
MODİFİKASYONLARLA AZOT VE FOSFOR ARITIMININ
İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

ARAS GEZER GÖRGEÇ
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT ARITMA TESİSLERİNDE UYGUN
MODİFİKASYONLARLA AZOT VE
FOSFOR ARITIMININ İNCELENMESİ VE
MODELLENMESİ

ARAS GEZER GÖRGEÇ
DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER

GEBZE
2017

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**ANALYSING AND MODELING OF
NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL
AT EXISTING WASTEWATER
TREATMENT PLANT**

ARAS GEZER GÖRGEÇ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF PHILOSOPHY**
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER

GEBZE
2017



GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21.06.2017 tarih ve 2017/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 07.07.2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Aras GEZER GÖRGEÇ'in tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof.Dr.Bülent KESKİNLER

ÜYE

:Prof.Dr.Emine UBAY ÇOKGÖR

ÜYE

:Prof.Dr.Ahmet KARAGÜNDÜZ

ÜYE

:Prof.Dr. Nihal BEKTAŞ

ÜYE

:Doç.Dr.Mahir İNCE

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Tez çalışmasında, nihai kapasitesi 1.400.000 E.N. olan ve N ve P artımının yapıldığı Batı Antalya Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin prosesi incelenerek mevcut işletme koşulları ve atıksu karakteristiği incelenmiştir. Çalışma kapsamında tesis için farklı işletme senaryoları oluşturularak, her bir işletme senaryosunun N ve P deşarj değerleri başta olmak üzere tüm deşarj parametrelerine olan etkileri değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında aynı zamanda, tesisinin atık çamur ve biyogaz üretim potansiyelleri farklı işletme senaryoları oluşturularak karşılaştırılmış ve proses performansları değerlendirilmiştir. Kuru madde bazında çürütülmemiş ham çamurun enerji içeriği 16,33 MJ (3.900 kcal/kg), biyolojik çamurun enerji içeriği 13.21 MJ (3.155 kcal/kg) olarak bulunmuştur. Arıtma tesisinin yıllık veriler kullanılarak atık çamurdan ısı ve elektrik enerji üretimleri hesaplanmıştır.

Bunlara ek olarak, parçalanma, anaerobik çürütme ve yakma prosesleri ilave edilmesi durumunda sistemin enerji dengeleri değerlendirilmiştir. Biyogazdan ve atık çamurun yakılmasından elde edilen ısı enerjisinin enerji potansiyelleri sistemin simülasyon çalışmaları sonucu elde edilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Enerji verimlilik hesaplamaları yapılırken aynı zamanda çamur çürütme tesisinin farklı modifikasyonlarda işletilmesi ve termal hidroliz sistemi gibi ileri çamur bertaraf proseslerinin sisteme ilave edilmesi durumunda geri akım yüklerindeki N ve P miktarlarının deşarj kalitesi üzerindeki etkileri çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: N ve P artım verimliliğinin arttırılması, N ve P geri akım yükleri, Modelleme, Çamur kütle ve enerji dengeleri, Gerçek atıksu arıtma tesisi.

SUMMARY

In this thesis study, existing operating conditions and wastewater characterization of West Antalya Biological Wastewater Treatment Plant with the capacity of 1.400.000. E.N. and N and P removal system have been examined. In this context, different operating scenarios have been constituted and the effects of modified scenarios on effluent quality parameters especially N and P has been evaluated.

In this study, the process performance in terms of effluent quality, the sludge production and the biogas potential was simulated and compared with the data of real wastewater treatment plant. The energy content of undigested primary and biological sludge were measured to be 16,33 MJ/kg (3.900 kcal/kg) and 13,21 MJ/kg (3.155 kcal/kg) of sludge on dry basis. The thermal and electrical energy production generated from sludge was examined by using annual data.

In addition, the energy balance in the system was evaluated by incorporation of additional sludge disintegration, anaerobic digestion and sludge incineration processes. The energy generation through biogas production and heat recovery from incineration was thoroughly evaluated in combination with simulation based on process analysis. During the energy efficiency calculation; in case of the different modified operations and addition of the advanced sludge removal processes like thermal hydrolysis system to existing system, the effect of N and P content of the reject steams on discharge quality has been studied.

Key Words: Increasing of N and P removal efficiencies, N and P content of rejects steams, Modeling, Sludge mass and energy balance, Real wastewater treatment plant.

TEŞEKKÜR

Başta, yksek lisans ve doktora eğitimim sırasında bilgisi ve deneyimi ile çalıŐmalarına daima yol gsterici olan danıŐmanım Prof. Dr. Bkrent KESKİNLER'e,

Btkn çalıŐmam boyunca yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrbbelerini her zaman benimle paylaŐan değerli hocam Gklk İNSEL'e,

Her koŐulda tm kalbiyle yanımda olan sevgili eŐim Bahadır GÖRGEÇ'e,

ve hayatımın her dkneminde tm sevgisini ve olanaklarını esirgemedен koŐulsuz destek veren sevgili babam Ehliman GEZER'e ve tm aileme en içten Őkranlarımı ve teŐekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. ATIKSU MODELLEME	5
2.1. Aktif Çamur Modeli	5
2.2. Aktif Çamur Modellerinin Matris İle Gösterimi	6
3. BATI ANTALYA (HURMA) ATIKSU TESİSİ	11
3.1. Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin Mevcut Durumu	11
3.1.1. Ön Arıtma	12
3.1.2. Aktif Çamur Sistemi	15
3.1.3. Çamur Bertaraf Üniteleri	18
3.1.4. Derin Deniz Deşarjı	21
3.2. Mevcut Tesisin Atıksu Karakteristiğinin İncelenmesi	22
4. TESİSİN SİSTEM PERFORMANSININ İNCELENMESİ	25
4.1. Tesisin Kütle Denkliği	25
4.2. Aktif Çamur Proses Performansı	26
4.2.1. Genel Proses Performansı	26
4.2.2. Aktif Çamurun Mikrobiyolojik İncelemesi	30
4.3. Anaerobik Çamur Çürütme Performansı	33
4.4. Çamur Susuzlaştırma Veriminin Değerlendirilmesi	40
4.5. Çamur Kurutma Tesisinin Veriminin Değerlendirilmesi	44
5. ALTERNATİF İLERİ ÇAMUR BERTARAF YÖNTEMLERİ	48
5.1. İleri Anaerobik Çamur Çürütme	48
5.1.1. Termal Hidroliz Prosesi	48

5.1.2. Parçalanma (Dezintegrasyon) Prosesinin Anerobik Çürütme Prosesine Etkileri	51
5.1.3. Ultravawe Sistemi	52
5.2. Yakma	52
5.2.1. Döner Boru Tipindeki Fırımlar	53
5.2.2. Katlı Fırımlar	53
5.2.3. Siklonik Fırımlar	54
5.2.4. Elektrikli veya Infrared Fırımlar	54
5.2.5. Akışkan Yataklı Fırımlar	54
6. HURMA ATIKSU ARITMA TESİSİ ENERJİ DENGESİ VE ÇAMURUN ENERJİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ	58
6.1. Tesisin Enerji İhtiyacı	58
6.2. Çamur Kurutma Tesisi Enerji Değerleri	60
6.3. Çamur Kurutma Ünitesi Veriminin İncelenmesi ve Ürünün Enerji İçeriği	61
7. SAYISAL ÖRNEK VE SONUÇLAR	62
7.1. Mevcut Tesis Çalışma Senaryoları ve Enerji Eldeleri	68
7.2. Mevcut Tesise Yeni İleri Çamur Arıtım Ünitelerinin Eklenmesi Durumunda Senaryolar	73
7.2.1. Çamurun Direkt Yakılması Durumu	73
7.2.1.1. Yakma Tesisi Kavramsal Dizaynı	74
7.2.1.2. Çamurun Direkt Yakılması Durumu İşletme Senaryosu	76
7.2.1.3. Çamurun Anaerobik Çürütülmesi ve Yakılması Durumu	78
7.2.2. Termal Hidroliz Prosesinin Mevcut Sisteme Uygulanması Durumu	78
7.2.2.1. Termal Hidroliz Kavramsal Dizaynı	78
7.2.2.2. Çamurun İleri Anaerobik Çürütülmesi ve Yakılması Durumu İşletme Senaryosu	80
8. SONUÇLAR VE YORUMLAR	80
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	85
EKLER	86

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

86

Ek B: ATV 131'e Göre Proses Hesaplamaları

87



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Acıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AÇM	: Aktif Çamur Modeli
AD	: Anaerobik Çürütme
ADD	: İleri Anaerobik Çürütme
AKM	: Askıda Katı Madde
ATV	: Alman Tek Aşamalı Aktif Çamur Tesislerinin Boyutlandırılması Standartları
BOI	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CAPEX	: Capital Investment Cost (İlk Yatırım Maliyeti)
ÇOK	: Çözünmüş Organik Karbon
E	: Enerji
F/M	: Substrat/Mikroorganizma
GS	: Gazifikasyon
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
H	: Isı
IAWPRC	: Uluslararası Su Kirliliği Araştırma ve Kontrolü Birliği
IBRD	: Uluslararası Kalkınma Bankası
IN	: Yakma
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu
OPEX	: Opertional Cost (İşletme Maliyeti)
ORP	: Oksidasyon Redüksiyon
POA	: Fosfor Depolayan Bakteriler
PO ₄ -P	: Fosfat Fosforu
RAS	: Çamur Geri Devir Oranı
Ss	: Biyolojik olarak kolay parçalanabilen substrat
S ₁	: İnert askıda organik madde
SND	: Çözünebilir organik azot

SNH	:	Serbest bileşen ve tuzları
SRT	:	Bekletme Süresi
TN	:	Toplam Azot
THP	:	Termal Hidroliz Prosesi
TP	:	Toplam Fosfor
UAKM	:	Uçucu Askıda Katı Madde
UYA	:	Uçucu Yağ Asitleri
X ₁	:	Inert çözülebilir organik madde
X _s	:	Biyolojik olarak yavaş parçalanabilen substrat
ZSV	:	Zone settling velocity



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Karbonlu maddelerin sınıflandırılması.	8
2.2: Azotlu maddelerin sınıflandırılması.	9
3.1: a) İnce ızgara, b) terfi pompa istasyonu.	13
3.2: Havalandırmalı kum ve yağ tutucu görüntüleri.	14
3.3: a) Ön çökeltme havuzlarının boş görüntüsü, b) Ön çökeltme sıyrıcı sistemi.	15
3.4: Bio-P havuzu (yarı dolu).	15
3.5: Havalandırma havuzu ve yerleşimi.	16
3.6: Çökeltme havuzları.	17
3.7: Mekanik çamur yoğunlaştırma ünitesi.	18
3.8: a) Anaerobik çürütme tankları, b) Desülfürizasyon ve biyogaz depolama üniteleri.	19
3.9: a) Çürütme tankları ısıtma kazanı b). Isı eşanjörü.	20
3.10: Derin deniz deşarj istasyonu.	21
4.1: Hurma AAT simülasyon konfigürasyonu.	26
4.2: Hurma AAT aktif çamur mikroskop incelemesi.	31
4.3. Anaerobik çamur çürütücüler.	33
4.4: Çürütücü tankları UYA konsantrasyonu.	36
4.5: Çamur çürütücü besleme debisi.	36
4.6: Çamur çürütücü UAKM giderim verimleri.	37
4.7: Çamur çürütücü biyogaz üretimi.	37
4.8: Dekantör santrifüj sistemi.	41
4.9: Çamur susuzlaştırma sonrası KM oranı değişimi.	42
4.10: Çamur susuzlaştırma sırasında polielektrolit dozaj değişimi.	42
4.11: Çamur susuzlaştırma sırasında polielektrolit dozaj değişimi.	43
4.12: Çamur susuzlaştırma sonrası KM oranı değişimi.	43
4.13: Hurma AAT termal çamur kurutma ve kojenerasyon ünitesi vaziyet planı.	45
4.14: Hurma AAT termal çamur kurutma son ürün taşıma bandı.	45
4.15: Kurutulmuş çamur ve dolum siloları.	46

4.16:	Kurutucu işlem sonrasında ürün örneği.	46
5.1:	Termal Hidroliz prosesi.	49
5.2:	CAMBI çamur hidroliz prosesi.	50
5.3:	Ön kurutma sistemine sahip çamur yakma tesisi proses akım şeması.	57
7.1:	Mevcut prosesin çürütme kullanılmadan yakma prosesinin uygulanması.	76
7.2:	Mevcut prosesin çürütme ve sonrası yakma prosesinin uygulanması.	78
7.3:	Ön ve son çökeltme, termal hidroliz (THP), anaerobik çürütme sonrası yakılması.	79

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Mevsimsel atıksu giriş ve çıkış konsantrasyonları.	22
3.2: Giriş UYA konsantrasyonları.	23
3.3: Giriş inorganik madde konsantrasyonları.	24
4.1: Hurma AAT kütle dengesi (yıllık ortalama).	25
4.2: Hurma AAT simülasyon sonuçları (N,P geri dönüş dahil).	29
4.3: Geri dönen akımlardaki N ve P yükleri.	29
4.4: Hurma AAT simülasyon sonuçları (N,P geri dönüş dahil değil).	30
4.5: Kütle Dengesinde Kullanılan Maksimum Kirletici Yükleri.	30
4.6: Çamur çürütme proses verileri.	34
4.7: D çürütme tank verileri.	35
4.8: C çürütme tankı verileri.	35
4.9: Anaerobik çamur çürütme verimine göre maksimum biyogaz potansiyeli.	38
4.10: Ölçülen Metal İyonlarının Konsantrasyonları.	44
6.1: Arıtma tesisi ünitelerde tüketilen ve günlük elektrik enerjisi miktarları.	58
6.2: Termal Kurutma Tesisi Enerji ve Yakıt Verileri.	60
6.3: Hurma AAT Çamurları Kalorifik Değerleri.	61
7.1: Farklı işletme senaryolarında proses verileri.	63
7.2: Farklı işletme senaryoları/kütle denklilikleri	66
7.3: Kojenerasyon işletme senaryoları (mevcut durum).	70
7.4: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 1).	70
7.5: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 2).	71
7.6: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 3).	71
7.7: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 4).	72
7.8: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo-5).	72
7.9: Yakma tesisi dizayn parametreleri.	74
7.10: Yakma tesisi maliyet hesaplamaları.	75
7.11: Termal hidroliz kavramsal dizayn verileri.	78

1. GİRİŞ

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun yönetimi, gelişmekte olan ülkelerde çözülmesi ve mücadele edilmesi gereken en önemli problemlerden biridir. Atık çamur atıksu arıtma tesisinde işlenen atıksu miktarına göre çok az oranda olmasına karşılık çamur bertaraf işlemleri arıtma tesisinin ilk yatırım maliyetinin (CAPEX) %20- 30, işletme maliyetlerinin (OPEX) ise yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. [Cao, and Pawlowski, 2012] Bunlara ilave olarak, yönetmeliklerin ciddi yaptırımları ile beraber nüfus artışı ve şehirleşmenin genişlemesi, atık çamur oluşturan arıtma tesislerinin atık çamurlarını tekrar değerlendirilmesine yönlendirmektedir. Klasik olarak uygulanan çamur arıtım düzenli depolama işlemleri yerine farklı çözüm yolları arayışına girilmiştir.

Çamurun düzenli depolanması ve ya gübre olarak kullanılması durumunda bile yine yönetmeliklerin izin verdiği kuru madde ihtivasi, kötü kokunun giderilmesi, Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) limit değerleri gibi bazı eşik değerlerin oluşturulması için birçok işlemin yapılması gerekmektedir. Bu durumdan dolayı, tek bir prosese bağlı klasik konvansiyonel arıtım metotları yerine çamurun maksimum düzeyde daha yararlı ürünlere ve/veya enerjiye dönüştürülmesi için yenilikçi sistemlerin geliştirilmesi daha efektif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde ve Dünya'da, tesis sahipleri, danışmanlar, proje yöneticileri, ekipman tedarikçileri, politikacılar, yasa oluşturanlar gibi bir çok farklı disiplinde çalışan meslek grupları çamur yönetim teknolojilerinin seçilmesinde rol oynamaktadır. Çamur arıtımı yöntemleri seçilirken aslında yapay oluşumlar veya nihai sonuçlar alınamayan tek proses tipleri tanımlayan yönetmeliklerden farklı olarak mevcut yerel ihtiyaçlara bağlı kalınarak seçimlerin yapılması gerekmektedir.

Gelişen çamur arıtım stratejilerinde, çamur içeriğindeki değerli, kullanılabilir içeriğin tekrar kullanılması ağırlık kazanmaktadır. Birincil yakıt türlerine artan ihtiyaçtan dolayı fosil yakıt rezervlerinin azalması, petrol birim fiyatlarının artması, iklim değişikliği endişesi gibi konulara bir arada bakıldığında, çamurun yenilenebilir teknolojiler kapsamında değerlendirilmesi ile ilgili ilgi giderek artmaktadır.

“Sürdürülebilirlik” kavramı insan yaşamında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Pratikte sürdürülebilirlik, doğal ve yenilenebilir kaynakların kendini

yenileme hızından daha az ve ya en azından eşit hızda tüketilmesi durumunda oluşturulmaktadır.

Efektif sürdürülebilirlik elde edilmesi için ise, birbirinden ayrılmayan 3 ana unsurun bir arada düşünülmesi gerekmektedir.

- Çevresel unsurlar (uygulanabilir örnekler ile desteklenmiş çevresel olarak dayanıklılık)
- Ekonomik unsurlar (ekonomik olarak makul, teknolojik olarak yapılabilir, net şekilde işletilebilen)
- Sosyal unsurlar (Sosyal olarak tercih edilen, kültürel olarak kabul edilen, psikolojik olarak korumacı)

Günümüzde, tek bir prosesin ya da arıtım teknolojinin yukarıda belirtilen üç unsuru tam anlamıyla karşılayamadığı için, çamur yönetim sistemleri sıklıkla verimli ve sürdürülebilir olmamaktadır.

Sürdürülebilir bir çamur yönetiminin geliştirilmesi için gerekli prosedürler aşağıda sıralanmıştır;

- Düşük enerji etkili sistemler vasıtasıyla geri dönüşümün/geri kazanımın azami hale getirecek çamur yönetim metodlarının değerlendirilmesi
- Yenilikçi prosedürlerin ve işletilebilir sistemlerin geliştirilebilmesi için ekonomi, coğrafya, iklim gibi yerel şartların değerlendirilmesi

Yukarıda belirtilen prosedürler göz önüne alındığında, birbiriyle entegre olmuş azami derecede enerji ve /veya faydalı ürünlerin elde edildiği yenilikçi çamur arıtım sistemlerin oluşturulması ve çamur yönetimi için en uygun işletme senaryolarının oluşturulması gerekmektedir.

Atık çamur, su ve atık suların arıtımında ortaya çıkan, taşıdıkları özelliklerden dolayı kendilerinin de ayrıca arıtılmaları gereken, arıtılmadan çevreye verildiklerinde çevrede hasar oluşturabilecek, katı ve sıvı karışımından oluşan maddelerdir. Yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri, patojen mikroorganizmalar ve çok miktarda su içerdiklerinden arıtılmaları gerekmektedir.

Arıtılan suyun niteliğine ve uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak arıtma çamurlarının özellikleri değişmektedir. Genel olarak arıtma çamurları, sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, %0,25 ile %12 arasında katı madde içeren atıklardır. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur, stabilizasyon işlemlerinden önce %50-70 C, %6,5-7,3 H, %21-24 O, %15-18 N, %1-1,5 P ve %0-2,4 S içermektedir. [Ferrer et al., 2011]

Genel olarak çamur 3 ana kategoriden kaynaklanmaktadır.

- İçme suyu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Atıksu Arıtma Tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Endüstriyel Atıksu Arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarıdır.

Arıtma tipine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri farklılık göstermektedir.

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamur,
- İleri Arıtma Çamuru

Çamur özellikleri çamur işleme ve bertaraf etme ünitelerinin tasarımı ve işletilmesi için kullanılmaktadır. Bu parametreler, çamurun organik madde içeriği, kimyasal özellikleri, çökebilme, su verme gibi fiziksel özellikleri ve ısı değeri hakkında bilgi vermektedir. Çamur karakterizasyonunda kullanılan ana parametreler; özgül ağırlık, katı madde içeriği, çamurda su dağılımı, akışkanlık özelliği, ısı değeri, gübre değeri, partiküllerinin elektriksel yükleri, biyolojik özellikler, ağır metal içeriği, çamurun depolanabilirliği, çamurun pompalanabilirliği ve susuzlaşabilme özellikleridir.

Arıtılmamış atıksu içindeki önemli miktarlarda koku veren maddelerin olması, biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması, çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi ve de içerisinde patojen

mikroorganizma olmasından dolayı bertaraf edilmeden önce mutlaka arıtılmaları gerekmektedir.

Atık bünyesindeki kirleticileri üç grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; çökebilir katı maddeler, askıda katı maddeler ve çözülmüş katı maddelerdir. Arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafından önce arıtılması gereklidir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun arıtılması ve depolanması için seçilecek yöntem, atıksu karakterizasyonuna, arıtmada kullanılan kimyasal maddelere, ilgili mevzuata bağlıdır. Arıtma çamurunun bertarafı işlemi de ayrı bir gider kalemi olacağından, atıksu arıtma tesisi kurulurken bu husus göz önüne alınmalı ve projelendirme bu hususa göre yapılmalıdır. Maliyetler yerel şartlara ve işleme tesisinin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Arıtma çamurunun işlenmesi ve bertarafı ile ilgili değişik seçeneklerin doğru bir karşılaştırmasını yapabilmek için öncelikle yıllık yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve son ürünün tekrar kullanımına bağlı olarak oluşacak üç maliyet kaleminin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği atık politikasında yönetim öncelikleri şöyle sıralanmaktadır;

- Minimizasyon
- Geri kazanım
- Enerjiyi tekrar kazanarak yakma
- Düzenli depolama

Genel olarak atıksu arıtma çamurları yoğunlaştırma, stabilizasyon, çürütme, kompostlaştırma, şartlandırma, dezenfeksiyon, çamur kurutma, zirai kullanım, düzenli depolama ve yakma ile bertaraf edilebilir. Ayrıca yağ oksidasyon, piroliz ve çamurdan yağ üretim prosesi, çamurdan türetilmiş yakıt ve gazlaştırma ve kombine prosesler de termal bertaraf yöntemi olarak kullanılabilir.

2. ATIKSU MODELLEME

2.1. Aktif Çamur Modeli

Aktif çamur sistemlerini modelleme çalışmaları 1960 yıllarında başladıkları dönemden bu yana çok gelişmiştir. Organik karbon giderimi için ilk modeller sadece, substrat, biyokütle ve çözünmüş oksijen bileşenlerini ve çoğalma ve içsel solunum proseslerini tanımlar iken [Alonzo ve McCarty, 1971], günümüzde aynı amaç için çok bileşenli ve süreçli modeller kullanılmaktadır [Orhon ve Artan, 1994].

Aktif Çamur Modellerinde kullanılan substrat ve biyokütle gibi ana model bileşenlerini betimleyen kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, BOİ₅, ve uçucu askıda katı madde, UAKM, gibi parametreler arasındaki stokiyometrik ilişkilerin model bünyesinde doğru teşkil edilmesi gerekmektedir. Bugün, güncel modellerde hem substrat hem de biyokütle için KOİ parametresi kullanılmaktadır. Ancak modellerin uygulanması sırasında bazen substratı BOİ₅ parametresi yerine, biyokütleyi de UAKM parametresinin kullanılması gerekebilir.

Bu durumlarda oksijen gereksinimine istinaden korunum denklemlerinin yeni stokiyometriye göre yeniden belirtilebilir. Uygulamada yaşanan sıkıntılar bu dönüşümlerin doğru gerçekleştirilmemesinden kaynaklanmaktadır.

Modellerde yer alan biyokimyasal süreçler bir dizi kinetik ve stokiyometrik katsayı ile belirlenmektedir. Modellerin geçerliliği, büyük oranda bu katsayıların değerleri ile ilintili olmaktadır.

Bu katsayıların hiçbiri için mutlak değerler söz konusu değildir. Bazı modelleme çalışmalarında katsayılar için önerilmiş olan değerlerin sadece referans alınabilecek değerler olarak düşünmek doğru olabilir [Henze vd., 1987]. Her bir model katsayısının incelenen lokasyona ve atıksu karakterizasyonuna uygun olarak seçilmiş olması gerekir. Özellikle, değişik parametrelerin (KOİ/BOİ₅; KOİ/UAKM, vb.) dönüşümlerini tanımlayan stokiyometrik katsayıların her atıksu cinsine bağlı olarak titizlikle belirlenmesi, çalışmaların doğruluğu açısından önem arz etmektedir.

2.2. Aktif Çamur Modellerinin Matris İle Gösterimi

- Çalışma Grubu Model No.1

Uluslararası Su Kirliliği Araştırma ve Kontrolü Birliği (IAWPRC), 1983 yılında biyolojik atıksu arıtma sistemlerinin dizayn ve işletilmesinde pratik modellerin uygulanmasını kolaylaştırmak ve teşvik etmek amacıyla bir çalışma grubu oluşturmuştur. Bu çalışma grubunun ilk hedefi mevcut modelleri gözden geçirmek ve daha sonra, karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon yapan tek çamurlu sistemlerin performansını gerçekçi tahminlerle ortaya koyabilecek basit bir model üzerinde fikir birliğine varmak olmuştur. Grup, 1987 yılında çalışmalarını Çalışma Grubu Modeli No.1 adıyla yayınlamıştır. 1987 yılından bugüne kadar, biyolojik fosfor giderimi prosesi, flok oluşturan ve filamentli yapıdaki bakterilerin üreme ve popülasyon dinamiği gibi durumları kapsayan modeller geliştirilmiş olsa da, Çalışma Grubu'nun 1 No'lu modeli, karbon giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri için halen en yaygın olarak kullanılan model durumundadır. [Henze M.,1987; Finnson A., 1994]. Bu model 13 bileşen ve 8 tane de procesten oluşan kapsamlı bir modeldir.

Çalışma grubunun yaptığı ilk iş, organik madde için tutarlı bir ölçü belirlemek olmuş ve bu iş için biyokütle, organik madde ve elektron alıcısı ile bağlantı kurmaya imkan vermesi yönünden KOİ seçilmiştir. Çözünebilir bileşikler S sembolüyle, çözünemeyenler ise X ile gösterilmiştir. B, S ve O alt indisleri ise sırasıyla, biyokütle, substrat ve oksijeni göstermek için kullanılmıştır.

Modelde belirgin ayırım organik maddenin biyolojik olarak parçalanana ve biyolojik olarak parçalanamayan madde şeklinde iki ana gruba ayrılmasıdır. Daha sonra da biyolojik olarak parçalanana maddeler, biyolojik olarak kolay parçalanana ve yavaş parçalanana olarak ikiye ve parçalanamayan maddeler de inert çözünebilir ve inert partiküller olarak yine ikiye ayrılmıştır. Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.'de sırasıyla karbonlu ve azotlu maddelerin sınıflandırılması gösterilmiştir.

Biyolojik olarak kolay parçalanabilen substrat (Ss), modellemede organik maddenin bu kısmının çözünebilir olduğu kabulü yapılmaktadır. Biyolojik olarak kolay parçalanabilen organik madde nispeten basit moleküllerden oluşmaktadır ve direkt olarak heterotrofik bakteriler tarafından yeni hücrelerin sentezi gayesiyle kullanılmaktadır. Moleküllerde yer alan enerjinin bir kısmı (KOİ) biyomasa geçmekte,

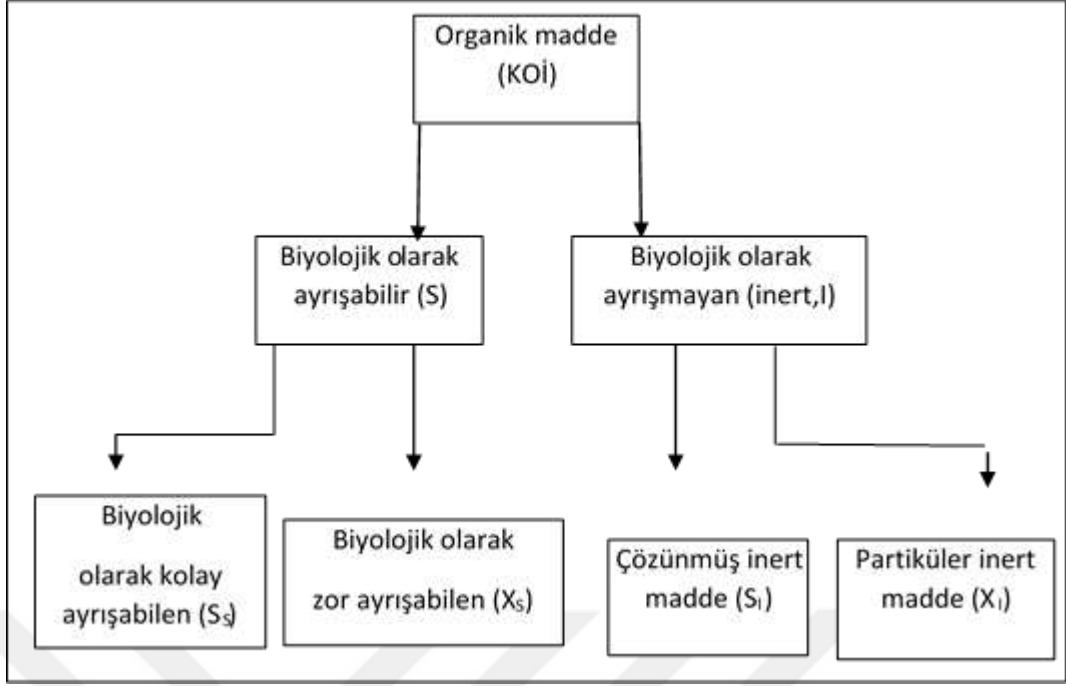
kalani ise sentez için ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak üzere harcanmaktadır. Bu kısımda yer alan elektronlar dış elektrın alıcılara transfer edilmektedir (oksijen ya da nitrat).

Biyolojik olarak yavaş parçalanabilen substrat (Xs), substratın yavaş parçalanabilen bu kısmı nispeten daha kompleks moleküllerden oluşmaktadır. Bu tip substrat kullanılmadan önce hücre dışında tutulur ve biyolojik olarak kolay parlanabilen substrata dönüştürölür. Bu dönüşüm olayında (hidroliz) enerji kullanımı olmadığı ve dolayısıyla elektron alıcı kullanımının da olmadığı kabul edilmektedir. Biyolojik olarak yavaş ayrışabilen substratın spesifik hidroliz hızı biyolojik olarak kolay ayrışabilen Substrattan önemli ölçüde azdır. Bu nedenle Xs substrat olarak tek başına bulunduğunda, biyolojik üremesi için hız sınırlayıcı faktör haline gelir.

Biyolojik olarak parçalanamayan organik madde ise biyolojik olarak inert olup,aktif çamur sisteminden yapı olarak değışmeden geçmektedir. Biyolojik olarak inert olan bu organik madde fraksiyonunu 2 ye ayırabiliriz.

Inert çözülebilir organik madde (S₁); sistemi girdiğ i konsantrasyonda prosesten çıkmaktadır.

Inert askıda organik madde (X₁); aktif çamurun yapısında tutunmakta ve çamur bertarafı ile beraber prosesten uzaklaştırılmaktadır. Atılan çamur debisi, giriş suyu debisinden az olduğundan, oluşturulan kütle dengesinde sistemdeki XI konsantrasyonunun ham atıksudan daha büyük olması gerekmektedir.

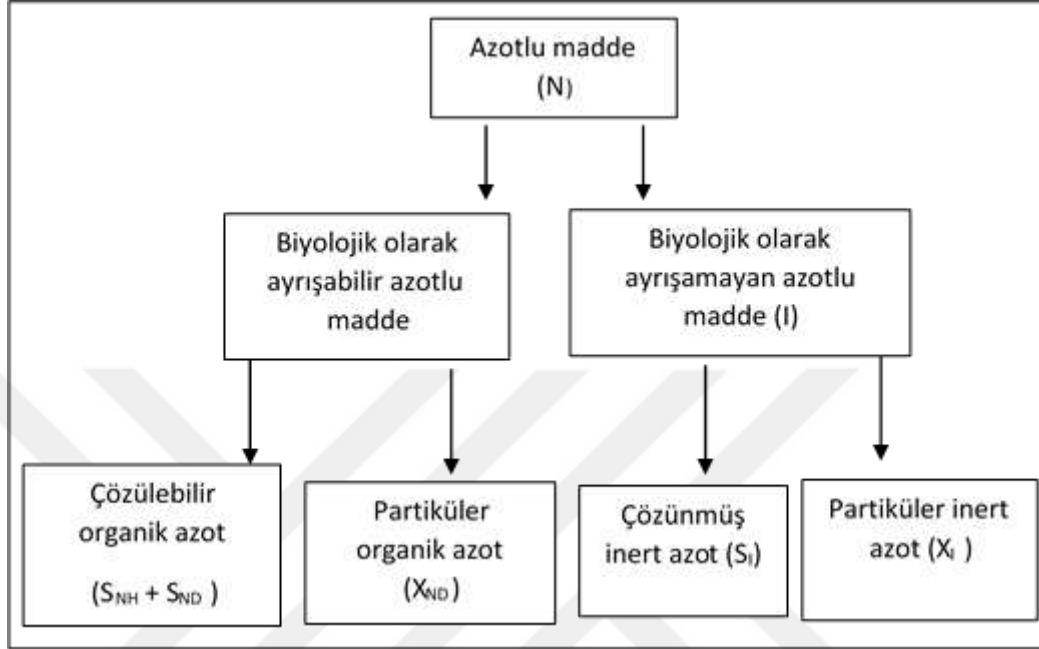


Şekil 4.1: Karbonlu maddelerin sınıflandırılması.

Atıksudaki azotlu maddeler de karbonlu maddeler gibi biyolojik olarak ayrıştırılabilen ve ayrıştırılmayan şeklinde iki ana kategoriye ayrılabilir.

Biyolojik olarak ayrıştırılabilen azotlu maddeler; Bu kategorinin içine amonyum azotu, SNH, (Serbest bileşen ve tuzları), çözünebilir organik azot (SND) ve partikül haldeki organik azot girmektedir. Partikül halindeki organik azot, biyolojik olarak yavaş ayrışan organik maddenin hidrolizine paralel olarak çözünebilir organik azota hidrolize olmaktadır. Çözünebilir organik azot ise heterotrofik bakteri tarafından kullanılmakta ve amonyum azotuna çevrilmektedir. Amonyum azotu heterotrofik biyomas sentezi için azot kaynağı olarak görev yapmakta ve ototrofik nitrifiye edici bakterilerin üremesi için de enerji kaynağı görevini yerine getirmektedir. Basitleştirme gayesiyle, amonyum azotunun nitrat azotuna olan dönüşümü oksijene ihtiyaç duyan tek kademeli proses olarak ele alınmaktadır. Oluşan nitrat, anoksik şartlar altında heterotrofik bakteriler için son elektron alıcı olarak görev yapabilir. Hem ototrofik ve hem de heterotrofik hücrelerin bozunmasıyla tekrar döngüye girebilen partiküler haldeki organik azot açığa çıkmaktadır.

Biyolojik olarak ayrışmayan azotlu maddeler ise, bu maddelerin partiküler kısmı biyolojik olarak ayrışmayan partiküler KOİ ile birlikte ele alınır. Çözünebilir kısım ise genelde ihmal edilebilecek kadar küçük olup, modele dahil edilmemiştir.



Şekil 4.2: Azotlu maddelerin sınıflandırılması.

- Aktif Çamur Model No.2

Biyolojik Fosfor Giderimi [Gujer, 1995], Aktif Çamur Model No.1'in geliştirilmiş halidir. Aktif çamur içinde yeni bir grup mikroorganizma olarak fosfor biriktirici organizmalara (PAO) yer verilmiştir. PAO depo polifosfat şeklinde fosfor biriktirmeye uygun tüm mikroorganizma türlerini temsil etmektedir. PAO'ların aktivitesi depo polifosfat ve polihidroksialkanoat olarak hücre iç bileşenlerine dayanmaktadır. Modelde 19 bileşen, 19 proses bulunmaktadır.

- Aktif Çamur Model No. 2d

Aktif çamur sistemlerinde nitrifikasyon–denitrifikasyonla birlikte biyolojik fosfor giderimini de içeren modeldir. 2 no.lu modele dayanmaktadır. Ancak fosfor biriktiren organizmaların denitrifikasyon faaliyetini de içine alacak şekilde genişletilmiştir. Modelde 19 bileşen ve 21 proses yer almaktadır.

- Aktif Çamur Model No. 3

Bu modelde aktif çamur sistemlerinde oksijen tüketimi, çamur üretimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon tahmin edilebilmektedir [Gujer vd., 1999].

Günümüzde atıksu arıtma sektöründe ticari proses simülasyon programları yaygın olarak kullanılmaktadır. Sektörde, özellikle Biowin (Envirosim), GPS-X (Hydromantis), WEST (DHI), Matlab-Simulink, Aquasim (EAWAG), STOAT (EnviaTech), EFOR, SIMBA (Ifak-system) ve Sumo (Dynamita) tercih edilen programlar arasında yer almaktadır. Bu programların içinde kullanıma hazır matematik modeller olduğu gibi kullanıcı tarafından modeller de atıksu tipine ve uygulamaya göre (evsel, endüstriyel vb.) yapılandırılabilir. Ayrıca, kullanıcı istediği tesis konfigürasyonunu inşa ederek proses hesaplarını yürütebilmektedir.

Simülasyon programlarının doğru kullanımı için atıksu karakterizasyon modele uygun olarak planlanması gerekmektedir. Programın içindeki modeller, atıksudaki organik maddenin (KOİ) ayrışabilen ve ayrışamayan formları üzerinden hesaplamaları gerçekleştirmektedir. Atıksuda konvansiyonel karakterizasyonun yanında KOİ fraksiyonlarının deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Atıksu arıtma sistemindeki proseslerin (nitrifikasyon, denitrifikasyon, fosfor depolama, hidroliz, çökeltme vb.) hızlarının saptanması çok daha hassas hesap yapılmasına imkan vermektedir. Belirlenen hedefler (deşarj, geri kazanım, enerji optimizasyonu vb.) doğrultusunda tasarlanan laboratuvar ve pilot ölçekli arıtılabilirlik çalışmaları ile belirlenen parametreler tesis performansının tahminini şansa bırakmamaktadır.

Atıksuya özgün model parametreleri kullanılarak yerel koşullarla en uygun proses seçimi ve kontrol stratejisi belirlenebiliyor.

3. BATI ANTALYA (HURMA) ATIKSU TESİSİ

Tez çalışması kapsamında, Antalya Atıksu Arıtma Tesisi pilot tesis olarak seçilmiş ve tesisin güncel atıksu ve çamur verileri ve işletme koşulları göz önünde bulundurularak çalışmalar yapılmıştır.

Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Genel Müdürlüğü'ne ait olan Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin ön arıtma bölümü ve derin deniz deşarj hattı 1999 yılında tamamlanarak, sadece ön arıtmaya tabi tutulan atıksular derin deniz deşarj sistem ile Akdenize deşarj edilerek işletmeye alınmıştır. Tesisin I. kademesi 250.000 E.N.'a hizmet edecek kapasitede planlanarak 29 Aralık 2001 tarihinde hizmete açılmıştır. Tesisin II. kademesi 2005 yılında işletmeye alınmış ve 500.000 E.N kapasite ile 2009 yılına kadar hizmet vermiştir.

Antalya Büyükşehir Belediyesi'nin hizmet sınırlarının genişlemesi buna bağlı olarak kenti batı bölgesinin kanalizasyon sisteminden gelen atıksuların da artmıştır. ASAT Genel Müdürlüğü'nün 2006 yılında IBRD ile yapmış olduğu görüşmeler sonucunda İller bankası ile alt-kredi anlaşması imzalanarak Belediye Hizmetleri Projesi kapsamında Antalya'nın alt yapı ihtiyaçları için finans kaynağı sağlanmıştır. Belediye Hizmetleri Projesi içinde yer alan "Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin Genişletilmesi Projesi" kapsamında tesisin kapasitesi 500.000 EN'dan 1.400.000 EN. Hizmet verecek şekilde projelendirilmiştir. Tesisin kapasitesi 210.000 m³/gün olup, tesise gelen güncel atıksu miktarı 140.000 m³/gün'dür. Tesiste N ve P nutrient gideriminin yapıldığı Bardenpo prosesine bağlı kalınarak dizayn edilmiş, çamur arıtma kısmına çamur çürütücü tankları ilave edilerek, çamur çürütme, susuzlaştırma ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir.

3.1. Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin Mevcut Durumu

Aşağıda Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin üniteleri yer almaktadır. Tesiste yer alan ünite bileşenleri;

- Ön Arıtma Ünitesi
 - Kaba Izgaralar

- Terfi Pompa İstasyonu
- İnce İzgaralar
- Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu Havuzlar
- Ön Çökeltme Tankları
- Biyolojik Arıtma
 - Bio-P Havuzları
 - Havalandırma Havuzları
 - Son Çökeltme Havuzları
- Çamur Bertaraf Üniteleri
 - Biyolojik Çamur Mekanik Çamur Susuzlaştırma Ünitesi
 - Çamur Çürütme Tankları
 - Nihai Çamur Susuzlaştırma Ünitesi
 - Çamur Kurutma Tesisi
- Derin Deniz Deşarjı Sistemi

3.1.1. Ön Arıtma

Antalya'nın batı bölgesindeki kanalizasyon şebekesi ile toplanan evsel atıksular, her biri Ø2000 mm çapında olan iki ana kolektör hattı ile arıtma tesisine iletilmektedir. Tesise iletilen atıksular öncelikle proses içerisinde yer alan elektro-mekanik ekipmanların zarar görmemesi amacıyla 50 mm çubuk aralığına sahip kaba ızgaralardan geçirilmektedir. Atıksu içerisindeki büyük boyutlu (taş, tahta, plastik parçaları v.b.) maddeler ızgara tırmıkları ile atıksudan mekanik işlemlerle ayrılmakta ve konveyörler vasıtasıyla katı atık depolama sahasına iletilmek üzere konteynerlerde depolanmaktadır.

3.1.1.1. Terfi Pompa İstasyonu

Kaba ızgaradan geçen atık sular (-6.5 m kotundan) kapasitesi 1.25 m³/saat santrifüj pompalar ile (+10.65 m kotuna) terfi edilir. Terfi merkezinde mevcutta 9 adet toplamda 12 adet dalgıç ana atık su pompası bulunmaktadır.



Şekil 4.3: a) İnce ızgara, b) terfi pompa istasyonu.

3.1.1.2. İnce Iızgara Ünitesi

Terfi pompalarından geçen atıksular orta ve küçük boyutlu partiküllerin atıksudan ayrılması için önce çubuk aralığı 30 mm daha sonra 10 mm olan dörder adet ince ızgaradan geçirilir. Böylelikle atıksudan orta ve küçük ölçekli partikül maddelerin toplanması sağlanır ve toplanan katı atıklar konveyör vasıtasıyla katı atık depolama sahasına iletilmek üzere konteynerlerde toplanırlar. İnce ızgara ve terfi istasyonuna ait görüntüler Şekil 3.1.'de verilmektedir.

3.1.1.3. Havalandırma Kum ve Yağ Tutucu

Izgaralardan geçen atıksular, 45 m boyunda, 5 m genişliğinde ve 6.3 m derinliğindeki 6 adet havalandırmalı kum ve yağ tutucu havuzlarına kanallar vasıtasıyla iletilmektedir. Her biri 540 Nm³/saat olan 6 adet hava körükleri (blower) ile havuz tabanlarına döşenen boru hatları için hava temini sağlanır.

Havuzlara su akışına dikey yönde verilen hava vasıtasıyla kendi ağırlığı ile dibe çöken kum ve diğer katı maddelerin dipteki hareketi sağlanırken, kendi ağırlığı ile çökelemeyen yağ ve organik maddelerin askıda ve yüzeyde kalması sağlanmaktadır. Havuz dibinde çökelen kum ve ağır partiküller yine havuz üzerinde çalışan gezer köprülere monte edilmiş olan 36 m³/saat kapasiteli kum pompaları vasıtasıyla çekilerek havuz kenarında yer alan kum kanallarına aktarılmaktadırlar. Yüzeyde oluşan

köpük ve yağlar 40 m³/saat kapasiteli pompalar ile ızgaralara gönderilir ve orada susuzlaştırıldıktan sonra konteynerlere alınırlar. Kanala alınan kumlar ızgaralardan geçirildikten sonra konteynerlere iletilerek katı atık depolama sahasına iletilmektedirler. Kum tutucunun görüntüsü Şekil 3.2.'de verilmektedir.



Şekil 4.4: Havalandırmalı kum ve yağ tutucu görüntüleri.

3.1.1.4. Ön Çökeltme Havuzları

Kum ve yağ tutucu havuzlarından çıkan atıksular, ön çökeltme havuzlarına alınmaktadır. Atıksuda bulunan çökebilir katı maddelerin %50'si ön çökeltme havuzunda sudan ayrılabilir. Dibe çöken organik içeriği %70-78 seviyesindeki sonra anaerobik çamur çürütme tanklarına gönderilir. Nihai debide 1.5 saat hidrolik bekleme süresine göre tasarlanmış olan ön çöktürme havuzları; her biri 2,188 m³ hacmine sahip 4 adet dikdörtgen tip havuzlardır. Havuzlara ait görüntüler Şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: a) Ön çökeltme havuzlarının boş görüntüsü, b) Ön çökeltme sıyrıcı sistemi.

3.1.2. Aktif Çamur Sistemi

3.1.2.1. Anaerobik Bio-P Havuzları

Ön çökeltme havuzlarından savaklanan atıksular ve son çökeltme havuzundan alınan geri devir çamuru bio-fosfor havuzlarından önce birleştirilmektedir. Daha sonra karışım Bio-P havuzlarına iletilmektedir. Tesiste 2 adet toplam hacmi 8.00 m^3 , 2 adedi de toplam 16.00 m^3 olmak üzere 4 adet Bio-P havuzu bulunmaktadır. Dağıtım yapısından Bio-P havuzlarının bekletme süresi yaklaşık 1.5-2 saat sürmektedir. Havuzlara monte edilen Oksidasyon Redüksiyon ölçerler (ORP) enstrümanları ile ortamdaki nitrat seviyesi kontrol edilir. Çamur Geri Devir Oranı (RAS) tesis giriş debisinin %75-%100 aralığında oranında yapılmaktadır.



Şekil 4.6: Bio-P havuzu (yarı dolu).

Bio-P havuzlarına ait görüntüler Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.

3.1.2.2. Havalandırma Havuzları

Bio-fosfor havuzlarından çıkan atıksular at nalı şeklindeki oksidasyon havuzu havalandırma havuzuna yönlendirilmektedir. Atıksu havalandırma havuzunun anoksik bölümüne daha sonra oksik bölümüne iletilmektedir. Toplamda 2 adet havuz bulunmakta olup her birinin hacmi yaklaşık 46.200m^3 'tür. Mevcut durumda havuzlardan 1 adedi kullanılmaktadır. Havalandırma, $25.000\text{ m}^3/\text{saat}$ kapasiteli 3 adet basınçlı hava körükleri (Turbo blowerlar) ve disk difüzörler vasıtası ile sağlanır. Farklı difüzör grupları ile oksijen temini sağlanmaktadır. Oksidasyon havuzlarının işletme prensibi aynı havuz içinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon bölgelerinin oluşturulması sağlanmaktadır. Atıksu belirli zaman içinde aerobik ve anoksik süreçlere maruz kalarak nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesini gerçekleştirmektedir [Insel vd., 2007], [Hanhan et al., 2009].



Şekil 4.7: Havalandırma havuzu ve yerleşimi.

Havalandırma havuzunun görüntüsü Şekil 3.5.'de verilmektedir.

3.1.2.3. Son Çökeltme Havuzları

Havalandırma havuzundan çıkan aktif çamur dairesel son çökeltim havuzlarına yönlendirilmektedir. Son çöktürme havuzlarında, suyun havalandırma havuzlarında elde edilen aktif çamurdan ayrılması yerçekiminden faydalanılmaktadır. Çamurun çökeltme özellikleri atıksuyun, çamurun özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çökeltilen çamur geri devir çamur pompaları ile toplanarak Bio-P havuzlarının başına gönderilmektedir.

Toplam 8 adet dairesel son çökeltme havuzu bulunmaktadır. Bunlardan 4 adedi 47 m çapında 4,5 m derinliğinde, 4 adedi ise 52,4 m çapında ve 5,2 m derinliğindedir.

Son çöktürme havuzu sıyrıcı köprüleri, çap boyunca hareket ederek, havuz tabanına çöken biyolojik çamuru sıyrıcısı vasıtasıyla çamur haznesinde toplamaktadır. Çökelen çamur, geri devir pompa istasyonunda bulunan 1,094 m³/saat'lik geri devir pompaları ile emilir. Seçilen geri devir oranının (işletme koşullarına göre geri devir oranı %75-%100 oranında seçilir.) Çökeltme havuzu yüzeyinde biriken köpükler, yüzeysel sıyrıcılarla toplanarak Fazla Çamur Pompa İstasyonuna gönderilir. Arıtılmış su çökeltme havuzunun üstünden savaklar yardımıyla toplanarak deşarj pompa istasyonuna iletilir. Son çökeltme havuzlarına ait görüntülen Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Çökeltme havuzları.

3.1.3. Çamur Bertaraf Üniteleri

3.1.3.1. Mekanik Çamur Yoğunlaştırma

Ön çökeltme (%3-5 KM) ve son çökeltme havuzlarından (%0.8-1 KM) alınan çamurlar ayrı ayrı toplanarak yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Son çökeltme çamurları (biyolojik çamur) mekanik yoğunlaştırma işlemine sokulmaktadır. Katı madde içeriği %1 mertebesinde olan çamur yoğunlaştırma sonrasında %6-6.5 aralığına getirilmektedir. Mevcut durumda ön çökeltme çamuru yüksek yoğunlukta olduğu için yoğunlaştırma gerçekleştirmeden son yoğunlaştırılmış biyolojik çamur ile homojenize edilmektedir. Ön çökeltme havuzlarından alınan %3-5 KM yoğunluğundaki çamur, 80 m³/saat kapasiteli 2 adet strain press'den geçirilerek yoğunlaşmış çamur tankına alınır. Yoğun çamur (%4-5 KM) 30 m³/saat kapasiteli 6 adet pompa ile anaerobik çamur çürütme tanklarına iletilir. Mekanik çamur susuzlaştırma ile ilgili görüntü Şekil 3.7.'de belirtilmiştir.

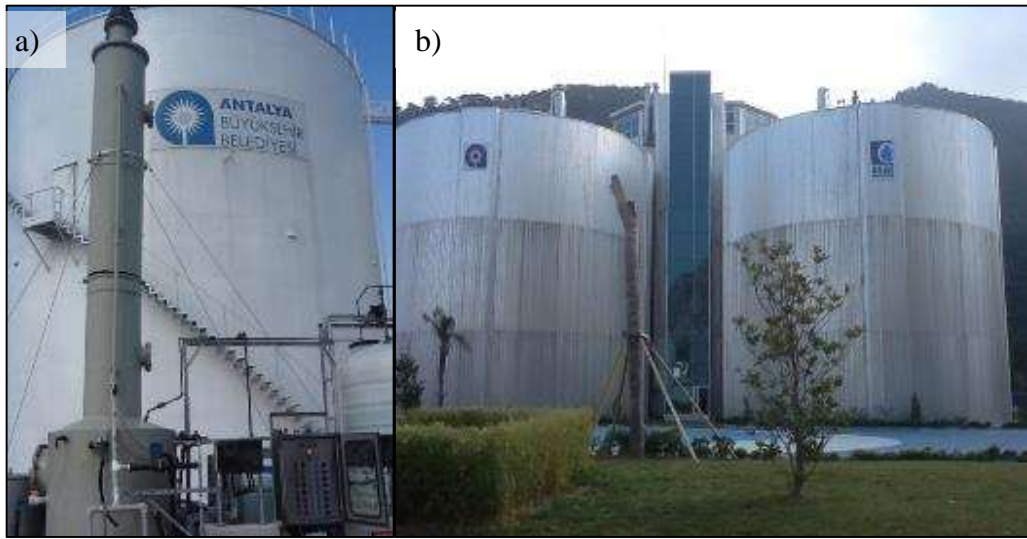


Şekil 4.9: Mekanik çamur yoğunlaştırma ünitesi.

3.1.3.2. Çamur Çürütme Üniteleri

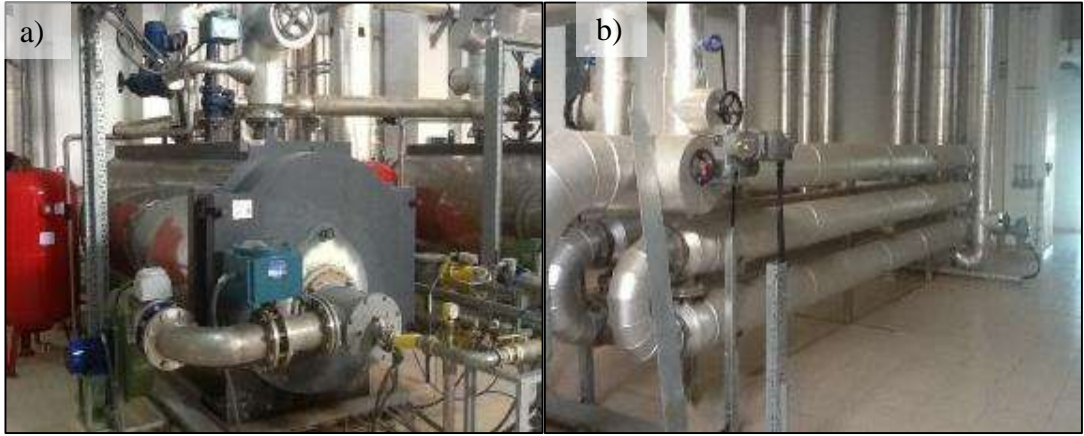
Çamur çürütücüler biyolojik çamurun organik madde içeriğinin azaltılması ve biyogaz elde edilmesi için kullanılmaktadır. Çürütme prosesi anaerobik koşullarda ve mezofilik (35 °C) şartlarda gerçekleştirilmektedir. Anaerobik çamur çürütme prosesinde 4 adet çürütücü tanklar bulunmaktadır. Her bir tank 26.9 m yüksekliğinde, 23.3 m çapında ve 9.000 m³ (toplam 36.000 m³) hacminindedir. Çürütücü tank içindeki sıcaklığın korunması için boru tip eşanjörler (625 kW/saat kapasiteli- 4 adet) ve 161 m³/saat kapasiteli (4 asıl+1 yedek) çamur sirkülasyon pompaları kullanılır. Eşanjörler için gerekli olan sıcak su; 1.480 kW/saat kapasiteli 2 adet brülörden elde edilmektedir. Sıcak su, 54 m³/h kapasiteli (4 asıl+2 yedek) sıcak su sirkülasyon pompaları ile eşanjörlere iletilmektedir. Çürütücü tank içindeki çamurun homojen dağılımı için shaftlı mikser (1.144 m³/dk kapasiteli) ile karıştırma yapılır ve tank iç yüzeyde bulunan çarpma plakaları ile karışım verimi artırılır. Anaerobik çürütücü tank içindeki çamurun pH değerinin ayarlanması için kireç hazırlama ünitesinde hazırlanan ve kapasitesi 15 m³/h olan kireç pompaları ile dozlanarak pH yükseltilir. Çürütme tanklarından çıkan çamur cazibe ile çamur susuzlaştırma ünitesine iletilmektedir.

Çamur çürütme tankları, desülfürizasyon ünitesi ve biyogaz depolama tankları Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.10: a) Desülfürizasyon ve biyogaz depolama üniteleri, b) Anaerobik çürütme tankları.

Çamur çürütme ünitesinden elde edilen biogaz sırasıyla, köpük tutucu (275 m³/saat), damla tutucu (275 m³/saat), akümülatör (partikül filtresi–275 m³/saat) ve alev tutucu (275 m³/saat) emniyet ekipmanlarından geçer. 2 adet 2.600 m³ kapasiteli gaz depolama tanklarına iletilir. Bio-gaz, gaz depolama tanklarından ve çürütücü tankların tepesinden alınır ve 1.650 m³/saat kapasiteli desülfürizasyon ünitesinde H₂S giderimi yapılarak gaz basınçlandırma kompresörlerinden geçirilerek gaz motoruna sevk edilir. Ayrıca çürütücü bünyesindeki brülörlerde gerekli olan biyogaz, gaz depolama tanklarından alınarak 230 m³/saat kapasiteli gaz blowerları ile brülöre beslenir. 2.000 m³/saat kapasiteli flare vasıtasıyla fazla gaz basıncının dengelenme işlemleri yapılmaktadır. Çamur çürütme tankları eşanjör sistemleri Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.11: a) Çürütme tankları ısıtma kazanı b) Isı eşanjörü.

3.1.3.3. Çamur Susuzlaştırma Üniteleri

Çamur çürütücü tanklarında anaerobik faaliyet sonucu çürüyen % 4-6 yoğunluğundaki çamur, çamur çürütücü taşkan hattından cazibe ile çamur karıştırma tanklarına alınır. Son çökeltme havuzları köpük tahliye sistemi de bu tanka bağlantı bulunmaktadır.

Çamur Karıştırma tankında havalandırma işlemi için 2.000 Nm³/saat kapasiteli blower kullanılmaktadır. Çamur karıştırma tankından alınan %3 KM yoğunluğundaki çamur susuzlaştırma işlemi için dekantör santrifüjlere gönderilir. Susuzlaştırma işlemi için herbiri 60 m³/saat hidrolik kapasiteli 4 adet çamur pompası kullanılmaktadır. %2-3 KM yoğunluğundaki çamura, 7.000 litre kapasiteli 2 adet polielektrolit ünitesinde hazırlanan katyonik polielektrolit çözeltisi ilave edilir. Polielektrolit ile karıştırılmış

çamur her birinin kapasitesi 60 m³/saat kapasiteli 3 adet dekantöre iletilir. Ortalama çıkış katı madde içeriği %22-23 KM içeriğinde ulaştırılacak şekilde susuzlaştırılır ve elde edilen çamur keki Arıtma Çamuru Termal Kurutma tesisine iletilir.

3.1.4. Derin Deniz Deşarjı

Fiziksel ve biyolojik arıtma işlemlerinden, geçerekdeşarj edilebilir kriterlere getirilen atık su alıcı ortamlara verilmek üzere, arıtma tesislerinin son durağı olandeşarj pompa istasyonuna gelir.

Deşarj pompa istasyonunda bulunandeşarj pompaları, gelen atık su miktarına ve hazne seviyesine göre sırayla devreye girer. Haznedeki su seviyesi 4,3 m kotuna kadar cazibe ile terfi ettirilir. Bu seviyede cazibe hattındaki vana kapanarak, pompaj hattındaki vana açılır ve öncelikle 925 lt/sn kapasitesindeki küçük pompalar devreye girer. Bunun amacı 730 l/sn (6 adet) kapasiteli asıl pompaların kavitasyona uğramasını engellemek içindir. Bu pompalar belirlenen debiye geldiğinde devreden çıkarak yerini asıl pompalara bırakır. Çıkış pompa istasyonu pompaları devrede iken ani enerji kesilmesi durumunda boru hattında oluşabilecek vakum tehlikesine karşı denge bacası dizayn edilmiş, böyle bir durumda hatta vakum oluşmaması için denge bacasından su beslenerek bu tehlike önlenmiş olacaktır.

Arıtılan atıksu 2,4 km karada, 2,6 km ise denizde olan 1.600 mm çaplı HDPE polietilen borudan oluşan derin denizdeşarj hattı ile 50 m derinlikte denizedeşarj edilmektedir.



Şekil 4.12: Derin denizdeşarj istasyonu.

3.2. Mevcut Tesisin Atıksu Karakteristiğinin İncelenmesi

Çalışma kapsamında, Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin çalışma dönemini kapsayacak şekilde son bir yıllık kirletici yükleri ve çıkış kalitesi envanteri çıkarılmış ve değerlendirilmiştir. Tesisin giriş ve çıkış parametreleri Lara AAT'deki Atıksu Analiz Laboratuvarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Tesisin giriş ve çıkış suyunda KOİ, SKOİ, AKM, UAKM, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, pH analizleri bir yıllık 4 periyoda ayrılarak atıksu içerisindeki kirlilik yüklerinin değişimleri incelenmiştir. Herbir periyot 3 aylık süredeki ortalama atıksu karakterizasyonunu yansıtmaktadır.

Hurma Atıksu Arıtma Tesisine alınan atıksuyun karakterizasyonu kapsamında, 3 aylık zaman dilimini kapsayan 4 mevsimin koşullarını karakterize edici nitelikte olmak üzere Havalandırmalı Kum ve Yağ Havuzu çıkışından 24 saat boyunca 2 saatlik kompozit numuneler alınmaktadır.

Tablo 4.1: Mevsimsel atıksu giriş ve çıkış konsantrasyonları.

Atıksu Parametreleri	Periyot-I (Ara-Oca-Şub)		Periyot-II (Mar-Nis-May)		Periyot-III (Haz-Tem-Ağu)		Periyot-IV (Eyl-Eki-Kas)	
	G	Ç	G	Ç	G	Ç	G	Ç
Toplam KOİ	450	22	570	35	650	47	635	54
Çöz. KOİ	200	13	130	12	230	38	267	35
AKM	155	30	285	15	540	16	276	30
UAKM	115	19	232	15	430	16	225	22
TKN	34	9.7	47	6.0	42	8.8	56	11.0
NH ₄ -N	18	5.7	30	0.6	28	2.0	28	4.2
Toplam P	4.8	2.5	5.5	0.8	5.3	1.0	5.3	2.2
PO ₄ -P	2.6	1.0	3.4	0.7	4,4	0.7	3,4	0.8
pH	7.9	7.4	7.8	7.8	7.5	7.5	7.9	7.6
T (°C)	14	14	19	19	24	21	22	20
KOİ/TKN	13.2		12.1		15.5		11.3	13.2
Çöz. KOİ/TP	41.7		23.6		43.4		50.4	

Bu numunelerin 1 yıllık (2012) envanteri toplanarak atıksuyun karakterizasyonunun oluşturulması sağlanmıştır. 1 yıl boyunca alınan numunelere istinaden 4 ayrı dönem için ortalama tesis giriş ve çıkış suyu ortalama değerleri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. incelediğinde atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun karakteri yıl içinde değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Atıksu karakteri özellikle yaz aylarında daha konsantre hale gelmekte olup kış aylarında seyrelmektedir. Kentsel Atıksuların Arıtılması Deşarj Limitlerine göre arıtılmış suyun kalite parametrelerinin $TN < 10$ mgN/L, $TP < 1$ mgP/L, $KOİ < 125$ mg/L, $AKM < 35$ mg/L koşullarını sağlaması gerekmektedir. İşletmeden elde edilen veriler incelendiğinde periyotlar için özellikle TN ve AKM parametresinin sınırda olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4.2: Giriş UYA konsantrasyonları.

UYA Bileşenleri (mg/l)	Periyot-I (Ara-Oca-Şub)	Periyot-II (Mart-Nisan-May)	Periyot-III (Haz-Tem-Ağu)	Periyot-IV (Eyl-Eki-Kas)
Asetik Asit	10,2	10,2	11,4	12
Propiyonik Asit	6,72	6,38	6,5	6,72
İsobütirik Asit	4,4	4,24	4,66	5,1
Bütirik Asit	6,16	6,48	6,16	6,51
İsovalerik Asit	4,08	5,1	5,1	5,3
Valerik Asit	8,16	7,85	7,65	8,9
İsokaproik Asit	11,36	10,67	9,28	11,6
Kaproik Asit	11,6	10,90	11,38	15,08
Hegzonoik Asit	16,24	16,48	16,05	16,33
UYA	78,92	78,30	78,18	87,54

Tablo 3.1.'de belirtilen KOİ parametresinin ortalama değeri orta kuvvetli evsel atıksu karakterizasyonu [Tchobanoglous et al., 2003] ile karşılaştırıldığında ortalama yük mertebesinde olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3.2.'de belirtilen değerlere bağlı olarak, karakterizasyon çalışmasında Uçucu Yağ Asitleri (UYA), çözünmüş KOİ'nin %30'unu oluşturmaktadır. UYA değerleri özellikle besi maddesi giderimi yapan tesisler için önemli olmakla birlikte Avrupa'daki atıksu karakteri ile

karşılaştırıldığında süzölmüş KOİ'ye oranla oldukça düşük mertebede kalmaktadır. Avrupa'da bu oran yaklaşık %50-%70 mertebesindedir. [Ağdağ ve Sponza, 2004]

Tablo 4.3: Giriş inorganik madde konsantrasyonları.

UYA Bileşenleri (mg/l)	Periyot-I (Ara-Oca-Şub)	Periyot-II (Mar-Nis-May)	Periyot-III (Haz-Tem-Ağu)	Periyot-IV (Eyl-Eki-Kas)
Florür	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Klorür	156	100	128	147
Nitrit	2,5	2,35	2,63	2,98
Nitrat	1,5	1,68	2,4	3,4
Bromür	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fosfat	8,1	6,9	7,5	9,7
Sülfat	60,6	56,4	66,8	58,4
Sodyum	116	89	104	92
Potasyum	23	25	24,9	21
Magnezyum	25	24,5	23,7	25
Kalsiyum	95	93,7	90	99

4. TESİSİN SİSTEM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

4.1. Tesisin Kütle Dengeliği

Atıksu arıtma tesisinin 1 yıllık ortalaması dikkate alındığında her bir üniteye oluşan katı madde yükleri, %KM konsantrasyonları Tablo 4’de özetlenmiştir. Bu veriler dikkate alınarak atıksu arıtma tesisinin havalandırma havuzu ve anaerobik çürütme sisteminin performansı hesaplanmıştır. Proses hesaplamalarında ATV131 (2000) ile Biowin 3.1 simülasyon programı kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Hurma AAT kütle dengesi (yıllık ortalama).

Atıksu Arıtma Ünitesi	Kuru Hava Debisi m ³ /gün	Katı Madde	
		%	Yük (kg/gün)
Atıksu Akımları			
Giriş Atıksu	135.000	0,30	40.500
Ön çökeltme sonrası	134.650	0,15	20.200
Deşarj	134.880	0,01	1.350
Geri dönüş akımı	2.352	0,40	850
Çamur Akımları			
Ön çökeltme	350	5,5	20.350
Son çökeltme	2.130	0,8	20.700
Yoğunlaşt. Son çökeltme	348	5,8	20.290
An. Çamur çürütme öncesi	698	5,6	40.645
An. Çamur çürütme sonrası	698	5,6	28.000
Susuzlaştırma	140*	20	28.000
Çamur Kurutma	~15	97	28,000

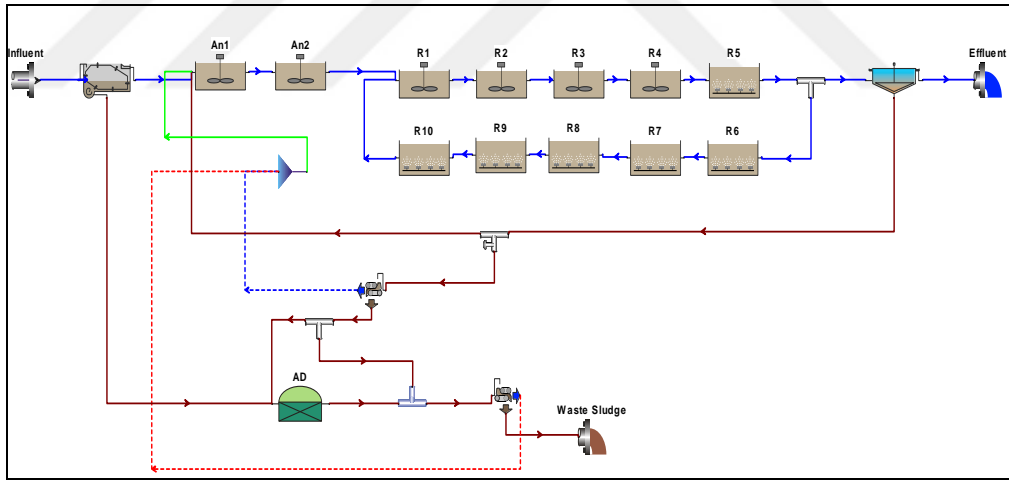
Tablo 4.1.’de verilen değerler ortalama atıksu karakterizasyonu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Tesisin kütle dengelerinin hesaplanmasında elde edilen sonuçlar tesis işletmesi ile uyum sağlamaktadır. Sonuç olarak ortalama yaz dönemini karakteri

eden kuru hava debisinde ön çökeltme ve son çökeltme çamuru miktarları günde sırası ile 20.350 ve 20.700 kg/gün mertebesinde üretilmektedir. Tesiste günde üretilen kurumuş çamur miktarı ise yaklaşık 15 ton olarak bulunmuştur.

4.2. Aktif Çamur Proses Performansı

4.2.1. Genel Proses Performansı

Laboratuvardan alınan bilgiler ve güncel işletme koşullarına istinaden proses simülasyon programı Biowin 3.1. yardımıyla tesis genelinde simülasyon yapılarak arıtma performans analizi gerçekleştirilmiştir. Tesis simülasyonunda kullanılan akım diyagramı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Bir önceki bölümde bahsedilen tesis işletme bilgileri, kütle dengeleri, havalandırıcı kapasiteleri simülasyon programına tanıtarak tesis bazında hesaplama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1: Hurma AAT simülasyon konfigürasyonu.

Tesis işletmesine paralel olarak simülasyonda yapılan kabuller aşağıda özetlenmektedir:

Ön çökeltme verimi maksimum %50 olacak şekilde ayarlanmıştır. Havalandırma havuzunun toplam çamur yaşının 7-8 gün olması sağlanarak biyolojik çamur RAS akımından atılmıştır. Mekanik yoğunlaştırma ve susuzlaştırma ünitesinin

katı madde tutma verimleri %98 alınmıştır. Havalandırma havuzunun %40'ı anoksik (havalandırmasız) şartlarda işletilmiştir.

Anaerobik çürütücüden sonra ortaya çıkan AKM, azot ve fosfor vb. geri dönüş yükleri hesaplanmıştır. Havalandırma havuzu ortalama atıksu sıcaklığı 19 °C olarak alınmıştır. Anaerobik çürütücüde proses sıcaklığı 35 °C olarak alınmıştır. Anaerobik Çürütücü hidrolik bekletme süresi 24 gün olarak alınmıştır. (2 anaerobik çürütücü) Gerçek işletme koşullarındaki gibi biyolojik çamurun % 50'si anaerobik çamur çürütücüye beslenmekte olup geriye kalan miktarı doğrudan susuzlaştırılmaktadır.

Bu kabuller doğrultusunda ön çökeltme havuzu AKM giderim verimi %40-50 ve biyolojik çamurun %50-%100'ünün anaerobik çürütücüye verilmesi durumunda sistemin performansı farklı senaryolar için hesaplanarak Tablo 5'te özetlenmiştir. Mevcut işletme düzenine göre farklı senaryolara (S1-S3) ait elde edilen sonuçlar incelendiğinde:

Tesisin toplam azot (TN) deşarj standardını sağladığını ancak ön çökeltme havuzu AKM giderim veriminin %50 olması ve biyolojik çamurun tamamının anaerobik çürütücüye verilmesi durumunda TN standardının sağlanmasında kritik seviyeye ulaşacağı anlaşılmaktadır (Senaryo 3).

Biyolojik fosfor gideriminin de ön çökeltme veriminin %50 olması ve biyolojik çamurun %50'sinin çürütücüye verilmesinde kritik nokta olduğu sonucuna varılmıştır. Aksi takdirde geri dönüş akımlarının sistemin toplam fosfor giderim verimini olumsuz etkileyeceği görülmektedir.

Sistemin biyogaz üretim potansiyeli incelendiğinde ise 3. Senaryoda en yüksek biyogaz potansiyeline sahip olduğu ve günde yaklaşık 7.360 m³ biyogaz üretebileceği görülmektedir. Ancak bu alternatifte geri dönüş akımlarındaki nutrient seviyesinin yüksek olması nedeniyle deşarj limitlerinin sağlanmasında problem yaşanabilecektir. Hesaplamalara göre mevcut işletme şartlarında anaerobik çamur çürütücünün düzenli işletilmesi durumunda günde 5.120 m³ biyogaz elde edilmesi beklenmektedir.

Tablo 4.2: Hurma AAT simülasyon sonuçları (N,P geri dönüş dahil).

İşletme Koşulları	Senaryolar			
	Mevcut	S1	S2	S3
Ön çökeltme %AKM Giderim Verimi	40%	50%	40%	50%
Anaerobik Çürütücü %Biyolojik Çamur	50%	50%	100%	100%
Deşarj Kalitesi				
Toplam KOİ (mg/L)	37	37	38	38
Toplam P, TP (mgN/L)	0.95	1.00	1.20	1.30
Toplam N, TN (mgP/L)	5.1	7.7	7.5	9.5
Çamur Üretimi (kgKM/gün)				
Ön çökeltme Çamuru	16,270	20,337	16,268	20,338
Biyolojik Çamur	21,893	19,553	22,602	20,182
Çürütülmüş Çamur	20,863	22,772	29,241	30,589
Susuzlaştırılmış Çamur	31,208	31,898	28,896	29,977
Biogaz Üretimi (m ³ /gün)	5,120	6,135	6,735	7,362

Tablo 4.2.'de farklı işletme senaryolarında çamur süzüntü akımlarındaki nutrient yükleri göz önüne alınarak tesisin başına dönen azot ve fosfor yüklerinin toplam tesis yüküne oranları görülmektedir. Mevcut işletme koşullarında tesisin başına dönen toplam azot yükü %3.8 iken bu değer Senaryo 3 için %6.4 değerine ulaşmaktadır. Öte yandan, toplam fosfor yükü incelendiğinde ise bu değer mevcut durumda %14'ten %33 mertebesine çıkmaktadır. Dolayısı ile anaerobik çamur çürütücünün sistem performansına etkisi oldukça fazladır. Çamur akımlarında fosfor geri kazanımı uygulandığında deşarj akımındaki fosfor konsantrasyonları da düşecektir. Tablo 4.3.'de geri dönüş akımlarında nutrient geri kazanımı yapıldığında hesaplanan deşarj kalitesi özetlenmektedir. Sonuç olarak yüksek çökeltme verimi ve biyolojik çamurun tamamından biyogaz elde edilmesi için deşarj kalitesinin etkilenmemesi için en azından P geri kazanımı yapılması düşünülmelidir. Azot parametresi için havalandırma havuzunun işletme parametreleri ön çökeltme havuzu verimi ile optimize edilebilir.

Tablo 4.3: Geri dönen akımlardaki N ve P yükleri.

Ön Çökeltme %AKM Giderim Verimi→	40%	50%	40%	50%
Anaerobik Çürütücü %Biyolojik Çamur →	50%	50%	100%	100%
Azot (N)				
Geri Döner Azot Yüğü TN (kg/day)	245	232	400	412
Geri Döner Azot Yüğü Oranı (%)	3.8	3.6	6.2	6.4
Fosfor (P)				
Geri Döner Fosfor Yüğü TN (kg/day)	94	90	242	221
Geri Döner Fosfor Yüğü Oranı (%)	14	13	36	33

Ayrıca, ATV-131 tasarım yöntemi ve Tablo 4.4.'de verilen atıksu karakterizasyonu kullanılarak havalandırma havuzunun maksimum kapasitesi 130,000 m³/gün atıksu için hesaplanmıştır. Hesap detayları Ek-B'de yer almaktadır.

Tablo 4.4: Hurma AAT simülasyon sonuçları (N,P geri dönüş dahil değil).

Tesis İşletme	Senaryolar			
	S4	S5	S6	S7
Önçökeltme %AKM Giderim Verimi	40	50	40	50
Anaerobik Çürütücü %Biyolojik Çamur	50	50	100	100
Deşarj Kalitesi				
Toplam KOİ (mg/L)	35	35	35	35
Toplam P, TP (mgN/L)	0,78	0,82	0,7	0,8
Toplam N, TN (mgP/L)	3,9	4,9	3,9	4,9

Dolayısı ile 46.200 m³ hacmine sahip 1 adet havalandırma havuzunun kaldırabileceği kirletici yükler Tablo 4.5.'de havalandırma havuzuna kabul edilebilecek maksimum yükler belirtilmektedir. Tablo 4.5.'de belirtilen yüklerle istinaden 1.778 kgO₂/saat Oksijene ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 4.5: Kütle dengesinde kullanılan maksimum kirletici yükleri.

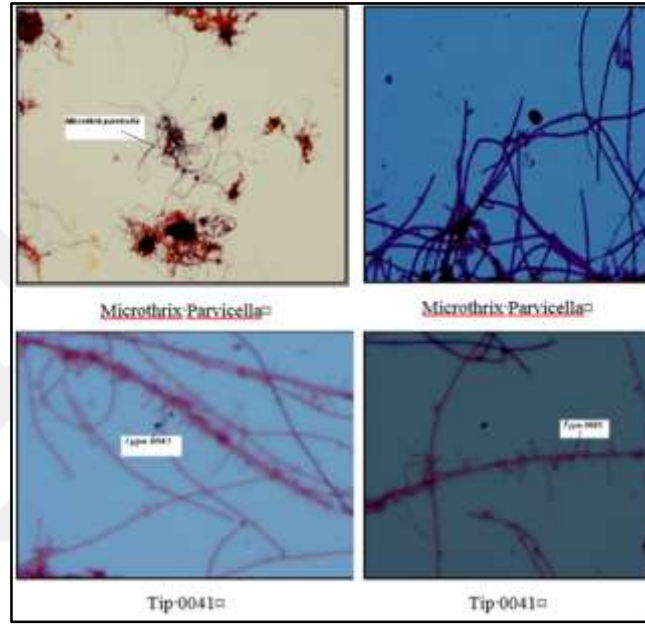
Parametre	Değer	Yük
	mg/l	kg/gün
Toplam KOİ	380	49.000
Toplam BOİ ₅	170	22.100
Çözünmüş KOİ	180	23.400
AKM	130	16.900
UAKM	100	13.000
TKN	40	5.200
NH ₄ -N	30	3.900
Toplam P	5.0	650

4.2.2. Aktif Çamurun Mikrobiyolojik İncelemesi

Aktif Çamurun mikroskopik muayenesi, çökeltme sorunlarının tanımlanmasında önemlidir. Özellikle filamentli bakterilerin diğer flok yapıcı mikroorganizmalara göre baskınlık elde etmesi özellikle son çökeltmede çamurun sudan ayrılmasında ciddi problemler yaratmaktadır. Çökeltme özelliği bozulmuş çamurun kontrol altına alınmasında birinci basamak tür saptanmasıdır. Hurma İleri Biyolojik atıksu arıtma tesisi Havalandırma Havuzuna alınan numunede mikroskopik incelemeler yapılmıştır. Şekil 4.2.'de mikrobiyal inceleme sonucu elde edilen görüntü sonuçları yer almaktadır. Aktif Çamurdaki flok yapısının ve filamentli mikroorganizmaların türlerinin tespiti amacıyla preparatlar hazırlanmış ve Gram Boyama ile Neisser Boyamaya tabi tutulmuşlardır. Gram Boyama uygulandıktan sonra öncelikli olarak flok yapısı incelenmiştir. Yumağın temelini oluşturan heterotrofik mikroorganizmaların (Pseudomonas, Flavobacterium, Citromonas, Zooglea) sayıca az olduğu ve filamentli türlerin baskın olması sebebiyle mikroyapıyı sararak dağınık ve açık flok yapısı oluşturduğu görülmüştür. Gram (+), Neisser (+) bir filamentli mikroorganizma olan Microthrix parvicella'nın en baskın tür olduğu görülmüştür. Tür tespitini doğrulamak amacıyla Neisser ile boyanan preparat (granül boyama) incelenmiş ve Neisser (+) olduğu belirlenmiştir. Bu tür, yumaklar arasında veya sıvıda serbest halde gözlemlenmiştir. Microthrix parvicella'dan sonra varlığına rastlanılan diğer tür ise Tip

0041 olmuştur. Gram (+), Neisser (-/+) olabilen bu türün en belirgin özelliği tutunarak çoğalan bakteriler tarafından sarılı oluşudur. Yukarıda belirlenen ipliksi türlerin yanı sıra Tip 0092 ve Beggiatoa türlerinin varlığına da rastlanılmıştır ancak bu tür oldukça az sayıdadır.

Filamentli mikroorganizmaların varlığı çökeltme, çamur susuzlaştırma, çamur çürütme ünitelerinde ciddi problemler yaratmakta olup işletme sırasında kontrol altına alınması gerekmektedir.



Şekil 4.2: Hurma AAT aktif çamur mikroskop incelemesi.

Hurma atıksu arıtma tesisinin aktif çamur ünitesinden alınan bakteriolojik analizlerin incelenmesi sonucunda filamentli bakteri türünden *Microthrix parvicella* ve Tip 0041 en yaygın tür olarak saptanmıştır. Bunlardan *Microthrix parvicella*'nın aşırı çoğalmasında giriş atıksuyundaki uzun zincirli yağ asitleri, havalandırma havuzundaki çok düşük oksijen seviyeleri, gereğinden fazla anoksik hacim oranları, tamamlanmamış nitrifikasyon işlemi gibi faktörlerin etkilediği rapor edilmektedir. Tip 0041 ise düşük F/M oranlarında çoğaldığı flok yapısına katkıda bulunduğu bilinmektedir. Hurma atıksu arıtma tesisinde filamentli bakterileri kontrol altına alınabilmesi için aşağıdaki işlemlerin uygulanması yapılabilir.

- Aktif çamur sisteminden düzenli olarak çamur atılması ve çamur yaşı kontrolü

- Havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen dağılımının giriş koşullarına göre optimize edilmesi
- Havalandırma havuzunda nitrifikasyon işleminin tamamlanması
- Havalandırma havuzundaki anoksik hacim oranının giren KOİ/TKN oranına göre günlük ayarlanması.
- SVI ölçümünün MLSS konsantrasyonunu deşar suyu ile 3500 mg/l seviyesine getirilerek yapılması
- Çamur çökelme hızı deneyinin (ZSV: Zone settling velocity) standarda uygun olarak sürekli ölçülmesi
- Çamur kütle dağılımının havalandırma ve son çökelme havuzu arasında uygun olarak sağlanması
- Havalandırma sisteminde MLSS konsantrasyonunun 4.000-4.500 mg/L değerinden daha yüksek çalıştırılmaması önerilmektedir.

Bunların dışında geçici çözüm olarak filamentli bakterilerin baskın olduğu ve çökelme probleminin başladığı zaman (ZSV çamur çökelme deneyine paralel olarak) geri devir akımına hipoklorit dozlamasının yapılması önerilmektedir.

4.3. Anaerobik Çamur Çürütme Performansı

Bu bölümde Hurma Atıksu Arıtma Tesis anaerobik çamur çürütücülerinin verimleri ve biyogaz üretim potansiyelleri incelenmiştir. İşletilen anaerobik çürütücüler (D ve C tankları) ve gaz depolama tanklarına ait görüntüler aşağıdaki Şekil 4.3.'de verilmektedir. Tesiste her biri mezofilik şartlarda işletilen C ve D tanklarına yoğunlaştırılmış biyolojik çamur ve primer çamur karıştırılarak verilmektedir. Anaerobik çamur çürütücü çıkışında çamur çamur susuzlaştırma işlemine tabi tutulmaktadır.



Şekil 4.3. Anaerobik çamur çürütücüler.

Tesis işletmesinden 23.12.2011 ve 29.08.2012 tarihlerini kapsayan işletme verileri incelenmiş olup aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Tablo 4.6.'da belirtildiği üzere, Anaerobik çürütücülerin (D, C) besleme debileri 200-600 m³/gün arasında değişkenlik göstermektedir. Çürütücülere girişteki UAKM/AKM oranı %70 ve ortalama UAKM konsantrasyonu %3.3 KM olarak ölçülmüştür. Tesisin UAKM giderim verimleri %15-50 arasında değişkenlik göstermekte olup ortalama UAKM giderim verimi %35 mertebesindedir. Tesiste Mart-Nisan 2012 ayları arasında Uçucu Yağ Asidi (VFA) birikimi gözlenmiş olup bu değer 400 mg/L seviyelerine kadar çıkmaktadır. pH ölçüleri incelendiğinde tankların içerisindeki değerlerin 7.3±0.13 aralığında değişmektedir. Öte yandan biyogazdaki metan ve karbondioksit oranları sırası ile %64±2.4 ve %35±1.5 olarak tespit edilmiştir.

Giriş debilerine göre anaerobik çürütücülerdeki biyogaz potansiyelleri 400 ile 4.500 m³/gün olarak büyük değişkenlik göstermektedir.

Tablo 4.6: Çamur çürütme proses verileri.

Parametre	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos
D Tankı Debi (m ³ /gün)	266	184	181	172	252	277	276	105
D Tankı Çamur Yaşı (gün)	34	49	49	52	36	33	33	86
D Tankı Biyogaz (m ³ /gün)	2.478	2.468	1.405	1.166	1.608	1.188	789	188
D Tankı CH ₄ Oranı (%)	63,9	63,7	64,4	63,9	62,6	61,9	62,7	62,9
C Tankı Debisi (m ³ /gün)	323	192	181	293	336	320	276	189
C Tankı Çamur Yaşı (gün)	28	46	48	31	27	28	33	48
C Tankı Biyogaz (m ³ /gün)	414	152	696	1.403	1.611	1.606	1.641	1.372
D Tankı CH ₄ Oranı (%)	63,3	63,5	63,9	63,4	62,9	62,5	63,4	63,1
TKM (mg/l)	55,1	49,1	45,1	46,4	39,8	42,7	37,9	42,0
UAKM (mg/l)	42,6	38,6	36,5	35,5	30,4	32,6	28,9	33,7

Tablo 4.6.'da Anaerobik çürütücülerin (D, C) besleme debilerindeki değişkenlikler ve proses ile ilgili bilgiler gösterilmiştir.

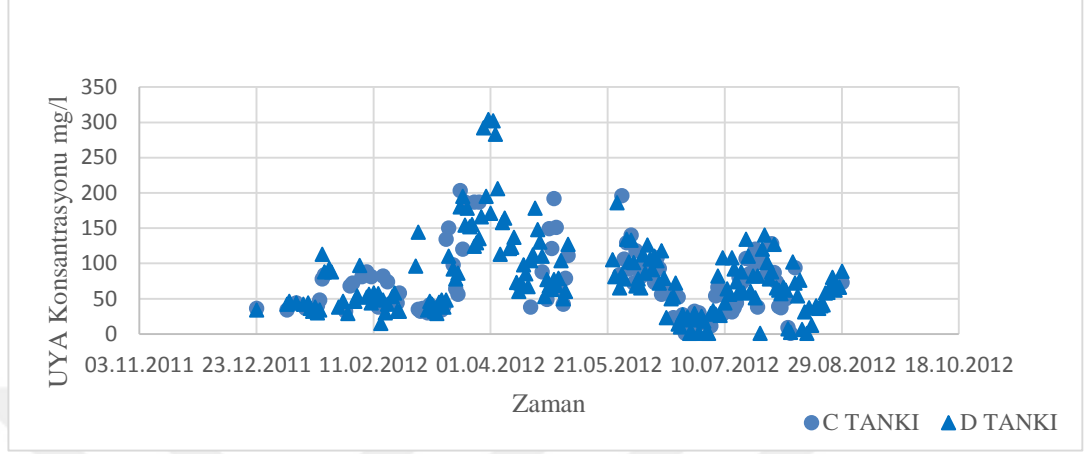
Tablo 4.7: D çürütme tank verileri.

Parametre	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	7.Ay	8.Ay
TKM (mg/l)	25.675	25.793	25.784	25.888	25.271	25.526	26.019	24.704
UAKM (mg/l)	16.988	17.314	17.927	18.278	17.933	18.102	19.452	17.411
UYA (mg/l)	48	69	85	107	109	55	71	48
Alkalinite (mg/l)	2.747	2.930	4.119	4.130	3.167	2.658	2.490	2.285
Sıcaklık (°C)	36,1	32,9	36,3	32,5	34,4	31,7	36,5	33,1
pH	466	519	457	465	430	446	340	469

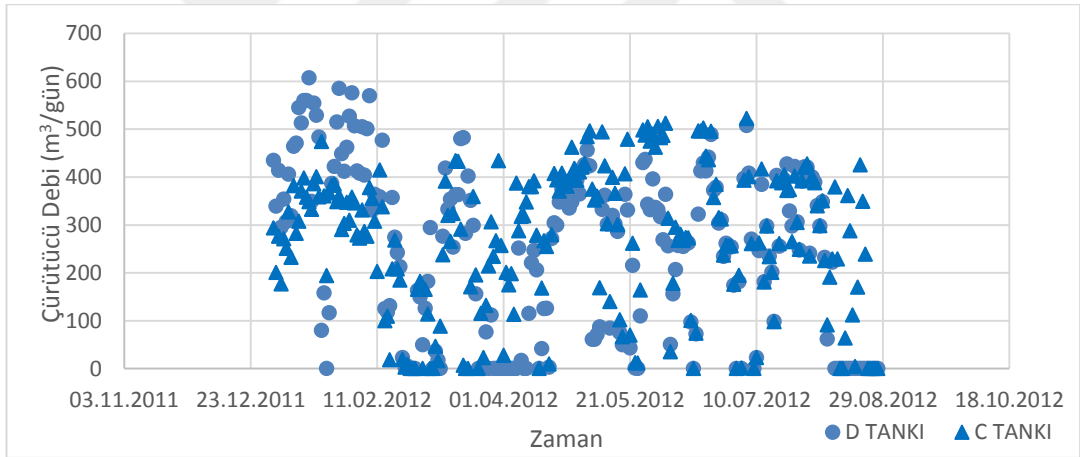
Tablo 4.8: C çürütme tankı verileri.

Parametre	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	7.Ay	8.Ay
TKM (mg/l)	24.638	25.040	25.141	24.818	24.837	25.201	25.484	23.703
UAKM (mg/l)	12.483	14.262	15.303	17.015	18.680	19.258	18.290	17.443
UYA (mg/l)	51	53	116	125	99	62	68	51
Alkalinite (mg/l)	2.435	2.654	4.027	4.331	3.157	2.647	2.540	2.326
Sıcaklık (°C)	36,54	36,91	36,94	36,80	36,76	36,60	36,85	36,87
pH	7,3	7,4	7,5	7,6	7,6	7,5	7,5	7,4

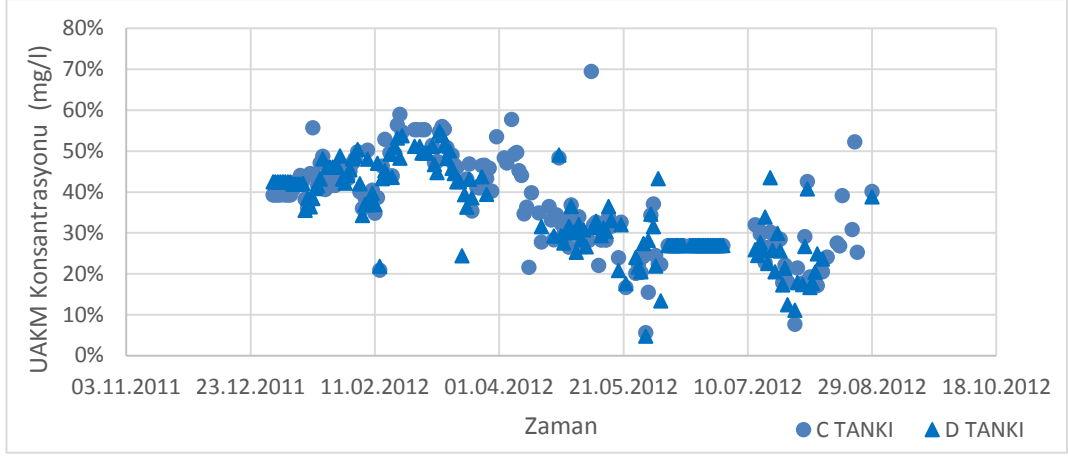
D ve C numaralı çürütücülerin günlük besleme debileri, Uçucu Yağ Asidi (UYA) konsantrasyonları, UAKM giderimleri ve biyogaz üretimleri Şekil 4.4. Şekil 4.5, Şekil 4.6. ve 4.7.'de özetlenmektedir.



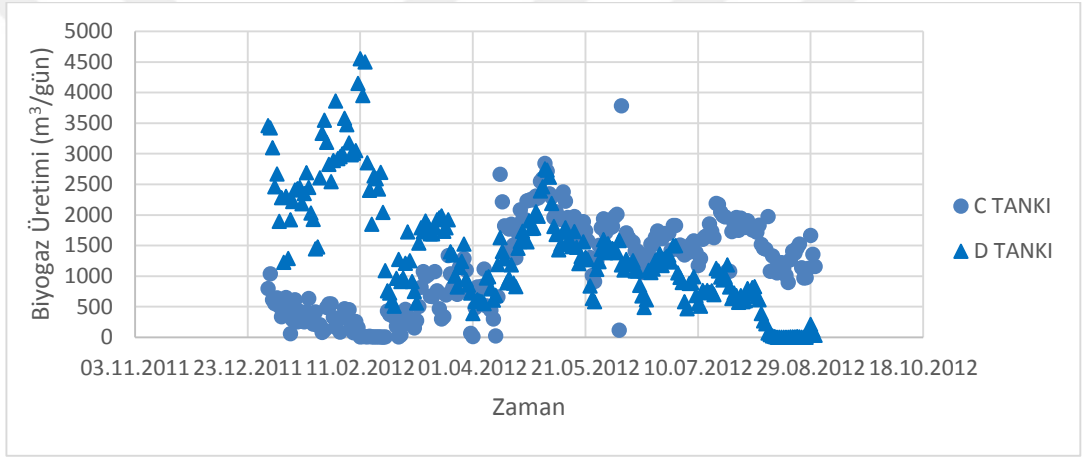
Şekil 4.4: Çürütücü tankları UYA konsantrasyonu.



Şekil 4.5: Çamur çürütücü besleme debisi.



Şekil 4.6: Çamur çürütücü UAKM giderim verimleri.



Şekil 4.7: Çamur çürütücü biyogaz üretimi.

Tablo 4.9: Anaerobik çamur çürütme verimine göre maksimum biyogaz potansiyeli.

İşletme Verileri	Birim	Değer			
Giriş Koşulları					
Toplam Debi, Q	m ³ /gün	700	700	700	700
Giriş UAKM Kons.	% KM	3,3	3,3	3,3	3,3
VSS/TSS Oranı	%	70	70	70	70
Çıkış Koşulları					
UAKM Giderim Verimi	%	40	30	25	20
Metan Yüzdesi	%	65	65	65	65
Çıkış UAKM	%KM	2,28	2,66	2,85	3,04
Giderilen UAKM	kg/gün	12.160	9.120	7.600	6.080
Üretilen Çamur, P _x	kg/gün	1,92	2,24	2,4	2,56
Üretilen Metan, CH ₄	m ³ /gün	3.340	2.517	2.097	1.678
Biyogaz Potansiyeli	m ³ /gün	5.130	3.870	3.230	2.580

Çamur çürütücülerin metan ve biyogaz üretme potansiyeli,

$$CH_4 = 0,35 \times (S_0 - S) \times Q - 1,42 \times P_X \dots(4.1)$$

denklemini yardımıyla hesaplanmıştır [Metcalf & Eddy,2012].

Bu denklemde, (S₀-S)·Q terimi giderilen organik maddeyi, P_x ise üretilen çamur miktarını ifade etmektedir.

Farklı organik madde giderim yüzdeleri için beklenen biyogaz üretim potansiyelleri Tablo 4.9.'da hesaplanarak belirtilmiştir. Hurma AAT, Anaerobik Çamur Çürütme Sistemi performansı Tablo 4.9. ile karşılaştırıldığında UAKM giderim verimlerine karşılık gelen biyogaz üretimleri benzerlik göstermektedir. Örneğin, çürütücülerde UAKM giderim verimi %40 değerine karşı oluşan biyogaz miktarı maksimum 5.000 m³/gün değerine ulaşmaktadır. Bu değer tabloda verilen 5.130 m³/gün değerine yakın seviyededir.

Benzer şekilde, UAKM giderim veriminin %20 mertebesine düşmesi biyogaz potansiyelini 2.580 m³/gün seviyesine indirmektedir. Şekil 4.9'daki gerçek zamanlı veriler incelendiğinde 10.07.2012 tarihinde toplam biyogaz üretimi 2.500 m³/gün seviyesine düşmektedir.

Bilindiği üzere anaerobik bakterilerin çoğalma hızları düşük olduğu için sistemin denge koşullarına ulaşabilmesi için uzun süreler gerekmektedir. Öte yandan özellikle anaerobik çamur çürütmede kullanılan reaktörler mümkün olduğunca sabit organik yüklemeler altında çalıştırılmalıdır.

Hurma atıksu arıtma tesisi işletmesi incelendiğinde D ve C çürütücülerinin beslenmesi sürekli ve düzenli olarak gerçekleştirilememiştir. Uzun periyotlar sonrasında organik madde yüklemeleri tesiste Uçucu Yağ Asidi (VFA) birikimine neden olmaktadır. Bunun sebebi uzun süreli beslenmeyen reaktörlerde metan üreten bakterilerin aktivite kaybına neden olması ve fermentasyon sonucunda ortamda VFA birikmesidir. Sonuç olarak uçucu yağ asitlerinin (asetik, propiyonik, bütirik vb.) metanojenler tarafından metan gazına dönüştürülememesi biyogaz üretiminin olumsuz etkilenmesine neden olmuştur [WEF, 2012].

4.4. Çamur Susuzlaştırma Veriminin Değerlendirilmesi

Çamur susuzlaştırma işlemi çamurun sudan ayrılması işlemi olup Hurma atıksu arıtma tesisinde dekantör santifüj tipi susuzlaştırma yöntemi uygulanmaktadır. Santifüj ile susuzlaştırma işlemi yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinden faydalanılarak katı çamur fazının sudan ayrılmasıdır. Dekantör santrifüj verimleri, arıtma çamurunun cinsine göre %20 ile %30 katı madde aralığında değişmektedir. Özetle, çamur susuzlaştırma veriminin mümkün olduğunca yüksek tutulması istenmektedir. Özellikle Hurma atıksu arıtma tesisi için susuzlaştırma veriminin yüksek olması kurutma için harcanacak enerjiyi de azaltacaktır. Termal yöntemlerle 1 ton suyun buharlaştırılması için gerekli enerji (ısı + elektrik) 800 kWsaat olarak hesaplanmıştır [ATV-M379E,]. Buna göre günde 150 ton ıslak çamur üreten Hurma atıksu arıtma tesisinde günde yaklaşık 110 ton suyun buharlaştırılması için 88.000 kWsaat enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır (%25 KM). Çamurun KM içeriği %16'ya düşmesi buharlaştırılacak su miktarını 126 tona çıkaracaktır. Dolayısı ile günde ekstra 16 ton buharlaştırılması gereken su için yıllık enerji ihtiyacı 4.672.000 kWsaat (elektrik+ısı dahil) olacağı beklenmektedir. Dolayısı susuzlaştırma verimi enerji verimliliği açısından önemlidir.

Genel olarak çamur susuzlaştırma verimine etki eden faktörler aşağıda verilmektedir [WEF, 2012].

- Stabilize edilmemiş biyolojik çamurun primer çamura göre susuzlaştırma verimi daha düşüktür dolayısı ile biyolojik çamur ve primer çamur karışım oranı da susuzlaştırma verimi etkilemektedir.
- Susuzlaştırma sistemine giren hidrolik ve katı madde yükleri
- Susuzlaştırılacak çamurun partikül boyut dağılımı
- Aktif çamur sistemindeki filamentli mikroorganizmaların varlığı
- Çamuru pH ve Sıcaklığı
- Atıksu arıtma tesisinin aşırı biyolojik fosfor giderim verimi
- Ortamdaki mono ve divalent iyonların varlığı

Şekil 4.8'de gösterildiği üzere, Hurma atıksu arıtma tesisinde çamur susuzlaştırma işlemi GEA dekantör santrifüjler yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

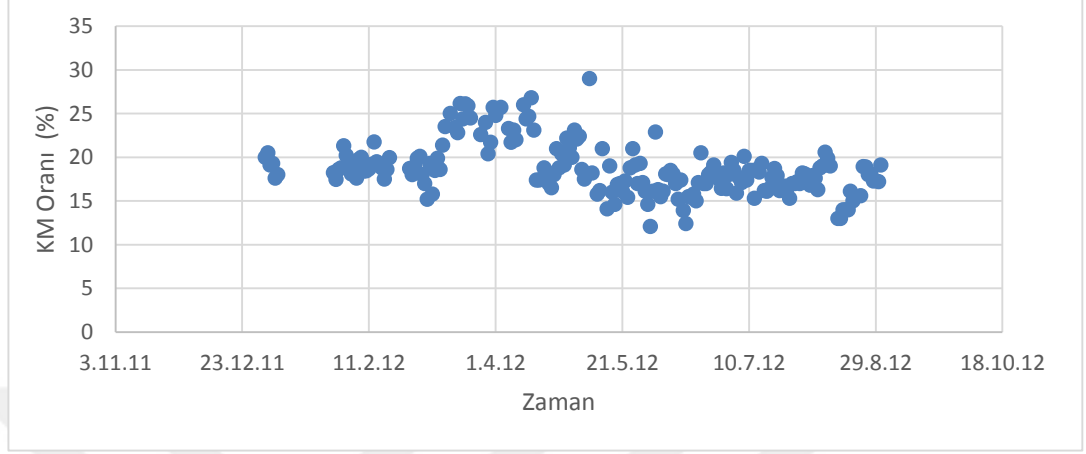
İncelenen periyot içinde dekantör çıkışındaki % KM konsantrasyonu ve harcanan polielektrolit dozları Şekil 4.9., 4.10., 4.11. ve 4.12.'de verilmektedir. Ortalama 10 kg/ton polielektrolit dozlamasına (ton KM çamur başına kg poli dozu) karşılık dekantörden %22 katı madde içeriğine sahip susuzlaştırılmış çamur elde edilebilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği şekilde çamur çürütme veriminin %40-45 UAKM giderim verimlerine ulaşıldığında maksimum susuzlaştırma performansı olarak %24 KM içeriği elde edilmiştir. Dolayısı ile stabilizasyon seviyesi arttığında çamur susuzlaştırma veriminde iyileşme gözlenmiştir. Stabilizasyon veriminin bozulmaya başladığı 01.04.2012 tarihinden itibaren çamur susuzlaştırma veriminde azalma görülmüştür. UAKM bazında stabilizasyon verimi %20 mertebesine düştüğü zaman susuzlaştırma verimi de azalrak dekantör çıkışı katı madde içeriği %16 mertebesine inmiştir. Sonuç olarak anaerobik çürütme sisteminin performansının çamur susuzlaştırma verimini etkilediği kanaatine varılmıştır.



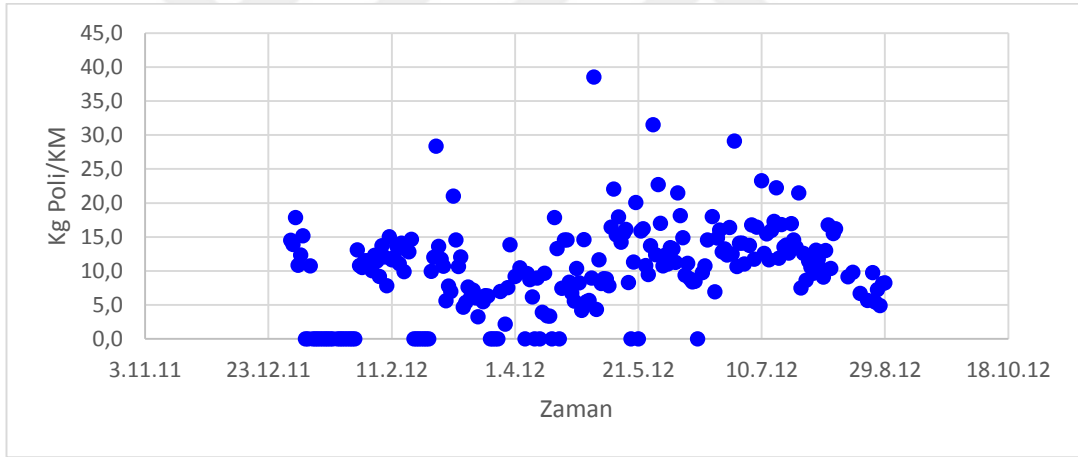
Şekil 4.8: Dekantör santrifüj sistemi.

Mevcut veriler değerlendirilerek 13.09.2012 tarihinden itibaren yüksek şarjlı, yüksek moleküler ağırlıklı poli dozlaması gerçekleştirilmiştir. İşletmede 10 kg/ton polielektrolit dozlamasında %20 KM içeriğine sahip susuzlaştırılmış çamur elde edilmiştir. Bu süreçte anaerobik çürütme sistemine 1 ay süre boyunca mümkün olduğunca düzenli çamur beslenmiştir. Polielektrolit dozlaması sabit tutularak çamurun katı madde içeriği %15'ten %19 seviyesine çıkartılabilmıştır. Özellikle

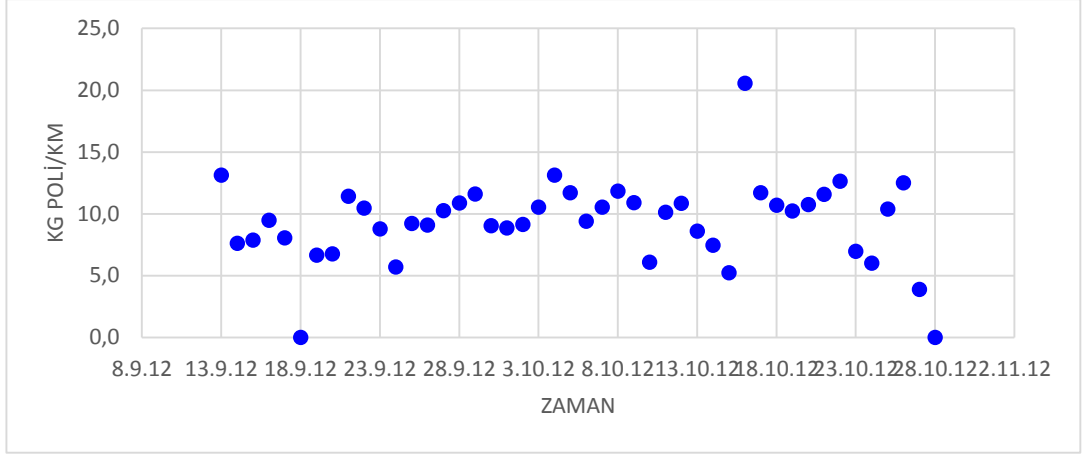
biyolojik aşırı fosfor gideren aktif çamur sistemlerinde çamurun katı madde içeriği %22-25 seviyesinde olup polielektrolit dozu 5-8 kg/ton aralığında değişkenlik göstermektedir [WEF, 2012].



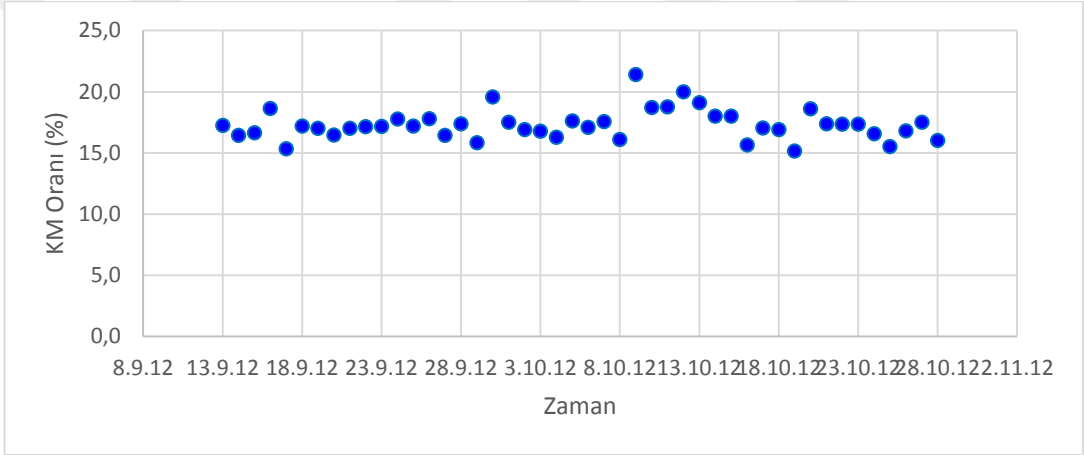
Şekil 4.9: Çamur susuzlaştırma sonrası KM oranı değişimi.



Şekil 4.10: Çamur susuzlaştırma sırasında polielektrolit dozaj değişimi.



Şekil 4.11: Çamur susuzlaştırma sırasında polielektrolit dozaj değişimi.



Şekil 4.12: Çamur susuzlaştırma sonrası KM oranı değişimi.

Bunun yanında susuzlaştırılacak çamurdaki iyon dengesi susuzlaştırmada büyük önem taşımaktadır. Özellikle, monovalent/divalent iyon molar konsantrasyon oranı 1.5-2 değerinin üzerine çıktığı zaman susuzlaştırma (ve flokleşme) verimi bozulmaktadır [Higgins ve Novak, 1997].

Tablo 4.10: Ölçülen metal iyonlarının konsantrasyonları.

Metal İyonu	meq/L	mmol/L
Na	6.87	6.9
NH ₄	3.93	3.9
K	0.77	0.8
Ca	5.10	2.6
Mg	2.23	1.1
Fe(II)	3.57	1.79

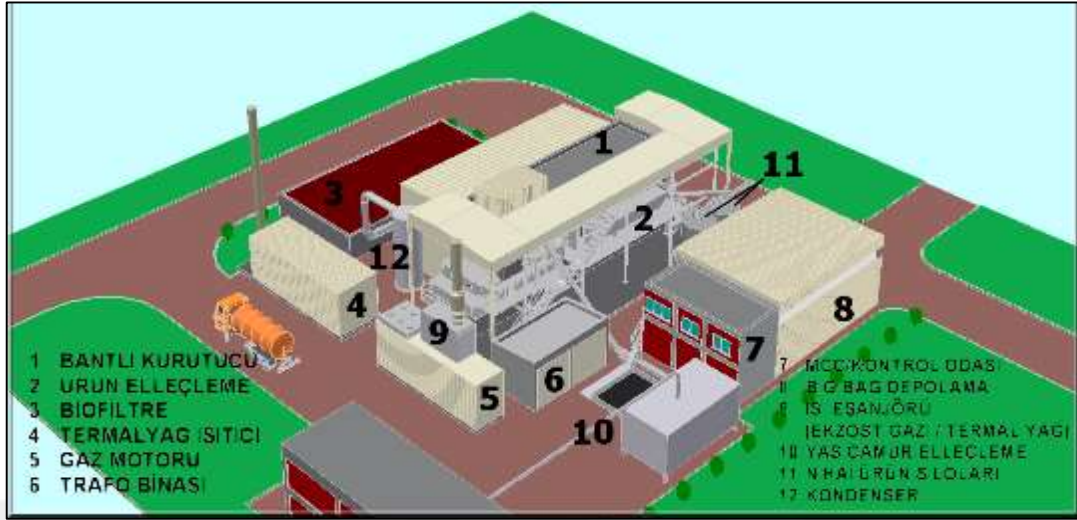
Özellikle deniz suyu girişiminin olduğu bölgelerde monovalent iyon etkisi beklenmelidir. Hurma AAT 'deki durumu araştırmak için susuzlaştırmadan çıkan suyun numunesi alınarak akredite laboratuvara analiz yaptırılmış ve Tablo 4.10'da yer alan sonuçlar elde edilmiştir.

Buna göre monovalent/divalent iyon oranı 1.06 olarak bulunabilir. Hesaplanan bu değere göre susuzlaştırmanın etkilenmeyeceği kanaatine varılmıştır. Monovalent iyonların artışı çamurdaki EPS (hücre dışı polimerik maddelerin) birikmesine dolayısı ile susuzlaştırma veriminin düşmesine neden olduğu tespit edilmiştir [Kara ve diğ., 2008]. Öte yandan, çökeltme/ayırma problemine neden olan filamentli mikroorganizmaların da EPS oluşturduğu bilinmektedir.

4.5. Çamur Kurutma Tesisinin Veriminin Değerlendirilmesi

Lara Atıksu Arıtma Tesisinden gelen susuzlaştırılmış çamur ile Hurma Atıksu Arıtma Tesisinde oluşan fazla çamur Lara ve Hurma bunkerlerinde ayrı ayrı toplanarak, sisteme tek yatay ve dikey helezonlar vasıtasıyla çamur karıştırma ünitesine iletilmektedir. Çamur karıştırma ünitesine gelen %19-24 KM oranına sahip çamur, %30 oranında daha önce kurutulmuş granül hale gelen çamur ile karıştırılır. Çamur karıştırma ünitesinde hazırlanan karışım yatay karıştırma helezon bıçakları yardımıyla karışım istenilen ebatlara kadar küçültülerek vakumlu alan olan ısıtma ünitesine iletilir. Isıtma ünitesinin içinde bulunan çarklar sayesinde ürün band üzerine yayılır. 120 °C'ye kadar ısıtılmış hava ile buharlaştırma işlemi yapılır. Buharlaştırılan

su miktarı ıslak çamurunun içerdiği su miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sistem içerisinde ısınan hava sirkülasyon fanları ile kurutmanın içerisinde devreder.



Şekil 4.13: Hurma AAT termal çamur kurutma ve kojenerasyon ünitesi vaziyet planı.

Çamur, kurutma işlemine tabii tutulduktan sonra z-konveyörüne yatay helezonlar yardımı ile aktarılır. Z-konveyörün içinde bulunan taşıma çarkları ile ürün silolara doldurulmak üzere yukarı taşınır. Z-konveyörü ile taşınan son ürün taşıma bandına aktarılır. Taşıma bandına aktarılan son ürün buradan dikey konveyörler yardımıyla siloların üzerindeki yatay konveyöre taşınır. Buradan yatay konveyör yardımıyla istenilen siloya dolum otomatik olarak yapılır. Silolara depolanan son ürün manuel olarak big-bag çuvallarına doldurularak big-bag alanında depolama işlemi yapılır.



Şekil 4.14: Hurma AAT termal çamur kurutma son ürün taşıma bandı.



Şekil 4.15: Kurutulmuş çamur ve dolum siloları.

Tesisin ısıtma işlemi, doğal gaz ve biyogaz ile çalışan gaz motorunun baca ısısından ve doğal gaz ile çalışan yağ kazanı ile sağlanmaktadır. Yağ kazanına giren yağ 200-250 °C'ye kadar ısıtılır. Isınan yağ, ısı eşanjörlerinden geçerek kurutma ünitesinin içindeki havayı ısıtır.

Tesis işletmesinde kurutulmuş çamur tesis içinde paketlenerek çimento fabrikasına ek yakıt olarak gönderilmektedir. Kurutmada hedeflenen ürün kalitesi yaklaşık 4-5 mm granülün elde edilmesidir. Ancak bazı durumlarda kurutma işleminde ürün toz haline dönüşmekte olup bant kurutucunun işleyişinde ciddi problemlere yol açmakta olup yangın riskini de beraberinde getirmektedir. Çamur granülasyonunun sağlanamaması ile ilgili muhtemele nedenler aşağıda belirtilmektedir.

Granülasyonun sağlanabilmesi için ön çökeltme ünitesi çamurunun, aktif çamur prosesinin gerçek zamanlı kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.16: Kurutucu işlem sonrasında ürün örneği.

Şekil 4.16.'da gösterildiği üzere, ön çökeltme çamuru ile birlikte gelen kum, silt, saç, fiber gibi malzemeler kurutma aşamasında çamurun granülasyonunun sağlanmasında problem çıkartabilmektedir. Dolayısı ile ön çökeltme çamurundan inert maddelerin efektif olarak ayrılması gerekmektedir [Santha et al., 2009].

Öte yandan bu inert maddeler anaerobik çürütücü içinde birikerek etkin hacmini azaltmakta olup çamur çürütme süresini azaltmaktadır. Dolayısı ile çamurun susuzlaştırma verimi bozulmaktadır. Su içeriği yüksek çamurun kurutmaya verilmesi durumunda yüksek enerji ile birlikte yüksek geri devir oranlarının granülasyonu olumsuz etkilediği tahmin edilmektedir.

Öte yandan havalandırma havuzunda baskın hale gelen filamentli bakteriler de susuzlaştırmayı olumsuz etkilemekte dolayısı ile bir önceki maddede belirtilen olumsuz koşullara katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

5. ALTERNATİF İLERİ ÇAMUR BERTARAF YÖNTEMLERİ

5.1. İleri Anaerobik Çamur Çürütme

5.1.1. Termal Hidroliz Prosesi

Fazla çamur aktif çamur sisteminin doğasında yer alan kaçınılmaz bir sorun olarak bilinmektedir. Anaerobik çürütme ile atık çamurlardan biyogaz elde edilmesi en bilinen yeniden değerlendirme metotlarından birisidir. Hidroliz ise atıksu çamurlarının çürütülmesinde hız sınırlayıcı aşamadır. Bu aşamada, partikül maddelerin çözünmesi ve organik polimer maddelerin monomerlere ve dimerlere dönüşümü yer almaktadır.

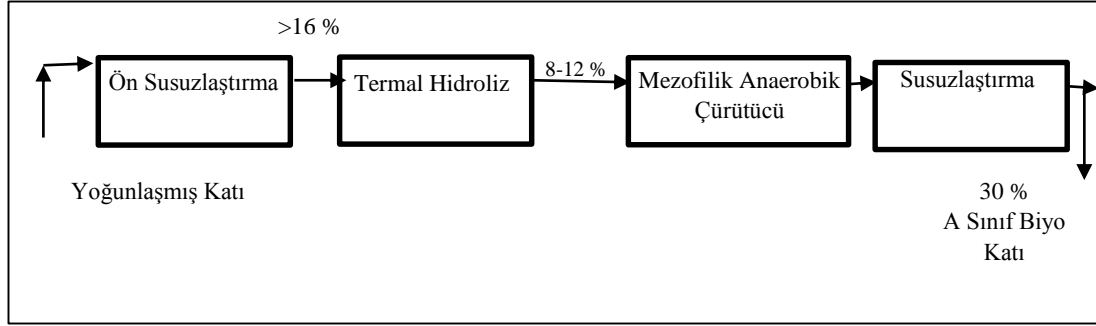
Sürdürülebilir bir çamur bertarafı ve enerji verimliliğinin artması için artan eğilimler dikkate alındığında, çamur içindeki hücre yapısının parçalandığı ön arıtma sistemlerinin verimliliğini daha değerli hale getirmektedir. Isıl, kimyasal ve mekanik prosesler ve proseslerin birleşimleri, hidroliz sistemine hızlandırmak için kullanılan olası ön arıtma prosesleridir. Bu ön arıtma metotları çamur hücrelerinin parçalanmasını veya erimesini (lysis) sağlayarak, açığa çıkan hücre içi maddelerin anaerobik mikroorganizmalar tarafından daha kolay kullanılmasına olanak sağlar. Bu durum, tüm çürütme proses hızını ve çamurun parçalanma derecesini artırır ve böylece çürütme bekleme zamanı azalır ve metan üretim hızı artar. [Müller, 2000] Mezofilik anaerobik atıksu arıtımında atık çamurların stabilizasyonu için iyi tasarlanmış bir prosestir.

Proses ayrıca nihai atıktaki katı madde miktarını düşürmektedir. Prosesin en büyük yararı uçucu katı madde parçalanmasından meydana gelen ve enerji çevrim santrallerinde kullanılan metanca zengin biyogaz üretimini sağlamaktadır.

İleri Çamur Çürütme Prosesinde hem uçucu katı madde parçalanması arttırmakta hem de birinci sınıf biyo katının depolanması sağlanmaktadır.

Artan uçucu madde içeriği enerji geri kazanım potansiyellerini arttırmakta ve biyo katıların nihai bertarafı için çamur miktarını azaltmaktadır. A sınıfı biyo katı

ürünleri çevreye uyumlu kullanımlara olanak sağlamaktadır. Yukarıda belirtilen her iki hedefinde ulaşıldığı ileri çürütme metotlarından biri termal hidroliz prosesidir.



Şekil 5.1: Termal Hidroliz süreci.

Diğer ileri çamur çürütme proseslerinden farklı olarak %6 KM oranına eşit ve ya daha düşük biyo katıların susuzlaştırıldıktan sonra THP uygulanmaktadır. THP prosesine girmeden önce susuzlaştırılmış katı madde miktarının %16 'nın üstünde olması gerekmektedir. Susuzlaştırılmış çamur yüksek basınçlı buhar ile beraber tanka beslenmekte böylelikle tank içerisinde sıcaklığın 330 °F ve basıncını 120-130 psi olması sağlanmaktadır. Çamur tankın içerisinde 30 dakika yüksek basınç ve EPA 503 yönetmeliklerinde belirtilen özelliklere sahip olan A sınıfı Biyo katının üretimi için THP prosesi için ihtiyaç duyulan sıcaklık ve basınca çıkmalıdır. THP'nin akabinde, hidroliz olmuş biyo katı ısı eşanjelleri vasıtasıyla soğutularak Mezofilik çamur çürütme prosesinden önce katı madde konsantrasyonu %8-12 KM oranına seyreltilmektedir. Çamurun türü ve buna bağlı çamur çürütücüde olması beklenen amonyak konsantrasyonu çamur çürütücülere beslenen katı madde oranının eşik değerlerini oluşturmaktadır.

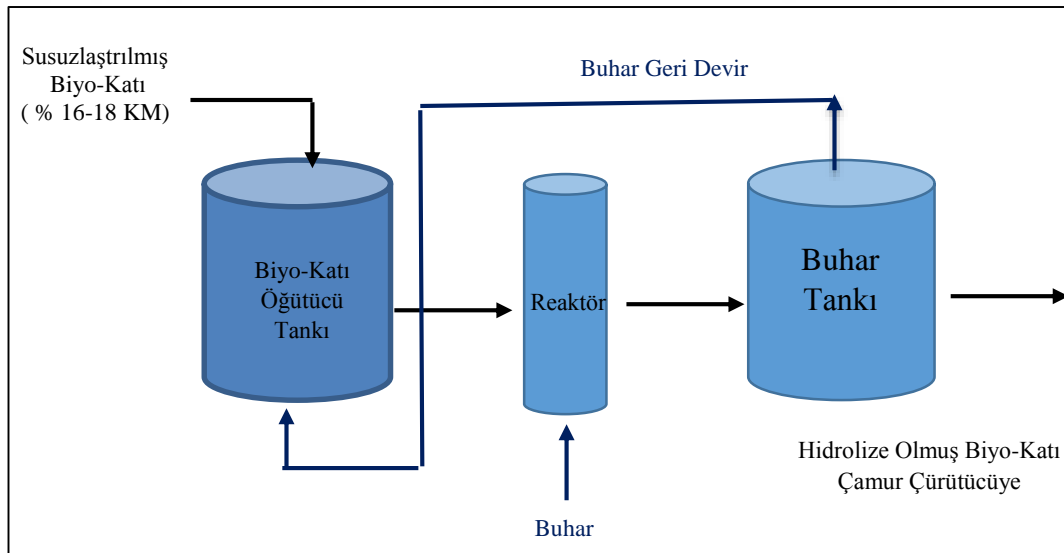
Önemli derecede viskozite düşüklüğü ile beraber katının akışkanlığındaki keskin değişiklikler, yüksek katı içeriğinde tipik çamur çürütme ekipmanları ile beraber uygun karışımların oluşmasına neden olmaktadır [Whitlock vd., 2009]. Yüksek katı madde içeriği ile çamur çürütücülerin beslenmesi, çamur çürütme tanklarının kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır ve böylelikle yüksek ilk yatırım maliyetlerine sahip çamur çürütme tanklarının inşası sırasında bu maliyetlerden kazanç sağlanması oluşacaktır. THP prosesi ile beraber hücre materyallerinin ve uzun zincirli uçucu yağ asitlerinin kırılması sağlanırken, daha kolay çürütülebilen/stabil edilebilen katı maddelerin oluşumu sağlanmaktadır. (Guireff et al; 2011) THP prosesinin diğer bir avantajı ise, çürütücüden çıkan katı maddenin herhangi bir belt

press yada santrifüj yardımı ile %30 KM oranı üzerinde çamur susuzlaştırma sonrası çamur kekine sahip olunmaktadır. Nihai ürün özellikle belt press sonunda çıkan az kokulu olmasından dolayı toprakla karıştırılarak iyi bir materyal olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. [Higgins vd., 2011]

Klasik THP prosesi CAMBİ ve Bio Thelys tarafından birçok seri reaktör kullanılarak uygulanmaktadır.

CAMBİ Prosesi biyo katı öğütme tankı, reaktör, buhar tankı. Gerçekte bu 3 ana prosesin dışında birçok farklı bileşene sahiptir. Çamur ızgara sisteminden geçirilerek proses içerisindeki ekipmanların zarar görmesi engellenir, ayrıca çamur %16 susuzlaştırma oranlarına getirilerek bir silo veya depolama tankına alınarak THP'ye düzenli beslemenin yapılması sağlanır. Çamur öncelikle alt kısmında öğütücüler bulunan biyokatı tankına pompalar veya çöp konteynerleri ile iletilir.

Çamur konsantrasyonu arıtma tesisi çıkış suyu ile KM oranı % 14,5-16 oranlarına getirilene kadar seyreltilir ve buhar tankından elde edilen geri dönüş akımı ile ön ısıtma yapılır. Ön ısıtma yapılan biyo katı 165 °C ye ısıtılır ve 120-130 psig basınçlarına çıkarılır. Buhar tankına alınan biyokatının KM oranı %3-4 oranına düşmektedir.



Şekil 5.2: CAMBİ çamur hidroliz prosesi.

Buhar tankından çıkan biyo-katı çamur çürütücü tanklarına iletmek için çok sıcak olduklarından dolayı soğutma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Biyokatı

sıcaklığı 42-44 °C'ye ve katı madde oranı % 8-12'ye getirilerek çamur çürütücülere besleme yapılır. Çamur çürütücüden çıkan biyo-katı nihai bertaraf için susuzlaştırma ünitesine iletilir.

CAMBİ prosesinin işletilmesi için dışarıdan bir ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Isı enerjisi sistem içerisinde kullanılacak boiler ile sağlanabilir. Boiler da enerji dışarıdan temin edilen yakıt ile elde edilebilir. Bunun yanında kojenerasyon ünitesi prosese entegre edilerek çamur çürütücüden elde edilen biyogaz ile ısı elde edilerek prosesin ısı ihtiyacı karşılanabilir.

5.1.2. Parçalanma (Dezintegrasyon) Prosesinin Anerobik Çürütme Prosesine Etkileri

Termal ön arıtmanın anaerobik çürütmede fazla aktif çamurun parçalanma karakteristiği üzerindeki etkisi bir seri laboratuvar çalışmalarında araştırılmış, gerçek ölçekli çalışmalar ve birçok yazar, termal hidrolizin çamur yapısı ve özellikleri üzerindeki etkisi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalar, uçucu madde arıtımında, KOİ gideriminde ve biyogaz oluşumunda termal hidrolizin ön arıtma olarak kullanıldığında önemli etkiler yarattığını öne çıkarmıştır. Termal hidroliz ön arıtma metodu organik maddelerin çözünmesini ve hücre duvarlarının erimesini (lyses) sağlamaktadır. Son zamanlarda yapılan benzer çalışmalarda, çürütülmemiş ve çürütülmüş çamurların ki bu çürütmede inhibisyon olmadan önce limit sıcaklık 175°C (sıcaklığa dayanıklı ve engelleyici oluşumlardan dolayı) termal hidroliz sonrası çamur susuzlaştırma verimliliklerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bu sıcaklıklarda termal hidroliz ön işleminden geçen çamurların çürütülmesi sonucu %50-70 metan üretiminde artış gözlemlenmiştir.

Bu yüzden termal hidroliz prosesi ön işlem olarak çamur çürütme prosesinin performansının artmasında iyi sonuçlar vermiştir.

Ayrıca çamur içeriğinin homojenizasyonu mekanik işlemlerden daha iyi sonuç vermektedir. Biyolojik parçalanabilirliğin artması ile, partiküllerin toplam yüzey alanı önemli derecede artmaktadır.

Diğer taraftan, bu tür ön arıtmaların tüm seçenekleri önemli yatırım maliyetlerine sahiptir, termal hidroliz sermayesinin mekanik alternatiflere göre daha yoğunlaşmaktadır. Koku kontrol, merkezi tesislere çamur alımı gibi yan proseslerin

maliyetleri gerçek ön arıtma ekipmanlarının maliyetlerini geçebilmektedir [Muller, 2001].

5.1.3. Ultravawe Sistemi

Çamur proses işlemlerinde ultrasonik güç mikroorganizmaların hücre duvarını parçalar ve hücre içi materyalin ortama salınmasının sağlar. Bu prosesle organik madde yüzdesi de belli ölçüde azalır (bu işlemin biyolojik çamur çürütme işlemlerinden önce uygulanması halinde organik materyallerin daha kolay sindirilebilir hale getirilmesi temin edilir). Ultrasonik güç uygulama yönteminin çamur susuzlaştırmada yardımcı madde olarak kullanılması halinde ise akustik stres çamur kütlesi içerisinde sünger etkisi oluşturarak partiküller arasında oluşan doğal kanallardan suyun daha kolaylıkla akmasını temin eder [Mason, 2007].

5.2. Yakma

Yakma işlemi uygulayarak atık çamurları gidermenin birçok avantajı mevcuttur. Birincisi, çamur içindeki maddeler inert hale getirilmiş olur. Ayrıca büyük ölçüde hacim küçültmesi gerçekleştirilir. Yaş çamura göre 1/80, suyu azaltılmış çamura göre 1/15 oranında kütle azalma meydana gelir. Kokusuz bir madde elde edilir. Yakma işlemi tek başına gerçekleştirilebildiği gibi, çimento fabrikalarında veya kömürlü santrallerde de yapılabilir.

Yakma işleminin olabilmesi için önce çamurun suyu buharlaştırılmalı ve atıklar proses sıcaklığı olan 900°C'ye kadar ısıtılmalıdır. Böylelikle organik ve oksitlenebilen anorganik bileşenler tamamen oksitlenir. Oksidasyon için gereken hava da 900°C'ye ısıtılmalıdır. Bu işlemler için büyük ısı miktarları gerekir. Bu ısının büyük bir kısmı, evsel atık suların arıtma çamurlarında bulunan organik, yanabilen maddelerin ısı değeri (Yaklaşık 16 MJ/kg) tarafından karşılanır. Geri kalan kısmı ise yakıtlarla (fuel oil, doğal gaz gibi) sağlanır. Ancak bu ek ısı kaynağının maliyet artırıcı etkisinden dolayı en aza indirgenmesi istenir.

Bunun için çamurun suyunun, yakmadan önce mekanik yolla mümkün olduğunca uzaklaştırılması gerekir (%35 katı madde ağırlık oranına erişilebilir). Yakma esnasında geri kalan su buharlaşır. Buharlaşma için büyük miktarda enerji

harcandır. Yanabilen kısımlar ise kül haline gelir. Yanmada açığa çıkan atık ısının geri kazanımı, ısı bilançosuna olumlu yönde etki yapar.

Atık çamurların yakılmasında bir kaç tip fırın kullanılır.

- i) Döner boru tipindeki fırınlar
- ii) Katlı fırınlar
- iii) Akışkan yataklı fırınlar
- iv) Siklonik fırınlar
- v) Elektrikli fırınlar

5.2.1. Döner Boru Tipindeki Fırınlar

Yatayla hafif bir açı yapan ve içi tuğla kaplı bir borudan ibarettir. Uzun eksenini etrafında dönen bu fırına besleme bir uçtan yapılır. Bu tarafta aynı zamanda yakıt ve katkı maddeleri besleme tertibatı da bulunur. Tamburun dönme hareketiyle, beslenen maddelerin eğimli boru boyunca çıkışa doğru ilerlemesi temin edilir. Sistem nedeniyle tam yanma sağlanamaz. Bu oluşuma engel olmak için çamurun önceden büyük ölçüde kurutulması gerekir. Bu ön işlem gereksinimi sebebiyle döner fırınlar atık çamurun yakılmasında fazla kullanılmaz.

5.2.2. Katlı Fırınlar

Silindirik düşey eksenli çelik yapının iç yüzeyi tuğla kaplı olup, içinde yüzeyi yine tuğla kaplı raflar bulunmaktadır. Düşey eksen etrafında dönen içi boş şafta bağlı taraklar, en üstten beslenen atık çamurun alt raflara taşınmasını sağlar. Düşme boşlukları bir dış tarafta, bir iç tarafta düzenlenmiş olduğunda katının uzun bir yol kat ederek kuruması ve ısınması sağlanır. Kule üç bölüm halinde düşünülebilir. Bunlar kuruma, yanma ve soğuma bölgeleridir. Toplam on rafın üstten 5-6'sı kurutmaya yarar. 6.-8. raflarda malzeme 700-800°C'ye ısınarak yanar. 9.-10. raflarda yanma ürünü küller yakma için beslenen havanın etkisiyle 100°C'nin altına kadar soğur. Bu fırının astarlanması oldukça pahalıdır. Bu sistem de döner fırın gibi sürekli işleme uygundur.

5.2.3. Siklonik Fırınlar

Akışkan yataklı fırınlara benzer şekilde silindirik bir yapıdadır. Fırının en altında çamurun kurummasını ve yanmasını sağlayan döner bir aksam vardır. Bu aksamın hemen üzerinde ise yanma sonucu oluşan kül tabakasını atmaya yarayan sabit bir kol vardır. Yanan kül, fırının tabanının merkezinden dışarı atılır. Yanma için gerekli hava ızgaranın ve çamur beslemesinin daha üstünden yapılır. Yanma sonucunda oluşan gaz spiral bir hareketle fırının üst bölümünden dışarı verilir. Bu gaz 850°C’de çıkmaktadır.

5.2.4. Elektrikli veya Infrared Fırınlar

Yatay tipli fırınlardır. İçlerinde çamurun taşınmasını sağlayan çelik bant ve çamuru kurutmaya yarayan elektrikli ısıtıcılar vardır. Bu elektrikli ısıtıcılar sayesinde, bantın bir ucundan beslenen çamur, döner fırınlarda olduğu gibi, fırının diğer ucundan alınır. Elektrikli fırınlar da aynen katlı fırınlardaki gibi üç bölüme ayrılır: kurutma, yakma ve külün alındığı bölüm.

5.2.5. Akışkan Yataklı Fırınlar

Yakma işlemi uygulayarak atık çamurları gidermenin birçok avantajı mevcuttur. Birincisi, çamur içindeki maddeler inert hale getirilmiş olur. Ayrıca büyük ölçüde hacim küçültmesi gerçekleştirilir. Yaş çamura göre 1/80, suyu azaltılmış çamura göre 1/15 oranında kütle azalma meydana gelir. Kokusuz bir madde elde edilir. Yakma işlemi tek başına gerçekleştirilebildiği gibi, çimento fabrikalarında veya kömürlü santrallerde de yapılabilir.

Yakma işleminin olabilmesi için önce çamurun suyu buharlaştırılmalı ve atıklar proses sıcaklığı olan 900°C’ye kadar ısıtılmalıdır. Böylelikle organik ve oksitlenebilen anorganik bileşenler tamamen oksitlenir. Oksidasyon için gereken hava da 900°C’ye ısıtılmalıdır. Bu işlemler için büyük ısı miktarları gerekir. Bu ısının büyük bir kısmı, evsel atık suların arıtma çamurlarında bulunan organik, yanabilen maddelerin ısı değeri (Yaklaşık 16 MJ/kg) tarafından karşılanır. Geri kalan kısmı ise yakıtlarla (fuel oil, doğal gaz gibi) sağlanır. Ancak bu ek ısı kaynağının maliyet artırıcı etkisinden dolayı en aza indirilmesi istenir.

Bunun için çamurun suyunun, yakmadan önce mekanik yolla mümkün olduğunca uzaklaştırılması gerekir (%35 katı madde ağırlık oranına erişilebilir). Yakma esnasında geri kalan su buharlaşır. Buharlaşma için büyük miktarda enerji harcanır. Yanabilen kısımlar ise kül haline gelir. Yanmada açığa çıkan atık ısının geri kazanımı, ısı bilançosuna olumlu yönde etki yapar.

Yakma sistemi olarak aşağıda proses şeması belirtilen akışkan yataklı yakma sistemi üzerinde durulmuştur. Bu tipteki fırınlar silindirik veya konik-silindirik, içi yine tuğla kaplı yapıya sahiptir. Alt kısımda, önceden ısıtılmış yakma havasının yardımıyla oluşturulan 70-100 cm yükseklikte bir akışkanlaştırılmış (askıda tutulan tanelerden oluşan) bir kum yatağı vardır. Yakmada kullanılan hava, yanma gazları yardımıyla 650°C'ye ısıtıldıktan sonra fırına gönderilir. Atığın yanması 850°C'de olur. Oluşan kül yanma gazlarıyla üstten dışarı taşınır ve filtre sistemi gazdan ayrılır.

Yakma fırınları değerlendirildiğinde, Katlı fırınlar çok kullanılan bir fırın tipidir. Bununla birlikte birçok yeni kurulan akışkan yatak tipi fırınlar bulunmaktadır. Katlı fırınlar özellikle ABD'de yaygındır. Buna karşılık Avrupa'nın daha ağırlıklı olarak akışkan yataklı fırınları tercih ettiğini görmekteyiz. Bu yaygın kullanıma karşılık, bu fırınların bazı dezavantajları bulunmaktadır.

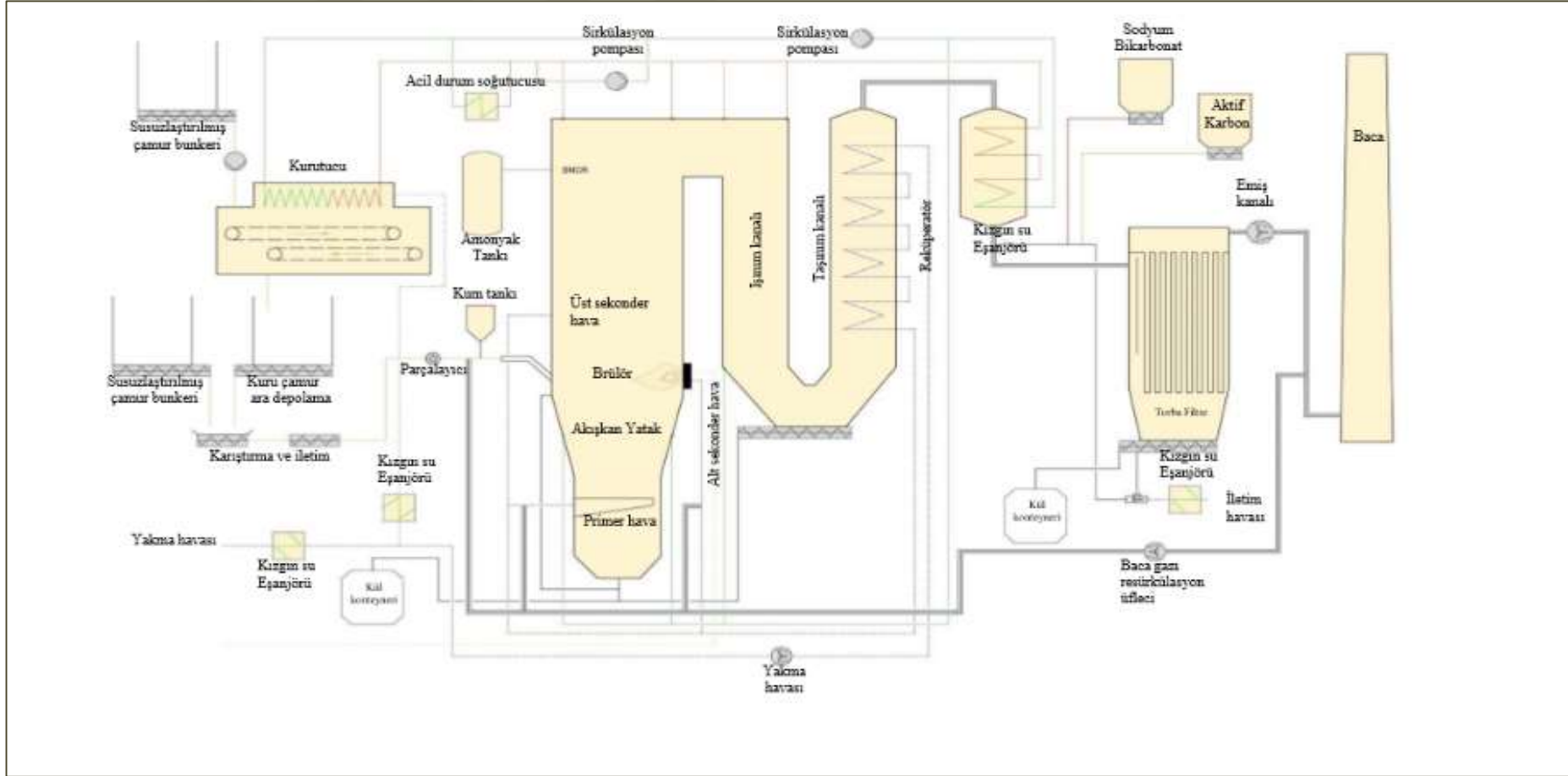
Fırınlarda, beslenen atık çamurun katı madde oranı ne kadar yüksekse, yanma için harcanan ilave yakıt miktarı o kadar az olur. Örneğin %25,5 katı içeren ve ısı değeri 16,7 MJ/kg olan bir çamur fırında ihtiyaç duyulan enerjinin %56,1'ini; ısı değeri 40,1 MJ/kg olan fuel oil de %43,7'sini karşılarken mekanik su gidermenin iyileştirilmesi ile çamurdaki katı oranı %30,7'ye yükseltirise, çamurun enerjiyi karşılama oranı %61,4'e yükselmekte, yakıtla sağlanan enerji miktarı %38,6'ya düşmektedir. Eğer %34'lük bir katı oranına sahip çamurla çalışılırsa, bunun enerjiyi karşılama oranı %79,4 olmaktadır. Bu durumda toplam enerjinin sadece %20,6'sı ilave yakıtla sağlanır. Görüldüğü gibi mekanik kurutmanın etkinleştirilmesi, ısı enerji maliyetini düşürücü yönde etki yapmaktadır. Dolayısı susuzlaştırmadan sonra yakma işlemi öncesinde bir ön kurutma işlemi önerilmektedir.

Şekil 5.3.'de belirtilen şemada çamur ön kurutma sistemine sahip bir yakma tesisinin akım şeması yer almakta olup, prosesin özeti ve avantajları;

- Arıtma çamuru kurutma ve arıtma çamurunun akışkan yataklı fırında termik olarak değerlendirilmesi

- Arıtma çamuru kütlesi ve miktarında optimum düzeyde azalama
- Çamur taşıma maliyetleri ve külfetlerinin minimum bir düzeye düşmesi
- Uzun vadeli olarak çamur arıtımında bertaraf güvencesi
- Büyük bir kısmı tekrar değerlendirilebilen (örneğin: inşaat sektöründe, prefabrik, beton yapı elemanlarında) atık madde üretimi





Şekil 5.3: Ön kurutma sistemine sahip çamur yakma tesisi proses akım şeması.

6. HURMA ATIKSU ARITMA TESİSİ ENERJİ DENGESİ VE ÇAMURUN ENERJİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

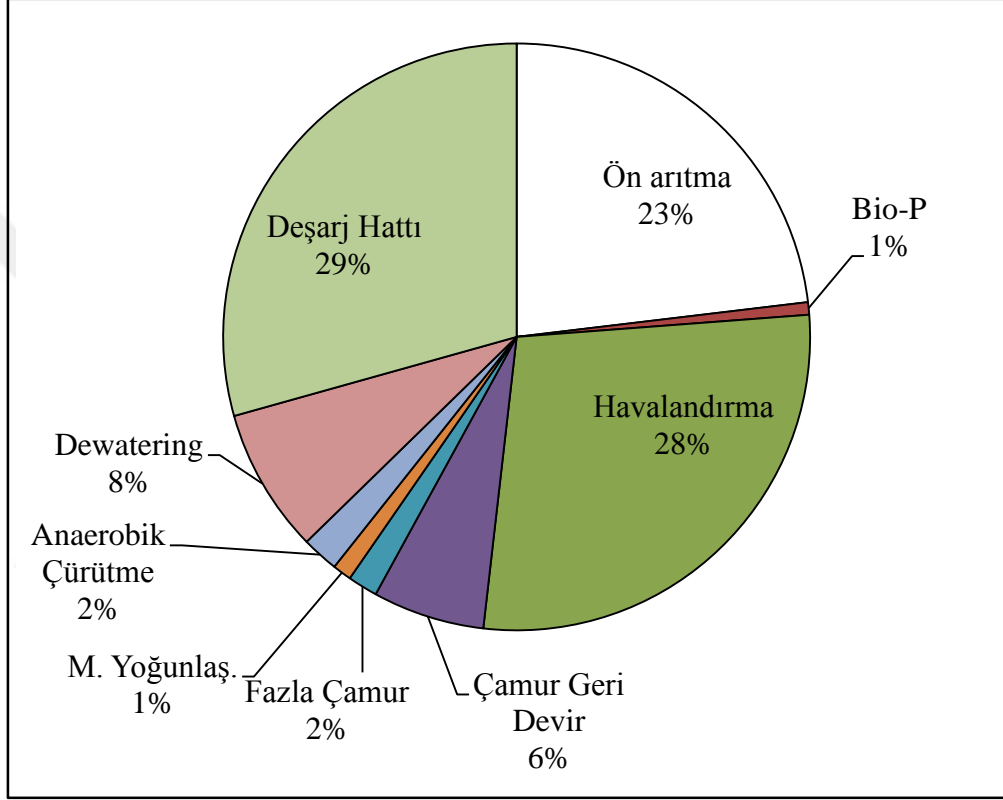
6.1. Tesisin Enerji İhtiyacı

Hurma Atıksu arıtma tesisinde aylık ortalama tüketilen enerji miktarları Tablo 1’de özetlenmektedir. Enerji tüketiminin en yüksek olduğu üniteler sırası ile (1) derin deniz deşarj hattı, (2) havalandırma ve (3) giriş terfi/ön arıtma ve susuzlaştırma üniteleridir. Bu ünitelerin enerji kullanım yüzdeleri sırası ile %29, %28 ve %23’tür. Sonuçta tesisin toplam elektrik enerjisinin %80’ini bu üniteler tarafından kullanılmaktadır. Tesisin elektrik enerjisi kullanımının dağılımı Tablo 6.1.’de özetlenmektedir.

Tablo 6.1: Arıtma tesisi ünitelerde tüketilen ve günlük elektrik enerjisi miktarları.

Ünite	Enerji Kullanımı	
	kWsaat/ay	kWsaat/gün
Deşarj Hattı	576.000	19.200
Havalandırma	550.080	18.336
Ön arıtma	453.600	15.120
Çamur Susuzlaştırma	156.240	5.208
Çamur Geri Devir	120.960	4.032
Anaerobik Çürütme	39.744	1.325
Fazla Çamur	32.400	1.080
M. Yoğunlaş.	20.520	684
Bio-P	13.500	450
Toplam	1.963.044	65.435

Mevcut durumda tesisin 800.000 kişiye hizmet ettiği kabulü ile kişi başına 1 yılda tüketilen enerji miktarı 30,4 kWsaat/EN/yıl değerine tekabül etmektedir. Günde ortalama 120.000 m³/gün atıksu arıtıldığı kabulü ile arıtılan atıksu başına harcanan elektrik enerjisi miktarı ise 0,546 kWsaat/m³olarak hesaplanabilir.



Şekil 6.1: Hurma AAT enerji tüketim dağılımı.

6.2. Çamur Kurutma Tesisi Enerji Değerleri

150 ton/gün kapasiteli Termal Kurutma Tesisinin %100 kapasite çalışabilmesi için gerekli enerji miktarı 4.128 kWsaat'tir.

Tablo 6.2: Termal Kurutma tesisi enerji ve yakıt verileri.

Termal Kurutma Tesisi	Değer
Gazın LNG düşük kalori değeri [kWsaat/Nm ³]	11,26
Kazan Brülörün Gaz Tüketimi [Nm ³ /saat]	416
Kazanın Isı Tüketimi [kW]	4.686
Brülörü Verimi	0,88
Kazandan Kurutucuya Isı Transferi [kW]	4.128
Gaz Motoru Baca Gazından Geri Kazanılan Isı [kW]	0
Gaz Motoru Soğutma suyundan geri kazanılan ısı [kW]	0
Kurutucu Toplam Termal Enerji Tüketimi [kW]	4.128
Elektrik Üretimi [MW]	0
Gaz Motoru Yakıt Tüketimi [Nm ³ /saat] - LNG	0
Toplam Yakıt Tüketimi [Nm ³ /saat] - LNG	416
Doğalgazın Düşük Kalori Değeri [kWsaat/Nm ³]	9.593
Toplam Yakıt Tüketimi [Nm ³ /saat] - Doğalgaz	488

Tablo 6.2.'de belirtildiği üzere, Kurutma Tesisi boiler vasıtasıyla ısı temin etmesi durumunda kullandığı doğalgaz miktarı 488 Nm³/saattir. Mevcut durumda kojenerasyon ünitesinden atık ısı geri dönüşümü kurutma tesisine yapılmamaktadır, Tablo 6.2'deki veriler mevcut duruma göre belirtilmiştir. Kojenerasyon ünitesinin doğal gaz ile çalıştırılması ve buna bağlı olarak kazanılan atık ısının kurutma tesisine yönlendirilmesi doğal gaz tüketimlerinin azalmasına neden olacaktır.

6.3. Çamur Kurutma Ünitesi Veriminin İncelenmesi Ve Ürünün Enerji İçeriği

Tesisten ön çökeltme havuzu, son çökeltme havuzu, çamur çürütücü tankları sonrası ve kurutma sonrası alınan numuneler için kalorifik değerleri tespit edilmiştir. Laboratuvar analizlerinden kurutulan numunenin katı madde içeriğini %95 olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.3: Hurma AAT çamurları kalorifik değerleri.

Çamur Numunesi	Katı Madde İçeriği	Kalorifik Değeri
	% Katı Madde	kJoule/kgKM
Ön çökeltme çamuru	3,5	19.730
Çürütme öncesi yoğun çamur	5,0	13.445
Çamur çürütme Sonrası	3,3	12.410
Kurutma sonrası	95	13.602

Tablo 6.3'de atıksu arıtma tesisinde çamur bertarafında yer alan çamurların katı madde oranları ve kalorifik değerleri verilmiştir.

7. SAYISAL ÖRNEK VE SONUÇLAR

Tesisin mevcut işletme koşullarına bağlı olarak, öncelikle farklı işletme senaryoları oluşturulmuştur. Bu işletme senaryolarında ön çökeltme verimleri, biyolojik tanklardaki denitrifikasyon/nitrifikasyon zonlarının oranı, çamur çürütme tanklarına beslenen biyolojik çamur/ön çökeltme çamuru oranı gibi parametre değişikliği yapıldığında tesisin öncelikle arıtım kapasitesindeki değişiklikler daha sonra ise her bir üniteden üretilen çamur miktarları ve tesisin enerji kapasitesindeki değişkenlikler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tez çalışmasının 4. bölümünde belirtildiği üzere, tesisin en önemli işletme problemlerinden biri tesiste oluşan çamurun tesisin ihtiyaç duyduğu debi ve karakterlerde çekilememesinden dolayı biyolojik arıtma prosesinde, diğer bir sorun ise çamur bertaraf ünitelerinde çamurun enerji ve arıtım verimliliği göz etmeksizin işletilmesinden kaynaklanmaktadır.

Bu durumdan dolayı; bir önceki bölümlerde yapılan tespitler, çalışma kapsamında tespit edilen çamur enerji içerikleri, çamur bertaraf proseslerine iletilen debi ayarlamaları göz önünde bulundurularak farklı işletme senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolarda öncelikli olarak atıksu arıtma verimleri deşarj limitleri altında kalacak şekilde tesisin işletilmesi sırasında elde edilebilecek enerji kazançları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Enerji kazançları hesaplanırken mevcut çamur arıtma ünitelerinin yanında 5. bölümde belirtilen ileri çamur arıtma sistemlerinin tesise eklenmesi durumunda tesisin işletilmesi sırasında elde edilecek enerji kazanımları ve ilk yatırım ve işletme giderleri değerlendirilmiştir.

Öncelikli olarak tesisin işletme koşulları %40, %50 ve %60 ön çökeltme verimliliklerinde ve çamur çürütücü tanklarına %50 ila %100 biyolojik çamur besleme şartlarında çıkış arıtma tesisindeki arıtım verimleri hesaplanmaya çalışılmıştır.

Tablo 6.4: Farklı işletme senaryolarında proses verileri.

Parametre	İşletme Koşulları (%35 Denitrifikasyon Zonu)				
	%40	%50	%60	%40	%50
Ön Çökeltme AKM Giderim Oranı					
Çamur Çürütmeye Beslenen Biyolojik Çamur Oranı	%50	%50	%50	%100	%100
Proses Verileri					
Çamur Yaşı, SRT (gün)	6	7	7	7	8
MLSS Konsantrasyonu, XMLSS,(kg AKM /m ³)	4.720	4.768	4.366	5.557	5.509
Oksijen İhtiyacı, ORT (kgO ₂ /gün)	1.725	1.677	1.658	1.612	1.656
Çamur Üretimi P _{xt} (kg KM/gün)	32.808	32.948	32.709	31.104	30.500
N/TKM Oranı (Üretilen Çamur)	4,74	4,5	4,49	4,81	4,61
P/TKM Oranı (Üretilen Çamur)	1,74	1,69	1,7	1,76	1,71
Fazla Çamurdaki N Miktarı (kg/gün)	155	148	146	149	140
Fazla çamurdaki P Miktarı (kg/gün)	57.087	55.682	55.605	54.744	52.155
MLSS içerisindeki N Konsantrasyonu (mg/l)	284	289	278	336	338

Tablo 7.1: Devam.

Parametre	İşletme Koşulları (%35 Denitrifikasyon Zonu)			
Ön Çökeltme AKM Giderim Oranı	%40	%50	%40	%50
Çamur Çürütmeye Beslenen Biyolojik Çamur Oranı	%50	%50	%100	%100
MLSS içerisindeki P Konsantrasyonu (mg/l)	118	130	135	144
MLSS içerisindeki N Miktarı (kg/gün)	88.139	89.804	104.406	105.001
MLSS içerisindeki P Miktarı (kg/gün)	36.747	40.432	42.104	44.865
KOI	35,7	36,2	35	35
TP	0,77	0,88	0,94	1,02
TN	7,76	9,63	3,90	4,90

Tablo 7.1’de verilerden de görüleceği üzere, tesisin toplam azot (TN) deşarj standardını sağladığını ancak ön çökeltme havuzu AKM giderim veriminin %50 olması ve biyolojik çamurun tamamının anaerobik çürütücüye verilmesi durumunda TN standardının sağlanmasında kritik seviyeye ulaşacağı anlaşılmaktadır.

Biyolojik fosfor gideriminin de ön çökeltme veriminin %50 olması ve biyolojik çamurun %50'sinin çürütücüye verilmesinde kritik nokta olduğu sonucuna varılmıştır. Aksi takdirde geri dönüş akımlarının sistemin toplam fosfor giderim verimini olumsuz etkileyeceği görülmektedir.

Tesisin işletme maliyetleri de dikkate alındığında %50 biyolojik çamur çürütüçülere beslenmesi durumunda geri dönüş akımlarından TP ve TN dönüş oranları sırasıyla %14 ve %15 oranlarına çıkmaktadır ve böylelikle sistemde yük artacağından dolayı havalandırma havuzlarında ihtiyaç duyulan oksijen tüketim miktarlarının yükselmesini sağlamaktadır.

%100 biyolojik çamur besleme durumunda ise nihai susuzlaştırma sistemine giden çamur miktarı %17-20 azalmakta olup, bir sonraki proseslerdeki kapasitenin azalmasına neden olacaktır. Ancak çamur çürütme tanklarına %50 çamur beslemesi durumunda tabloda görüleceği gibi çamur çürütücü sonrası çamurun enerji değeri olup, ileride olası kurulabilecek çamur yakma tesisi gibi nihai bertaraf ünitelerinden daha fazla enerji kazanı sağlanacaktır.

Tablo 6.5: Farklı işletme senaryoları/kütle denklilikleri.

Tesis İşletimi	Geri Devir Akımları Olmadan				Geri Devir Akımları ile Beraber				
Ön Çökeltme AKM Giderim Oranı	%40	%50	%40	%50	%40	%50	%40	%50	
Çamur Çürütmeye Beslenen Biyolojik Çamur Oranı	%50	%50	%100	%100	%50	%50	%100	%100	
Çamur Üretimi (kg/gün)									
Ön Çökeltme Çamuru	16,27	20,33	16,26	20,33	16,27	20,33	16,26	20,33	
Biyolojik Çamur	21,89	19,55	22,60	20,18	20,89	18,59	20,87	18,74	
Çürütülmüş Çamur	20,86	22,77	29,24	30,58	20,49	22,42	28,46	29,65	
Susuzlaştırılmış Çamur	31,20	31,89	28,896	29,97	30,32	31,09	27,86	29,05	
% UAKM/AKM Oranı									
Ön Çökeltme Çamuru	76	76	76	76	76	76	76	76	
Biyolojik Çamur	66	67	66	67	66	68	67	68	
Çürütülmüş Çamur	65	66	64	65	66	66	65	66	
Susuzlaştırılmış Çamur	66	67	64	65	66	66	65	66	

Tablo 7.2.: Devam.

Tesis İşletimi	Geri Devir Akımları Olmadan				Geri Devir Akımları ile Beraber				
Ön Çökeltme AKM Giderim Oranı	%40	%50	%40	%50	%40	%50	%40	%50	
Çamur Çürütmeye Beslenen Biyolojik Çamur Oranı	%50	%50	%100	%100	%50	%50	%100	%100	
Çamur Enerji İçeriği (MJ/gün)									
Ön Çökeltme Çamuru	265,68	332,10	265,63	332,1	265,67	332,10	245,40	332,1	
Biyolojik Çamur	289,20	258,28	298,56	266,6	276,04	245,68	275,77	247,59	
Çürütülmüş Çamur	239,95	261,90	339,07	351,8	235,68	257,92	327,39	341,0	
Biyogaz ve Yakmadan Elde Edilen Enerji (MJ/gün)									
Biyogaz Enerji İçeriği	121,57	145,79	160,03	174,9	119,96	144,41	151,78	170,16	
Yakmadan Elde Edilen Enerji	298,67	305,27	254,23	263,7	290,18	297,54	245,17	255,06	
Çıkış Kalitesi (mg/L)									
KOI	37	37	38	38	35	35	35	35	
TP	0.9	1.0	1.20	1.3	0.7	0.8	0.7	0.8	
TN	5.1	7.7	7.50	9.5	3.9	4.9	3.9	4.9	

Tablo 7.1.'de belirtilen çalışmada elde edilen verilere istinaden tesisteki enerji dengesi Tablo 7.2.'de belirtilmiştir. Ön çökeltme verimi arttıkça biyogazdan elde edilen enerji miktarının arttığı buna bağlı olarak çamur çürütücülerden nihai çamur bertarafına iletilen çamurun enerji seviyesinin azaldığı gözlemlenmektedir. Burada önemli olan tesis içerisinde hangi tür enerjiye ihtiyaç duyulduğunun tespitinin iyi planlanmasıdır. Mevcut tesisin işletilmesi için yaklaşık 3MWhsaat elektrik enerjisine, çamur kurutmanın işletilmesi için ise 4MWhsaat ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 7.2'de farklı işletme senaryoları oluşturulan atıksu arıtma tesisi için geri akım yüklerinden kaynaklanan N ve P yüklerinin etkisi incelenmiş olup, aşağıda yer almaktadır.

7.1. Mevcut Tesis Çalışma Senaryoları ve Enerji Eldeleri

Aşağıda Hurma Atıksu Arıtma Tesisinin çamurlarının enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Ön çökeltme çamurunun enerji içeriği 17.400 MJ/kg, biyolojik çamurun enerji içeriği ise 15,800 MJ/kg olarak ölçülmüştür. Çamur çürütme işlemi sonrasında bu değer 10,000 MJ/kg değerine düşmektedir. Bu değerler dikkate alınarak farklı alternatifler için çamurdan elde edilebilecek brüt elektrik ve ısı hesaplanmıştır. Bu arada dikkat edilmesi gereken husus yapılan hesaplamaların çamurun potansiyeli dikkate alınarak gerçekleştirilmesidir. Enerji kayıpları dikkate alınmamıştır. İncelenen alternatifler aşağıda özetlenmektedir.

Tesis içerisinde yer alan kojenerasyon ünitesinde ise 2MWhsaat kapasiteli gaz motoru yer almakta olup, bu gaz motoru hem doğal gaz ile hem de biyogaz ile çalıştırılabilmektedir.

1.950 kWhsaat kapasiteli gaz motoru için hem doğal gaz hem de biyogaz yakıt kullanılarak çalıştırılması mümkündür.

14.03.2013 Tarihli Enerji Piyasası Kanunu Madde 14.'e göre aşağıda belirtilen kriterlerdeki tesislerin lisans işlemlerinden muaftır.

- Belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesisi çamurlarının bertarafında kullanılmak üzere kurulan elektrik üretim tesisi

- Mikrokojenerasyon tesisleri ile Bakanlıkça belirlenecek verimlilik değerini sağlayan kojenerasyon tesislerinden Kurulca belirlenecek olan kategoride olanları
- Ürettiği enerjinin tamamını iletim veya dağıtım sistemine vermeden kullanan, üretimi ve tüketimi aynı ölçüm noktasında olan, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi

Bu durumdan dolayı tesisin işletilmesi için otoprodüktör lisansı alındığı için dışarıya satış ve üretim için alınacak lisanların tamamlaması akabinde Enerji Piyasası kanunu madde 14.“c) Belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesisi çamurlarının bertarafında kullanılmak üzere kurulan elektrik üretim tesisi” istinaden sadece sistem içerisinde kullanılması gibi bir koşul yok ise ve eğer kapasite ne olursa olsun arıtma tesislerinde üretilen elektriğin dışarıya satışı lisans almadan yapılması durumu söz konusu olabilir.

Bu durumda tesisin mevcut durumu için kojenerasyon ünitesinin çalıştırılması için farklı senaryolar oluşturulmuş olup, Tablo 7.1.’de her bir işletme senaryosuna istinaden elde edilecek enerji değerleri yer almaktadır. Tesisin mevcut durumunda gaz motorunun kapasitesi 1.950 kW's elektrik üretmektedir. Tesiste bir çamur çürütme tankının çalıştırılması durumunda üretilen biyogaz miktarı gaz motorunun günde 4 saat çalışmasına olanak sağlamakta ve ayda 234.000 kW's elektrik enerjisinden kazanç sağlanmasına olanak sağlayacaktır. Gaz motorunun çalıştırılması sırasında oluşan atık ısı enerjisinin kullanımı sırasında çamur kurutma için gerekli ısı enerjisinden 192.000kW's/ay kazanç sağlanacaktır. Bu işletme Senaryo -1 olarak hesaplanmıştır.

Bakanlığın biyogaz ile üretilen elektriği tesis içerisinde kullanılmadan direkt dışarıya verilebilir görüşü Bakanlıktan alınması durumunda Senaryo-2 ve Senaryo 3 durumu söz konusu olabilir ve sırasıyla kabaca 799.428 TL ve 1.998.588 TL yıllık bir kazanç öngörülebilir.

Senaryo 4 ve Senaryo 5 biyogazın yetmediği saatlerde gün içerisinde sırasıyla LNG ve doğalgazın kullanılması durumları analiz edilmiştir. Şu andaki doğalgaz kullanılması durumunda ise kar çok düşüktür, LNG'nin yakıt olarak kullanılması ise zarar gözükmektedir.

Tablo 6.6: Kojenerasyon işletme senaryoları (mevcut durum).

1 Çamur Çürütme Çalıştırılması ve Sadece Tesis İçinde Kullanılması	
Aylık Elektrik Tüketimi Ort.	2.200.000 kW/s/ay
Elektrik Birim Fiyatı	0,19 TL/kW
Aylık Elektrik Gideri	418.000 TL
Aylık Kojenerasyon Elektrik Üretimi (1 günde 4 saat çalışırsa)	234.000 kW/s/ay
Elektrik Üretiminden Gelir	44.460 TL
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	373.540 TL/ay
Yıllık Net Kar	553.520 TL/yıl

Tablo 6.7: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 1).

2 Çamur Çürütücünün Çalıştırılması ve Sadece Tesis İçinde Kullanılması	
Aylık Elektrik Tüketimi Ort.	2.200.000 kW/s/ay
Elektrik Birim Fiyatı	0,19 TL/kW
Aylık Elektrik Gideri	418.000 TL
Aylık Kojenerasyon Elektrik Üretimi (1 günde 10 saat çalışırsa)	585.000 kW/s/ay
Elektrik Üretiminden Gelir	111.150 TL
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	373.540 TL/ay
Yıllık Net Kar	1.333.800 TL/yıl

Tablo 6.8: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 2).

1 Çamur Çürütücünün Çalıştırılması ve Dışarıya Satış Durumu	
Aylık Elektrik Tüketimi Ort.	2.200.000 kW/s/ay
Elektrik Birim Fiyatı	0,19 TL/kW
Aylık Elektrik Gideri	418.000 TL
Aylık Kojenerasyon Elektrik Üretimi (1 günde 4 saat çalışırsa)	234.000 kW/s/ay
Elektrik Üretiminden Gelir	66.619 TL
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	351.380 TL/ay
Yıllık Net Kar	799.428 TL/yıl

Tablo 6.9: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 3).

2 Çamur Çürütücünün Çalıştırılması ve Dışarıya Satış Durumu	
Aylık Elektrik Tüketimi Ort.	2.200.000 kW/s/ay
Elektrik Birim Fiyatı	0,19 TL/kW
Aylık Elektrik Gideri	418.000 TL
Aylık Kojenerasyon Elektrik Üretimi (1 günde 4 saat çalışırsa)	585.000 kW/s/ay
Elektrik Üretiminden Gelir	166.549 TL
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	251.450 TL/ay
Yıllık Net Kar	1.998.588 TL/yıl

Tablo 6.10: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo 4).

2Çamur Çürütücünün Çalıştırılması ve LNG Dışarıya Satış Durumu	
Aylık Elektrik Tüketimi Ort.	2.200.000 kW/s/ay
Elektrik Birim Fiyatı	0,19 TL/kW
Aylık Elektrik Gideri	418.000 TL
Aylık Kojenerasyon Elektrik Üretimi (1 günde 10 saat çalışırsa)	585.000 kW/s/ay
Elektrik Üretiminden Gelir	166.549 TL
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	251.450 TL/ay
Aylık LNG Tüketimi	199.500 m ³ /ay
Aylık LNG Kaynaklı Gider	305.634 TL/ay
LNG Kaynaklı Aylık Elektrik Üretimi	819.000 kW/s/ay
LNG Kaynaklı Aylık Elektrik Üretim Geliri	155.610 TL/ay
LNG Kaynaklı Aylık Net Elektrik Üretimi Geliri	-150.024 TL/ay
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	557.084 TL/ay
Yıllık Net Kar	198.306 TL/yıl

Tablo 6.11: Kojenerasyon işletme senaryoları (senaryo-5).

2 Çamur Çürütücünün Çalıştırılması ve Doğal Gaz Dışarıya Satış Durumu	
Aylık Elektrik Tüketimi Ort.	2.200.000 kW/s/ay
Elektrik Birim Fiyatı	0,19 TL/kW
Aylık Elektrik Gideri	418.000 TL
Aylık Kojenerasyon Elektrik Üretimi (1 günde 10 saat çalışırsa)	585.000 kW/s/ay
Elektrik Üretiminden Gelir	166.549 TL
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	251.450 TL/ay
Aylık Doğal Gaz Tüketimi	199.500 m ³ /ay
Aylık Doğal Gaz Kaynaklı Gider	141.325 TL/ay
Doğal Gaz Kaynaklı Aylık Elektrik Üretimi	819.000 kW/s/ay
Doğal Gaz Kaynaklı Aylık Elektrik Üretim Geliri	155.610 TL/ay
Doğal Gaz Kaynaklı Aylık Net Elektrik Üretimi Geliri	14.285 TL/ay
Elektrik Tüketimi Kaynaklı Net Gider	237/166 TL/ay
Yıllık Net Kar	2.170.008 TL/yıl

7.2. Mevcut Tesise Yeni İleri Çamur Arıtım Ünitelerinin Eklenmesi Durumunda Senaryolar

7.2.1.Çamurun Direkt Yakılması Durumu

Çalışma kapsamında yakma tesisi ile ilgili olarak da kavramsal dizayn çalışmaları, enerji ve kütle hesaplamaları yapılmıştır. Bölüm 6.3.'de kurutma tesisi ile çamurun katı madde oranı %95 oranına çekilmiş ve kurutulan çamurun kömür yakıtı kullanan bir üretim tesisine ileildiği belirtilmiştir. Çamurun bir fabrikaya yakıt olarak taşınması her ne kadar İdare'ye herhangi bir işletme maliyeti getirmese de yakıt olarak iletilen çamurun bir kalorifik değeri olduğu için enerjiyi kullanmadan dışarıya iletilmiş olmaktadır.

Aslında, kurutulmuş çamur her ne kadar hacmi azaltılsa da hala bir enerji değerine sahip ve bu enerji değeri kullanılabilir ve aynı zamanda hacminin daha da azaltılarak inorganik içeriğe haiz kül haline gelmektedir.

Çalışma kapsamında, ileride kurulması olası 150 ton/gün kademe kapasite için çamur yakma sisteminin işletilmesi durumunda enerji dengeleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Hesaplamalar yapılırken, çalışmanın “Çamurun Karakteristiği” ile ilgili bölümde belirtilen çamurun organik, inert ve kalorifik değerleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

7.2.1.1. Yakma Tesisi Kavramsal Dizaynı

Tablo 6.12: Yakma tesisi dizayn parametreleri.

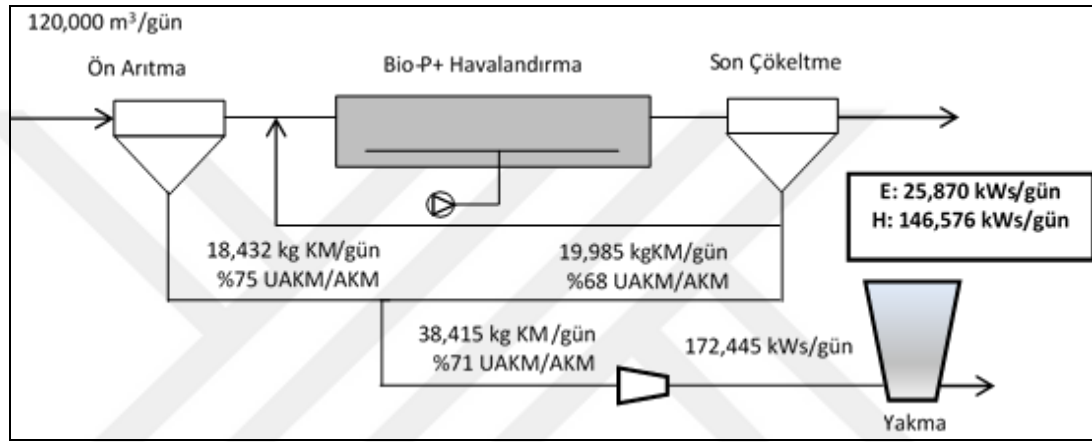
Parametre	Değer	Birim
Alan İhtiyacı	Uzunluk, m	41
	Genişlik, m	33
	Bina Alanı, m ²	800
Kurutma	Isıtma Gücü, kWsaat	2.000
	Alan İhtiyacı, m ²	300
Akışkan Yatak Fırın	Yakıt Gücü; MW	4,9
	Sıcaklık, Akışkan Yatak;°C	650
	Sıcaklık Ardıl Yanma;°C	850-950

Tablo 6.13: Yakma tesisi maliyet hesaplamaları.

	Miktar	Birim Fiyat	Maliyet
Elektrik Tüketimi	3.866.280 kws/yıl	0,063 €/kws	243.575 €/yıl
Personel	5 adam/ay	1.600 €/ay	76.800 €/yıl
Yedek Parça	götürü bedel/yıl	40.000 €/yıl	40.000 €/yıl
Bakım-Onarım	götürü bedel/yıl	20.000 €/yıl	20.000 €/yıl
İşletme Maliyeti Toplam		380.375 €/yıl	
Elektrik Tüketimi	1.826.000 kws/yıl	0,063 €/kws	115.038 €/yıl
Personel	1 adam/ay	1.600 €/ay	20.000 €/yıl
Yedek Parça	götürü bedel/yıl	5.000 €/yıl	10.000 €/yıl
Bakım-Onarım	götürü bedel/yıl	5.000 €/yıl	5.000 €/yıl
İşletme Maliyet Toplamı			150.038 €/yıl
Amortisman Değeri			866.000 €/yıl
Elektrik Enerjisi Kazanımı	6.912.000 kws/yıl	0,063 €/kws	435.000 €/yıl
Kurutma+Yakma Tesisi	1	12.000.000 €	12.000.000 €
Kojenerasyon Ünitesi	1	850.000	850.000 €
Kurutulmuş Çamur Nihai Bertaraf Maliyeti	54.000 ton/yıl	30 €/ton	1.620.000 €/yıl
Tesisin Net İşletme Gider Farkı			+658.625 €/yıl

7.2.1.2. Çamurun Direkt Yakılması Durumu İşletme Senaryosu

İlk alternatifte çamurun yakma sisteminde doğrudan yakılmasına ait hesaplamalar yapılmıştır. Yanma sonucu çıkan enerjinin %15'inden buhar türbini ile elektrik enerjisine dönüştürülebileceği kabul edilmiştir. Çamurun doğrudan yakılarak buhar türbini ile elektrik elde edilmesi durumunda toplamda 25.870 kWsaat/gün enerji elde edilebilmektedir. Çamur yakma sonucunda brüt ısı olarak 146.576 kWsaat/gün enerji elde edilebilmektedir.



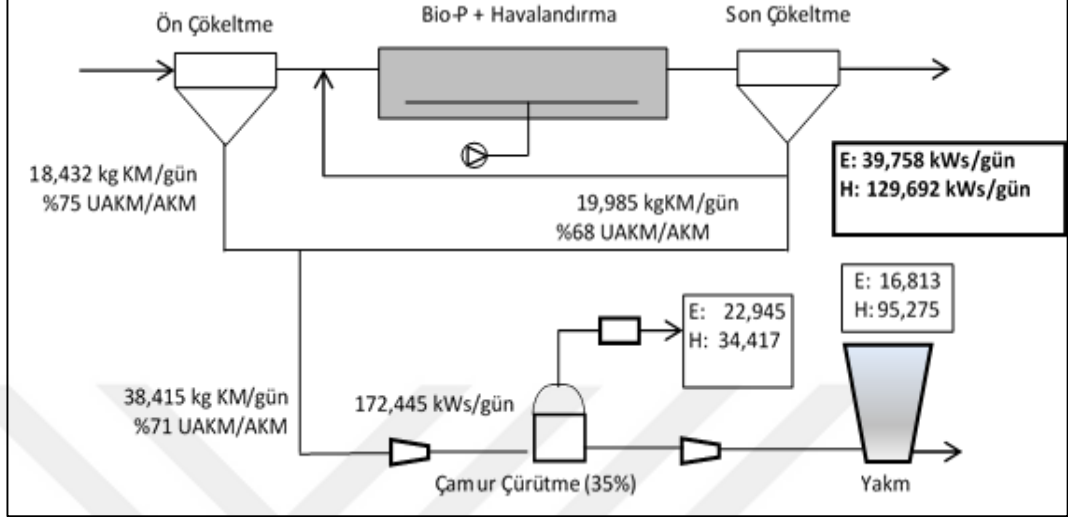
Şekil 6.1: Mevcut prosesin çürütme kullanılmadan yakma prosesinin uygulanması.

Elde edilen enerji toplan elektrik enerjisinin %40'ını karşılamaktadır. Bu alternatifte ait akım diyagramı Şekil 7.1.'de verilmektedir.

7.2.1.3. Çamurun Anaerobik Çürütülmesi ve Yakılması Durumu

Tesiste üretilen çamurun anaerobik çürütme sistemi ve yakma ile birlikte değerlendirilmesi durumunda çamurlardan toplamda 39,758 kWsaat/gün elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Yapılan kabulde primer ve sekonder çamurun karıştırılarak mezofilik şartlarda çürütülmesi sonucu %35 UAKM giderimi elde edilmektedir. Elde edilen mevcut durumda olduğu şekilde gaz motorunda yakıldığı ve %40'ının elektrik enerjisine dönüştüğü kabul edilmiştir. Geriye kalan çamur ise çamur yakma sistemine yönlendirilmektedir. Yanmadan ortaya çıkan enerjinin %15'inden buhar türbini ile elektrik enerjisi elde edilebileceği kabul edilmiştir.

Yapılan hesaplamalardan bu alternatifte elde edilen enerjinin tesiste tüketilen elektrik enerjisinin %60'ını karşılayabildiği hesaplanmıştır. Bu alternatifte ait akım diyagramı Şekil 7.2.'de verilmektedir.



Şekil 6.2: Mevcut prosesin çürütme ve sonrası yakma prosesinin uygulanması.

7.2.2. Termal Hidroliz Prosesinin Mevcut Sisteme Uygulanması Durumu

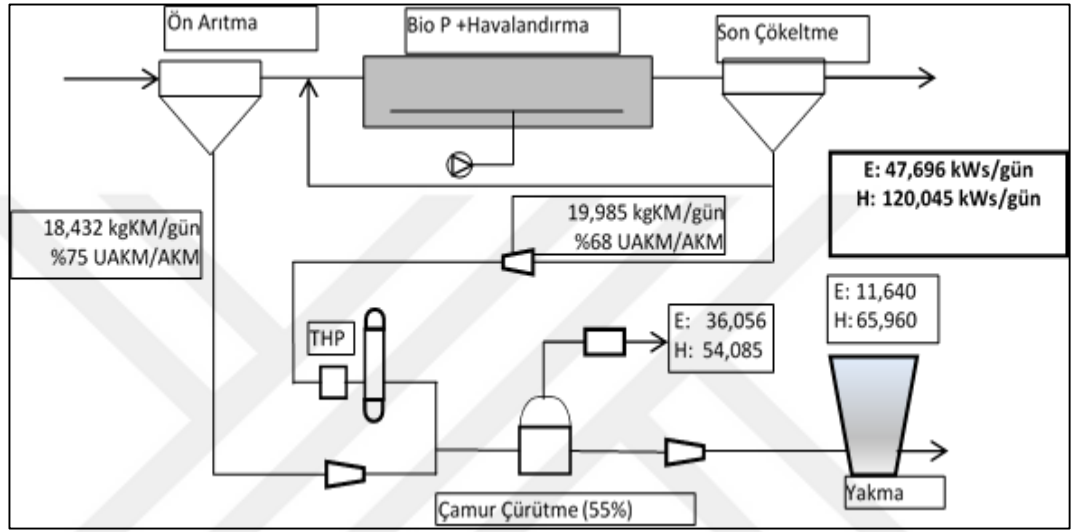
7.2.2.1. Termal Hidroliz Kavramsal Dizaynı

Tablo 6.14: Termal Hidroliz kavramsal dizayn verileri.

Proses Bilgileri		Klasik Çamur Çürütme	Termal Hidroliz ile Çamur Çürütme	Farklılık
Çamur Çürütme Giriş Verileri ve Boyutlandırma	Toplam KM (ton/yıl)	14.881	14.881	
	Mekanik Susuzlaştırma Sonrası % KM	%4,6	%11	
	Bekletme Zamanı Ort.(gün)	20	18	
	Çamur Çürütme Hacimleri (m ³)	17.781	6.671	
Çürütme Verileri	Tahmini KOI Dönüşüm Oranı	%46	%55	
	Günlük Biyogaz Üretimi (m ³ /gün)	12.089	15.267	3.179
	Çürütücü ısıtılması için ısı ihtiyacı MWs/yıl	5.784	9.854	4.070
Susuzlaştırma	% KM	24	32	
	Nihai Kek KM Miktarı (kg/yıl)	39.578	25.291	
	Amonyum Geri Dönüş Yük Miktarı (ton/yıl)	253	346	93

7.2.2.2. Çamurun İleri Anaerobik Çürütülmesi ve Yakılması Durumu İşletme Senaryosu

Bu çalışmada Hurma Atıksu Arıtma Tesisinde üretilen fazla biyolojik çamurlara yüksek verimli basınç altında termal hidroliz prosesi (THP) uygulanacağı ve anaerobik çürütme veriminin %55 UAKM giderim verimine ulaşacağı düşünülmüştür. Çamurdan enerji elde edilmesine yönelik hesaplamalar buna göre tekrar edilmiştir.



Şekil 6.3: Ön ve son çökeltme, Termal Hidroliz (THP), anaerobik çürütme sonrası yakılması.

Hesaplamada kullanılan proses akım diyagramı Şekil 7.3.' de gösterilmektedir.

İleri anaerobik çürütme sistemi ve yakma ile birlikte değerlendirilmesi durumunda çamurlardan toplamda 47.696 kWsaat/gün elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Yapılan kabulde primer çamurun termal hidroliz prosesi ile işlenmiş sekonder çamurla karıştırılarak mezofilik şartlarda çürütülmesi sonucu %55 UAKM giderimi elde edilebileceği düşünülmektedir. Mevcut durumda olduğu oluşan biyogazın gaz motorunda yakıldığı ve %40'ının elektrik enerjisine dönüştüğü kabul edilmiştir. Geriye kalan çamur ise çamur yakma sistemine yönlendirilmektedir. Benzer şekilde, yanmadan ortaya çıkan enerjinin %15'inden buhar türbini ile elektrik enerjisi elde edilebileceği kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalardan elde edilen enerjinin tesiste tüketilen elektrik enerjisinin %70'ini karşılayabildiği hesaplanmıştır.

8. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Tez çalışması yapılan mevcut atıksu arıtma tesisinde bölüm 7.'de belirtilen farklı işletme senaryoları kullanılarak daha verimli enerji ve proses datalarının elde edilmesi önerilmektedir. Ancak bunların dışında mevcut sistem yer alan ünitelerin işletilmesi sırasında da gözlemlenen hususlara dikkat edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Anaerobik çamur çürütme sistemine düzenli çamur iletilmemesinin sebebinin aşağıdaki işletme problemlerinden kaynaklandığı kanaatine varılmıştır:

Termal kurutma sisteminde çıkan arızalardan dolayı anaerobik çürütücülerden de düzenli olarak çamur çekilememiş olması,

Çamur çürütme sisteminin karıştırma düzeneğinde çıkan mekanik arızalar çamurun çürütücüye düzenli olarak verilememesine neden olmaktadır.

Ayrıca, arıtma tesisine giren kum silt gibi inorganik maddeler malzemelerin anaerobik çamur çürütme sistemi içinde birikerek etkin hacmini azaltması çamur çürütme verimini ve biyogaz potansiyelini olumsuz etkileyebilmektedir.

Bu problemlere istinaden çözüm önerileri aşağıda özetlenmektedir:

Primer ve biyolojik çamur karışımı homojenize edildikten sonra D ve C reaktörlerine eşit olarak paylaştırılmalıdır.

Çamur bekletme süresinin toplam 25 günden fazla olması biyogaz üretim veriminde etkisi çok fazla olmamaktadır. Dolayısı ile D ve C reaktörlerinin toplam bekletme süresi 20-25 gün mertebesinde olmalıdır.

Anaerobik çürütücülere çamur besleme sürekli olarak yapılması gereklidir.

Anaerobik çamur çürütücü karıştırıcıları ve Termal Çamur kurutma sistemindeki mekanik arızaların giderilmesi ve yedek parça temininin yapılması gereklidir.

Atıksu arıtma tesisinde kum tutucudan kaçan inert maddeler çürütme tankı içinde birikerek etkin hacmini azaltmaktadır. Ayrıca, kum silt gibi malzemeler kurutma sisteminde mekanik arızalara ve kuru granül çamurun elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısı ile burada kaynaklanan arıza anaerobik çürütücü verimlerini de olumsuz etkilemektedir. Sonuç olarak giriş atıksuyundaki inert organik maddelerin efektif olarak ayrılması önerilmektedir.

Susuzlaştırma veriminin artırılması için çözüm önerileri aşağıda özetlenmektedir:

Anaerobik çamur çürütme sisteminin efektif olarak çalıştırılması ve düzenli olarak beslenmesi. Anaerobik çürütme veriminin izlenmesi.

Polielektrolit dozlaması için yüksek şarjlı ve yüksek moleküler ağırlıklı katyonik polielektrolit kullanılması ve optimum seyrelme faktörünün işletmeye göre optimize edilmesi. Poli hazırlanama çözültisinin nispeten seyreltik hazırlayarak debisinin yükseltilmesi.

Filamentli bakterileri kontrol altına alabilecek aktif çamur işletme koşullarının oluşturulması. Bunun için havalandırma havuzundaki anoksik/aerobik ortamların gerçek zamanlı kontrolü gerekmektedir.

Mevcut yapıların dışında ileride yapılması önerilen termal hidroliz ve yakma sistemleri vasıtasıyla enerji bakımından da kendi kendine yetecek bir tesis haline getirilebileceği hesaplanmıştır.

Çalışmada termal hidroliz sisteminin mevcut atıksu arıtma tesisinin enerji akışını etkilerini analiz edilmiş ve deşarj kriterleri çerçevesinde yakma sistemi ile sonlandırılan sistemde enerji eldeleri değerlendirilmiştir.

Bölüm 7.'de yer alan Tablo.7..1 ve 7.2.'de görüleceği üzere, %100 fazla çamur çürütme ve %50 ön çökeltme verimi uygulanan işletme senaryosunda maksimum biyogaz üretimi elde edildiği tespit edilmiştir. Bu senaryo termal hidroliz yöntemi gibi ilave ileri çürütme prosesinin kullanıldığında maksimum düzeyde biyogaz üretimini gözler önüne serilmesi için oluşturulmuştur.

Böylelikle termal hidroliz model konfigürasyona eklenmiş ve kütle ve enerji dengeleri hesaplanmıştır. Modelin oluşturulması sırasında ön çökeltmeden elde edilen çamur ve biyolojik fazla çamur karıştırılarak %16,5 KM düzeyine getirilmesi için ön susuzlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Karışım çamuru daha sonra 3 adet termal hidroliz reaktöre iletilmiştir. Hidrolize edilmiş çamur %11 KM oranına seyreltilerek mevcut 1 adet çamur çürütme tankına iletilecektir. Termal hidroliz sisteminin bu sistem sırasında 1.125 kWsaat termal ısıya ihtiyaç duyduğu hesaplanmıştır. Ayrıca mevcut 9.000 m³'lük çamur çürütme tankları yerine 1 adet 7.000 m³'lük tek tank 18 saat bekletme süresi içinde yeterli olduğu tespit edilmiştir. Gaz üretiminin 15.300 Nm³/gün olması öngörülmektedir. Çürütülen çamurun % 32 KM oranına kadar susuzlaştırılabilir.

Eğer termal hidroliz sistemine ilave olarak yakma sisteminin de tesise eklenmesi durumunda 63.000 kWsaat/gün enerjinin çamurdan elde edileceği hesaplanmıştır. Bu enerji yakma sistemi içerisinde ve ön kurutma sistemi içerisinde kullanılabilir. Mevcut

kurutma tesisinin 96.000 kWsaat/günlük ısı ihtiyacı bu senaryoda çamur kuru madde oranı yükseldiği için 50.000 kWsaat/güne düşecektir.

Ayrıca 15.300 m³/gün biyogaz 90.141 kWsaat/gün enerji potansiyeli vardır.46.000 kWsaat/gün'lük enerji çamur kurutma tesisinin ihtiyacı olan enerjiyi tamamlamak için kullanılabilir. Geri kalan enerji Kojenerasyon Ünitesinde 36.056 kWsaat/gün (1500 kWsaat) elektrik enerjisi elde edilebilir. Üretilen elektrik enerjisi tüm enerji ihtiyacını karşılamayacaktır.

Diğer taraftan ön susuzlaştırma ve nihai susuzlaştırma sonrasında 346 kg/gün NH₄-N ve 300 kg TP/gün sisteme ilave yük geri döndürecektir. Bu durumda deşarj yüklerinin artmasına neden olacaktır. Deşarj limitleri çerçevesinde arıtma tesisinin işletilebilmesi için, TP ve TN geri kazanılabilir ve gübre olarak kullanılabilir.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda termal hidroliz prosesi ile beraber oluşturulan senaryoda ilk yatırım maliyetinin ve inşaat alanlarının miktarlarının daha azaldığı bulunmuştur. Buna bağlı olarak geri dönüş akımlarında TN ve TP yüklerinin artışına neden olduğu için ilave de-minerilizasyon tesislerinin kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni yapılacak tesisler için termal hidroliz yöntemi ile diğer prosesleri beraber düşünülerek dizayn oluşturulması tesisin enerji verimliliği açısından kazanç sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak Hurma Atıksu Arıtma tesisi gibi işletilen ve çamur çürütme prosesleri oluşturulmuş yani çamur bertarafı ile ilgili olarak bir çok ünitenin yapıldığı için termal hidroliz yöntemi eklenmeden oluşturulacak yakma sistemli 2. senaryonun tesis için daha verimli olacağı öngörülmektedir..

KAYNAKLAR

Ağdağ O. N., Sponza D., (2004), “Katı atıkların simüle biyoreaktörlerde ayrışmasını etkileyen faktörler: katı atıkların sıkıştırılması ve parçalanması”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (3), 83-95.

ATV-M 379E, (2004), “Drying of Sewage Sludge”, DWA, Hennef, Germany.

Cao Y., Pawlowski A., (2012), “Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 1657–1665.

Carrère H., Dumas C., Battimelli A., Batstone D.J., Delgenes J.P., Ferrer I., (2010), “Pretreatment methods to improve sludgeanaerobic degradability: A review”, Journal of Hazardous Materials, 183, 1–15.

Ferrer I., Vazquez F., Font X., (2011), Comparison of the mesophilic and thermophilic anaerobic digestion from an energy perspective”, Journal of Residual Science & Technology, 8 (2), 81–87.

Gujer W., Henze M., Mino T., Loosdrecht M., (1999), “Activated sludge model no.3. in: activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3”, IWA Scientific and Technical Report, No.9., IWA, London.

Hanhan O., Insel G., Ozgur Yagci N., Artan N., Orhon D., (2011), “Mechanism and design of intermittent aeration activated sludge process for nitrogen removal”, Journal of Environ. Sci. Heal Part A., 46 (1), 9-16.

Haug R. T., Stuckey D. C., Gosset J. M., McCarty P.L., (1978), “Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges”, Journal of Water Pollutant Control Fed (JWPCF), 50, 73–85.

Henze M., Grady C. P. L., Gujer, W., Marais, G. R., Matsuo T., (1987), “Activated sludge model no.1”. IAWPRC Scientific and Technical Report No.1. IAWPRC, London.

Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel M. C., Marais, G. R., (1994), “Activated sludge model no.2”, IAWPRC Scientific and Technical Report No.2. IAWQ, London.

Higgins MJ, Novak JT, (1997), “The effect of cations on the settling and dewatering of activated sludge: Laboratory results”, Water Environment Research, 69, 215.

Insel G., Artan N., Orhon D., (2005), “Effect of aeration on nutrient removal performance of oxidation ditch systems”, Environ. Eng. Sci., 22(6), 802-815.

Jolis D., (2008), “High-Solids anaerobic digestion of municipal sludge pretreated by thermal hydrolysis”, Water Environment Research, 80 (7), 654-662.

- Kara F., Gurkan GC., Sanin D., (2008), “Monovalent cations and their influence on activated sludge floc chemistry, structure, and physical characteristics”, *Biotechnology and Bioengineering*, 100 (2), 231-239.
- Kepp U., Machenbach I., Weisz N., and Solheim O. E., (2000), “Enhanced stabilization of sewage through thermal hydrolysis-three years of experience with full scale plant”, *Water Science and Technology*, 42 (9), 89-96.
- Mason T.J., (2007),. “Developments in ultrasound – non-medical progress in biophysics and molecular biology”, 93, 166-175.
- McCarty P. L., Smith D. P., (1986), “Anaerobic wastewater treatment”, *Environ. Sci. Technol.*, 20, 12.
- McCarty P. L., (1971), “Energetics And Microbial Growth. Water Pollution Microbiology”, NY:Marcel Dekker, Inc., New York, 495-533.
- Metcalf ve Eddy, (2003), “Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse”, Mc. Graw Hill Newyork, USA.
- Müller J. A., (2000), “Pre-treatment processes for recycling and reuse of sewage sludge”, *Water Sci. Technol.*, 42, 167–174.
- Müller J. A., (2001), “Prospects and problems of sludge pre-treatment processes”, *Water Science and Technology*, 44, (10), 121-128.
- Spinosa L., Akyol A., Baundez J.C., Canziani R., Jenicek P., Leonard, A., Rulkens W., Xu G. and Dijk L.V., (2011), “Sustainable and innovative solutions for sewage sludge management”, *Water Journal*, 3, 702–71
- Orhon D. ve Artan, N., (1994), “Modelling of Activated Sludge Systems”, Technologic Publ. Co., USA.
- Pèrez-Elvira S.I., Polanco F.F., (2012), “Continuous thermal hydrolysis and anaerobic digestion of sludge. Energy integration study”, *Water Science & Technology*, 65 (10), 1839–1846.
- Santha H., Massart N., Neun G., Yurtsever D., Pepperman B., (2009), “Effect of Dryer Feed Solids on Product Quality at Thermal Drying Facilities”, WEFTEC, USA.
- WEF, (2012), “Solids Process Design and Management”, Water Environment Federation, Water Environment Research Federation, Environmental Protection Agency, Mc. Graw Hill, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Aras GEZER GÖRGEÇ 1980 yılında İstanbul'da doğdu. 1999 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü 2003 yılında başarıyla tamamlayarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2004 yılında Gebze Teknik Üniversitesinde Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve 2006 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamlayarak yine aynı yıl doktora eğitimine başladı. 2007 yılında Gebze Teknik Üniversitesindeki Araştırma Görevlisi görevinden ayrılan GÖRGEÇ, aynı yıl ALDAŞ Altyapı Danışmanlık Yönetim ve Danışmanlık A.Ş. firmasında göreve başladı. Doktora eğitimine dışarıdan devam ederek 2017 yılında eğitimini tamamlayan Aras GEZER GÖRGEÇ halen ALDAŞ A.Ş firmasında yerli/yabancı finansmanlı altyapı projelerinde proje yönetimi, danışmanlık ve saha kontrollüğü hizmeti vermektedir.

EKLER


Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

A. Gezer Gorgec, G. Insel, N. Yağci, M. Doğru, A. Erdinçler, D. Sanin, A. Filibeli, B. Keskinler and E.U. Çokgör (2016), “ Comparison of Energy Efficiencies for Advanced Anaerobic Digestion, Incineration, and Gasification Processes in Municipal Sludge Management” Journal of Residuals Science & Technology, Vol. 13, No. 1.

The Fourth European Conference on Sludge Management-ESCM-2014,May-Izmir/Turkey Presentation ”Comparison of Energy Efficiencies for Advanced Anaerobic Digestion, Incineration and Gasification Process in Municipal Sludge Management”.

18th European Biosolid &Organic Resources Conference& Exhibition in Manchester, UK; (2013) accepted paper “Model Predictive Plant-wide Energy and Process Performance Analyses for a Large-scale Municipal Wastewater Treatment Plant.

Ek B: ATV 131'e Göre Proses Hesaplamaları

		Belebungs-Expert Calculation of single stage activated sludge plants according to ATV-DVWK Standard A-131				
Project: ANTALYA		Date: 26.05.2013				
Calculated by: ALDAS						
Configuration of plant:		Treatment objectives:				
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Anaerobic mixing tank <input type="checkbox"/> Activated sludge tank(s) <input type="checkbox"/> Secondary settling 		<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Removal of org. carbon <input type="checkbox"/> Nitrification <input type="checkbox"/> Denitrification 				
Denitrification process: Intermittend denitrification						
Secondary settling: Type of tank(s) Circular tank, Flow characteristics horizontal, Blade scraper						
Size class and load cases:						
Size class: 27300 kg BOD ₅ /d						
Calculated load cases:						
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Load case 1: Dimensioning <input type="checkbox"/> Load case 2: Proof of nitrification with lowest temperature <input type="checkbox"/> Load case 3: Calculation of oxygen uptake with highest temperature <input type="checkbox"/> Load case 4: Special load 						
Calculation based on COD						
		Load case	1	2	3	4
Inflow:						
Daily dry weather flow rate	Q _{DW,d}	130000	130000	130000	130000	m ³ /d
Hourly dry weather flow as 2hr mean	Q _{DW,h}	7040	7040	7040	7040	m ³ /h
Concentrations:						
COD	C _{COD,IAT}	380	380	380	380	mg/l
Dissolved COD	S _{COD,IAT}	180	180	180	180	mg/l
BOD ₅	C _{BOD,IAT}	170	170	170	170	mg/l
COD/BOD ₅ ratio	-	2.24	2.24	2.24	2.24	-
Filterable solids	X _{SS,IAT}	130	130	130	130	mg/l
Total Kjeldahl-Nitrogen	C _{TKN,IAT}	40.0	40.0	40.0	40.0	mg/l
Ammonia nitrogen	S _{NH4,IAT}	30.0	30.0	30.0	30.0	mg/l
Nitrate nitrogen	S _{NO3,IAT}	0.0	0.0	0.0	0.0	mg/l
Phosphorus	C _{P,IAT}	5.0	5.0	5.0	5.0	mg/l
Alkalinity	S _{ALK,IAT}	8.00	8.00	8.00	8.00	mmol/l
Load:						
COD	B _{d,COD}	49400	49400	49400	49400	kg/d
Dissolved COD	B _{d,SCOD}	23400	23400	23400	23400	kg/d
BOD ₅	B _{d,BOD}	22100	22100	22100	22100	kg/d
Filterable solids	B _{d,XSS}	16900	16900	16900	16900	kg/d
Total Kjeldahl-Nitrogen	B _{d,TKN}	5200.0	5200.0	5200.0	5200.0	kg/d
Ammonia nitrogen	B _{d,NH4}	3900.0	3900.0	3900.0	3900.0	kg/d
Nitrate nitrogen	B _{d,NO3}	0.0	0.0	0.0	0.0	kg/d
Phosphorus	B _{d,P}	650.0	650.0	650.0	650.0	kg/d

Biological reactor, Load case 1:

Temperature in the biol. reactor	T	16.0 Deg C
----------------------------------	---	------------

Nitrogen balance:

Influent $C_{TKN} + S_{NO3}$	C_N	40.0 mg/l
Nitrogen incorporated in biomass	$X_{orgN,BM}$	9.5 mg/l
Ammonia nitrogen in the effluent	$S_{NH4,EST}$	0.0 mg/l
Organic nitrogen in the effluent	$S_{orgN,EST}$	2.0 mg/l
Nitrogen nitrified	$S_{NO3,N}$	28.5 mg/l
Nitrate nitrogen in the effluent (Setpoint)	$S_{NO3,EST}$	8.0 mg/l
Nitrogen to denitrify	$S_{NO3,D}$	20.5 mg/l
Required denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.121 kg/kg
Chosen denitrification share	V_D/V_{AT}	0.34 -
Existing denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.118 kg/kg
Nitrate nitrogen denitrified	$S_{NO3,D}$	20.1 mg/l
Nitrate nitr. in the effluent (existing)	$S_{NO3,EST}$	8.4 mg/l
Maximum cycle time	t_T	1.92 h

Phosphorus removal:

Volume of anaerobic mixing tank(s)	V_{BioP}	8000 m ³
Contact time in the anaerobic tank(s) (with $Q_{DW,h}$, $RS=1$)	t_{BioP}	0.6 h
Phosphorus in the influent	$C_{P,IAT}$	5.0 mg/l
Embedded in biomass (normal uptake)	$X_{P,BM}$	1.9 mg/l
Embedded in biomass (enhanced uptake)	$X_{P,BioP}$	2.7 mg/l
Phosphorus in the effluent (existing)	$S_{PO4,EST}$	0.4 mg/l

Dry matter suspended solids in the biological reactor:

Permitted susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.70 kg/m ³
Chosen susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.70 kg/m ³

Sludge age and load specifics:

Required sludge age	$t_{SS,Dim}$	6.8 d
Required mass of suspended solids	$req.M_{SS,AT}$	170200 kg
Required volume of biol. reactor	V_{AT}	45333 m ³
Chosen volume of biol. reactor	V_{AT}	46000 m ³
Sludge age (existing)	t_{SS}	6.9 d
Aerobic sludge age (existing)	$t_{SS,aer.}$	4.6 d
Safety factor (existing)	SF	1.48 -
BOD ₅ volume load	$B_{R,BOD}$	0.48 kg/(m ³ *d)
BOD ₅ sludge load	$B_{SS,BOD}$	0.13 kg/(kg*d)

Sludge production:

...from carbon removal	$SP_{d,C}$	23617 kg/d
...from external carbon source	$SP_{d,extC}$	0 kg/d
...from biol. phosphorus removal	$SP_{d,BioP}$	1037 kg/d
...from precipitation	$SP_{d,Prec}$	0 kg/d
Total daily sludge production	SP_d	24654 kg/d

Oxygen uptake:

...for carbon removal	$OU_{d,C}$	25416 kg/d
...for nitrification	$OU_{d,N}$	15932 kg/d
...carbon removal by denitrification	$OU_{d,D}$	-7593 kg/d

Total daily uptake	OU_d	33754 kg/d
Peak factor carbon respiration	f_C	1.25 -
Peak factor ammonium oxidation	f_N	2.00 -
Maximum hourly uptake rate	OU_h	3136.7 kg/h
Required oxygen transfer	$\alpha \cdot OC_h$	3933.4 kg/h
Alkalinity:		
Alkalinity in the effluent	$S_{ALK,EST}$	5.31 mmol/l

Biological reactor, Load case 2:

Temperature in the biol. reactor	T	12.0 Deg C
----------------------------------	---	------------

Nitrogen balance:

Influent $C_{TKN} + S_{NO3}$	C_N	40.0 mg/l
Nitrogen incorporated in biomass	$X_{orgN,BM}$	9.5 mg/l
Ammonia nitrogen in the effluent	$S_{NH4,EST}$	0.0 mg/l
Organic nitrogen in the effluent	$S_{orgN,EST}$	2.0 mg/l
Nitrogen nitrified	$S_{NO3,N}$	28.5 mg/l
Chosen denitrification share	V_D/V_{AT}	0.14 -
Existing denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.048 kg/kg
Nitrate nitrogen denitrified	$S_{NO3,D}$	8.2 mg/l
Nitrate nitr. in the effluent (existing)	$S_{NO3,EST}$	20.3 mg/l

Phosphorus removal:

Volume of anaerobic mixing tank(s)	V_{BioP}	8000 m ³
Contact time in the anaerobic tank(s) (with $Q_{DW,h}$, $RS=1$)	t_{BioP}	0.6 h
Phosphorus in the influent	$C_{P,IAT}$	5.0 mg/l
Embedded in biomass (normal uptake)	$X_{P,BM}$	1.9 mg/l
Embedded in biomass (enhanced uptake)	$X_{P,BioP}$	0.8 mg/l
Phosphorus in the effluent (existing)	$S_{PO4,EST}$	2.3 mg/l

Dry matter suspended solids in the biological reactor:

Permitted susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.70 kg/m ³
Chosen susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	375.09 kg/m ³

Sludge age and load specifics:

Required sludge age	t_{SS}	1094.6 d
Aerobic sludge age (existing)	$t_{SS,aer.}$	937.0 d
Safety factor (existing)	SF	205.11 -
BOD ₅ volume load	$B_{R,BOD}$	0.48 kg/(m ³ *d)
BOD ₅ sludge load	$B_{TS,BOD}$	0.00 kg/(kg*d)

Sludge production:

...from carbon removal	$SP_{d,C}$	15467 kg/d
...from external carbon source	$SP_{d,extC}$	0 kg/d
...from biol. phosphorus removal	$SP_{d,BioP}$	296 kg/d
...from precipitation	$SP_{d,Prec}$	0 kg/d
Total daily sludge production	SP_d	15763 kg/d

Oxygen uptake:

...for carbon removal	$OU_{d,C}$	34870 kg/d
...for nitrification	$OU_{d,N}$	15932 kg/d
...carbon removal by denitrification	$OU_{d,D}$	-3080 kg/d
Total daily uptake	OU_d	47721 kg/d
Peak factor carbon respiration	f_C	1.25 -
Peak factor ammonia oxidation	f_N	2.00 -
Maximum hourly uptake rate	OU_h	3098.4 kg/h
Required oxygen transfer	$\alpha \cdot OC_h$	3804.1 kg/h

Alkalinity:

Alkalinity in the effluent	$S_{ALK,EST}$	4.48 mmol/l
----------------------------	---------------	-------------

Biological reactor, Load case 3:

Temperature in the biol. reactor	T	25.0 Deg C
----------------------------------	---	------------

Nitrogen balance:

Influent $C_{TKN} + S_{NO3}$	C_N	40.0 mg/l
Nitrogen incorporated in biomass	$X_{orgN,BM}$	9.5 mg/l
Ammonia nitrogen in the effluent	$S_{NH4,EST}$	0.0 mg/l
Organic nitrogen in the effluent	$S_{orgN,EST}$	2.0 mg/l
Nitrogen nitrified	$S_{NO3,N}$	28.5 mg/l
Nitrate nitrogen in the effluent (Setpoint)	$S_{NO3,EST}$	7.0 mg/l
Nitrogen to denitrify	$S_{NO3,D}$	21.5 mg/l
Required denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.126 kg/kg
Chosen denitrification share	V_D/V_{AT}	0.33 -
Existing denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.126 kg/kg
Nitrate nitrogen denitrified	$S_{NO3,D}$	21.5 mg/l
Nitrate nitr. in the effluent (existing)	$S_{NO3,EST}$	7.0 mg/l
Maximum cycle time	t_T	1.61 h

Phosphorus removal:

Volume of anaerobic mixing tank(s)	V_{BioP}	8000 m ³
Contact time in the anaerobic tank(s) (with $Q_{DW,h}$, $RS=1$)	t_{BioP}	0.6 h
Phosphorus in the influent	$C_{P,IAT}$	5.0 mg/l
Embedded in biomass (normal uptake)	$X_{P,BM}$	1.9 mg/l
Embedded in biomass (enhanced uptake)	$X_{P,BioP}$	2.7 mg/l
Phosphorus in the effluent (existing)	$S_{PO4,EST}$	0.4 mg/l

Dry matter suspended solids in the biological reactor:

Permitted susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.70 kg/m ³
Chosen susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.07 kg/m ³

Sludge age and load specifics:

Sludge age (existing)	t_{SS}	6.3 d
Aerobic sludge age (existing)	$t_{SS,aer.}$	4.2 d
Safety factor (existing)	SF	3.32 -
BOD ₅ volume load	$B_{R,BOD}$	0.48 kg/(m ³ *d)
BOD ₅ sludge load	$B_{SS,BOD}$	0.16 kg/(kg*d)

Sludge production:

...from carbon removal	$SP_{d,C}$	21259 kg/d
...from external carbon source	$SP_{d,extC}$	0 kg/d
...from biol. phosphorus removal	$SP_{d,BioP}$	1037 kg/d
...from precipitation	$SP_{d,Prec}$	0 kg/d
Total daily sludge production	SP_d	22297 kg/d

Oxygen uptake:

...for carbon removal	$OU_{d,C}$	28150 kg/d
...for nitrification	$OU_{d,N}$	15932 kg/d
...carbon removal by denitrification	$OU_{d,D}$	-8094 kg/d
Total daily uptake	OU_d	35988 kg/d
Peak factor carbon respiration	f_C	1.25 -
Peak factor ammonia oxidation	f_N	2.00 -
Maximum hourly uptake rate	OU_h	3228.8 kg/h

Required oxygen transfer

$\alpha \cdot OC_b$ 4260.0 kg/h

Alkalinity:

Alkalinity in the effluent

$S_{ALK,EST}$ 5.41 mmol/l

Biological reactor, Load case 4:

Temperature in the biol. reactor	T	20.0 Deg C
----------------------------------	---	------------

Nitrogen balance:

Influent $C_{TKN} + S_{NO3}$	C_N	40.0 mg/l
Nitrogen incorporated in biomass	$X_{orgN,BM}$	9.5 mg/l
Ammonia nitrogen in the effluent	$S_{NH4,EST}$	0.0 mg/l
Organic nitrogen in the effluent	$S_{orgN,EST}$	2.0 mg/l
Nitrogen nitrified	$S_{NO3,N}$	28.5 mg/l
Nitrate nitrogen in the effluent (Setpoint)	$S_{NO3,EST}$	7.0 mg/l
Nitrogen to denitrify	$S_{NO3,D}$	21.5 mg/l
Required denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.126 kg/kg
Chosen denitrification share	V_D/V_{AT}	0.35 -
Existing denitrification capacity	$S_{NO3,D}/C_{BOD}$	0.127 kg/kg
Nitrate nitrogen denitrified	$S_{NO3,D}$	21.7 mg/l
Nitrate nitr. in the effluent (existing)	$S_{NO3,EST}$	6.8 mg/l
Maximum cycle time	t_T	1.57 h

Phosphorus removal:

Volume of anaerobic mixing tank(s)	V_{BioP}	8000 m ³
Contact time in the anaerobic tank(s) (with $Q_{DW,h}$, $RS=1$)	t_{BioP}	0.6 h
Phosphorus in the influent	$C_{P,IAT}$	5.0 mg/l
Embedded in biomass (normal uptake)	$X_{P,BM}$	1.9 mg/l
Embedded in biomass (enhanced uptake)	$X_{P,BioP}$	2.7 mg/l
Phosphorus in the effluent (existing)	$S_{PO4,EST}$	0.4 mg/l

Dry matter suspended solids in the biological reactor:

Permitted susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.70 kg/m ³
Chosen susp. solids in the effl. of the biol. reactor	SS_{AT}	3.70 kg/m ³

Sludge age and load specifics:

Sludge age (existing)	t_{SS}	7.4 d
Aerobic sludge age (existing)	$t_{SS,aer}$	4.8 d
Safety factor (existing)	SF	2.29 -
BOD ₅ volume load	$B_{R,BOD}$	0.48 kg/(m ³ ·d)
BOD ₅ sludge load	$B_{SS,BOD}$	0.13 kg/(kg·d)

Sludge production:

...from carbon removal	$SP_{d,C}$	22084 kg/d
...from external carbon source	$SP_{d,extC}$	0 kg/d
...from biol. phosphorus removal	$SP_{d,BioP}$	1037 kg/d
...from precipitation	$SP_{d,Prec}$	0 kg/d
Total daily sludge production	SP_d	23122 kg/d

Oxygen uptake:

...for carbon removal	$OU_{d,C}$	27194 kg/d
...for nitrification	$OU_{d,N}$	15932 kg/d
...carbon removal by denitrification	$OU_{d,D}$	-8166 kg/d
Total daily uptake	OU_d	34959 kg/d
Peak factor carbon respiration	f_C	1.25 -
Peak factor ammonia oxidation	f_N	2.00 -
Maximum hourly uptake rate	OU_h	3262.2 kg/h

Required oxygen transfer

$\alpha \cdot \text{OC}_{\text{H}}$ 4181.8 kg/h

Alkalinity:

Alkalinity in the effluent

SALK,EST 5.42 mmol/l

Secondary settling

Type of tank(s): Circular tank

Flow characteristics: horizontal

Type of scraper: Blade scraper

Decisive wastewater flow $Q_{WW,H}$ 7040 m³/h

Sludge volume index, Return sludge ratio:

Sludge volume index (chosen)	SVI	110 l/kg
Thickening time	t_{Th}	2.5 h
Suspended solids in the bottom sludge	SS _{BS}	12.3 kg/m ³
Chosen ratio SS _{RS} /SS _{BS}		0.70 -
Suspended solids in return sludge	SS _{RS}	8.6 kg/m ³
Chosen return sludge ratio with $Q_{h,ww}$	RS	0.75 -
Permitted susp. solids concentration in the influent	SS _{IST}	3.70 kg/m ³
Chosen susp. solids concentration in the influent	SS _{EAT}	3.70 kg/m ³

Surface area, Number and dimension of tank(s):

Permitted sludge volume load	qSV	500 l/(m ² ·h)
Permitted surface overflow rate	qA	1.60 m/h
Required surface area	A _{ST}	5731 m ²
Number of tanks	a	4
Required diameter	D _{ST}	42.71 m
Chosen diameter	D _{ST}	43.00 m
Diameter of stilling drum	D _{SD}	1.00 m
Surface area (existing)	A _{ST}	5809 m ²
Sludge volume load (existing)	qSV	493 l/(m ² ·h)
Surface overflow rate (existing)	qA	1.21 m/h

Depth of tank(s):

Clear water zone	h ₁	0.70 m
Separation / Return flow zone	h ₂	1.79 m
Density flow / Storage zone	h ₃	0.78 m
Thickening / Sludge removal zone	h ₄	1.59 m
Decisive depth of tank(s)	h _{ST}	4.86 m
Depth of inlet below water level	h _e	2.80 m

Scraper:

Height of scraper blade	h _{SR}	0.50 m
Number of scraper blades	a _r	2.0 -
Velocity of scraper	v _{SR}	130 m/h
Sludge removal factor	f _{SR}	1.50 -
Sludge removal interval	t _{SR}	1.04 h
Required sludge removal flow rate	Q _{SR}	3230 m ³ /h
Existing sludge removal flow rate	Q _{SR}	3727 m ³ /h

The sludge volume balance is fulfilled.