



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

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖN İŞLEMLERİN FARKLI ATIK
TÜRLERİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELLERİNE
ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Şevket TULUN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Melayib BİLGİN

AKSARAY, 2018



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

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖN İŞLEMLERİN FARKLI ATIK
TÜRLERİNİN BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELLERİNE
ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Şevket TULUN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Melayib BİLGİN

AKSARAY, 2018

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142311201 numaralı Doktora öğrencisi, "Şevket TULUN", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Fiziksel ve Kimyasal Ön İşlemlerin Farklı Atık Türlerinin Biyogaz Üretim Potansiyellerine Etkisi" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

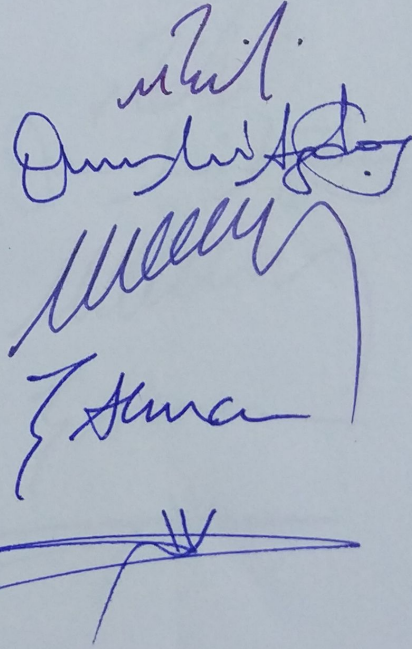
Tez Danışmanı : Doç.Dr. Melayib BİLGİN
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Osman N. AĞDAĞ
Pamukkale Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mustafa IŞIK
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Görkem AKINCI
Dokuz Eylül Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hatim Elhatip
Aksaray Üniversitesi



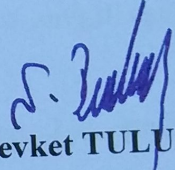
Teslim Tarihi: 08.02.2018

Savunma Tarihi: 29.01.2018

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.


Şevket TULUN

ÖNSÖZ

Tüm dünyada insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve kimi zaman ulaştığı felaket boyutları ile toplumların yaşamını tehdit eden çevre sorunlarından birini de katı atıklar oluşturmaktadır. Katı atıklar, insan aktivitelerinden ileri gelen ve normalde katı halde bulunan, kullanılmaz hale gelmiş veya istenmeyen maddelerin tümünü kapsar. Nüfus artışı, teknolojik gelişme, sanayileşme ve kentleşmeyle birlikte artan atık miktarı, gerek gelişmiş ülkelerde gerekse gelişmekte olan ülkelerde katı atık yönetim süreçlerinin önemini giderek artırmaktadır. Atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi başta çevre ve insan sağlığı olmak üzere ekonomiyi de yakından ilgilendirmektedir. Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl artmaktadır. Buna karşılık, bu ihtiyacı karşılayan fosil yakıt rezervi ise çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin azalması, ekonomik olarak kullanıma uygun teknolojilerle yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Biyolojik olarak ayrışabilen materyallerin anaerobik reaksiyonlar sonucunda yanabilir metan gazı içeren biyogaza dönüştürülmesi bu konudaki enerji üretim yöntemlerinden biridir.

Bu çalışmada değersiz olarak görülen atıklara, ekonomik değer kazandırmak ve fazla miktarda enerji elde edilmesinin yolları araştırılmıştır. Atıklardan anaerobik yöntemler ile metan gazı üretimi uzun zamandır yapılmaktadır. Bu atıklara fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanarak, içeriğinde bulunan organik maddelerin mikroorganizmaların kullanacağı forma dönüşmesi sağlanmıştır. Böylece daha fazla metan ve enerji elde edilmiştir. Farklı atıklar için ön işlemler uygulanarak biyogaz üretim potansiyelini artırıcı durumlar belirlenmiştir. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması ile Avrupa Birliği (AB) Katı Atık Düzenli Depolama Yönergesi'nde (99/31/EC) belirlenen şartların yerine getirilmesine katkı sağlanmıştır.

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Şevket TULUN

TEŞEKKÜR

Bu günlere gelmemde çok büyük emeği olan, bana her zaman hayatta yapılan en büyük yatırımın eğitim olduğunu söyleyen, ahlaki kavramların önemini belirten, aldığım her kararın sonuna kadar arkasında duran öpülesi elleri olan babama varlığını her an yanımda hissettiğim ve bundan güç aldığım anneme, tez yazma sürecinde benim kadar çaba harcayan, mutlu ve huzurlu bir ev yaşamı sağlayan, hayat arkadaşım, sevgili eşim Ebru MUTLU TULUN'a teşekkür ederim.

Göreve başladığım süre boyunca samimiyetinden, dürüstlüğünden hiç şüphe duymadığım tez süresince emeğini esirgemeyen, yaptığı yardımları hiçbir zaman unutmayacağım Sayın Dr. Melayib BİLGİN' e ve doktora çalışmalarım boyunca bilgilerini paylaşan ve beni yönlendiren Sayın Dr. Osman N. AĞDAĞ ve Sayın Dr. Mustafa IŞIK'a şükranlarımı sunarım.

Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde görev alan öğretim üyeleri ve elemanlarına, Fen Bilimleri Eğitim laboratuvarını kullanmamı sağlayan Dr. Tuncay TUNÇ'a teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2015-018 no'lu Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Türkiye Çevre Koruma Vakfının vermiş olduğu doktora bursu için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
DOĞRULUK BEYANI.....	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1 Yenilenebilir Enerji ve Biyoenerji	3
1.1.1 Jeotermal enerji	4
1.1.2 Rüzgar enerjisi.....	5
1.1.3 Güneş enerjisi	6
1.1.4 Hidrolik enerji	6
1.1.5 Biyokütle enerjisi	7
1.2 Anaerobik Arıtım	8
1.3 Anaerobik Çürüme Aşamaları.....	9
1.4 Anaerobik Çürümeye Etki Eden Faktörler	10
1.4.1 Besinler.....	10
1.4.2 Sıcaklık.....	11
1.4.3 pH ve alkalinite	11
1.4.4 Toksitite.....	12
1.4.5 Karbon/azot (C/N).....	13
1.5 Anaerobik Reaktör Çeşitleri	13
1.5.1 Sabit yataklı dolgu reaktör	14
1.5.2 Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler	14
1.5.3 Anaerobik akışkan yataklı reaktörler	15
1.5.4 Anaerobik perdeli (şaşırtmalı) reaktörler	15
1.5.5 Çokkatlı anaerobik reaktörler.....	16
1.6 Anaerobik Arıtımın Avantaj ve Dezavantajları.....	17
1.7 Biyogazın Özellikleri	17
1.8 Arıtma Çamurları	18
1.9 Elma Atıkları	21
1.10 Ön Arıtım Yöntemleri	23
2. LİTERATÜR.....	25
2.1 Ultrases Ön İşlemleri.....	25
2.2 Kimyasal Ön İşlemler.....	27
2.3 Termal Ön İşlemler	29
2.4 Mikrodalga Ön İşlemler	31
2.5 Mekanik Ön İşlemler.....	31

3. MALZEME VE YÖNTEM	35
3.1 Numunelerin Temini ve Hazırlanması	35
3.2 Analitik Metotlar	36
3.2.1 % Nem tayini	36
3.2.2 % Kül tayini	36
3.2.3 %Uçucu madde tayini	36
3.2.4 % Selüloz tayini	36
3.2.5 Askıda katı madde (AKM) tayini	37
3.2.6 Protein tayini	37
3.2.7 pH tayini	38
3.2.8 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini	38
3.2.9 5 Günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) tayini	39
3.2.10 Çamur hacim indeksi (ÇHİ) tayini	39
3.2.11 Anyon tayini	39
3.2.12 Toplam organik karbon (TOC) tayini	39
3.2.13 Vizkozite	40
3.2.14 Elementel analiz	40
3.2.15 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri	40
3.2.16 Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) analizi	40
3.2.17 Spesifik metan aktivite (SMA) analizi	41
3.2.18 İstatiksel analizler	42
3.3 Numunelere Uygulanan Ön İşlemler	42
3.3.1 Termal ön işlemler	42
3.3.2 Ultrases ön işlemler	43
3.3.3 Termal-ultrases ön işlemler	43
3.3.4 Kimyasal ön işlemler	43
3.3.5 Termo-kimyasal ön işlemler	43
3.4 Deneysel Çalışmalar	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
4.1 Elma Posasının Karakterizasyonu	46
4.1.1 Elma posasına uygulanan ön işlemler	48
4.1.1.1 Termal ön işlemler	48
4.1.1.2 35 kHz ultrases ön işlemler	52
4.1.1.3 53 kHz ultrases ön işlemler	56
4.1.1.4 pH<2 kimyasal ön işlemler	60
4.1.1.5 pH 5 kimyasal ön işlemler	64
4.1.1.6 pH 10 kimyasal ön işlemler	68
4.1.2 Aşı Çamurunun Karakterizasyonu	72
4.1.3 BMP Çalışmaları	73
4.1.3.1 Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP deneyleri	76
4.1.3.2 Çözünmüş protein değerlerine göre BMP deneyleri	80
4.2 Arıtma Çamurunun Karakterizasyonu	84
4.2.1 Arıtma çamuruna uygulanan ön işlemler	85
4.2.1.1 Termal ön işlemler	85
4.2.1.2 35 kHz ultrases ön işlemler	89
4.2.1.3 53 kHz ultrases ön işlemler	93
4.2.1.4 pH<2 kimyasal ön işlemler	97
4.2.1.5 pH 5 kimyasal ön işlemler	101
4.2.1.6 pH 10 kimyasal ön işlemler	105
4.2.2 Aşı Çamurunun Karakterizasyonu	109

4.2.3 BMP Çalışmaları	110
4.2.3.1 Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP deneyleri	113
4.2.3.2 Çözünmüş protein değerlerine göre BMP deneyleri	117
4.3 SEM Analiz Sonuçları	120
4.4 İstatiksel Analiz Sonuçları	122
4.4.1 Arıtma Çamurlarına Uygulanan Termal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları	122
4.4.2 Arıtma Çamurlarına Uygulanan Ultrases Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları	124
4.4.3 Arıtma Çamurlarına Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları	126
4.4.4 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	128
4.4.5 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	129
4.4.6 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	131
4.4.7 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	132
4.4.8 Elma Posasına Uygulanan Termal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları	134
4.4.9 Elma Posasına Uygulanan Ultrases Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları	136
4.4.10 Elma Posasına Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları	138
4.4.11 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	140
4.4.12 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	141
4.4.13 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	143
4.4.14 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları	144
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	146
KAYNAKLAR	152
EKLER.....	162
ÖZGEÇMİŞ.....	177

SİMGELER DİZİNİ

°C	Santigrat Derece
C	Karbon
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CH ₃ COOH	Asetik Asit
CH ₄	Metan
cm	Santimetre
CO ₂	Karbondioksit
cP	Centipoise
€	Euro
g	Gram
GHz	Gigahertz
GWs	Gigawatt Saat
H ⁺	Hidrojen İyonu
H [*]	Hidrojen Radikalleri
H ₂ S	Hidrojen Sülfür
H ₂ SO ₄	Sülfirik Asit
H ₃ PO ₄	Fosforik Asit
HCl	Hidroklorik Asit
HNH ₃	Nitrik Asit
HO ₂ [*]	Hidrojenperoksil Radikalleri
K	Potasyum
kcal	Kilokalori
kHz	Kilohertz
KOH	Potasyum Hidroksit
m	Metre
mm	Milimetre
Mg(OH) ₂	Magnezyum Hidroksit
MHz	Megahertz
MW	Megawatt
Na	Sodyum
N	Azot
NaHCO ₃	Sodyum Bikarbonat
NaOH	Sodyum Hidroksit

NH₃*H₂O	Amonyum Hidrooksit
Nm	Nanometre
OH*	Hidroksil Radikalleri
TWs	Terawatt Saat
µm	Mikrometre



KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devleti
AKM	Askıda Katı Madde
BMP	Biyokimyasal Metan Potansiyeli
BOİ₅	5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BSA	Bovine Serum Albümin
ÇHİ	Çamur Hacim İndeksi
DAS	Demir Amonyum Sülfat
EİO	Ekonomi İşbirliği ve Organizasyonu
EP	Elma Posası
HBS	Hidrolik Bekletme Süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MTEO	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
PVC	Polivinil Klorür
Rpm	Revolutions per Minute
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SMA	Spesifik Metan Aktivitesi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TN	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UÇKM	Uçucu Çözülmüş Katı Madde
UKM	Uçucu Katı Madde

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Kompleks organik maddelerin anaerobik parçalama aşamaları.....	9
Şekil 1.2: Sabit yataklı reaktör	14
Şekil 1.3: Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler	15
Şekil 1.4: Anaerobik akışkan yataklı reaktörler	15
Şekil 1.5: Anaerobik şaşırtmalı reaktörler	16
Şekil 1.6: Çokkatlı anaerobik reaktörler.....	16
Şekil 1.7: Atıksu arıtma tesisi çamur kaynakları	19
Şekil 2.1: Ultrases aralık diyagramı.....	25
Şekil 2.2: Kavitasyon oluşumu ve çökmesi.....	26
Şekil 3.1: Protein analizleri için kalibrasyon eğrisi	38
Şekil 3.2: Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) analizleri.....	41
Şekil 3.3: Termal ön işlemlerin uygulanması.....	42
Şekil 3.4: Termal-ultrases ön işlemlerin uygulanması ve örneklerin süzülmesi.....	43
Şekil 4.1: Elma posasının farklı mesafelerden ve yerlerden görüntüleri.....	47
Şekil 4.2: Aşı çamurunun ÇHI deney çalışmaları.....	72
Şekil 4.3: Çözünmüş KOİ değerlerine göre termal ön arıtmaların BMP sonuçları ...	76
Şekil 4.4: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.....	77
Şekil 4.5: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları	78
Şekil 4.6: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	78
Şekil 4.7: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	79
Şekil 4.8: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	79
Şekil 4.9: Çözünmüş protein değerlerine göre termal ön arıtmaların BMP sonuçları	80
Şekil 4.10: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.....	80
Şekil 4.11: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.....	81
Şekil 4.12: Çözünmüş protein değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	82
Şekil 4.13: Çözünmüş protein değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	83
Şekil 4.14: Çözünmüş protein değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	83
Şekil 4.15: Aşı çamurunun ÇHI deney çalışmaları.....	109
Şekil 4.16: Çözünmüş KOİ değerlerine göre termal ön arıtmaların BMP sonuçları.....	113
Şekil 4.17: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.....	114
Şekil 4.18: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.....	114

Şekil 4.19: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.	115
Şekil 4.20: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları..	116
Şekil 4.21: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.....	116
Şekil 4.22: Çözünmüş protein değerlerine göre termal ön arıtımların BMP sonuçları.....	117
Şekil 4.23: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtımların BMP sonuçları.....	117
Şekil 4.24: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtımların BMP sonuçları	118
Şekil 4.25: Çözünmüş protein değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları	118
Şekil 4.26: Çözünmüş protein değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.....	119
Şekil 4.27: Çözünmüş protein değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.....	120
Şekil 4.28: Elma posasının BMP analizi sonrası SEM görüntüleri.....	121

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Anaerobik arıtma çeşitli engelleyicilerin sınır değerleri.	13
Çizelge 1.2: Alternatif atık yönetimler ile anaerobik arıtımın kıyaslanması.....	17
Çizelge 1.3: Biyogaz bileşimleri.....	18
Çizelge 1.4: Bazı atıkların metan yüzdeleri.....	18
Çizelge 1.5: Elmanın yapısında bulunan maddeler	21
Çizelge 2.1: Arıtma çamurlarının ultrases ön arıtım çalışmaları literatür özeti.	27
Çizelge 2.2: Farklı organik materyallerin parçacık boyutunun biyolojik bozunabilirliğe etkisi.....	32
Çizelge 2.3: Farklı ön arıtım yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	33
Çizelge 3.1: Çözünmüş protein ve KOİ değerlerine göre yapılan çalışmalar.	45
Çizelge 4.1: Elma posasının özellikleri.	46
Çizelge 4.2: 40 °C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	48
Çizelge 4.3: 50 °C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	49
Çizelge 4.4: 60 °C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	50
Çizelge 4.5: -18 °C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.	51
Çizelge 4.6: 35 kHz 25 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	52
Çizelge 4.7: 35 kHz 40 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	53
Çizelge 4.8: 35 kHz 50 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	54
Çizelge 4.9: 35 kHz 60 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları 1.	55
Çizelge 4.10: 53 kHz 25 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.	56
Çizelge 4.11: 53 kHz 40 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.	57
Çizelge 4.12: 53 kHz 50 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.	58
Çizelge 4.13: 53 kHz 60 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.	59
Çizelge 4.14: pH<2 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.	60
Çizelge 4.15: pH<2 40 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.	61
Çizelge 4.16: pH<2 50 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları	62
Çizelge 4.17: pH<2 60 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları	63
Çizelge 4.18: pH 5 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	64
Çizelge 4.19: pH 5 40 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	65
Çizelge 4.20: pH 5 50 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	66
Çizelge 4.21: pH 5 60 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	67
Çizelge 4.22: pH 10 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	68
Çizelge 4.23: pH 10 40 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	69
Çizelge 4.24: pH 10 50 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	70
Çizelge 4.25: pH 10 60 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	71
Çizelge 4.26: Spesifik metan aktivite testinde şişelerin içerisine konulan miktarlar.72	72
Çizelge 4.27: Aşı çamurunun SMA sonuçları.	73
Çizelge 4.28: Ön işlemlerde sonucunda en yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği işletme şartları.	74
Çizelge 4.29: Ön işlemler sonucunda en yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği işletme şartları.....	75

Çizelge 4.30: Arıtma çamurunu özellikleri.	84
Çizelge 4.31: 40 °C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	85
Çizelge 4.32: 50°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	86
Çizelge 4.33: 60°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	87
Çizelge 4.34: -18 °C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları	88
Çizelge 4.35: 35 kHz 25 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	89
Çizelge 4.36: 35 kHz 40 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	90
Çizelge 4.37: 35 kHz 50 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	91
Çizelge 4.38: 35 kHz 60 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.	92
Çizelge 4.39: 53 kHz 25 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	93
Çizelge 4.40: 53 kHz 40 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.	94
Çizelge 4.41: 53 kHz 50 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	95
Çizelge 4.42: 53 kHz 60 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları	96
Çizelge 4.43: pH<2 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları	97
Çizelge 4.44: pH<2 40 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları	98
Çizelge 4.45: pH<2 50 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları	99
Çizelge 4.46: pH<2 60 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları	100
Çizelge 4.47: pH 5 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	101
Çizelge 4.48: pH 5 40 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	102
Çizelge 4.49: pH 5 50 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	103
Çizelge 4.50: pH 5 60 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	104
Çizelge 4.51: pH 10 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	105
Çizelge 4.52: pH 10 40 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	106
Çizelge 4.53: pH 10 50 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	107
Çizelge 4.54: pH 10 60 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.....	108
Çizelge 4.55: Spesifik metan aktivite testinde şişelerin içerisine konulan miktar ..	109
Çizelge 4.56: Aşı çamurunun SMA sonuçları	110
Çizelge 4.57: Ön işlemlerde sonucunda en yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği işletme şartları.....	111
Çizelge 4.58: Ön işlemlerde sonucunda en yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği işletme şartları.....	112
Çizelge 4.59: Arıtma çamurlarının termal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.....	122
Çizelge 4.60: Arıtma çamurlarının termal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.....	123
Çizelge 4.61: Arıtma çamurlarının ultrases ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.....	124
Çizelge 4.62: Arıtma çamurlarının ultrases ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.....	125
Çizelge 4.63: Arıtma çamurlarının kimyasal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.....	126
Çizelge 4.64: Arıtma çamurlarının kimyasal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.....	127
Çizelge 4.65: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri	122
Çizelge 4.66: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin bileşen matris değerleri	129
Çizelge 4.67: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri	130
Çizelge 4.68: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri	130

Çizelge 4.69: Çözünmüş protein değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri.....	131
Çizelge 4.70: Çözünmüş protein değerlerine göre BMP'nin bileşen matris değerleri	132
Çizelge 4.71: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri.....	133
Çizelge 4.72: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri	133
Çizelge 4.73: Elma posalarının termal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri	134
Çizelge 4.74: Elma posalarının termal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri	135
Çizelge 4.75: Elma posalarının ultrases ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.....	136
Çizelge 4.76: Elma posalarının ultrases ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.....	137
Çizelge 4.77: Elma posalarının kimyasal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.....	138
Çizelge 4.78: Elma posalarının kimyasal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.....	139
Çizelge 4.79: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri	140
Çizelge 4.80: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin bileşen matris değerleri	140
Çizelge 4.81: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri	141
Çizelge 4.82: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri	142
Çizelge 4.83: Çözünmüş protein değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri.....	143
Çizelge 4.84: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.....	143
Çizelge 4.85: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri	144
Çizelge 4.86: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.....	145

Doktora Tezi

**FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖN İŞLEMLERİN FARKLI ATIK TÜRLERİNİN
BİYOGAZ ÜRETİM POTANSİYELERİNE ETKİSİ**

Şevket TULUN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Melayib BİLGİN

ÖZET

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, hızlı üretilen atık yönetiminde ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. Katı atık yönetimi, çevresel ve ekonomik kaygılar nedeniyle son 10 yılda önemli bir konu haline gelmiştir. Biyolojik atıkların ön arıtımı yeni stratejiler geliştirilen ve sürekli olarak büyüyen bir araştırma alanıdır. Bu çalışmanın amacı elma posası ve arıtma çamuru atıklarının anaerobik çürütmesinde ön arıtımlarının etkilerinin değerlendirilmesidir. Çalışmada elma posasının ve arıtma çamurunun ön işlemlerindeki temel stratejiler, ultrases (35 kHz ve 53 kHz), termal ve kimyasal (pH<2, pH 5, pH 10) ön işlemlerdir. Her bir ön arıtım yöntemi için, sıcaklık (25, 40, 50 ve 60 °C) ve işletme süreleri (5, 15, 30 ve 45 dakika) sabit tutulmuştur. Ön arıtımın etkileri, atıkların çözünebilir protein ve kimyasal oksijen konsantrasyonlarındaki değişimleri ölçülerek anaerobik çürütmedeki değişimler, biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) analizi kullanılarak belirlenmiştir. Sıcaklık ve süre çeşitli ön arıtlarlarda BMP’de artırıcı etkiye sahipken, bazı durumlarda ise inhibe edici etkisi gözlemlenmiştir. Bu çalışmada metan artışı üzerinde belirli ön arıtım yöntemlerinin etkinliği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ön Arıtım, Biyokimyasal Metan Potansiyeli, Anaerobik Çürütme, Arıtma Çamurları, Elma Posası, Sürdürülebilir Enerji

Ocak, 2018; 178 Sayfa

PhD. Thesis

**EFFECTS OF PHYSICAL AND CHEMICAL PRETREATMENT ON
BIOGAS PRODUCTION POTENTIALS OF DIFFERENT WASTE TYPES**

Şevket TULUN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melayib BİLGİN

ABSTRACT

Developed and developing countries are facing serious challenges in managing their rapidly increase in waste generation. Solid waste management has become a major issue in the last decade due to environmental and economical concerns. Biowaste pretreatment is a growing research area with new strategies appearing. The purpose of this research is to evaluate the anaerobic digestion of apple pomace and waste activated sludge waste in terms of pretreatment. In this study, main pretreatment strategies for sample include: ultrasound (35 and 53 kHz), thermal and chemical (pH<2, pH 5 and pH 10). Two factors were samples of different temperature (25,40,50 and 60 °C) and operation time (5,15,30,45 minutes) for each pretreatment method. The effects on pretreatment were investigated by measuring changes in the soluble protein concentrations of pretreated wastes and the enhanced anaerobic digestion was determined by using biochemical methane potential (BMP) assay. It was observed that the temperature and operation time have an enhancing effect on various pretreatments, and in some cases it has an inhibitory effect on the increase of BMP. In this study, the effectiveness of certain pretreatment methods on methane increase has been proven.

Keywords: Pretreatment, Biochemical Methane Potential, Anaerobic Digestion Activated Sludge Waste, Apple Pomace, Sustainable Energy.

January, 2018; 178 pages

1. GİRİŞ

Bugün dünyanın karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan biri çevre kirliliğini önleyememek ve kirlenmiş çevreyi verimli bir arıtım yöntemi ile temizleyememektir (Kim vd., 2003). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 28,7 milyon atık üretildiğı tahmin edilmektedir. Bu atıkların %34’nün mutfak atıkları olduğı belirtilmiştir (Anonim, 2008-2012). Evsel katı atıklar ve yemek atıklarının 2025 yılında %44-51 oranında artacağı düşünülmektedir. Geçerli entegre katı atık yönetimi uygulandığı taktirde depolanacak gıda atıklarından metan üretimi, 2025 yılında küresel ısınmayı önemli ölçüde arttıracak tahmin edilmektedir. Bu nedenle organik katı atıklar bilimsel çalışmalar için ilginç bir araştırma alanı haline gelmiştir (Ariunbaatar vd., 2014).

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı nedeniyle, fosil yakıt rezervleride çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser tahminler bile önümüzdeki 50 yıl içinde petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceğini ve ihtiyacı karşılayamayacağını göstermektedir. Kömür ve doğalgaz içinde benzer bir durum söz konusudur. Ayrıca fosil yakıt kullanımı, dünya ortalama sıcaklığını arttırmış, yoğun hava kirliliğine sebep olmuş ayrıca milyarlarca dolar maddi zarara yol açan sel, fırtına gibi doğal felaketlerin gözle görülür şekilde artmasına neden olmuştur (Şen, 2010).

Bu nedenle insanoğlu fosil yakıt rezervlerinin bitmesini beklemeden temiz enerji kaynaklarına yönelmek zorundadır. Dünyanın pek çok ülkesinde olduğı gibi Türkiye’de de endüstrileşme ve nüfus artışı yüzünden hızla büyüyen bir enerji gereksinimi gözlenmektedir. Fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin, tükenme sınırına yaklaşmış olması, ekonomik olarak kullanıma uygun teknolojilerle yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Enerji üretiminin yavaş, tüketiminin hızlı artması neticesinde Türkiye enerji açığını enerji ithalatı yaparak kapatma yoluna gitmiş ve toplam enerji gereksiniminin 1990’da %54’ünü 1999’da %64’ünü ithalatla karşılamıştır. 2020 yılında ise enerji ithalatının %76’ya ulaşacağı tahmin edilmektedir (Şen, 2010).

Kyoto protokolü ile tüm ülkelerin karbondioksit emisyonunu azaltıcı yönde tedbir almaları kararlaştırılmıştır. Gerek fosil yakıt kullanımının gelecek için olumsuz

sonuçları gerekse fosil yakıtların zaman içinde biteceği gerçeği, alternatif ve yenilenebilir enerji kullanımını önemli kılmaktadır. Bu yeni yakıtlar, fosil yakıtlardan daha temiz, çevre dostu, sürekli kullanıma elverişli olmasının yanı sıra küresel ısınmaya sebep olmayan, ülke ekonomisine yük getirmeyen, enerjide dışa bağımlılığı önleyecek şekilde de olmalıdır. Avrupa Birliği (AB) komisyonuna üye ülkelerin Beyaz Rapor'da belirtilen strateji ve eylem planına yönelik uygulamaları değerlendirmiştir. Sera gazlarının azaltılmasını öngören Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Anlaşması ve ilgili Kyoto Protokolü çerçevesinde AB tarafından taahhüt edilen hedefe 2008-2010 döneminde sera gazları emisyonlarının 1990 yılı seviyesine (%8 kadar altına indirilmesi) ulaşmak için ihtiyaç duyulan önlemler konusunda da bir politika oluşturmak üzere 27 Eylül 2001 tarihinde "İç Elektrik Piyasasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretiminin Teşvik Edilmesi" isimli bir direktif yayımlanmıştır. Direktifin amacı çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunması şartlarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması aynı zamanda yerel istihdam yaratarak sosyal bütünleşmeye olumlu etki yapacak, arz güvenilirliğine katkıda bulunacak ve Kyoto hedeflerine daha hızlı ulaşılmasına imkan sağlayacaktır.

Ülkemizde 10.05.2005 tarihinde kabul edilen 5346 no'lu "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına" ilişkin kanunun birinci bölümünde belirtilen amaç; yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir. Bu kanun; yenilenebilir enerji kaynak alanlarının korunması, bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ve bu kaynakların kullanımına ilişkin usul ve esasları kapsar. Bu kanunun ikinci bölümünde yenilenebilir enerji kaynak alanlarının belirlenmesi, korunması, kullanılması ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ile ilgili maddeler bulunmaktadır (Gül, 2006).

1.1 Yenilenebilir Enerji ve Biyoenerji

Enerji kaynakları, oluşumlarındaki zaman sürecinin uzunluğu bakımından yenilenemez ve yenilenebilir enerji olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi, meydana gelişleri çok uzun yıllar alan petrol, kömür, doğal gaz gibi klasik enerji kaynakları ile ağır radyoaktif atomların oluşturduğu yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Yenilenmeleri çok uzun bir süre aldığı için yenilenemez denilen bu klasik enerji kaynakları kendi içinde fosil yakıtlar ve radyoaktif atomlar olarak sınıflandırılmaktadır (Acaroğlu ve Ültanır, 2000). Bir yandan fosil yakıtların insan sağlığına verdiği zararlar, sera gazları ile dünyanın ısınmasına ve iklim değişikliğine yol açması, diğer yandan da nükleer enerji kaynaklarının toplumsal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih edilebilir bir konuma getirmiştir. İkincisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Su, rüzgâr, güneş, jeotermal, gel-git, dalga ve biyolojik kütle (biyokütle) alt sınıflarından oluşan bu enerji kaynakları oluşumları yenilenemez enerji kaynaklarına kıyasla daha kısa bir zaman sürecinde gerçekleşen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan artıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Dumlu, 2011). Petrol arzının sürekli varolacağı hakkındaki yaygın kanaatin yok olmasından sonra biyoyakıtlar sürdürülebilirliğe katkı sağlamak bağlamında dikkate değer bir önem kazanmıştır. Özellikle 2000’li yıllarda, dünya çapında artan çevresel duyarlılığa paralel olarak biyoyakıtlar sadece enerji sektöründe değil, aynı zamanda çevresel konular ve tarım sektöründe de ortaya çıkan sorunların üstesinden gelecek yeni bir politik araç olarak görülmektedir (Hatunoğlu, 2010). Biyoyakıt üretiminin gerisinde birçok faktör bulunmakla birlikte bu faktörlerin öncelik sırası ülkeden ülkeye değişmektedir. Brezilya ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 1970’lerde petrol fiyatlarında meydana gelen aşırı artışla birlikte, büyük oranda ithal ettikleri petrolün bütçeye getirdiği yükü düşürme düşüncesi ile biyoetanol üretimine başlamışlardır. Son yıllarda bu ülkelerdeki amaca benzer şekilde birçok ülke, artan enerji fiyatlarının bütçe yükünün azaltılması niyetiyle biyoyakıt üretimine yönelmiştir. Biyoyakıt üretimini teşvik eden diğer önemli etken ise enerji arz güvenliğinin sağlanmasıdır. Başta ABD ve Çin gibi ülkeler büyük oranda ithal ettikleri petrole olan bağımlılıklarını azaltmak

ve alternatif kaynaklarla birlikte enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla biyoyakıt üretimine ağırlık vermişlerdir.

1973 yılında dünya toplam enerji arzının yaklaşık olarak yarısını petrol oluşturmuşken, petrolü sırasıyla kömür, gaz ve yakıcı yenilenebilir atıklar oluşturmaktadır.

Diğer yandan, 2000'li yıllarda ortaya çıkan çevresel sorunların önlenmesinde biyoyakıtları çare olarak gören AB ülkeleri, biyoyakıt kullanımını küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunların önlenmesi amacıyla artırmak istemişlerdir. Son olarak, tarım sektöründe istihdamın ve gelirin artırılarak kırsal kalkınmanın sağlanması amacıyla başta Almanya olmak üzere diğer AB ülkelerinin biyoyakıt üretimine yönelmelerini sağlamıştır.

Var olan enerji kaynakları içerisinde jeotermal, güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynakları çok küçük bir paya sahiptir. 2008 yılında ise, petrol arzı azalmakla birlikte, hidrolik enerji arzı sabit kalmış; bu iki enerji kaynağı dışındaki diğer enerji türlerinin payları ise, artış göstermiştir. Bununla birlikte, dünyadaki toplam enerji arzı 1973 yılında 6115,21 milyon ton eşdeğer petrol (MTOE) iken, 2008 yılında 12267,38 MTOE olmuştur. Başka bir ifadeyle ele alınan dönemde dünya toplam enerji arzı iki kat artmıştır (Havan, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynakları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1.1.1 Jeotermal enerji

Jeotermal, yerden kaynaklı ısı veya yeryüzü ısısı olarak tanımlanabilir. Jeotermal kaynak ise yer kabuğundaki farklı derinliklerde bulunan yeraltı ısısının meydana getirdiği sıcaklığı devamlı yerel atmosferdeki sıcaklıktan fazla bulunan ve çevresinde olan yeraltı ve yerüstü sulara nazaran fazla eriyik olan mineraller, tuz ve gaz barındıran sıcaklığı fazla olan sular veya buharlar şeklinde açıklanabilir. Jeotermal enerjiden doğrudan ya da dolaylı olarak yararlanılabilir (Urgun, 2015).

Jeotermal içerikli sular meteorik kökenli olduklarından yeraltındaki hazneleri sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenmesi gerçekleşmektedir. Bu nedenle pratikte beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir. Yağmur, kar, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayaç kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, jeolojik koşulların devam ettiği, reenjeksiyon (geri basım) işleminin yapıldığı ve beslenme-üretim değerlerine uyulduğu takdirde yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar (Gedik, 2015).

Jeotermal kaynağın verimi çok yüksektir. Reenjeksiyon uygulamalarının giderek gelişmesiyle çevre sorunu neredeyse hiç kalmamıştır. Son dönemlerde geliştirilen yeni teknolojilerle daha düşük sıcaklıktaki alanlarda da elektrik üretimi mümkün olmakta ve santral çevrim verimleri arttırılarak birim enerji maliyeti daha da aşağılara çekilebilmektedir. Jeotermal kaynak birden fazla amaçla aynı anda kullanılabilir. Jeotermal akışkanın paslanmaya, çürümeye, kireçlenmeye neden olması, içerdiği bor yüzünden atılacağı yüzey sularını kirletmesi, bünyesinde, karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S) ve bor (B) gibi maddeler bulunması, uygulamada bazı teknolojik önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Kullanılan jeotermal akışkanın çevre sorunu yaratmaması için yeraltına reenjeksiyon uygulaması geliştirilmiş ve çeşitli ülkelerde yasal olarak zorunlu hale getirilmiştir (Çelik, 2012).

1.1.2 Rüzgar enerjisi

Rüzgar; hava kütlelerinin ısınmaya bağlı olarak yer değiştirmesi sonucu gerçekleşmektedir. Soğuyarak ağırlaşan hava kütlesi yüksek basıncı, ısınarak yükselen hava kütlesi ise alçak basıncı oluşturmaktadır. Yüksek basınç alanında ağırlaşan havanın, alçak basınç alanında yükselen havanın boşalttığı yere doğru hareket etmesi rüzgarın oluşumunu sağlamaktadır. Rüzgarın, önüne bir engel konulması veya sabit bir engelle karşılaşması halinde, rüzgar bu engel üzerine basınç uygulamakta ve rüzgara karşı konulan engelin hareket yeteneği, rüzgar enerjisini mekanik enerjiye çevirmektedir. Rüzgar enerjisi, mekanik güç olarak kullanıldığı gibi jeneratör aracılığı ile rüzgarın mekanik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürülerek rüzgar potansiyeli olan her yerde elektrik enerjisi üretmek mümkün olmaktadır (Esen, 2013).

Avrupa’da 2014 yılı sonu itibariyle kurulu rüzgâr gücü kapasitesi 133,968 MW’tır. Rüzgâr gücünün ekonomik avantajı ve 24 saatlik üretimdeki verimliliğinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla yüksek olması bütün dünyada yatırımcıların ilgisini çekmektedir (Yerci, 2015).

Danimarka, ABD ve Almanya gibi gelişmiş ülkeler rüzgâr gücünden elektrik üretiminde öncü olmuş ve günümüze kadar epey yol almışlardır. Buna karşılık Avrupa’da rüzgâr gücü bakımından yüksek potansiyele sahip ikinci ülke olan Türkiye’de (166 TWh/yıl), bu alandaki yatırımlar oldukça yeni sayılır (Sönmez, 2014). Türbinlerdeki yüzeye oturma alanlarının küçük olması sebebiyle türbinler arası alanlara kullanılma imkanı tanımaktadır. Rüzgar gücünden elektriğe verimli dönüşüm sağlamaktadır. Rüzgar santrallerinin projeleri diğer elektrik üretim santrallerine göre

daha basittir ve türbin bakımları kolaydır. Bakım maliyetleri diğer santrallerle karşılaştırılamayacak kadar düşüktür (Vural, 2012).

1.1.3 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışınlarından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Güneş'in yaydığı ve dünyamıza ulaşan enerji, Güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıyım enerjisidir.

Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173,104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1,395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışıyımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışıyımı absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur (Karamanav, 2007).

Ülkemizin büyük bir bölümü gerek güneş ışıyımı ve gerekse güneşlenme süreleri yönünden çok uygun değerlere sahiptir. Devlet Meteoroloji İşleri ve Elektrik İşleri Etüt idaresi tarafından gerçekleştirilen ölçüm ve değerlendirmelerde de bu potansiyel belirlenmiştir. Özellikle Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından hazırlanan “Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası” tüm il ve ilçelerin bu potansiyellerini ayrıntılı olarak göstermektedir. Ülkemizdeki şehirler, güneş enerjisi potansiyeli olarak uygun değerlere sahip olup, güneş enerjisinin kullanımına uygun farklı projelerin gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir (Vural, 2012).

Türkiye'nin toplam güneş enerji potansiyeli bir yılda 15 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) yakıtı olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de 2001 yılında, özellikle güney ve batı bölgelerimizde konut ve ticari sektörlerde güneş ısıtmalı üretim tahmini 287000 TEP yakıtına eşdeğerdir (Kıyak, 2007).

Güneş enerjisi, ev ve işyerlerinin ısıtılması, sıcak su ihtiyacının karşılanması, elektrik üretimi, termal sistemler ve güneş pillerinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi ise uydularda, hesap makinelerinde, saatlerde, sokak lambalarında ve trafik sinyalizasyonu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Demirtürk, 2013).

1.1.4 Hidrolik enerji

Hidroelektrik santralleri akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su,

büyük miktarda enerji taşımaktadır. Su, çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler (Aracı, 2013).

Dünyadaki hidrolik potansiyelden sadece %3'ü kadarından yararlanılmaktadır. Bu nedenle hidrolik santral tesislerinin kurulum masrafları fazladır ve yapımı için uzun süre gerektirmektedir (Yıldırım, 2007). Son yıllardaki çalışmalara göre, Türkiye'nin ekonomik olarak kullanılabilir hidrojen potansiyeli, bir yılda 125,000 GWs'dir (Kıyak, 2007).

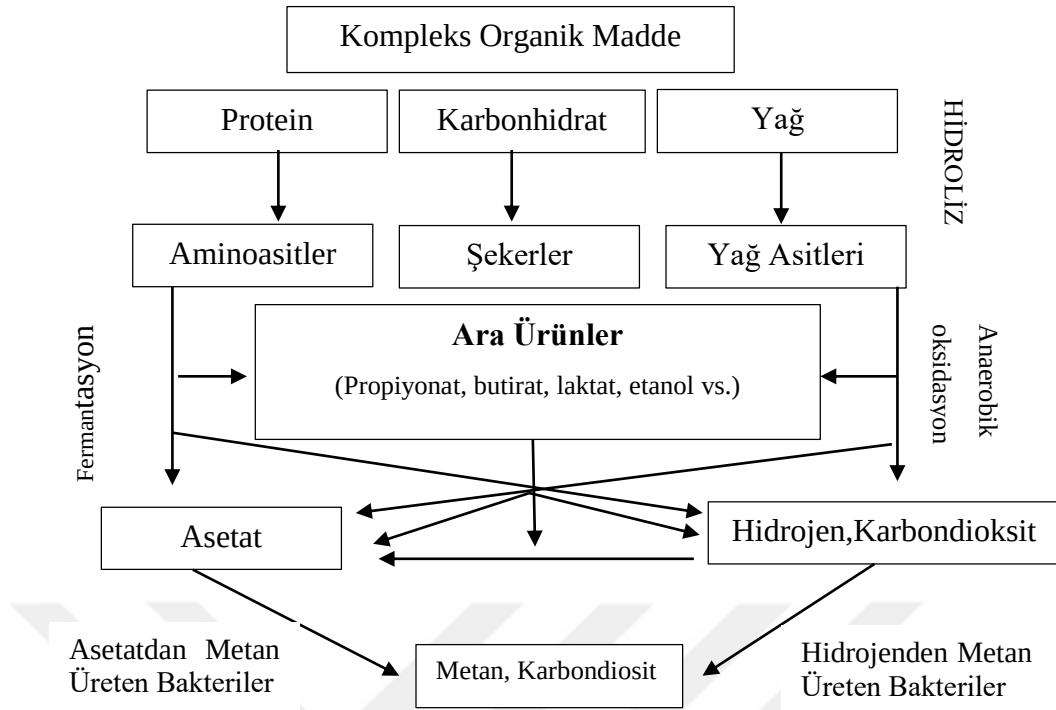
1.1.5 Biyokütle enerjisi

Biyokütle (biomass), belirli bir alan veya hacimde bulunan birey sayısının biyolojik ağırlığı şeklinde tanımlanabilir (Gönül, 2012). Türkiye'nin biyogaz potansiyeli ise 2,2-3,9 milyar m³ civarındadır. Biyogaz üretimi için 1-2 milyon TEP enerji, hayvanların gübresinden temin edilmektedir. Toplam biyogaz potansiyelinin yaklaşık %85'i hayvan gübresinden elde edilen gazdan oluşurken, geri kalanı organik maddelerin ayrışımı sonucu oluşan gazdan elde edilmektedir. Bir tür biyogaz materyali olan çöpün, çöp termik santralleriyle enerji üretiminde kullanılması, özellikle kentsel çöpü ortadan kaldırdığı için ikinci bir işlevi de içermektedir (Özcan, 2013). Biyokütle enerji kaynakları Türkiye'de yüksek bir potansiyele sahiptir fakat diğer yenilenebilir enerjilere göre daha gelişme aşamasındadır. Ekonomi İşbirliği ve Organizasyonu'nun (EİO) bir araştırmasına göre ülkemizde tarım atıkları, orman, sanayi atıkları ve hayvan atıklarının toplam 12,8 milyon TEP olduğu, bunun da ülke enerji kullanımının %40'ını karşılar durumda olduğu görülmüştür (Adıyaman, 2012). Biyoyakıtlar, elde edilme sürecinde hammadde olarak kullanılan biyokütlenin gıda amaçlı kullanılıp kullanılmama özelliğine bağlı olarak iki ayrı grupta değerlendirilmektedir. Bunlardan birincisi tarımsal üretim sonucu elde edilmiş ve gıda amaçlı kullanılabilen bitkisel ürünlerin hammadde olarak kullanıldığı biyoyakıtlardır. Dünyada üretilen biyoyakıtların çok büyük bir kısmını oluşturan bu tür biyoyakıtlara "birinci nesil biyoyakıtlar" denilmektedir. İkincisi ise tarım ve orman atıkları gibi gıda amaçlı kullanılmayan lignoselülozik biyokütleden ileri teknoloji kullanılarak elde edilen biyoyakıtları "ikinci nesil biyoyakıtlar" olarak isimlendirilmektedir (Anastasov, 2009). Biyokütleden; mekanik ve fiziksel prosesler (boyut küçültme - kırma ve

öğütme, ekstraksiyon, fiber ayırma, mekanik fraksiyonlama, presleme, ön arıtım, ayırma, superkritik prosesler, birikitleme vb.), kimyasal prosesler (katalitik prosesler, kimyasal reaksiyonlar, esterleştirme, hidrojenasyon, hidroliz, metanizasyon, buharla yeniden şekillendirme vb.), termokimyasal prosesler (yakma, gazlaştırma, piroliz vb.) ve biyokimyasal proseslerle (fermentasyon ve anaerobik parçalanma) pek çok sıvı, katı veya gaz biyoyakıtlar (biyoetanol, biyodizel, biyogaz, biyometan, sentetik biyoyakıtlar, hidrojen, elektrik ve ısı vb.) elde edilmektedir (Kamm ve Kamm 2004). Son 20 yılda artan enerji talepleri ve yenilenemeyen enerji kaynakları ile ilgili endişeler alternatif enerji kaynak aramalarını doğurmuştur (Zi-lin vd., 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı küresel ısınmanın etkileriyle başa çıkmak için gerekli hale gelmiştir. Biyokütleden enerji dönüşümü birçok yolla başarıya ulaşmıştır. Anaerobik arıtım en alternatifli yöntem olarak kabul edilmiştir (Ferreira vd., 2013).

1.2 Anaerobik Arıtım

Anaerobik işlem, moleküler oksijen yokluğunda organik maddelerin biyokimyasal parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik çürüme; atık stabilizasyonu sağlamak, bu atıkları zararsız hale getirmek ve yeniden kullanılabilmesi için yaygın bir yöntemdir. (Kuglarz vd., 2013). Anaerobik çürümede çeşitli mikroorganizma grupları arasındaki etkileşimler söz konusudur. Anaerobik çürüme; hidroliz, asit oluşumu ve metana dönüşüm olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır. Anaerobik çürüme işleminde organik maddeler biyolojik olarak parçalanarak son basamakta CO₂ ve metana (CH₄) dönüşmektedir. Şekil 1.1’de akım şeması görülmektedir (Appels vd., 2008).



Şekil 1.1: Kompleks organik maddelerin anaerobik parçalama aşamaları.

Organik maddelerin yapıları karmaşık olan ve kolay ayrılmayan maddelerden oluşabilmektedir. Bu yapıların ayrışarak CH_4 dönüşümü için anaerobik ortamda farklı türden mikroorganizma gruplarının bulunması gerekmektedir. Bunlar hidroliz bakterileri, asit oluşturan bakteriler, metan üreten bakterilerdir ve hepsi birbiriyle bağlantılıdır. Bu bakteri grupları sırayla üstlerine düşen görevleri yaptıkları zaman diğer grup bakteri grupları için besin maddesi oluşturmakta bunun sonucunda organik bileşikler parçalayabilmektedirler.

1.3 Anaerobik Çürüme Aşamaları

Anaerobik parçalanma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Hidroliz aşaması: Kompleks organik bileşikler yapılarında karbonhidratları, proteinleri ve yağları bulundurmaktadırlar. Bunlar parçalanırken mikroorganizmaların hücre dışına salgıladıkları enzimlerle daha küçük ve daha basit yapıda moleküllere dönüşmektedir. Bu esnada selüloz ve nişasta, basit şekere; proteinler ise amino asitlere dönüşürler. Sadece yağ asitleri hücre dışı enzimlerden etkilenmezler. Yağların hidrolizi çok yavaş gerçekleşmesi nedeniyle hidroliz aşaması anaerobik işlemlerde biyolojik parçalanma hızını belirlemektedir.
2. Asit oluşum aşaması: Bu aşamada ortamda asit oluşturan fakültatif bakteriler hakimdir. Bunlar karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerden oluşan organik maddeleri

yağ asitleri, aldehitler ve alkoller gibi hücre için gerekli olmayan maddelerin dışarı atıldığı ürünlere dönüştürülür. Bu esnada pH düşer ve ortam asidik karaktere dönüşür. Asit oluşturan bakteriler yardımıyla CO₂, CH₄ ve az miktarda hidrojen sülfür (H₂S) meydana gelir. Asitleşme aşamasında pH 3-3,5 civarındadır ve ortamdaki kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) derişimi uzun sürede değışiklik göstermez. Ortam pH'ı ayarlandığında belirli bir süre sonra KOİ derişimi azalmaya başlar, bunun anlamı CH₄ bakterilerinin oluşmaya başlaması demektir.

3. Metan oluşum aşaması: Asit parçalayan ve metan oluşturan bakteriler, çevre şartlarına çok hassas ve mutlak şekilde anaerobik olan bakterilerdir. Sıcaklık, pH ve oksijen yokluğuna sıkı sıkıya bağlıdırlar. Metan bakterilerinin çoğalma hızı, asit oluşturan bakterilerinkinden oldukça yavaştır. Ancak belli bir maddeyi kullanabilme yeteneğine sahiptirler. Bu aşamada oluşan organik asitler, H₂ ve asetat; CH₄ oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve CH₄, CO₂, H₂S, hidrojen (H) ve amonyak (NH₃) gazlarının karışımından oluşan ve “Biyogaz” olarak adlandırılan gaz karışımına dönüştürülmektedir. Oluşan CH₄'ın %72'si asetatın dekarboksilasyonu, %28'i ise H kullanan metan bakterileri tarafından CO₂'in indirgenme reaksiyonları ile oluşmaktadır (Halisdemir, 2009).

1.4 Anaerobik Çürümeye Etki Eden Faktörler

Anaerobik arıtımda rolü olan mikroorganizmalar çevresel durumlardan fazlaca etkilenmektedirler. Bu sebeple bu faktörler mikroorganizmaların optimum yaşama koşullarını sağlamalıdır. Sistem verimini kayda değer seviyede etkileyen çevresel faktörler; besin miktarı, pH, alkalinite, sıcaklık, karbon/azot (C/N) oranı ve toksisite olarak sıralanabilir.

1.4.1 Besinler

Besin maddeleri anaerobik mikroorganizmaların mikrobiyal gelişimi için gereklidir. Mikroorganizmaların gelişimi için karbon, azot, fosfor ve mikro elementler en önemli besin maddeleridir. Besinler ve iz metaller doğrudan atık stabilizasyonu ile ilgili olmamalarına rağmen hücre yapısı için uygun materyal olmaları sebebiyle yeni hücre sentezi için gerekli materyaller olarak tanımlanabilir.

Besin ihtiyacı, anaerobik çürümede kullanılacak organik maddenin kompozisyonuna ve çamur yaşına bağlıdır. Anaerobik mikroorganizmalar iz organik besinlerin yanı sıra azot ve fosforun demir, sülfür, kalsiyum, magnezyum, sodyum, kobalt ve nikel gibi

inorganik besin maddelerine de ihtiyaç duyarlar. Buna rağmen fazla miktardaki besi maddesi genellikle inhibisyona sebep olmaktadır. Bu sebeple her bir duruma göre testler ve dikkatli analizler besin çeşidinin ve ihtiyaç miktarının belirlenmesi için yürütülmelidir (Tokgöz, 1998).

1.4.2 Sıcaklık

Metanojenik bakteriler, sıcaklık değişimine karşı oldukça hassaslardır ve farklı sıcaklık aralıklarında aktiviteleri birbirine paralellik gösterir. Psikofilik sıcaklık aralığı (5-25°C), mezofilik sıcaklık aralığı (25-38°C) ve termofilik sıcaklık aralığı (50-60°C) metanojenik bakteriler için optimum büyümeye karşılık gelen aralıklardır (ztrk, 2005). Psikofilik sıcaklık aralığı, yüksek bekletme süresi gereksinimi olduğu için fazla tercih edilmez. Termofilik sıcaklık aralığında hidrolik bekletme süresi (HBS) 5-15 gün ile sınırlıdır. Ayrıca metan bakterilerinin büyüme oranları da diğer sıcaklıklara göre oldukça fazladır. Yüksek sıcaklıkta organik maddelerin çözünürlüğü artar ve dolayısıyla mikroorganizmalar tarafından kullanımı kolaylaşır. Artan sıcaklık ile zararlı patojenlerin ölümü gerçekleşir. Sıcaklığın, mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerinin artması ve hızlanması mikroorganizmaların büyüme hızını arttırmasında da önemli katkısı vardır. Fakat yüksek sıcakta serbest NH₃ birikimi meydana gelir ve bu durum metan bakterileri üzerinde inhibisyon etkisi yapar (Yadvika, 2004). Bunun yanında termofilik metanojen bakterileri ani sıcaklık değişimlerine karşı çok duyarlıdır. Sıcaklık, H⁺ un kısmi basıncının artmasında etkin bir rol oynayarak yüksek H⁺ kısmi basınçlarında simbiyotik metabolizma kinetiğinin bozulmasına, H⁺ retici bakteriler ile H⁺ tüketiciler bakterilerin simbiyotik yaşam ortamlarının bozulmasına sebep olur (Eryaşar, 2007). Günümüzdeki çoğu reaktör mezofilik sıcaklık aralığında işletilmektedir.

1.4.3 pH ve alkalinite

Çözeltide bulunan H⁺ iyonu miktarı, mikroorganizmaların gelişimi ve aktivitesi açısından önem taşır. Metan oluşumu pH 6,5-8,5 aralığında, optimum olarak da 7,0-8,0 aralığında veya 6,7-7,5 aralığında gerçekleşir. Aksi halde sistemdeki biyokimyasal faaliyetler durur ve sistemin eski haline döndürülmesi için alışma periyodu gerekir. Azot içerikli maddelerin parçalanması sonrasında ortamda NH₃ birikmesi ile pH artar. Buna karşın karbonhidratların parçalanması ve birikimi ile uçucu yağ asitleri oranı artar ve substratların tamponlama kapasitesine (alkalinite) bağlı olarak ortamın

asiditesi artabilir. Hayvan atıklarının yüksek alkalinitesi nedeniyle pH daha kolay stabilize olabilir. Alkalinite değerinin 4000 mg/L seviyesi geçtiği durumlarda, metanojen aktivitesinin devamlılığı kontrol edilmelidir (Weiland, 2010). pH değeri, asit bakterilerinin aktivasyonuna bağlı olarak 4,5-5'e kadar düşebilir ve bu durum metan bakterilerinin faaliyetini tamamen durdurur (Deublein, 2008). Kolay ayrıışan organik miktarın yüksek olduğu atıklarda hidroliz ve asit üretim prosesleri ile metan üretim prosesleri ayrı reaktörlerde yapılır. Böylece uçucu yağ asitleri metan bakterilerine uygun miktarlarda aktarılabilir.

Hidrojenden metan üreten bakteriler, hidrojen üreten asetojenler ile birlikte çalışır ve üretilen hidrojeni tüketirler. CO₂ ve H⁺ metan üreten bakteriler, H⁺ konsantrasyonunu düşürür ve prosesin devamlılığını sağlar. Biyofilm tabakalarında ve bu gibi floklarda simbiyotik ilişkiler görülmektedir. Protein gibi yüksek azot içeriğine sahip substratların çürütülmesi esnasında yükselen pH değeri iyonize haldeki NH₃ serbest hale geçmesinden ötürü toksisite artırır. NH₃ ve uçucu yağ asitleri arasında kurulması gereken denge, alkalinite ile doğrudan ilgili olup sistemin sürdürülebilir bir pH aralığında olması için önem taşır. Biyogazdaki CO₂ oranının artması veya pH değerinin hızlı değişimi prosesin devamlılığını yitirdiğini gösterir. Bu durumda atık beslemesinin kesilmesi, bekleme süresinin arttırılması, seyreltme veya pH'a kuvvetli asit veya baz ile direkt etki gerekir (Çiçek, 2014).

1.4.4 Toksinite

Susbrat içerisinde, biyolojik reaksiyonları etkileyerek biyogaz verimini etkileyen bazı inhibitör ve toksik maddeler mevcut olabilmektedir. Özellikle yüksek katı madde içeriği ile işletilen reaktörlerde, toksik etki yaratan maddelerin miktarları tayin edilmeli ve düzenli olarak ölçülmelidir. Düşük konsantrasyonlarda mikrobiyal faaliyetler için gerekli olan iz elementleri, yüksek konsantrasyonlarda sisteme verildikleri zaman toksik etki yaratmaktadırlar. Biyolojik olarak parçalanamayan ağır metaller, metabolizmada birikebilmektedir. Enzimlerin içerdikleri protein moleküllerindeki tiyol veya benzeri gruplar ile etkileşime girerek farklı metallerin yerine geçebilir ve enzim aktivitesini engelleyebilirler. Bu durum hidroliz basamağından başlayarak sistemin tamamında aksamalara neden olabilir (Çiçek, 2014). Bakır, çinko, kadmiyum, krom ve nikel gibi ağır metaller çiftliklerde hayvanlara verilen antibiyotiklerde bulunabilir ve bu ağır metallerin büyük kısmı hayvanların dışkısı ile çürütme sistemlerine girebilmektedir. Sülfidler ile bileşik

oluşturabilen ağır metaller çöktürülerek veya fosfor içerikli farklı kimyasallar ile ayrıştırılıp sistemden uzaklaştırılabilirler (Deublein, 2008). Çizelge 1.1’de anaerobik sistemlerde probleme yol açan temel engelleyiciler ve sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1: Anaerobik arıtma çeşitli engelleyicilerin sınır değerleri.

Engelleyiciler	Sınır Değer Seviyesi (mg/L)
Sülfür (S^{-2})	200
Bakır (Cu^{+2})	10-250
Krom (Cr^{+3})	200-2000
Nikel (Ni^{+2})	100-1000
Sodyum (Na^{+1})	8000
Kalsiyum (Ca^{+2})	8000
Çinko (Zn^{+2})	350-1000
Siyanür (CN^{+2})	2

1.4.5 Karbon/azot (C/N)

C ve N oksijensiz ortam bakterilerinin en önemli besin maddeleridir. Bu bakteriler, karbonu enerji kaynağı olarak kullanırken N yeni hücreler oluşturabilmek için kullanılmaktadırlar. Biyogaz oluşum sürecinde C, N’a kıyasla 25/30 kat daha fazla kullanıldığından prosesler için ideal C/N oranı 30/1 olarak bilinmektedir. Bu oran; buğday sapında 87/1, mısır sapında 53/1 ve hayvan dışkısında ise 29/1’dir. Bu hammaddelerin değişik oranlarda ve başka hammaddeler ile karıştırılarak kullanılmasıyla C/N oranı ayarlanmaktadır (Çoban, 2009).

1.5 Anaerobik Reaktör Çeşitleri

Anaerobik reaktörler, kesikli ve sürekli olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Kesikli reaktörlerin yapımı ve işletimi sürekli reaktörlere göre daha kolay ve basittir. Kesikli reaktörlerde hammadde reaktöre doldurulur ve alıkonma süresince biyogaz üretilir. Alıkonma süresi sonunda reaktör boşaltılır ve reaktör yeni hammadde ile doldurulur. Kesikli reaktörler kullanılacak hammaddenin miktarına göre boyutlandırılmaktadır.

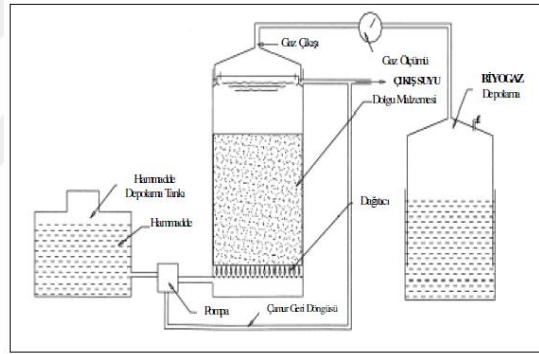
Sürekli reaktörlerde ise organik maddeler reaktöre sürekli veya belli aralıklarla beslenmektedir. Organik madde mekanik olarak veya hammaddenin ağırlığına ve akışkanlığına bağlı olarak cazibe ile reaktöre beslenir. Biyolojik parçalanmaya uğramış atıklar ise reaktöre yeni hammadde beslendikçe reaktörden otomatik olarak

boşalmaktadır. Anaerobik işlemlerde sıkça kullanılan reaktörler alt başlıklar halinde aşağıda verilmiştir (Ardıç, 2009).

1.5.1 Sabit yataklı dolgulu reaktör

Sabit yataklı dolgulu anaerobik reaktörler aktif karbon, PVC (Polivinil klorür), çakıl veya seramik parçaları gibi mikroorganizmaların tutunabileceği dolgu malzemeleri ile doldurulmaktadır.

Dolgu malzemesi mikroorganizmaların üreme ve gelişmesi için geniş bir yüzey alanı oluşturmaktadır. Sabit yataklı dolgulu reaktörler, karıştırma gereksiniminin olmaması, şok ve toksik beslemelere dayanıklılıkları ve yüksek besleme hızlarında çalıştırılabilmesi gibi avantajlarının olmasına karşılık, dolgu malzemesinin reaktörde hacim kaplaması ve dolgu malzemesi üzerindeki film kalınlığının sürekli artması sonucu boşluk hacminin azalması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Şekil 1.2’de sabit yataklı dolgulu anaerobik reaktör görülmektedir (Rajeshwari, 2000).

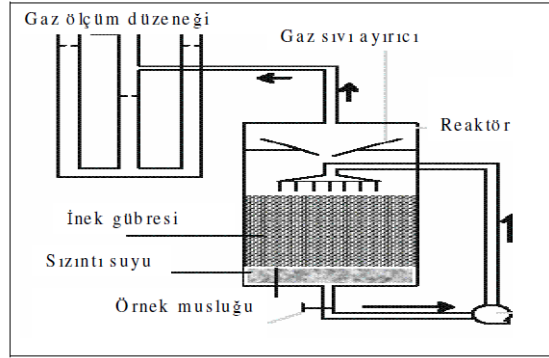


Şekil 1.2: Sabit yataklı reaktör.

1.5.2 Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde sulu karışım reaktöre alttan verilir. Sulu çözelti reaktör içerisinde yukarıya hareket ederken sulu çözeltideki organik maddeler mikroorganizmaların bulunduğu ortamda biyokimyasal olarak parçalanarak biyogaza dönüştürülür. Reaktörde oluşan biyogaz, gaz-sıvı ayırıcılarla ayrılarak gaz ve arıtılmış atıksu sistemden alınır. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör Şekil 1.3’de görülmektedir. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler özellikle evsel ve endüstriyel atıksulardaki çözünmüş organik maddelerin gideriminde, çok kısa hidrolik bekletme sürelerinde ve yüksek bir organik madde giderim verimi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür reaktörlerin yüksek organik madde yüklemelerine, şok

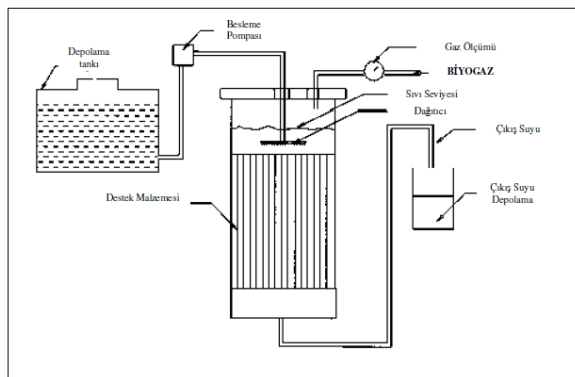
toksik ve biyolojik parçalanmaya dirençli madde yüklerine diğer reaktörlere göre daha kararlı oldukları bilinmektedir (Rajeshwari, 2000).



Şekil 1.3: Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler.

1.5.3 Anaerobik akışkan yataklı reaktörler

Akışkan yataklı reaktörlerde küçük boyutlu kum ve aktif karbon gibi dolgu malzemeleri reaktöre beslenen atıksunun sürüklenme kuvveti tarafından hareket ettirilmekte ve böylece mikroorganizma derişimlerinin homojenliği sağlanarak hızlı ve verimli bir organik madde giderimi sağlanmaktadır. Bu reaktörler farklı özelliklerde atıksulardan organik maddelerin gideriminde etkin olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda reaktör dolgu maddesi olarak daha hafif iyon değıştirici reçineler, kaolin ve sepiolit gibi fırınlanmış kil ve delikli (gözenekli) poliüretan gibi malzemelerde kullanılmaktadır (Eismann vd., 1997). Şekil. 1.4'te anaerobik akışkan yataklı reaktör görölmektedir.

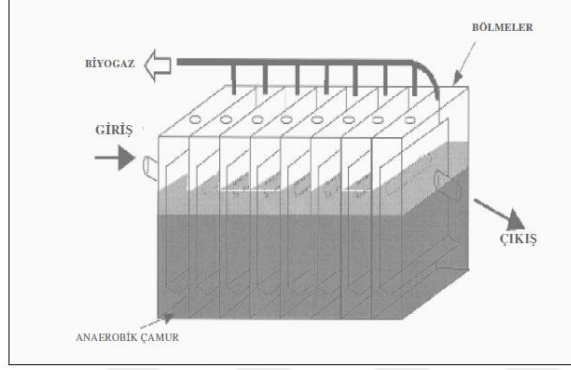


Şekil 1.4: Anaerobik akışkan yataklı reaktörler.

1.5.4 Anaerobik perdeli (şaşırtmalı) reaktörler

Anaerobik şaşırtmalı reaktörlerde, reaktör içerisine yerleştirilen perdeler yardımıyla reaktöre verilen atıksuyun sistemde kalma süresi artmakta, reaktöre ilk giren madde

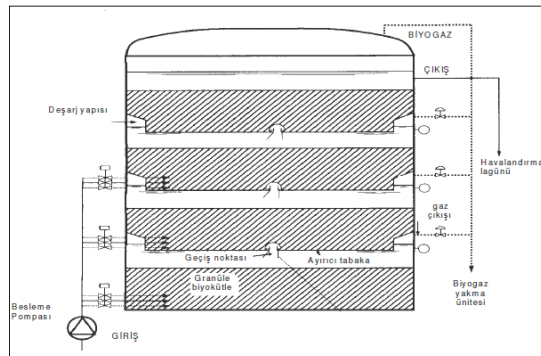
ilk olarak çıkmakta ve böylece yüksek besleme hızlarında çalışma olanağı sağlanarak gerekli reaktör hacmi azaltılmaktadır. Ayrıca bu tip reaktörlerde atıksuyun doğal karışımı da sağlanarak mekanik karıştırma gereksinimi ortadan kaldırılmaktadır. Anaerobik şaşırtmalı reaktörler özellikle atıksu arıtımında verimli bir biçimde kullanılmaktadır. Şekil. 1.5'te anaerobik şaşırtmalı reaktörler görülmektedir.



Şekil 1.5: Anaerobik şaşırtmalı reaktörler.

1.5.5 Çokkathlı anaerobik rektörler

Çokkathlı anaerobik rektörler, aynı hacimde birbirinden bağımsız olarak çalışan 4 farklı kattan oluşmaktadırlar. Anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz bir üst kata özel bir yapı vasıtası ile geçerken hem bir üst tabakadaki maddeleri karıştırır hem de üst kattaki maddelerin alt kata inişini engellemektedir (Guiot vd., 1995). Çokkathlı anaerobik rektörlerin daha küçük alan gerektirmeleri ve mekanik karıştırma gereksinimlerinin olmamaları en büyük avantajdır. Peyniraltı suları gibi yüksek organik madde derişimine sahip atıksulardan anaerobik işlemlerle biyogaz üretiminde, diğer reaktörlerden daha kararlı olmaları nedeniyle ekonomik ve verimli bir şekilde kullanılabilirler. Şekil 1.6'da çokkathlı anaerobik reaktörler görülmektedir.



Şekil 1.6: Çokkathlı anaerobik reaktörler.

1.6 Anaerobik Arıtımın Avantaj ve Dezavantajları

Anaerobik arıtımın diğer atık yönetim stratejileri ile kıyaslandığında avantajları ve dezavantajları vardır. Bu yönleriyle Çizelge 1.2’de özetlenmiştir (Verma, 2002).

Çizelge 1.2: Alternatif atık yönetimler ile anaerobik arıtımın kıyaslanması.

Avantaj	Dezavantaj
Anaerobik arıtım sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlar. (İyi işletilen anaerobik arıtma tesisinde metan üretimi oldukça yüksektir aynı zamanda herhangi bir gazın atmosfere salınımı sınırlıdır.)	Anaerobik arıtımda önemli miktarda işletme ,sermaye ve bakım maliyetlerine sahiptir. Anaerobik arıtım tesisindeki üniteler patlama ve yangın riski taşımaktadır. (Bu risklerden kaçınmak için gaz toplama sistemlerinin kurulması gerekmektedir.)
Anaerobik arıtım ile üretilen enerji fosil yakıtlara olan talebi azaltır. Üretilen enerji üniteler için ısı ve elektrik sağlamasıyla arıtım sistemlerinde enerji bağımsızlığı sağlar.	Anaerobik arıtım için kullanılan hammadde patojen içeriğinden dolayı insan sağlığı için risk oluşturur.(Uygun bir tesis tasarımı ve hammadde taşıma prosedürü ile bu risk en aza indirilebilir.)
Anaerobik arıtım su ve toprak kirliliği riskini azaltır. Arıtmadan çıkan atık, sıvı gübre ve toprak düzenleyicisi olarak satılabilir potansiyeli olan ürüne dönüşür.	Büyük ölçekli anaerobik arıtma tesisleri görsel olarak bazı olumsuzlukları olabilir. (Bu durum için olası çözüm yolu, çürütücüyü yer altına indirilmesi ve peyzaj çalışmalarının yapılması ile kısmen azaltılabilir).
Diğer arıtmalarda sık görülen koku problemi anaerobik arıtım ile %80 azaltılabilir. Patojen mikroorganizma sayısı azaltılır.	

1.7 Biyogazın Özellikleri

Biyogaz; organik bazlı atıkların oksijensiz ortamdaki fermentasyon sonucu oluşan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; %40-70 CH₄, %30-60 CO₂, %0-3 H₂S ile çok az miktardan N ve H⁺ bulunan bir gaz karışımıdır. Yoğunluğu 0,83 g/L, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yanma sıcaklığı 700 °C, alev sıcaklığı 870 °C olan bir gazdır. Biyogazın bileşimi, elde edildiği organik maddenin cinsine ve fermentasyon şekline bağlı olarak değişir (Bayrakçeken, 2007). Buna göre, tipik bir biyogazın bileşimi Çizelge 1.3’ deki gibidir.

Çizelge 1.3: Biyogaz bileşimleri.

Gaz Cinsi	Yüzde Bileşimi (%)
Metan (CH ₄)	40-70
Karbondiyoksit(CO ₂)	30-60
Azot (N ₂)	0-1
Karbonmonoksit (CO)	0.1
Oksijen (O ₂)	0.1
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	0-3

Biyogazın en önemli bileşeni olan metan gazının ısı değeri ortalama 8900 kcal/m³'tür. Bileşimindeki CH₄ oranına bağlı olarak biyogazın ısı değeri ise yaklaşık 4700-5700 kcal/m³ arasında değişmektedir. Biyogaz bileşiminde %50'den daha az CH₄ olması verimli bir yanma için uygun olamamaktadır. Ayrıca düşük fermantasyon sıcaklığı biyogaz içindeki CH₄ oranının yüksek olmasını sağlarken biyogaz çıkış miktarını azaltır. Bunun tersi biyogaz oluşumunu arttırsa da yanma veriminin düşük olmasına neden olur. Bazı atıklardan oluşan metan gazı yüzdeleri Çizelge 1.4'de verilmiştir (Ağayev, 2011).

Çizelge 1.4: Bazı atıkların metan yüzdeleri.

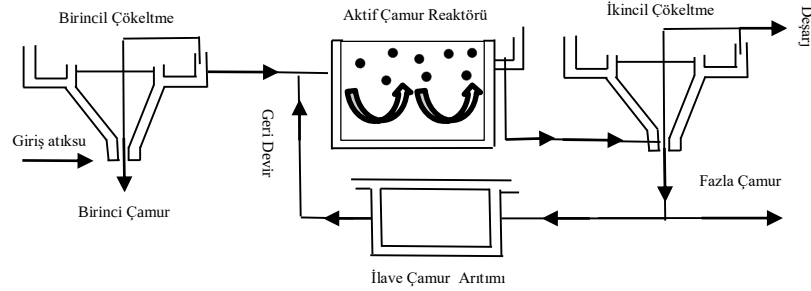
Atıklar	Metan Gaz Miktarı (%)
Çimen	70
Domuz Gübresi	67
At Gübresi	65
Sığır Gübresi	65
Deniz Yosunu	63
Tavuk Gübresi	60

Biyogaz, ısı, elektrik sıkıştırılmış veya sıvılaştırılmış bir doğal gaz olarak da kullanılabilir. Sıvı anaerobik çürüme %15 katı madde altında işletilirken katı anaerobik çürüme ise %15'ten daha fazla katı atık içeriğinde gerçekleştirilir (Ge vd., 2014).

1.8 Arıtma Çamurları

Evsel katı atıkların organik fraksiyonlarının geri dönüşümü ve arıtımı, atıkların depolama sahalarına aktarılması ve enerji kazanımından etkili bir atık yönetim stratejisi olarak ortaya çıkmıştır (Fernandez vd., 2001). Aktif çamur süreçleri, atıksu

arıtımı için önemli bir teknolojidir. Ancak bu biyolojik proses fazla miktarda arıtma çamuru üretir (Feng vd., 2009a). Tipik bir atıksu arıtımı sonucunda çamur oluşumları Şekil 1.7’de verilmiştir. Bir arıtma tesisinde çamurların kaynakları, tesisin tipine ve çalışma usulüne göre değişir (Metcalf & Eddy, 2003).



Şekil 1.7: Atıksu arıtma tesisi çamur kaynakları.

Atıksu arıtımı sonucunda oluşan sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25-%12 arasında katı madde içeren atıklara arıtma çamuru denir (Filibeli, 2013). Atıksuların biyolojik arıtılmasında arıtma çamuru yan ürünüdür ve arıtma çamuru miktarının artması atıksuyun daha iyi arıtılmasının sonucudur (Kim vd., 2003). Oluşan arıtma çamuru, koku karakteri bulunduran maddeler içermesi, organik madde açısından zengin bir yapıda olması ve buna bağlı olarak kokuşma ve bozunma eğiliminde olması son olarak da su muhtevasının fazla olması büyük hacimler işgal etmesine sebep olur. Bu sebeplerle arıtma çamurlarının arıtılmasında ve disipline edilmesinde önemli problemler oluşmaktadır. Arıtma tesislerinin farklı ünitelerinde çamurlar çıkmaktadır. Ön çökeltim havuzunda kendiliğinden çökebilecek katı maddeler tabanda, yüzebilir maddeleri ise yüzeyde toplanır. Çökeltim havuzunun tabanında toplanan maddelere “ham çökeltim çamuru” ismi verilir. Ham ön çökeltim çamurunun su içeriği oldukça yüksektir. Kokusu fazla, drenaj kabiliyeti zayıftır. Kurutma yataklarında zor drene olur fakat mekanik olarak suyunu almak mümkündür. Bu çamur genellikle çürütülür ve “çürük ön çökeltim çamuru” olarak bilinir. Aktif çamur sisteminde oluşan mikroorganizma miktarı sistem için gerekli olan miktarı aşarsa, bu durumda fazla katı maddelerin sistemden atılması gerekir. Bu atık biyolojik materyal “atık aktif çamur” olarak bilinir ve arıtma tesisi için temel problemlerden biridir. Damlatmalı filtre kullanılarak yapılan biyolojik arıtma tesislerinde filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltim havuzunda arıtılmış sudan ayrılır. Bu çamur “filtre humusu” olarak bilinir ve miktarı azdır. Filtre humusu

ve atık aktif çamur genellikle ham çökeltim çamuru ile karıştırılır ve anaerobik çürütücülerde çürütülür. Sonuç materyal “karışık çürük çamur” olarak isimlendirilir. Arıtma tesisinde pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için yaygın olarak kullanılan alüminyum sülfat (alum) “atık alum çamuru” olarak bilinen çamuru oluşturur. Bu tür çamur sudan giderilen materyalin tipine bağlı olarak rengi de farklılık gösterir. Genellikle gri-sarı renklidir, suyunu almak zordur (Filibeli, 2013). Katı içerisindeki suyu tanımlamak için birçok tanım literatüre geçmiştir. Catalano, katı madde içerisindeki suyu etkileşim enerjisi olarak tanımlar. Rolf ve Halde, katı ve su arasında varolan yapı olarak tanımlar. Çamur içindeki su bağlı ve serbest olmak üzere 2 kategoriye ayrılır. Buna karşın Vesilind ve Martel çamurun içindeki suyu 4 kategoriye ayırmışlardır.

- Serbest su: Su çamura bağlı değildir ve basit gravimetrik yöntemler ile ayrılabilir.
- Gözenekler arasındaki su: Su flok yapılarında ya da hücreler içerisinde hareket eder ve flokların içinde tutulmuştur. Floklar kırıldığı zaman ya da hücre yok olduğu zaman su serbest kalır. Santrifüj gibi mekanik su çıkarma aletleriyle su giderilebilir.
- Komşu su: Katı parçacıklar ile ilişkili olan su, su moleküllerinin moleküler yapısı sayesinde partikül yüzeyi üzerinde tutulur ve santrifüj ya da başka mekanik araçlar ile çıkarılamaz.
- Hidratlaşmış su: Yalnızca parçacıkların termokimyasal yapısının bozulmasıyla serbest kalan kimyasal bağlı sudur (Yin vd., 2004).

Bu zamana kadar arıtma çamurları yakılmakta veya toprağa, deponi sahasına ve okyanuslara boşaltılarak bertarafı gerçekleştirilmektedir. Çamur işletme maliyeti ve sermayeyle ilişkilendirildiğinde atık su arıtma tesisinin toplam maliyetinin %50’sinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Li vd., 2010). Patojen içeriğinden ve stabil olmadığından dolayı son bertarafından önce bazı arıtmalar yapılmalıdır (Appels vd., 2008). Ayrıca, okyanus çevre koruma yasaları, hava kalitesi üzerindeki sıkı düzenlemeler, nihai bertaraf için arazi eksiliği gibi nedenlerden dolayı çamur arıtım maliyeti artmaktadır. Bu nedenle çamurun verimli bertarafı ve yeniden kullanım için yeni teknolojiler geliştirmek gereklidir (Jung vd., 2001). Çamurun yeniden kullanılması biyolojik ya da fizikokimyasal prosesler ile çamur içindeki yararlı maddenin dönüşmesi veya biyomateriyalin doğrudan geri kazanılması daha fazla ilgi çekmektedir. Çamurda tipik olarak nükleik asitler, enzimler, proteinler ve polisakkariter gibi değerli organik maddeler içerdiği için bu genel düşüncüyü

gerçekleştirmek mümkündür (Jung vd., 2002). Anaerobik çürütme; çamur hacminin azaltması, enerji açısından zengin gaz üretmesi ve besleyici son ürün elde edildiğinden beri yaygın ve geleneksel çamur arıtma yöntemlerinden biridir (Lu vd., 2008). Bununla birlikte aktif çamurun hidroliz safhası ile ilgili olan uzun bekleme süreleri (20-50 gün) ve düşük bozunma verimliliği (%20-50) arıtımın dezavantajları arasındadır. Atık çamurlar temel olarak mikrobiyal hücrelerden, hücre duvarlarından ve biyolojik olarak kolay parçalanamayan fiziksel yapılardan oluşur. Bundan dolayı anaerobik çürümeden önce mekanik, kimyasal, termal ve biyolojik etkiler ile hücre yapısını kırarak bozunma verimi artırılabilir (Kim vd., 2010). Diğer bir deyişle, anaerobik çürüme verimini etkileyen faktörlerden biri hücreye bağlı organik maddedir. Arıtma çamurlarının çürümesi, canlı anaerobları tarafından kullanılabilir hale getirilmesini ve hücreye bağlanmış substratın salınmasını gerektirmektedir (Lin vd., 1997).

1.9 Elma Atıkları

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konum ve iklim koşulları itibarıyla elma üretiminde dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır. Dünyada elma üreten ülkeler arasında Türkiye, yıllık ortalama 2,5 milyon ton ile dördüncü sırada yer almaktadır. Üretilen meyvelerin bir kısmı taze olarak tüketilmekte, önemli bir kısmı da elma suyu ve konsantresi olarak işlenmektedir (Onsekizoğlu, 2010).

Elma üzerine yapılan araştırmalarda da değişken sonuçlar bulunmakla beraber 100 gr ağırlığındaki bir elmanın yaklaşık %85,3'ünün su, %11,8'inin glikoz, fruktoz gibi şekerleri içeren karbonhidratlardan, %2,3'ünün selüloz içeren liflerden oluştuğu görülmektedir. Diğer içerikler ve oranlar Çizelge 1.5'te verilmiştir (Canan, 2008)

Çizelge 1.5: Elmanın yapısında bulunan maddeler (100 gram için).

Yapısında Bulunan Madde	Ağırlık (g)
Su	83
Protein	0,3
Yağ	0,4
Karbonhidrat	11,8
Organik Asitler	0,6
Lifler	2,3
Mineral	0,3

Meyve suyu fabrikalarında elma suyunun alınması için yapılan işlem adımları kısaca aşığıda özetlenmiştir.

- Meyve seçimi ve hazırlanması: Bahçelerden toplanan elmalar yıkama işleminden önce mekanik veya manuel olarak çürümüş elmalardan, yapraklardan ve otlardan ayrılır. Çürümüş meyvelerin ayrılması mikroorganizmaların metabolit miktarının sınırlanmasında önemli bir noktadır.
- Yıkama/parçalama: Tüm halde bulunan elmalar bıçaklar ve öğütücüler yardımıyla küçük parçalara ayrılır.
- Ekstraksiyon/presleme: Fazla miktarda elma suyunun alınması için meyvenin hücre yapısını ayırtıran enzimler ilave edilir ve bir süre bekletilir. Bekleme işleminin ardından presleme işlemine geçilir. Presleme işleminden sonra üretim bandının özelliğine bağlı olarak, santrifüj yöntemi, elekten geçirme yöntemiyle faz ayrımı sağlanır.
- Berraklaştırma/filtrasyon: Elma suları rezervuar tanklarında belirli bir süre bekletilir ve yapısında kalan katı maddelerin uzaklaştırılması sağlanır. Yapısında bulunan kolloidal yapıdaki katı maddeleri ise filtreden geçirilerek uzaklaştırılır.
- Pastarizasyon: Elma suları 88°C' ye kadar ısıtılır ve 50°C'ye kadar tekrara soğutulur.
- Kalite/kontrol: Son olarak ultra filtre işlemi yapılarak, tat, renk, doğal şeker içeriği ve berraklığı kontrol edilir.
- Paketleme, kutulara veya şişelere doldurularak elma suları satışa hazır hale getirilir (Turgut, 2011).

Elma suyu hazırlanırken elma atıkları yan ürün olarak üretilir ve bu ürünlere elma posası adı verilir. Elma işlenmesine ve elmanın özelliğine bağlı olarak meyve ağırlığının %30'u kadar posası oluşabilir. Elma işleme endüstrilerinin gelişmesi sonucunda hızla artan elma posalarının taşınması ve bertaraf edilmesi çevre kirliliği ile bağlantılı olarak önemli bir sorun haline gelmektedir (Amril, 1986).

Elma posasının az bir kısmı herhangi bir arıtım yapılmaksızın, hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Büyük bir kısmı ise düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Bununla birlikte elma posası ile ilgili sürdürülebilir arıtım olmaması ve çevresel kaygılardan dolayı elma posasının potansiyelinin araştırılması gerekmektedir (Kim vd., 2001).

1.10 Ön Arıtım Yöntemleri

Hidroliz, organik maddelerin salınmasını zorlaştıran mikrobiyal hücre duvarları ve çamur yumaklarının yapısına sarılmış çözünebilir halde bulunan atıl maddeler (karbonhidratlar, yağlar, proteinler) metan üretim sürecinde sınırlayıcı aşama olarak tanımlanır (Yu vd., 2014).

Ön arıtım, biyokütlenin makroskopik sertliğini parçalayarak biyokütlenin parçalanmasını zorlaştıran kısımları azaltılabilir. Selüloz kristallliği azalır ve selülozun erişilebilirliği artar, lignin ve hemiselüloz uzaklaştırılır (Dongyan, vd., 2014).

Etkili bir ön arıtım için yukardakilerin yanı sıra aşağıdaki gereksinimlerin de karşılaması gerekir:

- Enzimatik hidroliz için monomerik şekerlerin oluşmasını artırmak,
- Karbonhidrat kaybını en aza indirmek,
- Anaerobik bakterilerin toksik yan etkisini en aza indirmek (Shen vd., 2014).

Her bir ön arıtımın avantajları ve dezavantajları vardır ve ideal bir ön arıtım yöntemi yoktur. Fiziksel ön arıtmalar, hemiselülozların hidrolizini artıran hücreler arası bileşenleri azaltarak parçacık boyutunu azaltabilir, yüzey alanını ve gözenek büyüklüğünü artırabilir. Ayrıca selüloz daha çabuk parçalanır ve hidroliz hızlanır fakat bu yüksek enerji gerektirir. Bu nedenle, öğütme gibi fiziksel ön işlemler pratik uygulamada daha az kullanılır. Asit, alkali ya da amonyak ile kimyasal ön arıtmalar hızlı, basit ve biyokütlenin kimyasal bileşenlerini değiştirmesinde etkilidir. Anaerobik mikroorganizmalar için erişilebilir yüzey alanı artar. Selülozik kristallliğini azaltır fakat maliyeti fazladır ve ikincil kirliliğe neden olur. Daha da önemlisi, furfural, hidroksimetilfurfural, levulinik ve fenolik bileşikler gibi toksik ya da inhibitör maddeler genellikle kimyasal ön arıtmada üretilmektedir. Biyoojik ön arıtım, mikroorganizmalar kullanılarak enerji tasarrufu ve ılıman çalışma koşulları kullanılır fakat lignin bozulması uzun süre gerekmektedir ve buna ek olarak büyük ölçekli uygulamaları oldukça zordur (Chen vd., 2014a).

Çamur bertarafı ve yönetimi atıksu arıtma tesisinin toplam maliyetinin %50'sini oluşturur. Bu maliyeti düşürmek için çamur hacminin, çamur tutulma süresinin azaltılması gerekmektedir (Xu vd., 2014). Bertaraf maliyeti kuru ağırlığının 200-650 €/t olduğunu rapor etmişlerdir (Sun vd., 2014). Bu nedenle çamur üretiminin en aza indirilmesi önemlidir. Çamur çürütme yoluyla çamur parçalanmasının artması metan üretimini de artırabilir. Çamur hacminin ve çamur tutulma süresinin azaltılmasıyla

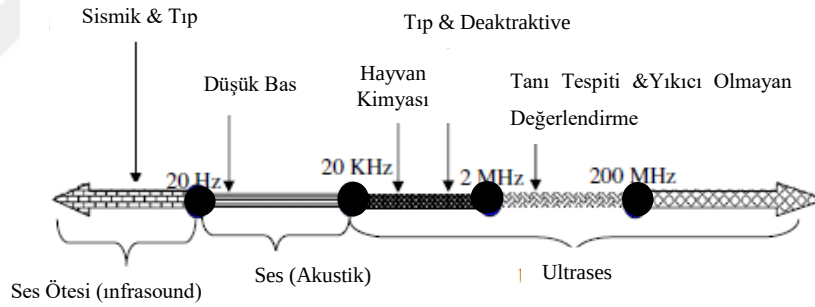
daha ekonomik bir yol sağlanmış olur (Xu vd., 2014). Bu sebeplerden dolayı ön arıtım çalışmaları çamur bertaraf işlemleri olarak kullanılmaktadır ve çalışmaların çoğu bunun üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca bitki biyokütleleri, hali hazırda yüksek değerlikli bileşikler içermesi ve yakıtı dönüştürülebilir doğal yenilenebilir kaynak olmasından (Shen vd., 2014) n arıtım yöntemlerine ilişkin araştırmaların büyük bir kısmı lignesellozik substratlar için yapılmıştır.



2. LİTERATÜR

2.1 Ultrases Ön İşlemleri

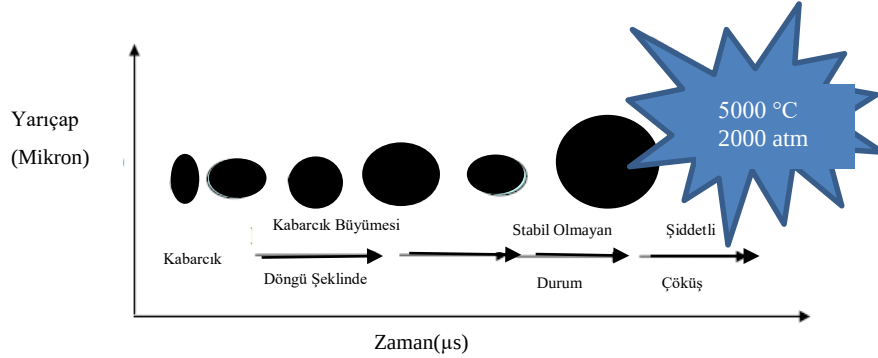
Ses dalgaları, deniz radarlarının kullanıldığı zamanlarda deniz altı savaşları için kullanılmıştır. Bu savaşlar sonucunda ses dalgaları nedeniyle balıklar ölmüş, biyolojik hücreleri deaktive olmuştur. İkinci Dünya Savaşı sırasında ultrases uygulamaları tıp alanında parmakları zarar gören yaralıların tedavisi için kullanılmaya başlanmıştır. Geçmiş yıllarda ultrasesin hücrelere etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Hughes ve Nyborg, Alliger mikrobiyal hücreleri ile ultrases etkileşim mekanizmalarını incelemişler ve kısa bir süre ultasese maruz kalındığı durumlarda hücre duvarının incelendiğini gözlemlemişlerdir. Farklı frekanslarda çeşitli uygulamalar ile birlikte ultrases aralık diyagramı Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Pilli vd., 2011).



Şekil 2.1: Ultrases aralık diyagramı.

Ultrases, 20 kHz ile 100 MHz frekans ses dalgasına sahip geniş bir yelpazesi olan uygulamalardır (Oz ve Uzun, 2015). Anaerobik çalışmalarda ultrases tekniğinin temel amacı, bakterilerin hücre duvarlarına zarar vererek anaerobik çürümeye CH_4 ve CO_2 üretimi için hücre içindeki maddenin kullanılabilirliğini kolaylaştırmaktır. Ultrases dalgası çamur ortamı içinde hızla yayıldığı zaman, sıkışmalar ve genleşmeler oluşur, molekülleriyle birlikte iterek sıvıya pozitif baskı ile sıkıştırır ve moleküller birbirini çekerek basınç azalması oluşur ve azalan basınç negatif basınç uygular. Bu aşırı negatif basınçtan dolayı mikro kabarcıklar (kavitasyon kabarcıkları) basıncın azaldığı bölgede meydana gelir. Bu mikro kabarcıklar, ardışık döngülerde büyür ve şiddetle üretilen şok dalgalarıyla daralan kararsız bir çapa ulaşır. Kabarcıkların büyümesi ve

hızlı çöküşe geçmesi işlemine kavitasyon denir (Gogate ve Kabadi, 2009). Kavitasyon balonunun oluşumu ve çökmesinin şematik gösterimi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Kavitasyon oluşumu ve çökmesi.

Kavitasyon işlemi düşük frekanslarda meydana gelirken yüksek frekanslı ultrases dalgalarında ise OH^* (Hidroksil radikalleri), HO_2^* (Hidrojenperoksil radikalleri) ve H^* (Hidrojen radikalleri) radikallerin serbest bırakılmasıyla kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir (Kondusamy ve Kalamdhad, 2014).

Düşük frekanslı ultrases ön arıtmaları, anaerobik çamur çürümesinden önce atıksu çamurların yönteminde yoğun bir şekilde incelenen umut verici teknoloji olarak kabul görmüştür. Bu çalışmalar ışığında en verimli çözündürme işleminin düşük frekanslarda elde edildiği ifade edilmiştir (Tiehm vd., 2001).

Çamurun ultrases ön arıtmaları ile susuzlaştırma derecesi, ultrases enerjisine, arıtma süresine ve çamur miktarına bağlıdır (Kim ve Kim, 2003). Uzun süreli ultrases uygulamalarında çamurun sıcaklığı belirgin şekilde yükselir. Bu ısınma kaçınılmazdır ve tasarım sırasında göz önüne alınması gerekmektedir (Feng vd., 2009b).

Ultrases ön arıtımı, arıtma çamurlarına etkileri geniş bir şekilde araştırılmıştır ve çıkan sonuçlar katı maddelerde bu teknolojinin uygulanabileceğini göstermiştir (Cesaro and Belgiorio, 2014). Farklı bir çalışmada ise ultrases proseslerinin katı organik maddelerin hidroliz ve asidojenik fazlarına etkileri araştırılmıştır. Substratın parçacık yüzeylerinden uçucu asit desorpsiyonu ve ultrases ile parçalanmış parçacık bozulmasından kontrol grubuna göre uçucu katı maddelerin bozulması %53 artmıştır (Chen vd., 2008).

Anaerobik çürümeden önce arıtma çamurları evsel katı atıkların organik kısımlarına ultrases ve mekanik kriterler ile arıtıldığında her iki arıtma çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Naddeo vd., 2012).

Çizelge 2.1’de arıtma çamurlarına uygulanan farklı ultrases ön arıtım çalışmaları özetlenmiştir (Saha, 2011).

Çizelge 2.1: Arıtma çamurlarının ultrases ön arıtım çalışmaları literatür özeti.

Referans	Wood vd., 2009	Grönroos vd., 2005	Wang vd., 1999	Zhang vd.,2007	Bougrier vd., 2006
Çamur Türü	Endüstriyel	Evsel	Evsel	Evsel	Evsel
Frekans (kHz)	20	22-27,4	9	25	20
Yoğunluk (W/mL çamur)	1	0,1-0,3	2	0,5	0,45
İşletme Süresi (dakika)	30	2,5-10	10-40	10-30	35-40
Çözünme	%10-45	-	-	%10-%30	%5-%15
Biyogaz Artışı	%48	%10-%20	%64	-	%47
Akış Rejimi	Kesikli	Kesikli	Kesikli	Kesikli	Kesikli

Tek ve iki aşamalı sistemlerde gıda atıklarının anaerobik biyobozunurluk üzerinde ultrasesin etkisi Elsayed ve George tarafından yapılmıştır (Elbeshbishy ve Nakhla, 2011).

Ultrases, enerji yoğunluğu olan işlemler olduğu için uygulamalarda büyük endişelere neden olur (Zhang vd., 2008). Bu arıtım yüksek enerji gereksinimini azaltmak için farklı mekanizmaları bir araya getirilerek fazla parçalanmaya izin verebilir (Zawieja vd., 2008). Bununla birlikte, bireysel arıtımı verimliliğinden kombine arıtım ile elde edilen dağılma verimliliğinin sinerjik etkisi yüksek olduğu tespit edilmesi nedeniyle ultrases arıtımın kullanım alanı önemli ölçüde genişlemiştir (Kim vd., 2010).

2.2 Kimyasal Ön İşlemler

Çeşitli alkali ve asit reaktifler kullanılarak organik maddelerin anaerobik arıtımını artırmak için kimyasal ön arıtım yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Torres ve Espinosa, 2008; Lin vd., 2009). Alkali ön arıtmalar, asit ön arıtmalara göre daha kapsamlı incelenmiştir. Bunun nedeni anaerobik arıtmalarda biyolojik dönüşüm için az miktarda alkali şartların olması gerekliliğidir (Mata-Alvarez, 2003).

Anaerobik çürümeyi kontrol etmek için en önemli parametre, mümkün olduğu kadar yüksek olması istenen, bikarbonat alkalinitesidir. Uçucu asitler pH değerinin asidik bölgede azalması nedeniyle çürüme sırasında metan üretimini inhibe edebilir. Çözünebilir bikarbonatlar CO₂ ile denge halindedir. CO₂, bir çürüme ürünüdür. Bu nedenle tamponlanma gücü katyonların varlığına bağlıdır. Birçok anaerobik çürüme sırasında pH'ı nötr bölgede tutmak için kireç, sodyum ya da potasyum hidroksit

biçiminde uygun alkali eklenmesi gerekir. Ayrıca organik maddelerin alkali ön arıtımı, organik maddelerin şişerek enzimatik faaliyetlere daha duyarlı maddelere dönüştüğü raporlanmıştır. Bunun sonucunda katı fazın biyolojik bozulmasını önemli ölçüde artırılabilir (Vlyssides ve Karlis, 2004).

Alkali ön arıtımı için sodyum hidroksit (NaOH), kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2), potasyum hidroksit (KOH), magnezyum hidroksit (Mg(OH)_2) ve amonyum hidroksit ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gibi bazlar lignin, hemiselülozun ve selülozun uzaklaştırmasına, mikroorganizmaların ve enzimlerin daha kolay parçalayacağı lignoselülozik biyokütleye dönüştürmesini sağlayan kimyasallardır (Zheng vd., 2014). Alkali ön arıtım, karmaşık maddelerin çözünmesinde en etkili uygulamalardan biridir. Kullanılan bazların etkili olma sırası $\text{NaOH} > \text{KOH} > \text{Mg(OH)}_2 > \text{Ca(OH)}_2$ şeklinde olduğu bildirilmiştir (Kim vd., 2003). Alkali ön arıtım, pratik olması kanıtlanmıştır. Bunun yanında nispeten daha düşük maliyetler, daha yüksek verim ve daha kolay kullanımı nedeniyle tercih edilmektedir (Pang vd., 2008).

Geçmiş yıllarda çeşitli alkali maddeler kullanılarak, farklı substratlara ön işlemler uygulanmıştır. Dongyan vd. (2014), pirinç samanının biyogaz üretimini geliştirmek için NH_3 ile yapılan ön işlem çalışmalarında biyogaz üretiminde %38,3 artış elde etmişlerdir. Luo vd. *Spartina Alterniflora* %2, 4, 6 NaOH çözeltileri ile ön arıtım yapıldıktan sonra çürütülmüş *Spartina Alterniflora* biyogaz verimleri sırasıyla 262, 276 ve 282 mL/g toplam katı, ortalama metan içeriği %72,72 ve %69 olduğunu bulmuşlardır. (Chen vd., 2014). Torres vd. (2008), Ca(OH)_2 ile birlikte alkali ön arıttıktan sonra evsel katı atıkların organik fraksiyonların anaerobik çürümeye etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Sambusiti vd. (2012), %10 NaOH (g/g toplam katı) kullanılarak buğday samanının 40°C’de 24 saat ön işlem sonunda biyokimyasal metan potansiyelinde %47 artış elde etmişlerdir.

Asit ile yapılan ön arıtım yöntemleri iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi, yoğunlaştırılmış asit altında (%30-70) ve düşük sıcaklıklarda (40°C) ikincisi ise seyreltilmiş asit (%0,1) ve yüksek sıcaklıkta (230°C) yapılan çalışmalardır. Asit ön arıttıktan sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO_3), fosforik asit (H_3PO_4), asetik asit (CH_3COOH) gibi hem organik hem de inorganik asitler kullanılmaktadır. Asit ön işlemlerinde en yaygın kullanılan asit H_2SO_4 ’dir. Konsantre asitler, selüloz hidrolizi için oldukça etkili olmasına rağmen bunlar son derece toksik, paslandırıcı ve tehlikelidir. Bu nedenle reaktör inşası için özel metalik olmayan malzemeler veya alaşımlar gibi pahalı malzemeler kullanılması gerekir. Buna ek

olarak ekonomik nedenler göz önüne alındığında biyokütle arıtımından sonra asitin yeniden kazanılması gerekmektedir. Seyreltilmiş asit ön arıtımı temel olarak hemiselülozun %100 hidrolizini ön arıtım koşullarına bağlı olarak gerçekleştirir. Seyreltilmiş asit ön arıtımın temel sonucu mikrobiyal ve enzimatik hidrolize karşı önemli ölçüde selülozun duyarlılığının artırılmasıdır. Asit ile ön arıtım biyoetanol üretim işlemi için yaygın bir teknolojiyken, lignoselülozik biyokütlenin anaerobik sindirim için biyogaz üretimi üzerinde asit ön arıtımın etkisi üzerine çalışmalarda yapılmıştır (Zheng vd., 2014).

Şeker kamışı küspesinin 15 dakika boyunca 121°C’de %2’lik seyreltik asit ön arıtımıyla metan verimi %166 artmıştır (Badshah vd., 2012).

Mikrodalga ısıması ile seyreltilmiş H₂SO₄ ile yapılan ön arıtım çalışmalarında bitkisel kalıntının metan gelişimi ham atığa göre %100 ve asit ön arıtımına göre %45’ten daha fazla artış gösterdiği raporlanmıştır (Liu ve Cheng, 2009).

HCl ve H₃PO₄ gibi diğer asitlerde ön arıtım çalışmalarında kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Ayçiçeği sapları %4 HCl (pH: 2,3) ve %10 FeCl₃ (pH: 1,8) 170 °C’de 1 saat ön arıtım çalışmaları sonucunda metan potansiyelinde %21-29 oranında artışlar belirlenmiştir (Monlau vd., 2012).

2.3 Termal Ön İşlemler

Termal ön işlemler (yüksek sıcaklıkta ön arıtım) sıvı organik maddeyi katı organik madden ayıran ayrıca kalan katı parçacığın hücre yapısını bozan fiziksel bir yöntemdir (Mata-Alvarez vd., 2000). Anaerobik çürüme öncesi termal ön işlemlerin kullanılması 1970’li yıllara dayanmaktadır (Sawayama vd., 1996).

Haug (1978), hem birincil arıtma çamurlarının hem de aktif arıtma çamurlarının ayrı ayrı termal ön arıtım çalışmaları ile bu iki çamurun 1:1 oranında karıştırılarak elde edilen çamurun susuzlaştırılmasında ve biyolojik parçalanmasında termal ön arıtımın etkisini araştırmıştır. Birincil arıtma çamurları için 175°C’de gerçekleştirilen termal ön arıtım sonucunda hem toplam gaz hem de metan gaz üretiminde önemli bir etkisinin olmadığını, bunun yanı sıra aynı termal ön işlem aktif arıtma çamuruna uygulandığında ön arıtım yapılmayan çamurla kıyaslandığında metan veriminde %60 artışla sonuçlandığını raporlamıştır.

Stuckey ve McCarty (1984), arıtma çamurlarının biyolojik parçalanabilirliği üzerinde termo-kimyasal ön arıtımın mezofilik ve termofilik koşullar altında etkisini

incelemişlerdir. Arıtma çamurlarının biyolojik bozunurluğu termal ön işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte artış göstermiş ve 175°C’de maksimum seviyeye çıkmıştır. Bu ön arıtım şartlarıyla kontrol grubu karşılaştırıldığında metan üretiminde %27’lik bir artış elde ettiklerini raporlamışlardır.

Valo vd. (1998), arıtma çamurlarının anaerobik çürüme öncesi termal ön arıtım çalışmalarında sıcaklığın ve sürenin etkilerini incelemişlerdir. Sıcaklık değerinin 130°C’ye çıkarılmasıyla çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (çözünmüşKOİ) %25 artarken biyogaz üretiminde %25’lik artış elde etmişlerdir. Aynı çalışmada sıcaklık 170°C’ye çıkartıldığında çözünmüş KOİ değerinin %60 artışı, biyogaz üretiminde %45 oranında bir artış belirlendiğini raporlanmıştır.

Climent vd. (2007), sadece düşük termal ön arıtlarda (70°C) biyogaz üretiminin %50 arttığını, sıcaklığın yükselmesinin biyogaz artışına herhangi bir etkisinin görülmediğini tespit etmişlerdir.

Mladenovska vd. (2006), hazırladıkları sığır ve domuz gübresi karışımlarını biyokimyasal metan potansiyel (BMP) deneyleri öncesi, 100°C, 140°C işletme sıcaklıklarında 20 ve 40 dakika işletme sürlerinde termal ön arıtım çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. 100°C termal ön arıtlımda spesifik metan potansiyelinde %9-24, 140°C termal ön arıtlımda ise %10-17 oranında artışlar elde etmişlerdir.

Wang vd. (2010), gerçekleştirdikleri çalışmalarda termal ön işlemlerin belediye atıklarının hidrolizini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Belediye atıklarını, gıda atıkları, meyve-sebze atıkları ve susuzlaştırılmış çamur olarak ayırmışlar, termal ön arıtım şartlarını 175°C ve 60 dakika olarak belirlemişlerdir. Uçucu çözünmüş katı maddelerin (UÇKM) uçucu katı maddelere (UKM) oranı (UÇKM/UKM) atıkların çözünürlüğünü ve hidrolizini değerlendirmek için kullanmışlardır. Termal ön arıtlımdan önce UÇKM/UKM oranları, gıda atıkları, meyve-sebze atıkları ve susuzlaştırılmış çamurlar için sırasıyla %51, %44 ve %4 iken, ön arıtlımdan sonra %62, %58, %50 olduğunu raporlamışlardır. Bu sonuçlar ışığında, organik katıların büyük bir kısmının termal ön arıtım ile çözünmüş hale geçtiğini kanıtlamışlardır.

Wang vd. (2006), gıda atığının hibrid anaerobik sistemde termal ön arıtlımının anaerobik çürümesi üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Laboratuvar ölçekli hibrid anaerobik sistem, Singapur’daki gıda atıklarının miktarını en aza indirecek ve endüstriyel ölçekli kullanılabilmesi için asidojenik ve metanojenik silindir reaktörler kullanmışlardır. Atıklar günlük olarak üniversite kantininden toplanmış ve atıklar ortalama 6,0 mm parçacık boyutlarına getirilmiştir. Atıklara 2 farklı termal ön arıtım

çalışması yapılmış ve hibrid anaerobik sistemlere beslenmiştir. İlk termal ön arıtım 70°C 2 saat, diğer termal ön işlem ise 150°C’de 1 saat olarak yapılmıştır. Kontrol grubu ile yapılan ön arıtım çalışmalarının KOİ değerleri ile karşılaştırıldığında sırasıyla %1,4 ve %5,5’lik artışlar belirlemiştir.

2.4 Mikrodalga Ön İşlemler

Mikrodalgalar, 1 m ile 1 mm arasında değişen dalga boyları ile bir elektromanyetik radyasyon biçimidir. 300 MHz ve 300 GHz arasındaki frekansları kapsar. Son 20 yılda mikrodalga ışımlarının kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır. Günümüzde gıda işleme, odun kurutma, tıbbi atık sterilizasyonu, organik dekompozisyon başta olmak üzere çeşitli kullanım alanları vardır (Alqaralleh, 2012).

Mikrodalga ön işlemleri kullanılarak, mutfak atıklarının, arıtma çamurlarının ve organik içerikli atıkların anaerobik çürümesi ve çözünmesi üzerindeki etkileri birçok çalışmaya konu olmuştur.

Marin vd. (2010), mutfak atıklarının yüksek sıcaklık ve basınçlı mikrodalga ışınlamalarının anaerobik bozulmaya ve metan üretimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, mikrodalga ışımlarının KOİ’nin çözünürlüğünde olumlu etkisini kanıtlamışlardır. Ayrıca atıkların üst sıvısında çözünmüş protein ve şeker konsantrasyonlarının yüksek olduğu sonucunu da elde etmişlerdir.

Shahriari vd. (2011), belediye katı atıklarının organik kısımları üzerinde yüksek sıcaklık ve basınçlı mikrodalga ışımlarının anaerobik çürümeden önce çözündürme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ön arıtım sonucu çözünmüş KOİ değerleri herhangi bir ön arıtım yapılmayan örneklerin çözünmüş KOİ değeri ile kıyaslandığında 1,62 kat daha fazla olduğu sonucunu raporlamışlardır.

2.5 Mekanik Ön İşlemler

Mekanik yöntemler, substratın parçacık boyutunu azaltırken, yüzey alanını artırabilir. Yüzey alanı artan substrat daha hızlı bir anaerobik çürüme sürecine girer bunun sonucunda biyogaz üretiminde artışlar gözlemlenebilir. Mekanik ön arıtım işlemleri enerji tüketimleri ve pratik uygulamaları farklı olmakla birlikte ana ilkesi, kimyasal ürün eklenmeksizin fiziksel işlemler ile substrat duvarının yapısını bozarak substratın özelliklerini değiştirmektir.

Katı atıkların partükül boyutları anaerobik çürüme sürecinde biyogaz üretimi için önemli etkiye sahiptir.

Sharma vd. (1988), tarım ve orman atıklarının anaerobik çürümesinde parçacık boyutunun etkisini araştırmışlardır. Çalışmada öğütücü yardımıyla atıkları 0,088, 0,4, 1,0, 6,0 ve 30 mm olmak üzere 5 farklı parçacık boyutuna dönüştürmüşlerdir. Maksimum biyogaz üretimini 0,088 ve 0,4 mm parçacık boyutunda elde etmişlerdir. Parçacık boyutunun küçülmesi yüzey alanını genişletmiştir bu nedenle çürüme veriminin arttığını ve çürümenin hızlandığını raporlamışlardır.

Çizelge 2.2’de anaerobik çürüme süreçlerinde parçacık boyutunun küçültülmesinin olumlu etkilerini gösteren farklı çalışmalar özetlenmiştir (Müller vd., 1998; Mata-Alvarez, 2003; Alqaralleh, 2012).

Çizelge 2.2: Farklı organik materyallerin parçacık boyutunun biyolojik bozunabilirliğe etkisi.

Substrat	Örneklerin Boyutu	Biyogaz Üretiminde Artış
Et	2,2 cm	%2,00
Ayçekirdeği	5 cm	%19,0
Ağaç Yaprığı	2,2 cm	%14,4
Saman Kökleri	1,5 cm	%18,0

Mekanik ön işlemler için yaygın olarak yüksek basınçlı homojenleştirici sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler yoğun enerji salınımları oluşturur. Oluşan enerjiler substratta iç basınç farklılıklarına neden olarak hücrelerin membran yapısını bozabilmektedir. (Li, 2012).

Engelhart vd. (2000), arıtma çamurlarının biyolojik parçalanabilirliği üzerinde mekanik ön arıtımın etkisini yüksek basınçlı homojenleştirici sistemler kullanılarak 3 farklı basınçta (50, 300, 600 bar) deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda mekanik ön işlemler ile daha yüksek spesifik biyogaz üretimi sağlandığını belirtmişlerdir. Onyech (2007), 150 bar basınç altında yaptığı mekanik ön işlemler sonucunda biyogaz üretiminde %30’luk bir artış sağlarken çamur hacminde ise %23’lük azalma olduğunu raporlamıştır. Mekanik ön arıtım çalışmalarının yapıldığı literatür çalışmalarına göre, bu prosesler mevcut reaktöre montaj veya yenileme açısından basit ve ekonomiktir. Arıtma çamurlarının substrat olarak kullanılması son derece uygundur (Li, 2012).

Çizelge 2.3’de ön arıtım yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

Çizelge 2.3: Farklı ön arıtım yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları.

Yöntem	Avantaj	Dezavantaj	Referans
Termal Ön Arıtım	Çamur arıtımı olarak kullanılan bu yöntem ön arıtım yöntemi olarak kullanıldığında koku problemini azaltır. Çürüme öncesi uygulanan ısı mezofilik ve termofilik çürüme için uygundur. Patojen artmasını önler Susuzlaştırmayı artırır.	Enerji gereksinimleri yüksektir. Korozyona dayanıklı malzemeler kullanılması nedeniyle yüksek maliyet gerekir. Vasıflı işçileri her zaman hazır olması gerekir. Isı ölçümleri, reaktörde ve borularda olması gerekir	Appels vd., 2008; Graja vd., 2005; Haug vd., 1983; Kepp vd., 2000; Skiadas vd., 2005.
Mikrodalga Ön Arıtımı	Termal ön arıtıma benzer pek çok avantajları vardır (Patojen artışını azaltır. Susuzlaştırmayı artırır.hidroliz safhasını hızlandırması vb.,) Termal ön arıtıma göre daha hızlı ısınabilir Besi maddelerinin salınmasında etkilidir. Temassız ısıtma kullanılmasından dolayı konveksiyon ve iletim yolu ile kaybedilen ısı oldukça azdır.	Enerji gereksinimleri yüksektir. Tam ölçekli çalışmalarda kullanımı oldukça zordur. Korozyona dayanıklı malzemeler kullanılmasından dolayı yüksek maliyet gerekir.	Chang vd., 2011; Mudhoo ve Sharma, 2011; Toreci vd., 2010;
Ultrases Ön Arıtımı	Hücre bozunmasında en etkili yöntemlerden biridir. Organik maddenin çözünmesinde herhangi bir üst sınır yoktur. Arıtma tesisine kolay uygulanabilir.	Enerji gereksinimleri yüksektir. Yeni teknoloji olmasından dolayı yüksek sermaye ve işletme giderleri mevcuttur.	Chu vd, 2001; Hogan vd., 2004; Khanal vd., 2007; Muller vd., 2009

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması ile birlikte biyokütle enerjileri birçok alanda çalışma konularının başında gelmektedir. Ülkemiz biyokütle enerjileri açısından oldukça güçlü ve önemli bir potansiyele sahiptir.

Türkiye elma üretiminde Dünya’da 4. sırada olması ve kullanılan elmaların yaklaşık %30’u kadar posa oluşması bu atıkların sürdürülebilir arıtım yöntemleri ile disipline edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Elma posasının anaerobik arıtım yöntemleriyle biyogaz üretimi ile ilgili çalışmalar fazla değildir. Bu konuda yapılan birkaç çalışmada da takip edilen parametreler ve uygulanan ön arıtım yöntemleri azdır. Bu eksikliklerin giderilmesi ve konunun daha detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar arıtma çamurlarının stabilizasyonu için ön işlemlerin yapıldığı belirlenmiştir. Birçok çalışmada arıtma çamurlarının BMP analizleri yapılmış ve BMP sonuçları çözünmüş KOİ değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, elma posasına ve arıtma çamurlarına ön arıtım yöntemlerinin (termal, kimyasal ve ultrases) BMP etkileri incelenmiştir. BMP sadece çözünmüş KOİ miktarıyla değil aynı zamanda çözünmüş protein değerleriyle de ilişkilendirilmiştir.

Hem elma posalarının incelenmesi hemde BMP’nin çözünmüş KOİ ile ilişkilendirilerek incelenmesi çalışmaya özgünlük katmaktadır.

Bu çalışma ile ikincil bir kullanım alanı olmayan çeşitli organik atıklara ön arıtım yöntemleri uygulanarak BMP arıttırıcı etkiler belirlenebilecek, böylece literatürde yeni bir çalışma alanı oluşacaktır

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Numunelerin Temini ve Hazırlanması

Çalışmada kullanılan elma posası, Mersin ilinde meyve suyu üretimi yapan Anadolu ETAP Tarım ve Gıda Ürünleri Ambalaj San. ve Tic. A.Ş. fabrikasından alınmıştır.

Arıtma çamuru ise Ortaköy Atıksu Arıtma Tesisinin aktif çamur ünitesinden alınmıştır. Ortaköy Atıksu Arıtma Tesis, Ortaköy (Aksaray) İlçesinin İller Bankası Anonim Şirketine vermiş olduğu yetkiye istinaden "Ortaköy Atıksu Arıtma Tesis Kesin Projesi" İller Bankası Anonim Şirketince ihale edilmiştir. Yapılan ihale sonunda, İller Bankası Anonim Şirketi ile işin yapımını üstlenen Piramit Müh. Müş. Ltd. Şti. arasında 13/10/2011 tarihinde sözleşme imzalanmıştır. Son çökeltme tankından alınan çamur, mekanik susuzlaştırıcı (dekantör) kullanılarak susuzlaştırılmaktadır. Mekanik susuzlaştırıcıdan, sistemden uzaklaştırılmak üzere çökeltme tankından alınan kuru katı oranı % 1 konsantrasyon $CHI = 100 \text{ mL/gr}$ (çamur hacim indeksi) olan fazla çamur, kuru katı oranı % 25 'e koyulaştırılmaktadır.

Fabrikadan ve tesisten alınan örnekler kısa bir süre zarfında laboratuvara getirilmiş ve bir kısmı tam kuruma sağlanabilmesi için 75°C 'de etüvde (Memmert, UNB-400) 3 gün boyunca kurutulmuştur. Kurutulan örnekler bıçaklı öğütücü (Arnica, GH21520) kullanılarak 0,02 mm gözenek çapına sahip elekten geçirilmiştir ve ön arıtım çalışmalarına kadar saklama kaplarına konularak ağzı sıkıca kapatılmış ve $+4^{\circ}\text{C}$ 'deki buzdolabında saklanmıştır. Kurutulmayan diğer kısım ise atık karakterizasyonun belirlenmesi için kullanılmıştır.

Anaerobik çürütme işleminde örneklerin üzerine belirlenen miktarda aşı çamuru ilavesi yapılmıştır. Aksaray SÜTAŞ fabrikasının anaerobik çürütücüsünün tabanından alınan çamur bu çalışmada aşı çamuru olarak kullanılmıştır.

3.2 Analitik Metotlar

3.2.1 % Nem tayini

Saat camları 103°C’de 2,5 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan saat camları desikatöre koyularak 45 dakikada oda sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Sabit tartıma gelmesinden sonra darası hassas terazi (Presisa, XB 220A) ile belirlenmiştir (A g). Homojen karışıma getirilen ham numunelerden 25 g saat camlarına konulmuştur. 103°C’de 2,5 saat etüvde bekletilmiştir. Daha sonra etüvden çıkarılan örnekler desikatörde 45 dakika bekletilmiştir ve tartım sonucu alınmıştır (B g). Nem miktarını aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (ASTM D 3173). Atıkların karakterizasyonunun belirlenmesi için tespit edilmiştir.

$$\%Nem = 100 - [(B - A) * 4] \quad (3.1)$$

3.2.2 % Kül tayini

Porselen krezeler 103°C’de 2,5 saat boyunca etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan porselen krezeler desikatöre konulmuş ve 45 dakika sonra çıkartılmıştır. Sabit tartıma getirilen porselen krezelerin darası alınarak kaydedilmiştir (A g). Nemi giderilen örneklerden 2 g alınmış 725°C’de 1 saat kül fırınında (Protherm, 100/3) tutulmuştur. Daha sonra desikatörde 45 dakika bekletilmiş ve tartım sonucu kaydedilmiştir. (B g) Kül miktarını aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (ASTM D 1102).

$$\%Kül = 100 - [(B - A) * 50] \quad (3.2)$$

3.2.3 %Uçucu madde tayini

Sabit tartıma getirilen porselen krezelerin darasını alınmıştır (A g). Daha sonra nemi giderilen örneklerden 2 g alınmış ve 950°C’de 7 dakika kül fırınında yakılmıştır. Daha sonra krezeler sabit tartıma getirilmiş ve hassas terazi ile tartılmıştır (B g). Aşağıdaki eşitliğe göre uçucu kül miktarı hesaplanmıştır (ASTM D 3175).

$$\%Uçucu\ madde = 100 - [(B - A) * 50] \quad (3.3)$$

3.2.4 % Selüloz tayini

M gram örnek alınmıştır. Solvent extractor cihazının (Velp Scientifica, SER 148) cam balonuna 25 mL örtücü çözeltisi (70 mL %70 lik asetik asit, 5 mL derişik nitrik asit ve 2 g trikloasetik) konulmuştur. 30 dakika boyunca sokslet cihazında kaynatılmıştır ve

soğumaya bırakılmıştır. Sonra sabit tartıma getirilmiş 0,45 µm çaplı (Millipore) filtre kağıtları ağırlıkları belirlenmiştir (M_1 g) ve süzme setinin üzerine konulmuştur. Sokslet cihazındaki çözelti filtre kağıdından süzölmüştür. Daha sonra sırasıyla filtre kağıdı ve balon %70'lik asetik asit ile bir kere, sıcak saf su ile 3 kere daha sonra bir kez asetonla son olarak da eterle yıkanmıştır. Süzme işlemi bittikten sonra filtre kâğıtları 103°C'de 2,5 saat etüvde kurutulmuş ve sabit tartıma getirilmiştir (M_2 g) Aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak gravimetrik olarak selüloz miktarı belirlenmiştir. Atık karakterizasyonlarının belirlenmesi için ölçölmüştür.

$$\% \text{Selüloz} = (M_2 - M_1) / M * 100 \quad (3.4)$$

3.2.5 Askıda katı madde (AKM) tayini

Aşı çamurları için askıda katı madde (AKM) miktarı hesaplanmıştır. Filtreden geçmeyen katı maddeler olarak ifade edilen AKM, aşı numunesi önce filtre edilmiş, daha önce sabit tartıma getirilmiş olan filtre kağıdı (B g) üzerinde kalan maddelerle birlikte 103°C'de kurutulmuş ve daha sonra tekrar tartılmıştır (A g). Bu iki tartım arasındaki farktan AKM konsantrasyonu tayin edilmiştir (SM 2540 D).

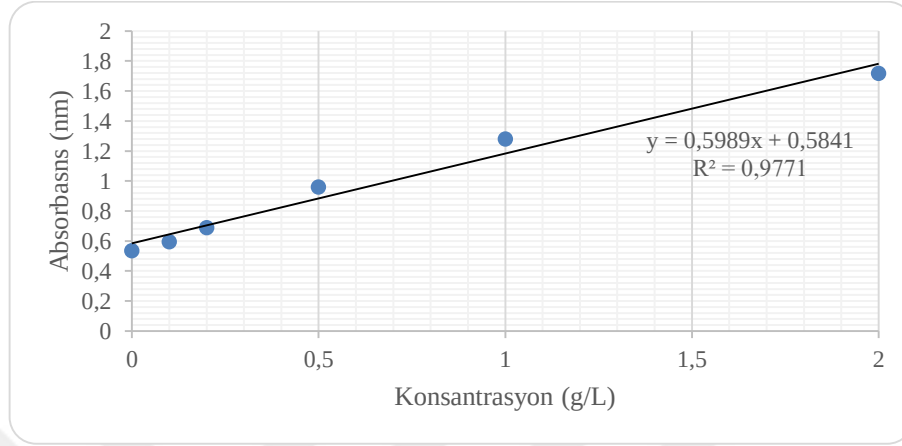
$$\text{Askıda Katı Madde} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = (A - B) * \frac{1000}{\text{mL numune}} \quad (3.5)$$

3.2.6 Protein tayini

Coomassie Brilliant Blue G-250 metoduna göre protein içeriği belirlenmiştir. Önce 100 mg Coomassie Brilliant Blue G-250, 50 mL %95 saflıkta etanolde çözölmüştür sonra 100 mL %85 saflıkta perklorik asit ilave edilmiş ve 1 L saf suya tamamlanarak protein reaktifi hazırlanmıştır. Protein analizinde standart olarak sığır serumu (Bovine serum albümin, BSA) kullanılarak 0, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0 g/L olacak şekilde standartlar hazırlanmıştır. Hazırlanan standartlardan 0,1 mL alınmış ve üzerlerine 5 mL protein reaktifi ilave edilerek kuvvetli bir şekilde vorteks (Velp Scientifica, Classic) cihazında karıştırılmıştır. Hazırlanan standartlar 15 dakika içinde spektrofotometre yardımıyla (Shimadzu, UV-1280) 595 nm'de okunmuş ve kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur..Oluşturulan kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak hem ön işlemler sonrasındaki süzöntü suyunda hem de ham atığın santriföjlendikten sonraki üst sıvısı kullanılarak protein miktarı belirlenmiştir (Feng et al., 2009b). Çözönmüş protein

miktarının BMP analizlerindeki etkilerinin belirlenmesi için ölçümler ön arıtlardan sonra yapılmıştır.

Örneklerin protein miktarının belirlenmesi için 5 nokta 0 g/L, 0,1 g/L, 0,2 g/L, 0,5 g/L, 1,0 g/L, 2,0 g/L) oluşturulan kalibrasyon eğrisi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Protein analizleri için kalibrasyon eğrisi.

3.2.7 pH tayini

Ön arıtım uygulanan ve uygulanmayan örneklerin üst sıvıları alınmış ve pH cihazı (Hach, HQ440d Multi) ile ölçülmüştür (SM 4500-H⁺). Kimyasal ön arıtım çalışmalarında belirlenen pH değerlerini belirlemek amacıyla ölçümler yapılmıştır.

3.2.8 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), kapalı reflux-titrimetrik yöntemiyle tespit edilmiştir. Ön arıtım uygulanan ve ön arıtım uygulanmayan örneklerin üst sıvılarından 2,5 mL alınmış 1,5 mL parçalama çözeltisi ve üzerine 3,5 mL H₂SO₄ ilave edilerek 148°C’de 2 saat temoreaktörde (WTW, CR 4200) bekletilmiş ve oda sıcaklığına geldikten sonra ferroin indikatörü kullanılarak demir amonyum sülfat (DAS) ile titrasyon yapılarak harcanan miktardan KOİ değerleri hesaplanmıştır. DAS molaritesinde değişimler oluşması nedeniyle DAS’ ın normalitesi 10 mL saf suyun üzerine 5 mL parçalama çözeltisi konularak seyreltilmiş ferroin indikatörü yardımıyla sarf edilen DAS miktarından molaritesi hesaplanır (SM 5220 C). Aynı işlemler üst sıvı süzülerek gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda çözünmüş KOİ değerleri belirlenmiştir. Çözünmüş KOİ değerindeki değişimlerin metan potansiyeli üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla her bir ön arıtım işleminden sonra ölçülmüştür.

3.2.9 5 Günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) tayini

Numuneler belirlenen miktarlarda hava sızdırmaz bir şişeye (BOİ şişesi) doldurulmuş ve 5 gün 20±1°C sıcaklıkta inkübe edilmiştir. 1. gün ve 5. gün çözünmüş oksijen miktarı (WTW, Oxitop IS 12) ölçülmüştür. İlk ve son çözünmüş oksijen arasındaki farktan numunenin BOİ₅ değeri hesaplanmıştır (APHA, 1998).

3.2.10 Çamur hacim indeksi (ÇHİ) tayini

Son zamanlarda çamurun çökebilirliğini ölçmek için çamur hacim indeksi (ÇHİ) kullanılmaktadır. Genel olarak 150 mL/g ‘dan büyük ÇHİ çamur şişmesi olarak kabul edilir. Çamurun AKM miktarı belirlenmiştir. Örnekler iyice karıştırılmış ve 1000 mL imhof hunisine konulmuştur. 30 dakika çökme süresi sonunda ıslak hacmi tespit edilmiş ve AKM değerine bölünerek ÇHİ belirlenmiştir (Han vd., 2017). Aşı çamurunun karakterizasyonun belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.2.11 Anyon tayini

Numunelerin üst sıvıları alınarak 0,45 µm filtrelerden süzölmüştür. Örneklerdeki anyonlar iyon kromatografi (IC, Dionex) cihazı yardımıyla tespit edilmiştir. Süzölen örnekler eluent akışı içine enjekte edilmiş ve iyon değiştirme serilerinin içinden geçirilmiştir. Güçlü bazik anyon değiştirici, düşük kapasitesi için bağıl eğilimleri temeline dayanarak ilgilenilen anyonlar ayrılmıştır (gard ve analitik kolonlar). Alıkonma süreleri standartlar ile karşılaştırılmış ve pik yükseklikleri ile pik alanlarından konsantrasyonları hesaplanmıştır (SM 4110 B). Ön arıtmalar sonucunda örneklerdeki anyonların değişimlerini belirlemek için ölçülmüştür.

3.2.12 Toplam organik karbon (TOC) tayini

Toplam organik karbon (TOC) derişimini belirlemek amacıyla numune homojen bir hale getirilmiş ve gerekli oranlarda seyreltmeler yapılmıştır. TOC ölçüm cihazında, oksitlemeye yardımcı bir katalizörün (örneğin kobalt oksit) yer aldığı fırın bölgesine numune mikro ölçekte enjekte edilmiştir. Yüksek sıcaklığın etkisiyle su buharlaşır ve organik karbonlar CO₂ gazına ve su buharına dönüştürölmüştür. Organik ve inorganik karbonun oksitlenmesinden oluşan karbondioksit taşıyıcı gaz ile taşınır ve kızılötesi ışınlar yardımıyla (Shimadzu, TOC-VCPN/TNM-1) TOC miktarları ölçölmüştür (SM 5310 B).

3.2.13 Vizkozite

Ön işlemler sonucunda üst sıvısı alınarak süzülen örneklerin vizkozite değeri vizkozimetre cihazı (AND, SV-10) ile ölçülmüştür. Numune içerisine iki adet ince sensör plaka daldırılmıştır. Yaylı plakalar belirli bir frekansta titreştirildiğinde (vibrasyon) plakalar ile numunenin viskozitesine bağlı olarak bir sürtünme kuvveti oluşturur. Numunenin sürtünme kuvveti doğrudan numunenin viskozitesi ile orantılıdır. Örneğin vizkozite değeri centipoise (cP) cinsinden ölçülmüştür. Ön arıtım yöntemlerinin örneklerin akışkanlığı üzerindeki etkilerini belirlemek için ölçülmüştür.

3.2.14 Elementel analiz

Ham örnekler için (elma posası ve arıtma çamuru) %N, %C, %H, %S miktarları elementel analiz cihazı (Thermo Scientific, Flash 2000) ile belirlenmiştir.

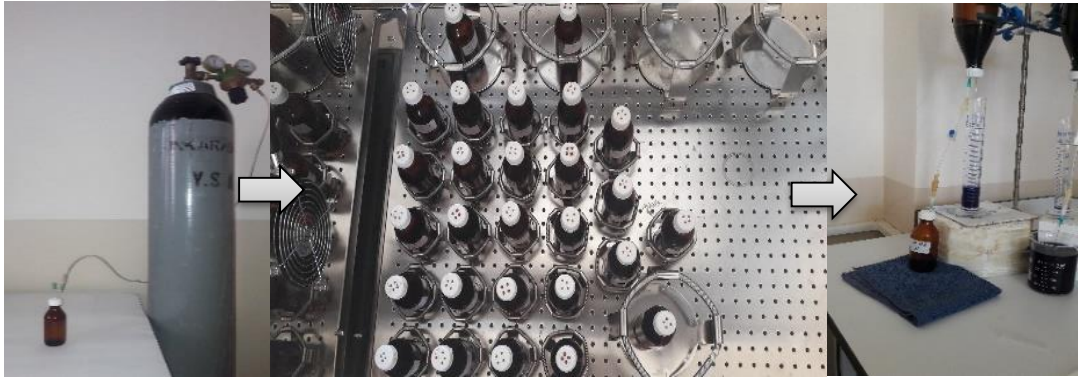
3.2.15 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromanyetik lenslerle inceltiren elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkanı sunar. Mikroskopta oluşturulan resimler, elektron demetinin malzeme ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışımlar veya geri yansıyan elektronlar sayılarak oluşturulur. Örneklerin SEM görüntüleri elektronik mikroskop (Quanta, FEG 250) cihazıyla çekilmiştir. Ön arıtlardan sonra örneklerin yüzey morfolojisindeki değişimleri belirlemek amacıyla çekimler yapılmıştır.

3.2.16 Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) analizi

Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) substratlar arasında hangi tür substratın metan oluşturma potansiyelinin uygun olacağının belirlenmesinde kullanılır. Buna ek olarak BMP deneyleri, ko-parçalama (birlikte parçalama) amaçlandığında ko-sindirimler arasında optimum oranı tahmin etmek için de kullanılabilir. Ayrıca BMP deney sonuçları, substratın anaerobik parçalanabilirliğinin belirlenmesinde kullanılır. BMP testleri için ayrıntılı prosedür olmamasına rağmen, çeşitli BMP testlerinde benzer prosedürler izlenmiştir. Birçok araştırmacı aşıdan metan üretimi için blank (kör) yaklaşımını kullanmıştır. Blank deney yönteminde aşıdan üretilen metan miktarı substrattan elde edilen metan miktarından çıkartılır (Elbeshbishy vd., 2012). Elma posasının ve arıtma çamurlarının anaerobik parçalanması üzerinde ön işlemlerin

etkilerini belirlemek adına BMP deneyleri yapılmıştır. BMP deneyleri ön arıtım çalışmaları sonunda çözünmüş KOİ miktarının ve en yüksek çözünmüş protein miktarlarının elde edildiği ön arıtım şartları için ayrı ayrı yapılmıştır. Belirlenen ön arıtlar yapıldıktan sonra 4000 mgCaCO₃/L alkalinite konsantrasyonun sağlanması amacıyla sodyum bikarbonat (NaHCO₃) ilavesi yapılmıştır. Her bir örneğin üzerine eşit miktarda aşı çamuru ilave edildikten sonra sızdırmaz kauçuk tıplar ile ağızları kapatılan tüpler 2 dakika boyunca azot gazından geçirilmiş 36,5°C'deki inkübasyona (Zhicheng, ZHWY-221D) konulmuştur. 3 saat sonra her bir tüpün gazı alınmış 24 saat sonra BMP ölçümlerine başlanmıştır. BMP testleri 30 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. BMP testleri sıvı yer değiştirme yöntemiyle belirlenmiştir (Kim vd., 2006). %11 KOH çözelti hazırlanmış ve bu çözeltinin içerisine timol mavisi ilave edilmiştir. Oluşan metan miktarı sıvıdaki yer değiştirmeye göre hesaplanmıştır. Ölçülen değerler 0°C 1 atmosfer basıncındaki mLCH₄/gUKM değerine çevrilmiştir. BMP analizi Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) analizleri

3.2.17 Spesifik metan aktivite (SMA) analizi

Glikoz (5 g/L), sodyum bikarbonat (3g/L) (NaHCO₃), mineral ortam ve SMA analizi yapılacak çamur (2g/L) etkin hacmi 80 mL olacak şekilde amber renkli şişelere konulmuştur. Şişeler kauçuk tıpa ile kapatılarak %30 CO₂ ve %70 N₂ karışımli gaz tüpüne bağlı şırınga iğnesi yardımıyla 2-3 dakika gazdan geçirilmiştir. Şişeler 2 saat sonra inkübasyon ortamında tutulduktan sonra gaz basıncı şırınga iğnenin kauçuk tıpa batırılması ile atmosfer basıncına eşit hale getirildikten sonra günlük SMA analizleri %11 KOH çözeltisindeki yer değiştirmeye göre belirlenmiştir.

3.2.18 İstatiksel analizler

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçların korelasyon analizleri ve temel bileşen analizleri SPSS 24 (IBM Inc., USA) yazılımı ile yapılmıştır. Temel bileşen analizinde Kaiser Normalizasyonu içeren Varimax Rotasyonu kullanılmış ve Eigenvalue değeri 1'den büyük temel bileşenler ekstrakte edilerek, faktör yükü 0.5'ten yüksek parametre yükleri dikkate alınmıştır. Hem korelasyon analizleri hemde temel bileşen analizi araştırmada kullanılan tüm ön işlem metodları için uygulanmıştır. En yüksek çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda uygulanan BMP test sonuçları da benzer istatiksel analizlerle irdelenmiştir.

3.3 Numunelere Uygulanan Ön İşlemler

%10 katı madde olacak şekilde elma posalarının ve arıtma çamurlarının sulu karışımları hazırlanmıştır. Karıştırma işleminden sonra 10 dakika beklenilerek örneklerin homojenliği sağlanmıştır. Belirlenen işletme sürelerinde ve sıcaklıklarında ön işlemler yapılmış ve çözünür kısımları için analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Termal ön işlemler

%10 katı madde içeren elma posaları ve arıtma çamurları için 24, 40, 50 ve 60°C işletme sıcaklıklarında belirlenen her bir işletme süresi için termal ön işlemler yapılmıştır. Termal ön işlemler inkübatör (Zhicheng, ZHWY-208 B) içerisinde gerçekleştirilmiş ve süzüntü suyu alınmadan önce oda sıcaklığında 15 dakika boyunca soğumaya bırakılmıştır. Şekil 3.3'te termal ön işlemlerin yapılışı gösterilmiştir.



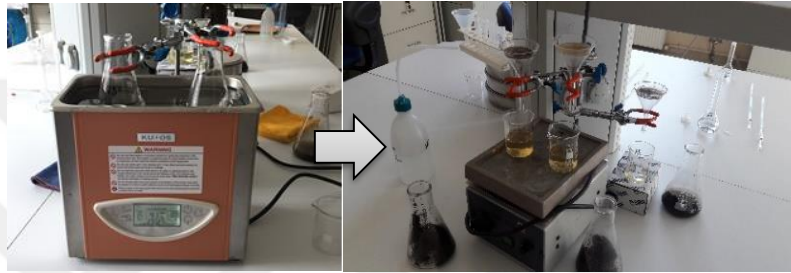
Şekil 3.3: Termal ön işlemlerin uygulanması.

3.3.2 Ultrases ön işlemler

Ultrases cihazında (Kudos, LHC Heating) su ortamı yardımıyla hazırlanan örnekler oda sıcaklığında 35 ve 53 kHz frekanslarda ses dalgaları verilmiştir. Ses dalgalarına bağlı olarak zamanla su ortamında ısınmalar meydana gelmiş ve ısınma etkisinin önlenmesi için buz aküsü ve soğuk su ilaveleri yapılmıştır.

3.3.3 Termal-ultrases ön işlemler

Ultrases cihazı ile farklı frekanslarda 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda ön işlemler uygulanmıştır. Şekil 3.4'te termal-ultrases kombine ön işlemleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Termal-ultrases ön işlemlerin uygulanması ve örneklerin süzülmesi.

3.3.4 Kimyasal ön işlemler

Arıtma çamurlarının ve elma posalarının %10 katı madde içeriğine sahip örnekleri NaOH ve H₂SO₄ (Merck) stok asit ve baz çözeltileri kullanılarak oda sıcaklığında pH<2, pH 5 ve pH 10 değerlerine getirilmiş ve işletme süreleri boyunca ön işlemler gerçekleştirilmiştir. Kimyasal işlemlerde kullanılan bütün kimyasallar yüksek saflıkta (<99) ve ultrasaf su kullanılarak hazırlanmıştır.

3.3.5 Termo-kimyasal ön işlemler

pH değerlerinin ayarlanmasından sonra örnekler, belirlenen işletme sıcaklığında ve sürelerinde ön arıtım yapılması için inkibatörün içerisine konulmuştur. İnkibatörden çıkarılan örnekler oda sıcaklığına gelmesi için 10 dakika boyunca bekletilmiş ve süzme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.4 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada da tanecik boyutları ve katı madde miktarı bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Yapılan çalışmalardan anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen ham maddenin katı miktarı kütlece %6 ile %10

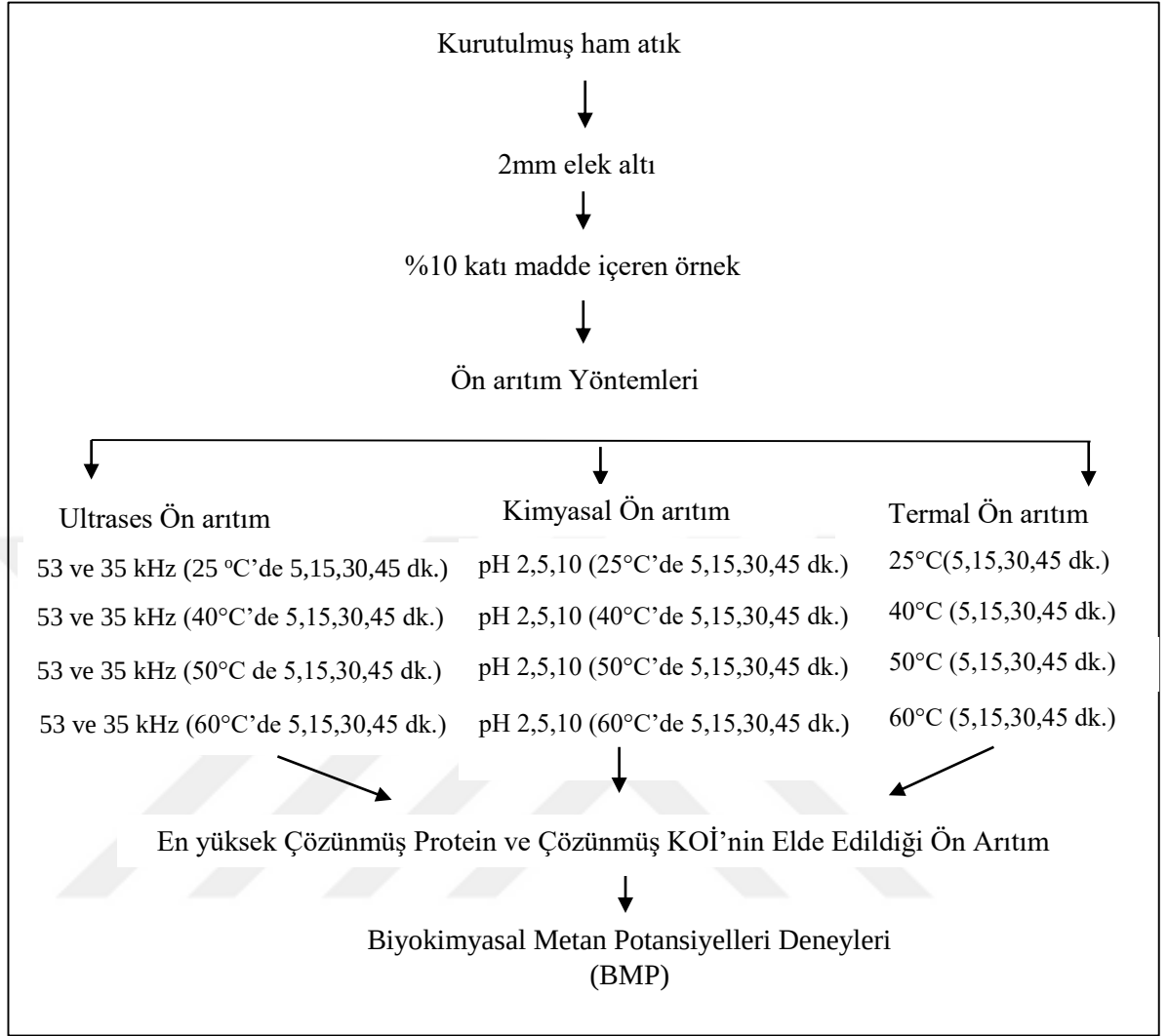
arasında olduğuunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin katı madde oranı %12’ den fazla olması durumunda ise dřtđđ rlmştr. (Lay vd., 1997). Bu nedenle deneysel çalışmalarda kullanılan katı örnekleri için ktlice %10 katı madde içeren sulu karışımlar hazırlanmıştır. Her iki numune içinde yapılan çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. aşama: %10 katı madde içeren örnekler ön arıtım çalışmaları için önceden belirlenmiş işletme sürelerinde ve sıcaklıklarında yapılmıştır. Geçmiş yıllarda düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen termal ön arıtım çalışmalarında metan üretiminin verimli olduğu tespit edilmesinden dolayı işletme sıcaklıkları 24, 30, 50 ve 60°C seçilmiştir (Protot vd.,2011; Appels vd.,2008). 5, 15, 30 ve 45 dakikalık işletme süreleri ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır. Her bir ön arıtım işlemi sonunda örnekler 0,45 m gözenek çapında olan filtrelerden szlmştr.

2. aşama: Yapılan her bir ön arıtım çalışmalarında en yüksek çözünmüş protein değerlerinin ve znmş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlar belirlenmiştir.

3. aşama: Hem znmş protein değerinin hem de znmş KOİ değerinin en yüksek olduğu şartlar için BMP deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel alışmalar izelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1: Çözünmüş protein ve KOİ değerlerine göre yapılan çalışmalar.



Belirlenen işletme sıcaklıkları ve işletme sürelerinde kimyasal, termal, ultrases ön arıtımları gerçekleştirilmiştir. Her bir ön arıtım şartlarında en yüksek çözünmüş protein ve KOİ değerinin elde edildiği ön arıtım yöntemlerinde BMP testleri gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Elma Posasının Karakterizasyonu

Elma posasının süzüntü sularında ve ham yapısında karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları, yapılan ön arıtım işlemlerinin etkilerinin belirlenmesinde yardımcı olmuştur.

Elma posası için yapılan karakterizasyon çalışmalarının sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Elma posasının özellikleri.

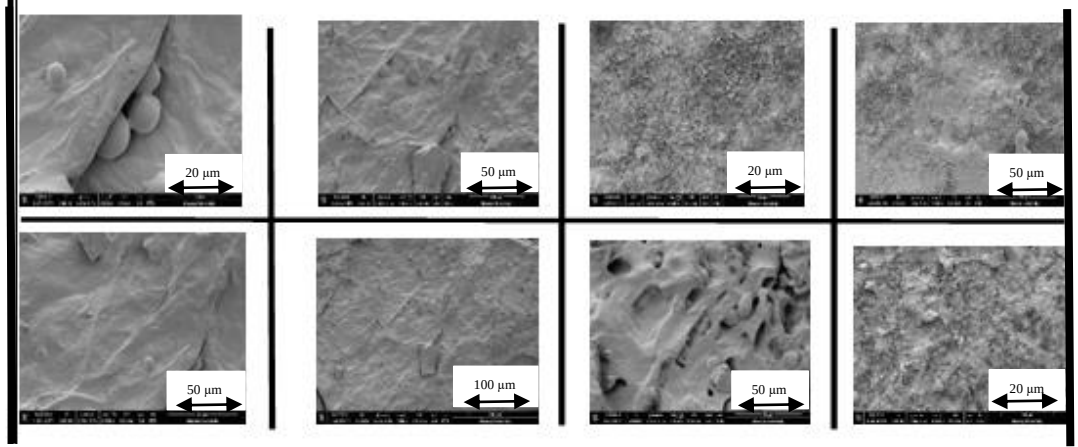
ANALİZ	HAM ATIK	SÜPERNATANT
%Nem	92,00	
%Kül Tayini	2,71	
ÇHİ (mL/30 dk)	4750	
%Uçucu Madde Tayini	99,00	Analiz Yapılmadı
Toplam KOİ (mg/L)	154639	
% Toplam Selüloz	7,47	
Çözünmüş KOİ (mg/L)	Analiz Yapılmadı	32176
BOİ ₅ (mg/L)	20000	12750
Çözünmüş KOİ (mg/L)		32176
Çözünmüş Protein (mg/L)	Analiz Yapılmadı	42,57
Vizkozite (cP)		1,53
%Yağ	0,37	Analiz Yapılmadı
TOC (mg/L)	46097,25	45585
pH	3,80	4,00
İletkenlik (µs/cm)	2400	2000
Sülfat (mg/L)	25,80	27,17
Klorür (mg/L)	61,34	6,83
Florür (mg/L)	500,75	514,93
Nitrat (mg/L)	8,28	2,59
Bromür (mg/L)	1,379	1,590
Fosfat (mg/L)	81,78	47,50

Elma posası karakterizasyon çalışmalarında nem miktarı %92 olarak bulunmuş ve elma posasının akışkanlık özelliğinin fazla olduğu belirlenmiştir. Organik madde

içeriğinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Elma posası asidik pH değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yetiştirildiği toprak özellikleri ve sulama suyuna bağlı olarak yapısında çeşitli anyonlar farklılık göstermiştir. Ölçülen anyonlar arasında en fazla 514 mg/L değerine sahip florür iyonudur. Ham elma posasının çözünmüş protein değeri 42,57 mg/L dir. Toplam KOİ değeri 154639 mg/L çözünmüş KOİ ise 32176 mg/L olduğu bulunmuştur.

Ham elma posasının elementel analiz sonuçları % N:0.47977, % C:43.0027, % H:7.14173, % S:0,05204 olduğu ölçülmüştür.

Ön arıtım yapılmadan önce elma posasının SEM görüntüleri ise Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Elma posasının farklı mesafelerden ve yerlerden görüntüleri.

Elma posası görüntüleri incelendiğinde yüzeyin hemen altında oval şekilde ve parçalanabilmesi muhtemel yapılar gözlemlenmiştir. Daha sonraki kısımlarda ön arıtım etkinliğinin kıyaslanmasında bu oval şekiller incelenmiş arıtma verimleri hakkında açıklamalar yapılmıştır.

4.1.1 Elma posasına uygulanan ön işlemler

4.1.1.1 Termal ön işlemler

Termal ön işlemler 40, 50, 60 ve -18°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.2: 40°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	12000	12000	14000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	89720	90020	92350	104673
Çözünmüş Protein (mg/L)	74,23	102,90	72,42	87,34
Vizkozite (cP)	1,77	2,03	2,07	2,11
pH	4,36	4,38	4,36	4,36
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	32700	37620	35020	35600
Sülfat (mg/L)	86,31	113,66	109,04	111,93
Klorür (mg/L)	12,31	16,37	11,76	11,60
Florür (mg/L)	233,89	242,23	205,33	219,29
Nitrat (mg/L)	13,48	13,52	11,98	13,27
Bromür (mg/L)	0,78	0,88	0,83	0,85
Fosfat (mg/L)	68,17	75,13	75,81	72,08

40°C termal ön arıtım çalışmalarında en yüksek 5 günlük BOİ değeri 45 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Çözünmüş KOİ işletme süresiyle doğru orantılı olarak artış göstermiştir. En yüksek çözünmüş protein değeri 102,90 mg/L olarak bulunmuştur. İşletme süresindeki artışlar çözünmüş KOİ konsantrasyonlarında artışlara neden olmuştur.

Çizelge 4.3: 50°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	6000	8000	8000	8000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	54701	64701	82051	109402
Çözünmüş Protein (mg/L)	88,54	92,13	80,12	83,32
Vizkozite (cP)	1,78	1,80	1,90	2,10
pH	4,37	4,41	4,34	4,40
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	31800	34820	35420	35280
Sülfat (mg/L)	100,00	71,76	81,97	100,77
Klorür (mg/L)	7,78	11,41	9,32	16,14
Florür (mg/L)	223,94	223,94	229,90	225,82
Nitrat (mg/L)	11,97	15,05	14,08	13,67
Bromür (mg/L)	0,85	0,84	0,77	0,81
Fosfat (mg/L)	108,82	87,37	82,23	80,44

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi işletme süresine bağlı olarak vizkozite değerleri sırasıyla 1,78 cP, 1,80 cP, 1,90 cP ve 2,10 cP olduğu belirlenmiştir. 5 günlük BOİ değerleri ön arıtım çalışmaları sırasında 6000-8000 mg/L değerlerinde değişkenlik göstermiştir. Çözünmüş KOİ miktarının en yüksek olduğu işletme süresi 45. dakika ve bu işletme süresinde 109402 mg/L olduğu belirlenmiştir. 40°C termal ön arıtım çalışmalarıyla kıyaslandığında çözünmüş KOİ konsantrasyonlarında azalmalar tespit edilmiştir. Sürenin çözünmüş KOİ değerlerindeki artırıcı etkisi belirgin şekilde gözlemlenmiştir. Florür anyonu işletme süresine bağlı olarak çözünme miktarlarında değişkenlik göstermemiştir.

Çizelge 4.4: 60°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10000	12000	12000	12000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	60377	90566	120755	135849
Çözünmüş Protein (mg/L)	76,34	89,55	85,14	80,89
Vizkozite (cP)	1,82	1,96	2,04	2,22
pH	4,28	4,29	4,31	4,29
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	31760	35600	35100	35960
Sülfat (mg/L)	100,76	110,46	109,77	110,95
Klorür (mg/L)	16,63	21,29	22,17	21,56
Florür (mg/L)	232,92	233,68	218,60	217,34
Nitrat (mg/L)	14,00	14,74	8,48	14,05
Bromür (mg/L)	0,81	0,82	0,86	0,85
Fosfat (mg/L)	62,64	66,98	66,17	71,35

Sıcaklığın 60°C'ye çıkarılmasıyla yapılan ön arıtım çalışmalarında vizkozitenin 2,22 cP değerlerine çıktığı belirlenmiştir. İşletme sıcaklığının ve sürenin artması posanın vizkozluğunu artırdığı gözlemlenmiştir. 5 günlük BOİ değeri 15 dakika ve üstü işletme sürelerinde 12000 mg/L olarak tespit edilmiştir. Çözünmüş protein konsantrasyonu 89,55 mg/L en yüksek değer olarak 15. dakika işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Termal ön arıtım çalışmalarında çözünmüş KOİ konsantrasyonun en yüksek olduğu şartlar, 60 °C termal ön arıtmada 45 dakika işletme süresinde elde edilmiştir. Sıcaklığın ve işletme süresinin artması çözünmüş KOİ değerlerinde artışlara neden olmuştur.

Çizelge 4.5: -18°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	8000	8000	8000	6000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	39702	39702	39702	39702
Çözünmüş Protein (mg/L)	68,50	67,91	61,12	56,72
Vizkozite (cP)	1,94	1,95	1,95	1,95
pH	4,32	4,39	4,35	4,33
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	26480	34100	17664	18706
Sülfat (mg/L)	5,76	2,29	78,72	80,28
Klorür (mg/L)	8,77	7,95	3,85	3,99
Florür (mg/L)	167,12	141,18	136,87	127,00
Nitrat (mg/L)	5,37	3,79	3,03	4,13
Bromür (mg/L)	0,44	0,30	0,36	0,34
Fosfat (mg/L)	44,78	64,95	36,66	59,51

Soğutarak yapılan termal ön işlemler sonunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir. -18°C termal ön arıtım çalışmalarında çözünmüş KOİ işletme süresine bağlı olarak değişkenlik göstermemiştir. Tüm işletme sürelerinde 39702 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan ön işlem elma posasının kimyasal yapısını bozmadığını göstermiştir. Süreye bağlı olarak çözünmüş protein konsantrasyonları azalmıştır. En yüksek çözünmüş protein değeri 68,50 mg/L olarak 5 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Ön arıtım sonucunda numunenin vizkoz özelliği değişmemiş ve 1,95 cP değerinde kalmıştır. 5 günlük BOİ değeri 8000 mg/L'den 45 dakikalık işletme süresi sonunda 6000 mg/L'ye düştüğü belirlenmiştir.

4.1.1.2 35 kHz ultrases ön işlemler

Ultrases çalışmaları, oda sıcaklığın da (25°C), 40, 50 ve 60°C'deki sıcaklıklarda belirlenen süre aralıklarında ultrases cihazı (Kudos) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.6: 35 kHz 25°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	12000	12000	12000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	57658	67658	77658	96096
Çözünmüş Protein (mg/L)	83,71	67,91	91,87	97,93
Vizkozite (cP)	1,80	1,80	1,82	1,85
pH	4,34	4,29	4,29	4,29
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	34280	35140	33640	32960
Sülfat (mg/L)	142,65	144,99	137,63	136,88
Klorür (mg/L)	17,49	13,62	15,37	13,07
Florür (mg/L)	193,15	193,76	189,18	188,04
Nitrat (mg/L)	10,73	6,90	10,70	6,27
Bromür (mg/L)	0,55	0,83	0,63	0,68
Fosfat (mg/L)	93,88	101,97	92,27	136,88

25°C ultrases ön işlemlerinde 5 günlük BOİ deneysel çalışmalar boyunca sabit kalmıştır. Vizkozite değeri 1,80-1,85 cP değerleri arasında ölçülmüştür. Çözünmüş KOİ konsantrasyonu işletme süresiyle artış eğilimi göstermiştir. 45 dakikalık işletme süresi sonunda 96096 mg/L konsantrasyonuna ulaşmıştır.

Çizelge 4.7: 35 kHz 40°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	10000	12000	14000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	40529	53744	56388	43172
Çözünmüş Protein (mg/L)	90,98	81,97	89,41	100,85
Vizkozite (cP)	1,70	1,81	1,83	1,75
pH	3,94	4,17	4,18	4,16
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	33460	32020	29500	29640
Sülfat (mg/L)	166,78	167,13	157,70	159,59
Klorür (mg/L)	21,42	25,61	21,53	22,52
Florür (mg/L)	171,52	167,43	147,05	151,51
Nitrat (mg/L)	3,17	4,02	3,84	3,38
Fosfat (mg/L)	129,50	142,10	182,14	187,57

35 kHz frekansında ultrases dalgalarını 40°C sıcaklığında yapılan ön arıtım çalışmaları sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Uzun işletme sürelerinde vizkozite değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 30 dakika işletme süresi üzerinde gerçekleştirilen işletme sürelerinde çözünmüş KOİ değerinde düşüşler belirlenmiştir. 30 dakika işletme süresi sonunda alınan örnekte yapılan analiz sonucunda çözünmüş KOİ konsantrasyonu 56388 mg/L olduğu belirlenmişken 45 dakika sonunda alınan örnekte konsantrasyon 43172 mg/L’ ye düşmüştür. Bu ön arıtım şartlarında 30 dakikalık işletme süresinin kritik işletme süresi olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8: 35 kHz 50°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	10000	12000	14000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	47254	50794	49794	48476
Çözünmüş Protein (mg/L)	86,55	83,16	90,14	105,91
Vizkozite (cP)	1,73	1,95	1,99	1,75
pH	4,30	4,28	4,00	3,93
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	33620	34640	30620	27960
Sülfat (mg/L)	116,53	119,58	100,51	115,12
Klorür (mg/L)	19,56	17,15	15,53	17,73
Florür (mg/L)	187,88	187,58	169,74	157,46
Nitrat (mg/L)	4,63	3,12	4,89	4,86
Bromür (mg/L)	0,52	0,71	0,35	0,83
Fosfat (mg/L)	178,22	177,84	130,74	175,53

Ultrases ön arıtım çalışmalarında sıcaklığın 50°C'ye çıkarılması sonucunda en yüksek 5 günlük BOİ 45 dakikalık işletme süresi sonunda, en yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonları 15 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Çözünmüş protein değerleri sırasıyla 86,55, 83,16, 90,14 ve 105,91 mg/L olarak ölçülmüştür. Vizkozite değeri 30 dakikalık işletme süresinde liner artış elde edilmesine rağmen 45 dakikalık işletme süresinde 1,75 cP değerine düşmüştür. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen ultrases ön işlemleriyle kıyaslandığında çözünmüş KOİ konsantrasyonlarında azalmalar, çözünmüş protein değerlerinde ise artışlar olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9: 35 kHz 60°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	14000	16000	18000	22000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	99317	50114	47380	46256
Çözünmüş Protein (mg/L)	104,72	144,60	155,21	165,37
Vizkozite (cP)	2,20	1,82	1,76	1,75
pH	4,10	3,87	3,89	3,76
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	29360	31940	33600	34240
Sülfat (mg/L)	159,19	175,66	181,45	182,25
Klorür (mg/L)	15,20	17,48	18,15	12,62
Florür (mg/L)	158,34	176,68	182,41	164,68
Nitrat (mg/L)	3,89	4,78	4,00	3,95
Fosfat (mg/L)	88,20	111,41	128,43	138,81

Çizelge 4.9'daki sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artması 5 günlük BOİ'nin artmasında önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. İşletme süresinin artması çözünmüş KOİ değerinin azalmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak vizkozite değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. İşletme süresinin artması elma posası süzüntü sularında vizkoz değerini artırdığı sonucunun çıkarılmasını sağlamıştır.

Düşük frekanslı ultrases ön işlemlerinde en yüksek çözünmüş KOİ yüksek işletme sıcaklıklarında düşük işletme sürelerinde elde edilmiştir. Ultrases ön işlemlerinde işletme sıcaklığının artması çözünme üzerinde azaltıcı etki göstermesine neden olmuştur. Bundan önceki çalışmalarda uzun ultrases sürelerinde, düşük frekanslarda parçalanmanın etkili olduğu belirlenmesine (Feng vd., 2009a) rağmen elde ettiğimiz sonuçları düşük frekanslı ultrases ön arıtmaları için uzun işletme sürelerinin gerekli olduğunu göstermiştir.

4.1.1.3 53 kHz ultrases ön işlemler

53 kHz frekansta %10 katı madde içeren elma posalarına ultrases ön işlemi uygulanmıştır. Belirlenen işletme şartlarında gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarının sonuçları Çizelge 4.10, 4.11, 4.12, 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.10: 53 kHz 25°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10000	12000	10000	8000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	89542	83385	82624	80411
Çözünmüş Protein (mg/L)	67,76	84,66	67,36	60,87
Vizkozite (cP)	1,95	1,81	1,80	1,78
pH	4,40	4,36	4,35	4,30
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	25600	34520	33860	33180
Sülfat (mg/L)	127,32	148,57	140,15	160,30
Klorür (mg/L)	13,95	21,47	22,30	18,46
Florür (mg/L)	150,95	187,128	185,29	194,64
Nitrat (mg/L)	5,21	6,34	6,89	6,25
Bromür (mg/L)	0,56	0,62	0,63	0,72
Fosfat (mg/L)	153,14	146,17	131,54	161,73

Oda sıcaklığında 53 kHz ultrases ön arıtım çalışmalarında en yüksek çözünmüş KOİ 5 dakikalık işletme süresi sonunda 89542 mg/L olarak hesaplanmıştır. 45 dakikalık işletme süreleri sonunda çözünmüş protein 60,87 mg/L seviyelerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Vizkozite değeri işletme süresine bağlı olarak azalmıştır.

Çizelge 4.11: 53 kHz 40°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	14000	14000	16000	16000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	65120	75975	103835	56981
Çözünmüş Protein (mg/L)	96,10	96,50	114,04	110,09
Vizkozite (cP)	1,76	1,84	2,06	1,66
pH	4,07	4,07	4,05	4,07
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	25460	30260	30040	26780
Sülfat (mg/L)	153,34	174,98	168,08	146,32
Klorür (mg/L)	10,64	11,06	9,50	8,25
Florür (mg/L)	112,68	133,04	126,48	118,74
Nitrat (mg/L)	5,59	5,19	6,05	5,71
Bromür (mg/L)	0,56	0,48	0,44	0,28
Fosfat (mg/L)	229,49	257,26	300,22	264,38

53 kHz ultrases ön arımlarda sıcaklık değerinin 40°C'ye çıkarılmasıyla elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiştir. İşletme sıcaklığının artırılması 5 günlük BOİ artışlara neden olmuştur. En yüksek çözünmüş KOİ 103835 mg/L olarak ölçülmüştür. Vizkozite değeri ilk 30 dakikalık işletme süresi boyunca lineer olarak arttığı belirlenmiştir. Çözünmüş protein en yüksek 30 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir. En yüksek fosfat konsantrasyonu 300,22 mg/L olarak 30 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir.

Aynı ultrases frekans değerinde işletme sıcaklığının 50°C'ye çıkartıldığında gerçekleştirilen ultrases ön arıtım çalışma sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12: 53 kHz 50°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	14000	16000	14000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	58361	110438	118519	121212
Çözünmüş Protein (mg/L)	93,75	126,28	133,47	118,14
Vizkozite (cP)	2,09	2,36	2,41	2,49
pH	4,05	4,04	4,06	4,07
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	28140	33020	34300	27460
Sülfat (mg/L)	196,70	243,95	224,77	195,61
Klorür (mg/L)	24,16	21,50	26,21	23,65
Florür (mg/L)	181,73	201,52	209,85	182,53
Nitrat (mg/L)	5,05	6,51	6,26	5,50
Bromür (mg/L)	0,10	0,11	0,52	0,18
Fosfat (mg/L)	196,06	239,12	277,03	231,39

5 günlük BOİ, çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerlerinin en yüksek olduğu işletme sıcaklığı 30 dakika olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle en uygun işletme süresinin 30 dakika olduğu kabul edilmiştir. İşletme süresinin artması bu parametrelerin azalmasına neden olmuştur. Örneklerin en vizkoz olduğu işletme süresi 45 dakikadır. Bu sürede vizkozite 2,49 cP olarak ölçülmüştür. En yüksek sülfat konsantrasyonu 243,95 mg/L, en yüksek fosfat konsantrasyonu 277,12 mg/L olduğu belirlenmiştir. Florür iyonu 30 dakikalık işletme süreleri sonunda 209,85 mg/L değerlerine çıktığı gözlemlenmiş işletme süresinin artması ile birlikte 182,53 mg/L'ye kadar düşmüştür.

Çizelge 4.13: 53 kHz 60°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	14000	14000	18000	18000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	83537	94664	150348	161485
Çözünmüş Protein (mg/L)	156,68	157,08	170,19	175,04
Vizkozite (cP)	1,88	2,03	2,27	2,30
pH	4,10	4,09	4,08	4,13
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	32160	33240	30460	30240
Sülfat (mg/L)	239,07	255,28	217,84	233,09
Klorür (mg/L)	26,55	27,83	24,20	24,51
Florür (mg/L)	199,30	208,54	190,30	198,38
Nitrat (mg/L)	6,23	6,55	6,57	6,23
Bromür (mg/L)	0,20	0,41	0,57	0,35
Fosfat (mg/L)	268,44	283,64	286,55	301,95

53 kHz 60°C’de gerçekleştirilen ultrases ön işlemleri benzer frekansta farklı sıcaklıktaki ön işlemler ile kıyaslandığında 5 günlük BOİ, çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerlerinde artışlar belirlenmiştir. Aynı sıcaklıkta 35 kHz ultrases ön işlemleri ile kıyaslandığında çözünmüş KOİ ve proteinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. 15 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilen çözünmüş KOİ konsantrasyonu 94664 mg/L iken 30 dakika sonunda KOİ konsantrasyonu 150348 mg/L’ye yükselmiştir. Süreye bağlı olarak süzüntü suyunun vizkozite değerinde artışlar meydana gelmiştir. Yüksek frekansta elde edilen sonuçlar, çözünme işleminde yüksek enerji uygulamaların düşük enerji uygulamalarına daha etkili olduğu çalışma sonuçlarını doğrulamıştır (Feng vd., 2009a).

4.1.1.4 pH<2 kimyasal ön işlemler

Hazırlanan %10'luk elma posasının pH değeri 3,80 - 4,2 değişmesi nedeniyle pH değerlerini 2'nin altına düşürmek için 1 M H₂SO₄ çözeltisi kullanılmıştır. pH<2'ye ayarlanmasından sonra istenilen işletme sıcaklığının sağlanması için erlenmayerler inkibatörün içerisine konulmuştur.

Çizelge 4.14: pH<2 25 °C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10000	8000	10000	10000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	59245	79954	52384	19299
Çözünmüş Protein (mg/L)	48,03	35,35	44,98	47,98
Vizkozite (cP)	1,68	1,79	1,65	1,57
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	24200	24520	24880	24440
Sülfat (mg/L)	335,24	326,48	381,63	341,09
Klorür (mg/L)	11,42	10,41	10,78	10,89
Florür (mg/L)	174,74	147,12	166,24	189,89
Nitrat (mg/L)	3,74	3,96	3,02	3,87
Bromür (mg/L)	0,56	0,74	0,78	0,65
Fosfat (mg/L)	368,84	389,60	385,91	379,89

Çözünmüş protein değerlerinde belirgin değişimler gözlemlenmemiştir. İşletme süresinin 45 dakikaya çıkarılması çözünmüş KOİ değerini düşürdüğü görülmüştür. 15 dakikalık işletme süresi hariç diğer işletme sürelerinde 5 günlük BOİ 10000 mg/L olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.15: pH<2 40°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	12000	12000	12000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	70932	68238	79012	65554
Çözünmüş Protein (mg/L)	73,16	80,61	77,13	79,36
Vizkozite (cP)	1,75	1,80	1,85	1,77
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	18934	19464	20340	20100
Sülfat (mg/L)	278,22	348,04	387,64	271,77
Klorür (mg/L)	12,21	11,41	10,86	10,12
Florür (mg/L)	154,21	168,21	156,79	179,22
Nitrat (mg/L)	3,21	3,56	3,25	3,96
Bromür (mg/L)	0,85	0,41	0,52	0,98
Fosfat (mg/L)	354,99	356,66	378,42	377,57

pH<2 40°C’de gerçekleştirilen kimyasal ön işlemlerde 5 günlük BOİ bütün işletme sürelerinde 12000 mg/L olarak ölçülmüştür. İlk 30 dakikalık işletme süreleri sonunda çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerleri liner olarak artış göstermiştir. 45 dakika sonunda bu parametre konsantrasyonlarında düşüşler meydana gelmiştir. En yüksek çözünmüş KOİ 30 dakikalık işletme süresi sonunda 79012 mg/L olduğu hesaplanmıştır. Sülfat iyon konsantrasyonu 387,64 mg/L konsantrasyonlarına çıkmıştır. Kullanılan asit ilavesi bunun temel nedenidir. En düşük florür iyonu konsantrasyonu 5 dakika işletme süresi sonunda 154,21 mg/L ölçülmüştür.

Çizelge 4.16: pH<2 50°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	14000	14000	14000	14000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	50479	52592	55634	58592
Çözünmüş Protein (mg/L)	99,78	104,16	109,48	99,10
Vizkozite (cP)	1,62	1,66	1,73	1,79
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	16726	17038	17950	16942
Sülfat (mg/L)	312,14	371,12	357,87	352,17
Klorür (mg/L)	12,12	9,51	10,47	11,74
Florür (mg/L)	174,12	178,74	166,54	189,11
Nitrat (mg/L)	3,12	4,12	4,56	4,65
Bromür (mg/L)	0,74	0,65	0,41	0,89
Fosfat (mg/L)	354,74	376,84	385,24	396,46

pH<2 50°C işletme sıcaklığında gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir. Aynı pH değerine sahip 40°C'de gerçekleştirilen kimyasal ön işlemler sonunda elde edilen 5 günlük BOİ konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında işletme süresine bağlı olarak konsantrasyonun değişmediğini ve 14000 mg/L'ye çıktığı belirlenmiştir. Çözünmüş KOİ işletme zamanına bağlı olarak artmış ve 45 dakikalık işletme süresi sonunda 58592 mg/L'ye kadar çıkmıştır. İşletme süresinin artması numunenin vizkoz özelliğinin artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.17: pH<2 60°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	12000	14000	16000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	33443	28163	38724	57206
Çözünmüş Protein (mg/L)	109,45	110,98	113,61	137,81
Vizkozite (cP)	1,47	1,48	1,53	1,55
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	16926	17488	17238	17118
Sülfat (mg/L)	342,12	345,52	375,42	380,5
Klorür (mg/L)	12,78	11,52	10,65	10,12
Florür (mg/L)	155,45	165,24	172,50	168,30
Nitrat (mg/L)	3,14	3,89	3,45	3,78
Bromür (mg/L)	0,45	0,75	0,84	0,65
Fosfat (mg/L)	324,41	330,85	385,41	390,21

İşletme sıcaklığının 60°C'ye çıkarılmasıyla gerçekleştirilen kimyasal ön işlem çalışmalarında vizkozite değerinde işletme süresine bağlı olarak artışlar elde edilmiştir. Benzer pH değerinde 40°C işletme sıcaklığında gerçekleştirilen kimyasal ön işlemler ile kıyaslandığında elde edilen numunenin vizkozite değerinin daha düşük olduğu sonucu çıkarılmıştır. Biyolojik olarak parçalanabilme özelliği işletme süresiyle artma eğilimi göstermiştir. En yüksek çözünmüş protein 137,81 mg/L olarak ölçülmüştür. pH< 2 kimyasal ön işlemlerin farklı işletme sıcaklıkları incelendiğinde çözünmüş KOİ değerleri başta olmak üzere diğer parametrelerin artmasında önemli katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

4.1.1.5 pH 5 kimyasal ön işlemler

%10 katı madde içeren posaların pH 5'e getirmek için 0,5 M NaOH çözeltisi kullanılmıştır.

Çizelge 4.18: pH 5 25°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	8000	8000	8000	10000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	93129	64673	62086	82781
Çözünmüş Protein (mg/L)	38,00	41,34	34,47	56,21
Vizkozite (cP)	2,41	2,29	2,27	2,35
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	25860	27620	26180	26840
Sülfat (mg/L)	357,72	359,76	358,23	317,37
Klorür (mg/L)	25,85	26,91	24,79	27,85
Florür (mg/L)	171,32	169,57	162,23	167,69
Nitrat (mg/L)	7,37	7,85	8,53	7,21
Bromür (mg/L)	0,14	0,54	0,87	0,11
Fosfat (mg/L)	242,04	195,17	173,05	166,71

En yüksek 5 günlük BOİ 10000 mg/L, en yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonu 93129 mg/L olarak bulunmuştur. 56,21 mg/L çözünmüş protein konsantrasyonu 45 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Farklı işletme sürelerinde çözünmüş protein değerinde değişimler belirlenmiştir. En yüksek vizkozite 5 dakikalık işletme süresi sonunda alınan örneklerde ölçülmüştür.

Çizelge 4.19: pH 5 40°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10000	10000	10000	10000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	64747	89650	69728	44825
Çözünmüş Protein (mg/L)	63,92	63,64	67,07	61,66
Vizkozite (cP)	2,06	2,09	2,02	1,75
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	29640	29460	30840	30860
Sülfat (mg/L)	394,41	401,24	415,93	411,87
Klorür (mg/L)	23,68	24,23	25,44	24,28
Florür (mg/L)	180,78	179,64	182,67	183,94
Nitrat (mg/L)	8,72	8,59	8,91	8,23
Bromür (mg/L)	0,80	0,50	0,50	0,90
Fosfat (mg/L)	231,80	240,40	233,70	224,11

Sıcaklığın 40°C'ye çıkarılması ile birlikte gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmalarında vizkozite değeri işletme süresi ile ters orantı olacak şekilde değişmiştir. Sülfat ve florür iyonları 30 dakikalık işletme süreleri boyunca konsantrasyonlarında artış belirlenmişken işletme süresinin 45 dakikaya çıkarılmasıyla konsantrasyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. Çözünmüş protein değerindeki değişimler çok fazla olmadığı belirlenmiştir. 5 günlük BOİ konsantrasyonu yapılan ön arıtım çalışması süresince değişmemiş ve 1000 mg/L olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20: pH 5 50°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10000	12000	10000	10000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	57566	65185	80423	72345
Çözünmüş Protein (mg/L)	62,80	70,39	68,36	67,87
Vizkozite (cP)	1,83	1,89	2,05	1,99
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	21600	22060	22620	22120
Sülfat (mg/L)	354,65	392,68	362,25	376,91
Klorür (mg/L)	20,76	20,04	20,61	22,63
Florür (mg/L)	182,98	184,87	187,83	188,71
Nitrat (mg/L)	7,42	7,59	7,62	7,74
Bromür (mg/L)	0,55	0,12	0,70	0,60
Fosfat (mg/L)	201,80	210,40	195,70	192,10

pH 5 50°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.20’de verilmiştir. Sıcaklık değerinin artması çözünmüş KOİ değerinin artmasına vizkozite değerinin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. 5 günlük BOİ değeri üzerinde etkisi belirgin olmadığı görülmüştür. Çözünmüş protein değeri 15 dakikalık işletme süresi sonunda 70,39 mg/L olarak bulunmuştur. Florür iyonu işletme süresine bağlı olarak düşük miktarlarda artış gözlemlenmiştir. En yüksek sülfat konsantrasyonu 392.68 mg/L olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.21: pH 5 60°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12000	10000	8000	10000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	42640	73096	42640	82234
Çözünmüş Protein(mg/L)	83,03	67,14	56,21	70,39
Vizkozite(Cp)	1,94	2,05	1,94	2,06
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	23600	24006	24620	24320
Sülfat (mg/L)	354,65	292,68	362,25	376,91
Klorür (mg/L)	19,58	19,04	19,71	21,53
Florür (mg/L)	152,68	164,52	167,12	177,71
Nitrat (mg/L)	6,32	6,95	6,26	6,47
Bromür (mg/L)	0,55	0,12	0,70	0,60
Fosfat (mg/L)	193,50	183,50	205,70	190,90

pH 5 60°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21’de verilmiştir. Aynı pH değerlerinde farklı sıcaklıklarda yapılan ön arıtım yöntemleri ile kıyaslandığında çözünmüş protein değerleri bu ön arıtmada en yüksek olduğu belirlenmiştir. Vizkozite değeri değişkenlik göstermiştir. Bu neden ile bir linerlikten söz etmenin zor olduğu sonucuna varılmıştır. 45 dakika işletme süreleri sonunda en yüksek vizkozite değeri ölçülmüştür. Florür değeri 177,71 mg/L konsantrasyon değerine 45 dakikalık işletme süresi sonunda çıkmıştır.

pH 5 ön arıtım şartlarında uygulanan işletme sıcaklıkları ve işletme süreleri içerisinde en yüksek çözünmüş KOİ 40 °C işletme sıcaklığında 15 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir.

4.1.1.6 pH 10 kimyasal ön işlemler

pH değerlerini 10'a getirmek için 2 M NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.22, Çizelge 4.23, Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.22: pH 10 25°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	16000	14000	18000	14000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	44131	69484	41315	58216
Çözünmüş Protein (mg/L)	166,63	140,59	170,83	140,04
Vizkozite (cP)	2,04	2,17	2,03	2,10
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	22060	23100	21900	23680
Sülfat (mg/L)	257,61	217,74	196,26	181,58
Klorür (mg/L)	19,36	20,75	18,12	17,42
Florür (mg/L)	179,60	188,45	189,30	174,38
Nitrat (mg/L)	6,19	5,20	5,10	5,11
Bromür (mg/L)	0,15	0,17	0,56	0,78
Fosfat (mg/L)	196,19	208,58	198,70	213,93

pH 10 25°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilen verilerde en yüksek çözünmüş KOİ değeri 69484 mg/L olarak ölçülmüştür. En yüksek çözünmüş protein 30 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. En yüksek 5 günlük BOİ 30 dakikalık işletme süresi sonunda 18000 mg/L olduğu tespit edilmiştir. Vizkozite değeri düşük işletme sürelerinde fazla olduğu işletme süresinin artmasıyla vizkozitenin azaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.23: pH 10 40°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	26000	28000	28000	16000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	52385	73394	65452	58025
Çözünmüş Protein (mg/L)	225,00	243,00	246,00	165,00
Vizkozite (cP)	1,90	2,07	1,95	1,92
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	17730	18636	21400	18544
Sülfat (mg/L)	191,44	254,54	220,7	222,8
Klorür (mg/L)	18,95	18,25	17,56	16,32
Florür (mg/L)	166,60	184,65	187,30	174,67
Nitrat (mg/L)	5,44	5,09	5,44	5,10
Bromür (mg/L)	0,11	0,16	0,17	0,16
Fosfat (mg/L)	219,63	219,63	253,11	198,20

Alkali şartlarda 40°C işletme sıcaklığının etkisi Çizelge 4.23'te verilmiştir. En yüksek vizkozite değeri 2,07 cP olarak ölçülmüştür. 45 dakikalık işletme süresi sonunda 5 günlük BOİ 16000 mg/L değerlerine düşmüştür. Çözünmüş protein değeri oda sıcaklığında gerçekleştirilen kimyasal ön arıtlardan daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Klorür iyonları işletme süresine bağlı olarak azalmıştır. En yüksek fosfat iyon konsantrasyonu 30 dakikalık işletme süresi sonunda 253,11 mg/L olarak ölçülmüştür. Çözünmüş KOİ konsantrasyonu 15 dakikalık işletme süresi sonunda alınan örneklerde en yüksek değer elde edilmiştir.

Çizelge 4.24: pH 10 50°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	16000	24000	28000	26000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	60824	88503	72885	67679
Çözünmüş Protein (mg/L)	164,57	221,15	271,72	261,85
Vizkozite (cP)	1,85	2,03	1,95	1,92
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	24000	22980	24560	24080
Sülfat (mg/L)	310,97	344,46	367,28	260,09
Klorür (mg/L)	18,54	17,74	18,01	17,64
Florür (mg/L)	186,74	171,45	176,23	182,81
Nitrat (mg/L)	4,82	4,76	4,62	4,35
Bromür (mg/L)	0,12	0,14	0,18	0,19

pH 10'da sıcaklığın 50°C'ye çıkartılmasıyla yapılan kimyasal ön arıtım sonuçlarında en yüksek çözünmüş KOİ değeri 88503 mg/L olarak 15 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir ve bu işletme süresi sonrasında çözünmüş KOİ konsantrasyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir. İlk 30 dakikalık işletme süresi içerisinde 5 günlük BOİ'de artışlar belirlenmiştir. En düşük vizkozite değeri 5 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Sülfat konsantrasyonu 367,28 mg/L değerlerine kadar çıkmıştır. İşletme süresi 45 dakikaya yükseltildiğinde 260,09 mg/L değerlerine düşmüştür.

Vlyssides ve Karlis (2009), pH 11'de ve 90 oc gerçekleştirdiği alkali ön arıtım çalışmalarında çözünmüş KOİ değerini 70000 mg/L çıktığını belirlediği çalışmayla kıyaslandığında daha düşük işletme sürelerinde ve sıcaklıklarında çözünmüş KOİ değerleri 70000 mg/L seviyelerini geçmiştir.

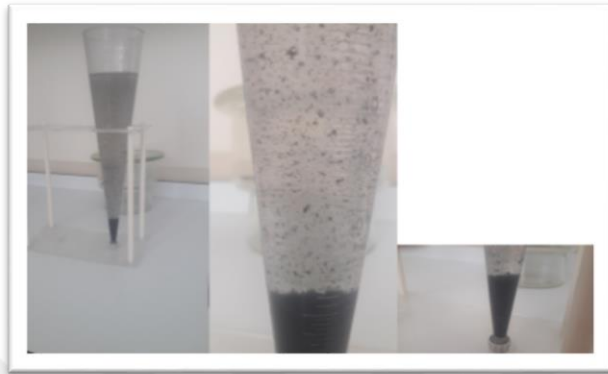
Çizelge 4.25: pH 10 60°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	26000	32000	32000	24000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	57746	89549	81315	73101
Çözünmüş Protein (mg/L)	259,58	290,29	294,33	234,22
Vizkozite (cP)	1,71	2,09	2,00	1,95
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	24460	30400	24600	24980
Sülfat (mg/L)	356,06	356,20	358,88	338,40
Florür (mg/L)	168,14	175,45	180,65	158,98
Nitrat (mg/L)	3,96	3,16	3,97	3,88
Bromür (mg/L)	0,45	0,21	0,10	0,80
Fosfat (mg/L)	212,59	235,36	221,63	230,00

Sıcaklığın artması pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında çözünmüş protein değerlerinde artışlara neden olmuştur. 5 günlük BOİ diğer ön arıtım yöntemleriyle kıyaslandığında en yüksek değerlere çıktığı belirlenmiştir. Vizkozite değeri 15 dakika sonunda 2,09 cP olduğu ölçülmüştür. Çözünmüş protein değerleri 294, 33 mg/L olarak 30 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir.

pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında sıcaklığın artması çözünmüş protein ve çözünmüş KOİ değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. pH 10'da gerçekleştirilen alkali ön arıtım çalışmalarında en yüksek çözünmüş KOİ değeri, 60 °C işletme sıcaklığında 15 dakika işletme sürelerinde elde edilmiştir. En yüksek çözünmüş protein değeri de aynı şartlarda elde edilmiştir. Geçmiş yıllardaki çalışmalarda incelendiğinde alkali ön arıtmaların organik maddeleri şişirdiği, hücresel yapıların enzimatik reaksiyonlara daha duyarlı olduğu sonuçları ispatlanmıştır (Kim vd., 2010).

Aksaray SÜTAŞ fabrikasının anaerobik çürütücüsünün tabanından alınan aşı çamurunun oldukça yoğun ve kıvamlı olduğu gözlemlenmiştir. Gerekli seyreltmeler yapıldıktan sonra ÇHI çalışmaları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Analiz sonucu çamurun çökebilen katı kısım 11 mL olarak tespit edilmiştir.



Aşı çamurunun ÇHİ değeri, 224,48 mL/g, UAKM 23000 mg/L ve AKM 24500 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.26: Spesifik metan aktivite testinde şişelerin içerisine konulan miktarlar.

Saf su miktarı, mL	42,0
İlave edilecek glikoz miktarı, mL	10,0
İlave edilecek NaHCO ₃ , mL	5,00
İlave edilecek basal ortamı, mL	16,0
İlave edilecek çamur, mL	7,00

72

Çizelge 4.27: Aşı çamurunun SMA sonuçları.

Gün	1 . Tüp			2 . Tüp			3 . Tüp		
	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Miktar (mL)	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Miktar (mL)	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Miktar (mL)
1. GÜN	23.09.2016	09:05	21,0	23.09.2016	09:10	19,0	23.09.2016	09:20	18,0
	23.09.2016	13:30	1,00	23.09.2016	13:35	0,90	23.09.2016	13:40	0,80
2. GÜN	24.09.2016	11:30	5,30	24.09.2016	11:35	6,20	24.09.2016	11:40	6,60
3. GÜN	25.09.2016	18:15	0,50	25.09.2016	18:15	0,60	25.09.2016	18:15	1,00
4. GÜN	26.09.2016	09:45	0,40	26.09.2016	10:00	0,35	26.09.2016	10:05	0,50
	26.09.2016	15:00	0,20	26.09.2016	15:00	0,10	26.09.2016	15:05	0,30
5. GÜN	27.09.2016	09:05	0,05	27.09.2016	09:05	0,03	27.09.2016	09:10	0,01

5 gün boyunca gerçekleştirilen SMA test sonuçlarında ortalama 36,7 mL CH₄/gUKM.gün belirlenmiştir.

4.1.3 BMP Çalışmaları

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, ön işlemlerin verimliliği çözünmüş KOİ’de artış ile ilişkilendirilmiştir ve bu artışın en fazla olduğu ön arıtmalarda biyokimyasal metan potansiyelleri ölçülmüştür. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak çözünmüş protein değerinin en yüksek olduğu ön arıtım şartlarında da BMP testleri yapılarak hem çözünmüş KOİ’nin hem de çözünmüş proteinin BMP testleri ile metan üretim verim potansiyelleri etkileri gözlemlenmiştir. Çözünmüş KOİ dikkate alınarak Çizelge 4.28, çözünmüş protein dikkate alınarak da Çizelge 4.29 gibi hazırlanmıştır. Çizelge 4.28’de uygulanan her bir ön işlem içinde en yüksek çözünmüş KOİ’nin elde edildiği işletme şartlarında BMP testleri yapılmıştır. Benzer durum Çizelge 4.29’daki protein değerinin en yüksek olduğu şartlarda da gerçekleştirilmiştir. En yüksek değerler belirlendikten sonra hiçbir ön işlem yapılmayan %10 katı oranına sahip elma posası içinde BMP analizleri gerçekleştirilmiştir. Aşı çamurunun BMP çalışmalarında etkilerini belirlemek amacıyla yalnızca aşı çamuru kullanılarak da BMP analizleri yapılmıştır. Ön işlem yapılmayan %10 katı oranına sahip elma posasının içerisine 5

mL aşı çamuru konulmuş örneklerde deney setine ilave edilmiştir. Her bir deney setinin pH değeri 7'ye getirildikten sonra önceden tarif edildiği gibi BMP analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.28: Ön işlemlerde sonucunda en yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği işletme şartları.

25°C	40°C	50°C	60°C	-18°C	25°C 35 kHz	40°C 35 kHz	50°C 35 kHz	60°C 35 kHz
45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	30 dk	15 dk	5 dk
42504	104603	109402	135849	39702	96096	56388	50794	99317
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
25°C	40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C	25°C
53 kHz	53 kHz	53 kHz	53 kHz	pH 5	pH 5	pH 5	pH 5	pH 10
5 dk	30 dk	45 dk	45 dk	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk	15 dk
89542	103835	121212	161485	93129	89650	80423	82234	69484
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C	-	-
pH 10	pH 10	pH 10	pH <2	pH <2	pH <2	pH <2	-	-
15 dk	15 dk	15 dk	15 dk	30dk	45 dk	45 dk	-	-
73394	88503	89549	79954	79012	58592	57 206	-	-
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	-	-

Termal ön arıtım çalışmaları kendi içerisinde incelendiğinde sıcaklığın artması ile birlikte çözünmüş KOİ'de artış gözlemlenmiştir. Dondurularak yapılan termal ön arıtlarda çözünmüş KOİ değeri zamana bağlı olarak değişmemiştir. 35 kHz (düşük frekans) işletme sıcaklığına bağlı olarak sürede azalmalar görülmüştür. 53 kHz (yüksek frekans) sıcaklığa bağlı olarak çözünmüş KOİ değerlerinin artış göstermesine rağmen işletme süreleri uzamıştır. Yüksek frekanslı ultrases ön arıtları düşük frekanslı ultrases ön arıtlarıyla ile karşılaştırıldığında daha yüksek çözünmüş KOİ değerleri elde edilmiştir. pH 5'teki alkali ön arıtım çalışmalarında sıcaklığın artması ile işletme süreleri uzarken elde edilen çözünmüş KOİ değerlerinde azalmalar

gözlemlenmiştir. pH 10 alkali ön arıtımında sıcaklığın artması optimum süreyi değiştirmedeği ayrıca çözünmüş KOİ değerlerinde artışlar sağladığı belirlenmiştir. Asit ön arıtım çalışmalarında sıcaklığa bağlı olarak sürede artma eğilimi göstermesine rağmen elde edilen çözünmüş KOİ değerlerinde düşüşler belirlenmiştir.

Çizelge 4.29: Ön işlemler sonucunda en yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği işletme şartları.

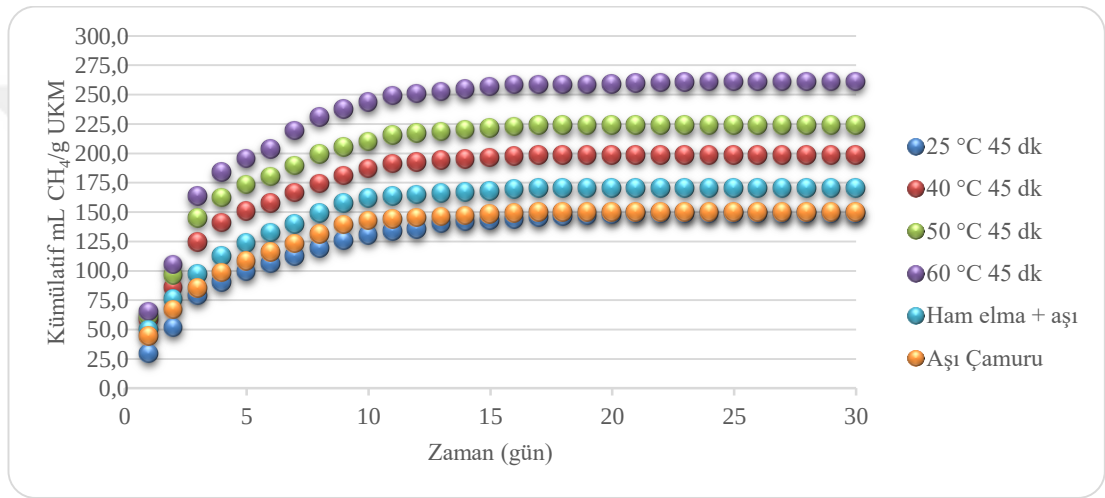
25°C	40°C	50°C	60°C	-18°C	25°C 35 kHz	40°C 35 kHz	50°C 35 kHz	60°C 35 kHz
15 dk	15 dk	15 dk	15 dk	5 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk
124,00	102,90	92,13	89,55	68,50	97,93	100,85	105,90	165,37
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
25°C	40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C	25°C
53 kHz	53 kHz	53 kHz	53 kHz	pH 5	pH 5	pH 5	pH 5	pH 10
15 dk	30 dk	30 dk	45 dk	45 dk	30 dk	15 dk	5 dk	30 dk
84,66	114,04	133,47	175,04	56,21	67,07	70,39	83,03	170,83
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C		
pH 10	pH 10	pH 10	pH <2	pH <2	pH <2	pH <2	-	-
30 dk	30 dk	30 dk	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk		
246,00	271,72	294,33	48,03	80,61	109,48	137,81		
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		

Termal ön arıtmalar sıcaklığın artması ile birlikte çözünmüş proteinin azaldığı en uygun işletme süresinin 15 dakika olduğu tespit edilmiştir. Dondurularak yapılan ön arıtmalarda ise 5. dakikada en yüksek değer elde edilmiştir. 35 kHz (düşük frekans) ultrases ön işlemleri sıcaklığına bağlı olarak protein miktarı artmış olmasına rağmen işletme süresi değişmemiştir. 53 kHz (yüksek frekans) ultrases ön işlemlerinde sıcaklığa ve işletme süresine bağlı olarak çözünmüş proteinler artma eğilimindedir. pH 5 alkali ön arıtım çalışmalarında sıcaklığın artması ile sürede azalmalar görülmüştür. pH 10 alkali ön arıtımında sıcaklığın artması optimum süreyi değiştirmemiş fakat

çözünmüş protein değerlerini arttırmıştır. Asit ön arıtım çalışmalarında sıcaklık ve süreye bağlı olarak çözünmüş protein miktarları artmıştır.

4.1.3.1 Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP deneyleri

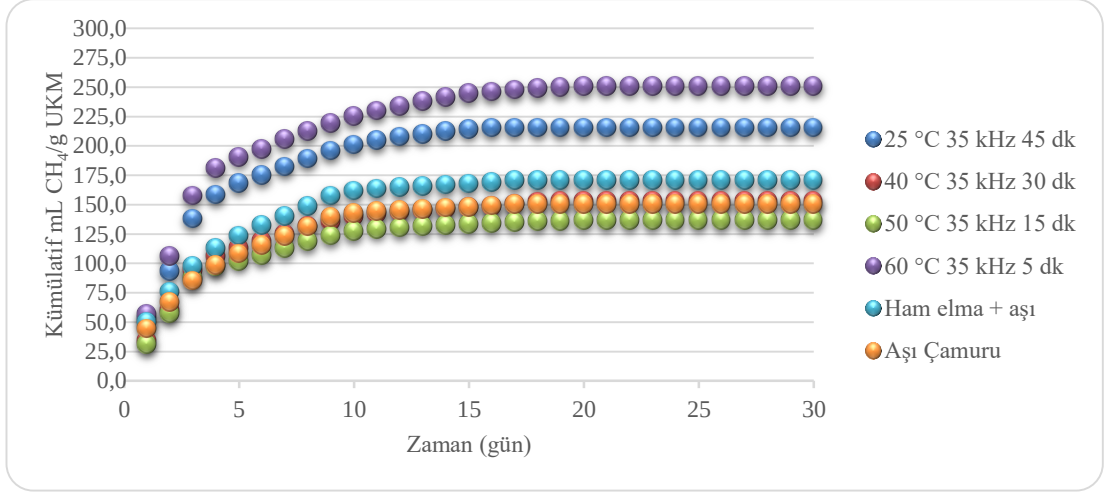
Termal ön arıtım işlemlerinde en yüksek çözünmüş KOİ değerleri 45 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir. Sıcaklığın artması ile birlikte çözünmüş KOİ değerlerinde artışlar belirlenmiştir. Şekil 4.3'te termal ön arıtım çalışmalarında en yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda gerçekleştirilen BMP testleri sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.3: Çözünmüş KOİ değerlerine göre termal ön arıtımların BMP sonuçları.

Sıcaklığın artmasıyla birlikte BMP değerlerinde artışlar belirlenmiştir. 30 gün sonunda en yüksek kümülatif BMP 261 mL CH₄/gUKM olarak 60°C 45 dakikalık termal ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilmiştir. 50°C 45 dakika termal ön arıtım çalışmalarında 223,9 mL CH₄/gUKM, 40°C 45 dakika termal ön arıtım çalışmasında ise 198,4 mL CH₄/gUKM olduğu belirlenmiştir. Kör olarak belirtilen ham elma posalarının aşı ile birlikte gerçekleştirildiği 30 günlük BMP testleri sonucunda 170,56 mL CH₄/gUKM. BMP değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında yapılan ön arıtım çalışmaları sonucunda kümülatif BMP değerleri kör örnekten daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Düşük frekanslı ultrases ön işlemleri için kümülatif BMP test sonuçları Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

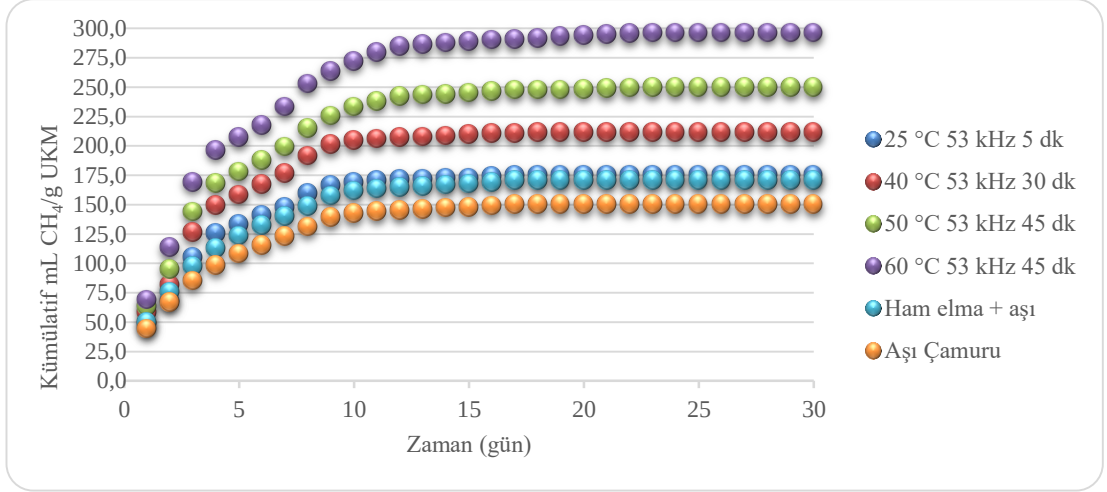


Şekil 4.4: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtımların BMP sonuçları.

Sıcaklığın artmasıyla birlikte çözünmüş KOİ konsantrasyonları daha düşük işletme sürelerinde elde edilmiştir. Önceki deneysel çalışmalarda 60°C 5 dakikalık ön arıtım çalışmaları sonucunda çözünmüş KOİ konsantrasyonu 99317 mg/L olduğu belirlenmiştir. Belirlenen çözünmüş KOİ 35 kHz ultrases ön arıtım çalışmaları içerisinde en yüksek değer olarak belirlenmiştir. Çözünmüş KOİ ile BMP çalışması ilişkilendirildiğinde aralarında doğrusal bir korelasyon olduğu sonucu çıkarılmıştır. 40 ve 50°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen ultrases ön arıtım çalışmalarının BMP sonuçları kör örnek değerlerinden düşük olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen ultrases ön işlemlerinin BMP değeri 215,44 CH₄/gUKM olarak hesaplanmıştır.

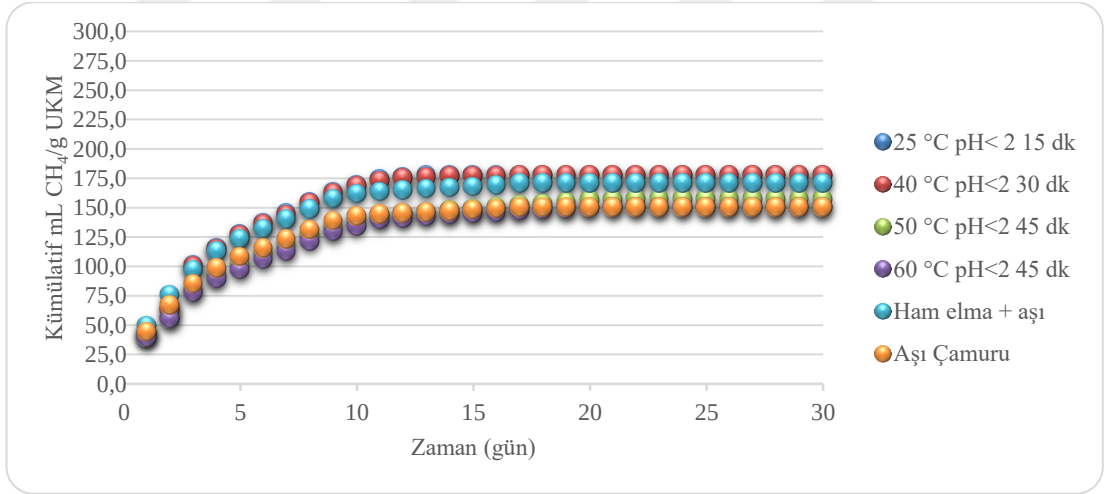
Ultrases ön işlemler hücreleri parçalayarak hücre içindeki malzemeyi çıkaran en iyi ön arıtım yöntemi olduğu (Kim vd., 2003) BMP analizlerindeki artışlara bağlı olarak literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermiştir.

Frekansın arttırılması ile yapılan benzer ultrases ön arıtım çalışmaları sonucunda gerçekleştirilen BMP analizleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



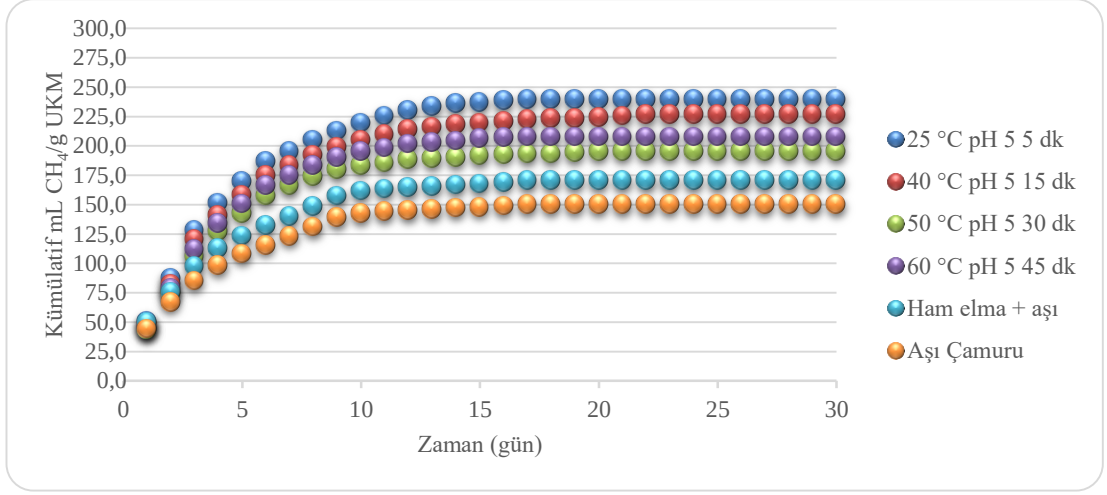
Şekil 4.5: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.

30 günlük kümülatif BMP testleri sonucunda 25, 40, 50 ve 60°C sıcaklıklar için sırasıyla 175,7 mL CH₄/gUKM, 211,6 mL CH₄/gUKM, 249,8 mL CH₄/gUKM, 296,2 mL CH₄/gUKM olarak hesaplanmıştır. İşletme sıcaklığının artması BMP değerlerini arttırmıştır. Kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda yapılan BMP test sonuçları Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.



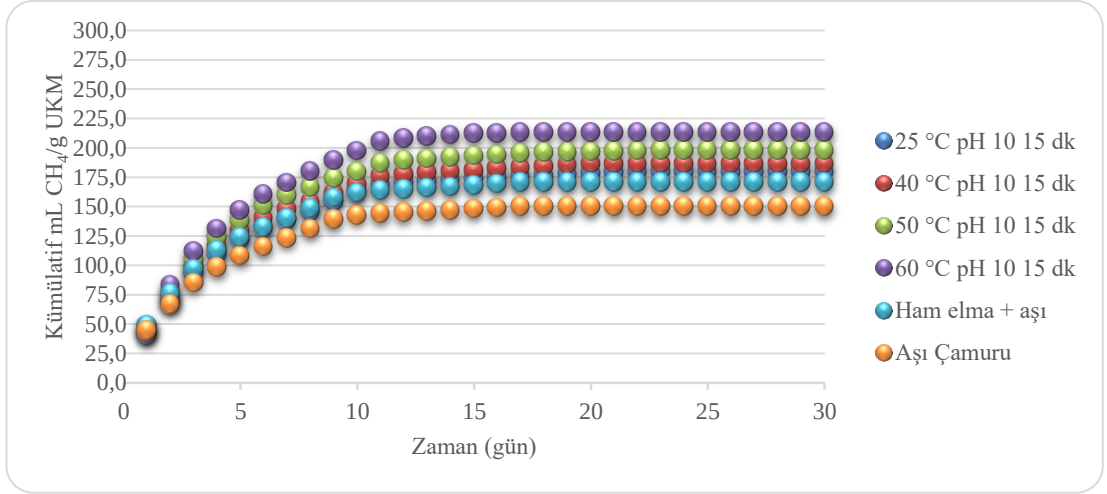
Şekil 4.6: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.

25 ve 40°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen pH<2 kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda çözünmüş KOİ değerleri yaklaşık olarak 79000 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerlerinde BMP miktarları kör numuneler ile kıyaslandığında düşük miktarda artışlar elde edilmiştir. 50 ve 60°C sıcaklıklarda ise çözünmüş KOİ değerinde artışlar olmasına rağmen BMP testlerinde artışlar gerçekleşmemiştir. pH değerinin 5’e çıkarılması ile yapılan BMP test sonuçları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.7: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.

30 günlük kümülatif BMP testleri kör örnekler ile kıyaslandığında 25, 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarında gerçekleştirilen pH 5 kimyasal ön arıtım çalışmalarında sırasıyla %40, %32, %14 ve %21 oranlarında artışlar elde edilmiştir.

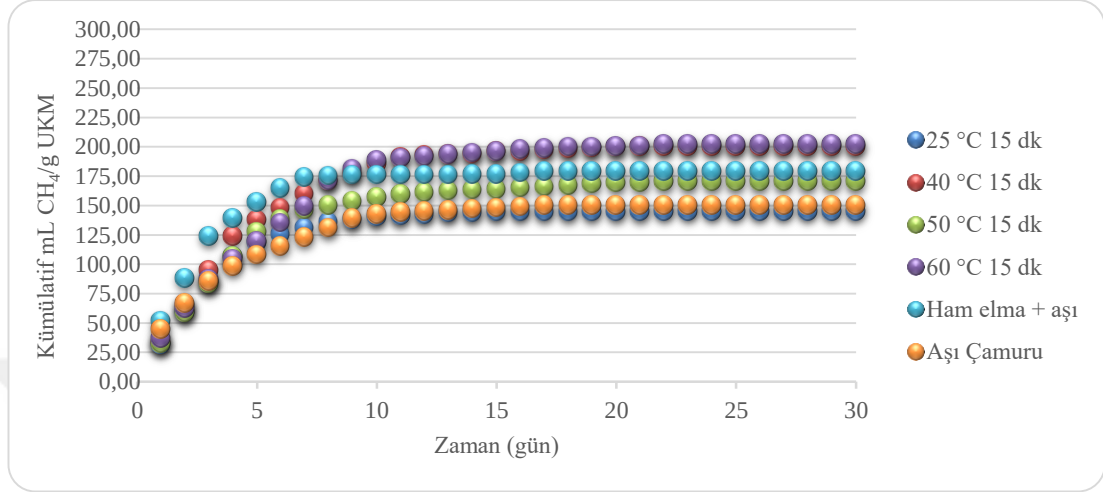


Şekil 4.8: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.

pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında sıcaklığa bağlı olarak BMP değerlerinde artışlar belirlenmiştir. Bulgular dahilinde en yüksek BMP artışı 60°C’de gerçekleştirilen ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilmiştir. Bu ön arıtım şartlarında BMP değerinde %24’ lük artış sağlanmıştır.

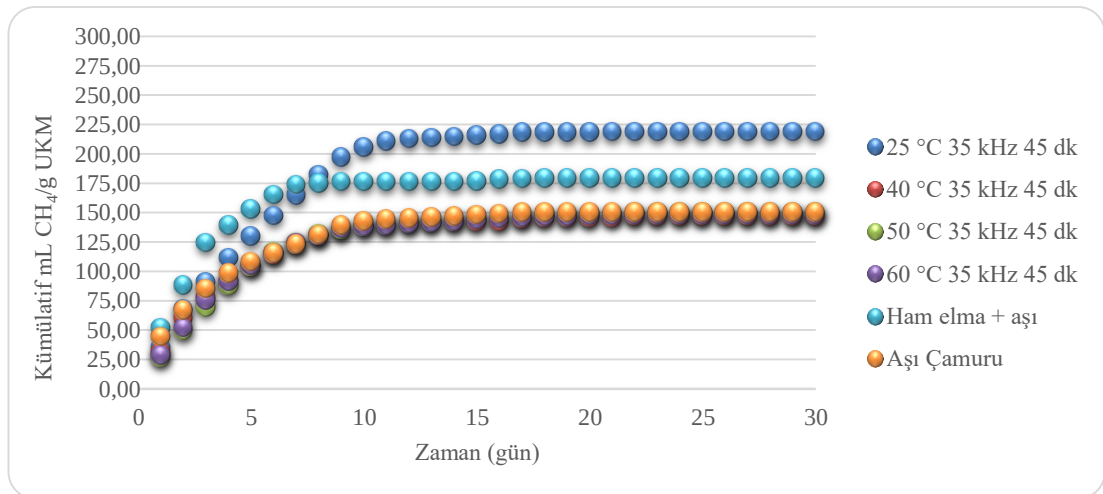
4.1.3.2 Çözünmüş protein değerlerine göre BMP deneyleri

Çözünmüş protein değerinin en yüksek olduğu ön arıtım şartlarından sonra yapılan 30 günlük BMP test sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Termal ön arıtmada en uygun işletme süresinin 15 dakika olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.9: Çözünmüş protein değerlerine göre termal ön arıtmaların BMP sonuçları.

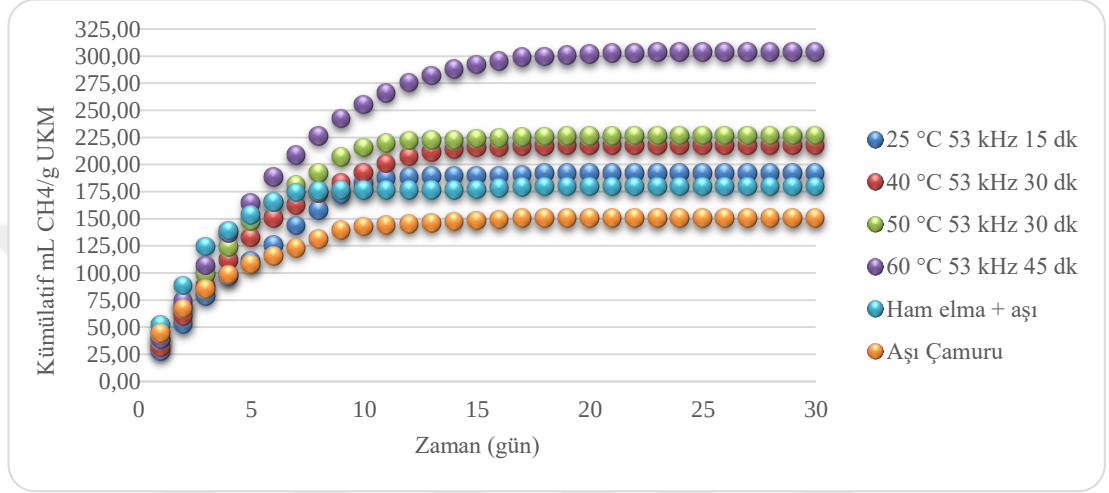
40 ve 60°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen termal ön arıtım çalışmaları sonucunda yapılan BMP analizlerinde sırasıyla 200,6 ve 201,9 mL CH₄/gUKM değerleri elde edilmiştir. Diğer sıcaklıklarda çözünmüş protein değeri artmasına rağmen BMP değerlerinde artış elde edilmemiştir. 35 kHz ultrases ön arıtım deneylerinde en yüksek çözünmüş protein değeri 45 dakikada elde edilmiştir. Bu yüzden 45 dakikalık ön arıtım yapılan örneklerle BMP deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 4.10: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.

Ham elma posasının aşısı ile birlikte 30 gün çürütülmesi sonunda kümülatif BMP değeri 179,4 mL CH₄/gUKM olarak bulunmuştur. 40°C, 50°C ve 60°C ön arıtım çalışmaları sonunda BMP ham elma posasının aşısı ile birlikte çürütüldüğünde elde edilen BMP değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

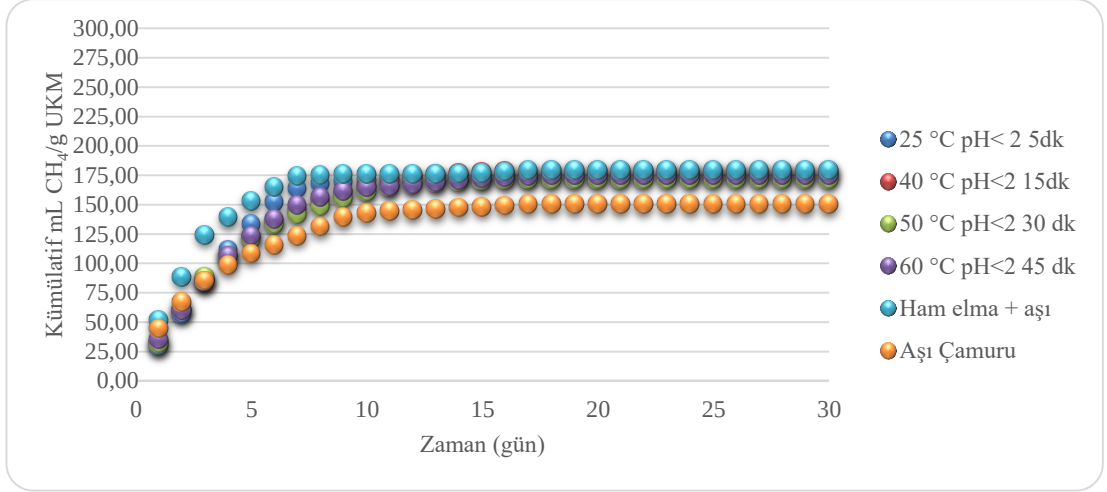
Yalnızca 25°C 45. dakika ön arıtım çalışmalarından sonra yapılan BMP çalışmalarında %21,5 artış elde edilmiştir. Sıcaklığın artırılması BMP değerlerinde artışlara neden olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.11: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.

Uygulanan bütün sıcaklık ve süre şartlarında üretilen BMP değerleri kör olarak adlandırılan (Ham elma + aşısı) örnekten üretilen BMP değerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen anaerobik çürütme sonucunda 191,8 mL CH₄/gUKM BMP elde edilmişken, işletme sıcaklığının 60°C'ye çıkartılmasıyla 303,8 mL CH₄/gUKM seviyelerine ulaştığı tespit edilmiştir.

Kimyasal ön işlemler sonucunda çözünmüş protein değerleri göz alınarak gerçekleştirilen BMP test sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



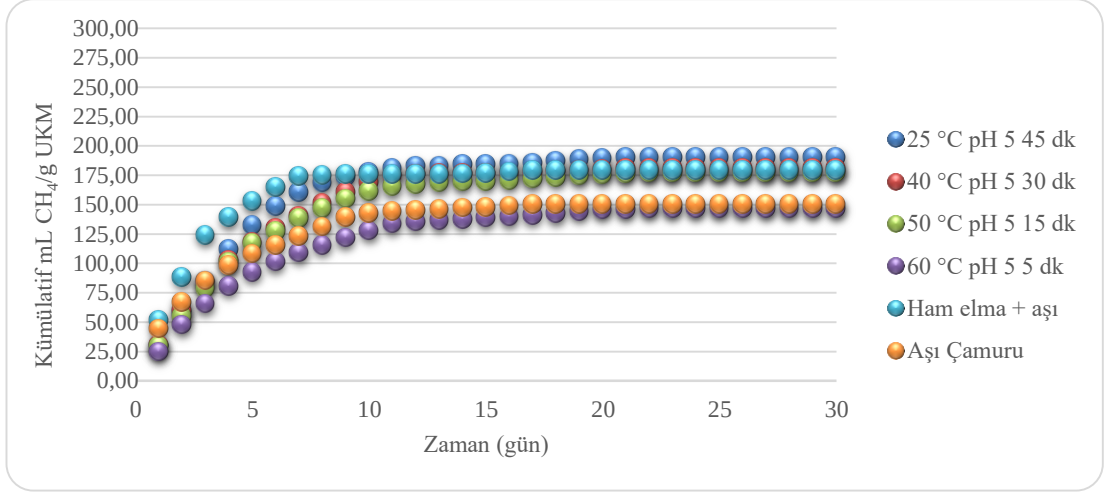
Şekil 4.12: Çözünmüş protein değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtların BMP sonuçları.

pH<2 değerlerinde sıcaklığın artmasıyla birlikte çözünmüş protein değerlerinde artışlar olduğu önceki çalışmalarda belirlenmiştir.

En yüksek çözünmüş protein değerinin elde edildiği şartlar sıcaklığın artması ile birlikte işletme süresinin arttığı şartlar olduğu tespit edilmiştir.

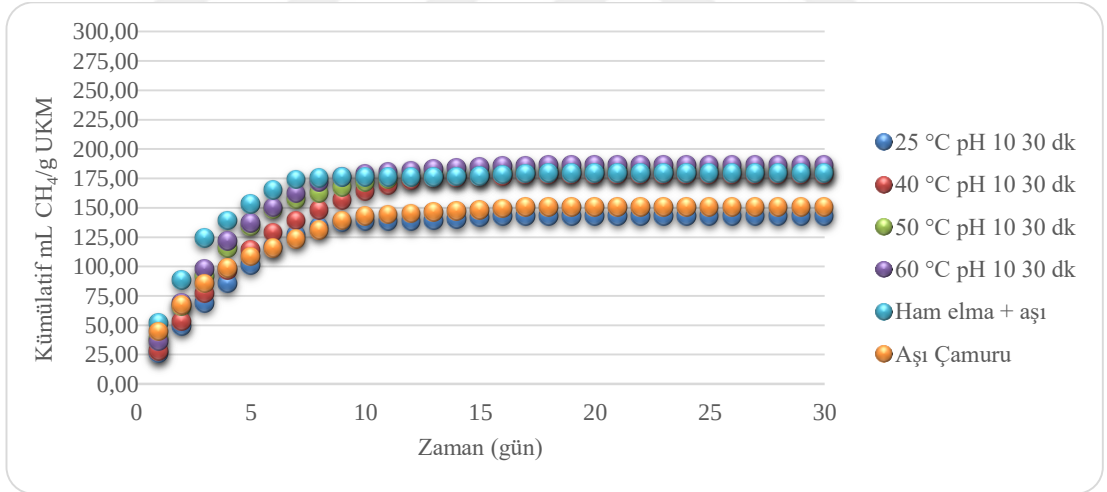
Bu işletim şartlarında 30 gün boyunca gerçekleştirilen BMP analizlerinde artış gözlemlenmemiştir. pH<2 kimyasal ön arıtım işlemi BMP analizleri için uygun olmadığını ortaya konmuştur.

Alkali ilavesi ile pH 5 kimyasal ön arıtım çalışmalarının BMP analiz sonuçları Şekil 4.13'te verilmiştir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda (25 ve 40°C) BMP test sonuçları kör olarak nitelendirilen örnek sonuçları ile kıyaslandığında yüksek olduğu görülmüştür. Sıcaklığın daha da artırılması BMP miktarında azalmalar görülmesine neden olmuştur.



Şekil 4.13: Çözülmüş protein değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.

25°C pH 5 45 dakikalık işletme süresince gerçekleştirilen ön arıtım çalışmaları sonucunda 30 gün boyunca sıvı yer değiştirme yöntemi sonucunda 190,6 mL CH₄/gUKM BMP üretilmiştir. Sıcaklığın 40°C çıkarılmasıyla 179,7 mL CH₄/gUKM elde edilmiştir.



Şekil 4.14: Çözülmüş protein değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.

pH 10 alkali ön arıtımları sonunda yapılan BMP analizleri yüksek sıcaklıklarda (50 ve 60 °C) daha verimli olduğu görülmüştür. Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen ön arıtım şartlarında çözülmüş protein değerinde artış sağlanmasına rağmen BMP değerlerinde artış gözlemlenmemiştir. Sıcaklık BMP üretim verimleri için önemli bir etken olduğu düşünülmüştür.

4.2 Arıtma Çamurunun Karakterizasyonu

Tesisten alınan çamur örnekleri kısa bir süre zarfında laboratuvara getirilmiş ve hem karakterizasyon çalışmaları hem de ön arıtım işlemleri için kullanılmıştır. Arıtma çamurun karakterizasyonu Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30: Arıtma çamurunu özellikleri.

ANALİZ	HAM ATIK	SÜPERNATANT
%Nem	96,66	
%Kül Tayini	18,03	
SVI (mL/30 dk)	525,00	Analiz Yapılmadı
%Uçucu Madde Tayini	17,92	
Toplam KOİ (mg/L)	43877	
% Toplam Selüloz	0,82	
BOİ ₅ (mg/L)	4700	1000
Çözünmüş KOİ (mg/L)	Analiz Yapılmadı	2071
Çözünmüş Protein (mg/L)		31,6
Vizkozite (cP)		1,8
%Yağ	2,45	Analiz Yapılmadı
TOC (mg/L)	14128	803
pH	7,00	6,20
Sülfat (mg/L)	23,01	23,01
Klorür (mg/L)	370,88	370,88
Florür (mg/L)	149,99	149,99
Bromür (mg/L)	0,06	0,06
Nitrat (mg/L)	0,30	0,30
Fosfat (mg/L)	551,52	551,52

Arıtma çamurunun karakterizasyon çalışmalarında nem miktarı %96,66 olarak bulunmuştur. Organik madde içeriğinin az olduğu bulunmuş ve organik madde oranı %17,92 belirlenmiştir. Toplam KOİ konsantrasyonu 43877 mg/L olarak ölçülmüştür. Çözünmüş KOİ değeri ise toplam KOİ değerinin yaklaşık olarak 1/21'ne eşit olduğu hesaplanmıştır. Nötr şartlara yakın pH değeri belirlenmiştir. Vizkozite değeri 1,8 cP ölçülmüştür. Nem miktarının fazla olması vizkozite değerinin düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Analizi yapılan anyon metalleri arasında en fazla 551 mg/L değerine sahip fosfat olarak belirlenmiştir. Arıtma çamurunun çözünmüş protein değeri ise 31,6 mg/L olarak ölçülmüştür.

% N: 7,1361, % C: 35,20251, % H: 6,4230, % S: 0,045 elementel analiz cihazıyla tespit edilmiştir.

4.2.1 Arıtma çamuruna uygulanan ön işlemler

4.2.1.1 Termal ön işlemler

Termal ön arıtımın analiz sonuçları Çizelge 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34.'te verilmiştir.

Çizelge 4.31: 40°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1000	1200	1200	1400
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2558	2944	3746	4137
Çözünmüş Protein (mg/L)	41,02	46,02	48,14	51,12
Vizkozite (cP)	1,01	0,96	1,05	0,97
pH	6,63	6,63	6,51	6,50
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1000,5	1010	1314	1451
Sülfat (mg/L)	33,16	28,17	33,27	30,73
Klorür (mg/L)	363,93	315,76	357,55	365,30
Florür (mg/L)	10,42	15,38	16,65	19,62
Nitrat (mg/L)	0,91	0,10	0,23	0,42
Bromür (mg/L)	10,41	2,79	4,71	5,74
Fosfat (mg/L)	188,95	224,74	318,27	383,18

40°C'deki termal ön arıtmada en yüksek 5 günlük BOİ 1400 mg/L olduğu belirlenmiştir. İşletme süresinin artmasıyla Çözünmüş protein miktarında artışlar görülmüştür. En yüksek çözünmüş protein 51,15 mg/L 45 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir. Çözünmüş KOİ konsantrasyonu işletme süresi ile artmıştır. Sıcaklığın 50°C çıkartılarak gerçekleştirilen ön arıtım yöntemleri sonuçları Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32: 50°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1200	1200	1400
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2680	3275	4107	4753
Çözünmüş Protein (mg/L)	50,35	52,57	56,62	58,36
Vizkozite (cP)	0,95	0,99	0,99	0,99
pH	6,48	6,43	6,33	6,32
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1200	1145,5	1377	1709
Sülfat (mg/L)	34,90	36,88	41,51	38,48
Klorür (mg/L)	358,13	388,92	418,63	404,72
Florür (mg/L)	19,02	20,2	26,34	24,98
Nitrat (mg/L)	3,40	3,18	2,53	2,23
Bromür (mg/L)	6,27	9,63	11,89	13,41
Fosfat (mg/L)	211,94	294,88	368,39	424,50

5 günlük BOİ 30 dakikalık işletme süreleri sonunda 1200 mg/L olarak belirlenmişken, işletme süresinin 45 dakikaya çıkarılması konsantrasyonun 1400 mg/L değerine çıktığını gözlemlenmiştir. Çözünmüş protein ve çözünmüş KOİ değerleri işletme süresiyle benzer şekilde artışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Bu ön arıtım şartlarında en yüksek çözünmüş KOİ 4753 mg/L en yüksek çözünmüş protein 58,36 mg/L ölçülmüştür. Vizkozite değerleri 0,95-0,99 cP arasında değişmiştir.

Çizelge 4.33: 60°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1200	1000	1000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2869	3391	4425	5041
Çözünmüş Protein (mg/L)	58,51	54,12	44,5	41,52
Vizkozite (cP)	1,03	0,93	1,08	0,90
pH	6,45	6,48	6,36	6,31
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1024	1189	1591	1768
Sülfat (mg/L)	51,13	42,18	43,14	38,69
Klorür (mg/L)	451,10	395,10	401,21	362,50
Florür (mg/L)	36,54	27,43	31,15	26,96
Nitrat (mg/L)	7,88	2,36	1,84	2,17
Bromür (mg/L)	7,24	6,38	9,80	7,125
Fosfat (mg/L)	325,07	284,77	411,81	330,72

Sıcaklığın 60°C çıkartılmasıyla gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında işletme süresi çözünmüş protein üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. 5 dakikalık işletme süresi sonunda 58,51 mg/L olan çözünmüş protein değeri 45 dakikalık işletme süresi sonunda 41,52 mg/L değerlerine düşmüştür. En yüksek çözünmüş KOİ değeri 45 dakikalık işletme süresi sonunda 5041 mg/L olduğu belirlenmiştir. 5 dakikalık işletme süresi sonunda sülfat konsantrasyonu 51,13 mg/L ölçülmüştür.

Marsolek vd. (2014), yaptıkları çalışmada 60 °C termal ön arıtımın çözünmüş KOİ değerini dolayısıyla biyogaz üretimini artırmadığı belirlediği çalışmadan farklı olarak 60 °C'de ve 45 dakikalık işletme süreleri sonunda en yüksek çözünmüş KOİ değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.34: -18°C termal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	800	1000	1000	1000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2191	2191	2191	2191
Çözünmüş Protein (mg/L)	46,50	50,12	53	58,14
Vizkozite (cP)	0,86	0,87	0,93	0,90
pH	6,35	6,34	6,28	6,35
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	800	777	787	678
Sülfat (mg/L)	30,83	23,13	43,05	41,57
Klorür (mg/L)	252,60	199,78	370,86	349,70
Florür (mg/L)	18,01	15,10	26,74	26,27
Nitrat (mg/L)	3,85	2,93	4,54	5,47
Bromür (mg/L)	0,26	0,47	1,35	0,86
Fosfat (mg/L)	93,04	91,17	192,98	172,47

Sıcaklığın -18°C'ye düşürülmesi çözündürme işlemine etki etmediği gözlemlenmiştir. Çözünmüş KOİ değeri bütün işletme sürelerinde 2191 mg/L olarak ölçülmüştür. En yüksek vizkozite değeri 30 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir. 5 günlük BOİ en çok 1000 mg/L konsantrasyonlarına ulaştığı deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir.

Carrère vd. (2008), aktif çamurun anaerobik çürümesindeki termal ön arıtımın etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlara bağlı olarak işletme sıcaklığının artırılması toplam KOİ, yağ, karbonhidrat ve protein gideriminin ve metan üretimini açısından daha iyi sonuçlar elde ettiklerini raporlamışlardır.

4.2.1.2 35 kHz ultrases ön işlemler

Oda sıcaklığında 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda belirlenen sürelerde 35 kHz ses dalgaları su yardımıyla örneklerle uygulanmıştır. İşletme süreleri ve işletme sıcaklıklarında elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.35: 35 kHz 25°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1400	1600	2000	2200
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4260	4433	4711	4568
Çözünmüş Protein (mg/L)	71,46	92,51	139,24	163,93
Vizkozite (cP)	0,95	1,05	1,03	1,12
pH	6,35	6,28	6,3	6,29
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1475	1503	1777	1661
Sülfat (mg/L)	53,68	80,92	65,08	63,04
Klorür (mg/L)	383,7	505,32	418,28	404,52
Florür (mg/L)	31,97	55,91	34,27	33,15
Nitrat (mg/L)	6,24	7,18	4,47	4,07
Bromür (mg/L)	2,65	7,02	4,47	4,07
Fosfat (mg/L)	247,60	477,20	331,70	320,65

Düşük frekanslı ultrases ön işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilen ön arıtım işlemleri sonucunda 5 günlük BOİ 2200 mg/L konsantrasyonlarına çıkmıştır. 5 dakikalık işletme süresi sonunda 71,46 mg/L konsantrasyonunda olan çözünmüş protein işletme süresinin 45 dakikaya çıkarılmasıyla 163,93 mg/L seviyelerine yükselmiştir.

Çizelge 4.36: 35 kHz 40°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1600	1800	1800
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4271	4861	5421	5228
Çözünmüş Protein (mg/L)	56,24	115,14	125,19	129,42
Vizkozite (cP)	1,10	1,23	1,08	1,31
pH	6,25	6,24	6,22	6,24
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1493	1705	1819	1802
Sülfat (mg/L)	57,14	55,20	49,66	56,47
Klorür (mg/L)	419,36	423,47	405,62	447,92
Florür (mg/L)	34,02	31,95	29,13	36,15
Nitrat (mg/L)	0,31	0,33	5,46	5,54
Fosfat (mg/L)	260,06	271,46	261,09	329,54

Sıcaklığın 40°C çıkarılması oda sıcaklığında uygulanan ön arıtım yöntemleri ile karşılaştırıldığında 5 günlük BOİ değerinde ve çözünmüş protein konsantrasyonlarında azalmalara neden olduğu belirlenmiştir. 45 dakikalık işletme süresi sonunda vizkozite değeri 1,31 cP olarak ölçülmüştür. En yüksek çözünmüş KOİ 5421 mg/L deneysel çalışmalar sonucunda hesaplanmıştır. Klorür iyon konsantrasyonu 447,92 mg/L değerine 45 dakikalık işletme süreleri sonunda ulaştığı görülmüştür.

Düşük frekanslı ultrases ön işlemlerde işletme sıcaklığının 50°C'ye çıkarılmasının çözünmüş KOİ ve protein başta olmak üzere diğer parametrelerdeki değişimleri Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.37: 35 kHz 50°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2200	2400	2600	2600
Çözülmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4324	5061	5615	5325
Çözülmüş Protein (mg/L)	146,14	162,38	172,24	176,48
Vizkozite (cP)	1,31	1,33	1,20	1,40
pH	5,94	5,94	6,03	6,00
Çözülmüş Organik Karbon (mg/L)	1506	1796	1903	1936
Sülfat (mg/L)	53,39	59,75	72,81	84,55
Klorür (mg/L)	598,91	617,46	626,62	636,06
Florür (mg/L)	107,22	110,59	112,7	111,45
Nitrat (mg/L)	3,49	3,58	3,82	3,97
Bromür (mg/L)	0,38	0,35	0,37	0,30
Fosfat (mg/L)	486,43	529,90	610,46	652,83

Düşük frekansta farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen ön arıtım yöntemleri arasında en yüksek 5 günlük BOİ değerinin ve çözülmüş proteinin elde edildiği ön arıtım şartının 50°C olduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkta en yüksek çözülmüş 5 günlük BOİ 2600 mg/L çözülmüş proteinin 176,48 mg/L olduğu deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür. Vizkozite değeri 5 dakikalık işletme süresi sonunda 1,3 cP ölçülmüşken 30 dakikalık işletme süresi sonunda 1,20 cP değerine düşmüştür. Çözülmüş KOİ sonuçlarında ise 30 dakikalık işletme süresinin kırılma süresi olduğu kabul edilmiştir. 30 dakika işletme süresi sonunda 5615 mg/L değeri ile en yüksek konsantrasyon elde edilmiştir.

Çizelge 4.38: 35 kHz 60°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1600	1400	1600	1400
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4354	5171	5815	5515
Çözünmüş Protein (mg/L)	110,97	70,82	96,96	84,11
Vizkozite (cP)	1,36	1,41	1,31	1,44
pH	6,24	6,25	6,35	6,28
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1538	1827	2033	1901
Sülfat (mg/L)	80,10	65,69	56,52	57,43
Klorür (mg/L)	766,80	692,95	620,91	621,30
Florür (mg/L)	136,90	120,21	108,40	103,27
Nitrat (mg/L)	2,95	2,21	1,98	2,19
Bromür (mg/L)	0,27	0,28	0,50	0,46
Fosfat (mg/L)	717,03	543,09	465,83	480,10

Düşük frekansta 60°C işletme sıcaklığında gerçekleştirilen ultrases ön arıtım çalışmalarında 5 günlük BOİ değeri 1400-1600 mg/L değerleri arasında ölçülmüştür. Çözünmüş protein değeri 5 dakika işletme süresi sonunda 110 mg/L, 45 dakikalık işletme süresi sonunda ise 84,11 mg/L olarak ölçülmüştür.

Negatif yüklü metal iyonları arasında en yüksek çözünürlüğe sahip metal, florür iyonu olduğu belirlenmiştir. Daha sonra 717,03 mg/L konsantrasyonuna sahip sülfat iyonu olduğu tespit edilmiştir.

Düşük frekansta yapılan ultrases ön arıtlarda çözünmüş KOİ değerlerinin en yüksek olduğu şartlar, 60 °C işletme sıcaklığında ve 30 dakikada elde edilmiştir.

4.2.1.3 53 kHz ultrases ön işlemler

Ultrases ön işlemlerinde frekansın 53 kHz'e çıkarılmasıyla gerçekleştirilen ön arıtım sonuçları işletme sıcaklıkları ve süreleriyle değişimleri Çizelge 4.39, Çizelge 4.40, Çizelge 4.41 ve Çizelge 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.39: 53 kHz 25 °C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2000	2400	2400	2800
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10400	9670	9200	8817
Çözünmüş Protein (mg/L)	87,12	109,32	112,12	135,68
Vizkozite (cP)	1,10	1,12	1,16	1,17
pH	5,79	5,81	5,81	5,81
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	3650	3386	3260	3209
Sülfat (mg/L)	61,65	62,26	59,06	47,87
Klorür (mg/L)	691,14	699,77	698,12	526,96
Florür (mg/L)	125,52	116,89	124,23	90,59
Nitrat (mg/L)	3,57	4,06	2,93	6,11
Bromür (mg/L)	0,26	0,23	0,24	0,44
Fosfat (mg/L)	564,58	588,22	539,09	366,60

Ön arıtım çalışmalarında vizkozite değeri işletme süresi ile artış göstermiştir. 45 dakika sonunda vizkozite değeri 1,17 cP ölçülmüştür. Çözünmüş protein değerlerinde artışlar görülmüştür. Düşük frekanslı ön arıtım yöntemleri ile kıyaslandığında yüksek frekanslı ses dalgaları çözünmüş KOİ, 5 günlük BOİ ve çözünmüş protein değerlerinde artışlara neden olmuştur.

Çizelge 4.40: 53 kHz 40°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1800	2400	2600	3000
Çözülmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	8817	14536	12526	11907
Çözülmüş Protein (mg/L)	177,23	196,43	205,67	235,77
Vizkozite (cP)	1,10	1,08	1,12	1,24
pH	5,90	5,93	5,94	5,89
Çözülmüş Organik Karbon (mg/L)	2895	5000	4395	3488
Sülfat (mg/L)	47,89	49,15	51,69	64,25
Klorür (mg/L)	618,34	693,85	739,29	681,44
Florür (mg/L)	112,67	127,44	134,32	119,10
Nitrat (mg/L)	2,08	2,13	2,18	2,38
Bromür (mg/L)	0,21	0,19	0,19	0,94
Fosfat (mg/L)	460,81	605,72	702,19	615,46

53 kHz 40°C ön arıtım çalışmalarında işletme süresiyle 5 günlük BOİ artmıştır. 45 dakika sonunda 3000 mg/L'ye kadar yükselmiştir. Benzer bir durum çözülmüş protein analizleri sonucunda gözlenmiştir. 45 dakikalık işletme süresi sonunda 235,77 mg/L konsantrasyonunda çözülmüş protein ölçülmüştür. En yüksek çözülmüş KOİ 15 dakikalık işletme süresi sonunda 14536 mg/L konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir. Yüksek frekanslarda ve yüksek sıcaklıklar altında gerçekleştirilen ön arıtım çalışmaları Çizelge 4.36 ve Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.41: 53 kHz 50°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2200	2400	2600	2800
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	9245	9858	13568	12721
Çözünmüş Protein (mg/L)	125,26	156,44	169,65	207,22
Vizkozite (cP)	1,07	1,02	1,14	1,11
pH	5,89	5,86	5,86	5,85
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	3325	3458	4760	4538
Sülfat (mg/L)	59,05	69,69	79,94	85,25
Klorür (mg/L)	726,99	731,94	747,12	662,06
Florür (mg/L)	100,46	99,62	103,56	88,45
Nitrat (mg/L)	4,19	2,91	3,15	2,91
Bromür (mg/L)	0,28	0,27	0,25	0,25
Fosfat (mg/L)	741,04	850,47	890,26	900,52

İşletme süresindeki artışa bağlı olarak 5 günlük BOİ’de artışlar gözlemlenmiştir. 45 dakikalık işletme süresi sonunda 28000 mg/L olduğu belirlenmiştir. Çözünmüş protein değerlerindeki değişimler diğer ultrases ön işlemleri ile kıyaslandığında işletme süresiyle artışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Çözünmüş KOİ konsantrasyonu 13568 mg/L olarak hesaplanmıştır. Yüksek frekanslı ultrases ön arıtmalarda pH değeri işletme süreleri boyunca 5,85-5,89 aralığında değişmiştir. Sülfat iyon konsantrasyonu 5 dakikalık işletme süresi sonunda 741,04 mg/L değerindeyken 45 dakikalık işletme süresiyle 900,52 mg/L seviyelerine kadar yükselmiştir. İşletme süresinin 30 dakikayı geçmesi vizkozite değerinde azalmalara neden olmuştur.

Çizelge 4.42: 53 kHz 60°C ultrases ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2400	2600	2800	3000
Çözülmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	9500	10754	12721	14536
Çözülmüş Protein (mg/L)	176,61	186,8	213,7	276,71
Vizkozite (cP)	1,28	1,33	1,13	1,29
pH	5,61	5,51	5,53	5,50
Çözülmüş Organik Karbon (mg/L)	3416	3773	4463	5136
Sülfat (mg/L)	78,5	68,6	59,41	58,07
Klorür (mg/L)	764,05	721,22	607,86	604,99
Florür (mg/L)	110,97	104,75	86,30	85,63
Nitrat (mg/L)	6,73	2,85	2,46	2,10
Bromür (mg/L)	0,32	0,31	1,14	2,74
Fosfat (mg/L)	814,37	750,35	599,24	588,69

53 kHz ve sıcaklığın 60°C'ye çıkartılmasıyla gerçekleştirilen ultrases ön işlem sonuçları yukarıdaki Çizelgede verilmiştir. Yüksek frekanslı ön arıtım çalışmalarında işletme sıcaklığın artması çözülmüş KOİ, 5 günlük BOİ ve çözülmüş protein değerlerinde artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Bu artış ses frekanslarının sıcaklık etkisiyle daha aktif hale gelmesini ve substrat yapısındaki organik maddeler başta olmak üzere pek çok maddenin çözünmesini sağlamıştır. İşletme süresinin artması maddelerin çözünmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Asit ve alkali şartlarda belirlenen işletme sürelerinde ve sıcaklıklarında gerçekleştirilen ön arıtım çalışmaları ise kimyasal ön arıtmalar başlığı altında incelenmiştir.

4.2.1.4 pH<2 kimyasal ön işlemler

pH değerlerini 2'nin altına düşürmek için 1 M H₂SO₄ çözeltisi kullanılmıştır. pH<2'ye ayarlanmasından sonra erlenmayerler inkibatörün içerisine konulmuş ve gerekli işletme sıcaklıkları sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.43: pH<2 25°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1000	1000	1200
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4213	4867	4008	5067
Çözünmüş Protein (mg/L)	40,16	35,76	35,12	41,22
Vizkozite (cP)	1,10	1,14	1,19	1,06
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1478	1707	1406	1425
Sülfat (mg/L)	77,53	92,78	54,98	74,21
Klorür (mg/L)	579,86	626,89	523,10	586,10
Florür (mg/L)	74,81	81,98	72,29	76,27
Nitrat (mg/L)	2,36	2,07	1,98	1,89
Bromür (mg/L)	0,25	0,27	0,26	0,27
Fosfat (mg/L)	574,45	585,12	680,54	536,64

Düşük pH şartları ve oda sıcaklığında gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında arıtım verimlerinin yüksek olmadığı gözlemlenmiştir. Çözünmüş protein değeri en yüksek 41,22 mg/L 45 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.44: pH<2 40°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1000	1200	1000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4279	3712	5272	5285
Çözünmüş Protein (mg/L)	38,99	33,24	40,41	31,40
Vizkozite (cP)	1,14	1,15	1,10	1,14
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1539	1302	1817	1325
Sülfat (mg/L)	53,55	77,33	64,61	84,62
Klorür (mg/L)	552,20	532,83	414,63	517,81
Florür (mg/L)	72,31	71,67	78,82	74,30
Nitrat (mg/L)	2,19	2,84	2,89	2,45
Bromür (mg/L)	0,29	0,23	0,48	0,21
Fosfat (mg/L)	309,41	324,55	353,84	345,16

Sıcaklığın 40°C'ye çıkartılması sonucunda çözünmüş KOİ değerinde düşük seviyelerde artışlar elde edilmiştir. Çözünmüş protein değeri oda sıcaklığında gerçekleştirilen pH<2 kimyasal ön arıtım ile kıyaslandığında azalmalar görülmüştür. Bu ön arıtım çalışmalarında sıcaklığın artışı çözünmüş KOİ'nin artmasına neden olmuştur. Florür anyon iyonun 78,22 mg/L değerine 30 dakikalık işletme süresi sonunda ulaşmıştır. Klorür iyonu ise 5 dakikalık işletme süreleri sonunda 552,204 mg/L konsantrasyonuna ulaşmıştır.

Sıcaklığın arttırılması ile gerçekleştirilen ön işlem yöntemlerinin etkileri Çizelge 4.45 ve Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.45: pH<2 50°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1200	1200	1000
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4412	3790	4479	5572
Çözünmüş Protein (mg/L)	42,06	42,54	38,14	36,10
Vizkozite (cP)	1,12	1,17	1,16	1,19
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1521	1329	1454	2975
Sülfat (mg/L)	55,53	71,54	67,61	74,24
Klorür (mg/L)	452,20	432,83	414,63	487,81
Florür (mg/L)	65,31	61,74	68,24	72, 12
Nitrat (mg/L)	2,19	2,84	2,89	2,45
Bromür (mg/L)	0,27	0,27	0,28	0,22
Fosfat (mg/L)	329,51	334,94	367,41	355,16

İlk 30 dakikalık işletme süreleri sonunda 5 günlük BOİ 1200 mg/L ölçülmüşken 45 dakikalık işletme süresi sonunda 1000 mg/L konsantrasyonuna düşmüştür. En yüksek çözünmüş KOİ değerleri 5572 mg/L olarak bulunmuştur. Bu arıtım şartlarında çözünmüş KOİ değerleri ile işletme süresi arasında bağlantı kurulamamıştır. Çözünmüş protein konsantrasyonları düşük işletme sıcaklıklarında daha yüksek olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artması çözünmüş protein değerinde azalmalara neden olmuştur. İncelenen anyon iyonlarının çözünürlüğünde azalmalar belirlenmiştir. Sülfat iyonu 74,2 mg/L, klorür iyonu 487,18 mg/L, florür iyonu ise 72,124 mg/L konsantrasyonlarına 45 dakikalık işletme süreleri sonunda ulaşmıştır.

Çizelge 4.46: pH<2 60°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	1200	1200	1200	1200
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	4524	4024	4574	5812
Çözünmüş Protein (mg/L)	42,56	40,04	42,14	38,12
Vizkozite (cP)	1,19	1,21	1,23	1,20
pH	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	1615	1490	1685	2150
Sülfat (mg/L)	55,53	71,54	67,61	74,25
Klorür (mg/L)	452,20	432,83	414,63	487,81
Florür (mg/L)	65,31	61,74	68,24	72, 12
Nitrat (mg/L)	2,19	2,84	2,89	2,45
Bromür (mg/L)	0,27	0,27	0,28	0,22
Fosfat (mg/L)	329,51	334,94	367,41	355,16

Yüksek sıcaklığın düşük pH değerlerinde çözünmeye etkileri Çizelge 4.46'da verilmiştir. İşletme sürelerinde 5 günlük BOİ değeri değişmemiştir ve 1200 mg/L konsantrasyonunda sabit kalmıştır. Çözünmüş KOİ değerleri incelendiğinde 5, 15, 30 ve 45 dakikalık işletme süreleri sonunda sırasıyla 4524 mg/L, 4024 mg/L, 4574 mg/L ve 5812 mg/L olduğu hesaplanmıştır. Vizkozite değerleri ilk 30 dakikalık işletme süreleri sonunda düşük seviyelerde artışlar görülmüştür. 45 dakikalık işletme süresi sonunda ise 1,20 cP düştüğü belirlenmiştir.

Zheng vd. (2014), yapılan çalışmada yüksek sıcaklık ve yüksek asit konsantrasyonlarında gerçekleştirilen ön arıtım şartlarında çözünmüş KOİ ve şeker konsantrasyonlarının arttığı buna bağlı olarak metan verimi değişmediğini belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar Zheng vd. yaptığı çalışmayı doğrulamıştır.

4.2.1.5 pH 5 kimyasal ön işlemler

%10 katı madde olan arıtma çamurlarının pH değeri 6,20-7,0 arasında değişmektedir. pH değerini 5'e getirmek için 1 M H₂SO₄ çözeltisi kullanılmıştır. İşletme sıcaklığı ve süresinin etkileri aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.47: pH 5 25°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2000	2400	2400	1800
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	8765	7855	7516	8368
Çözünmüş Protein (mg/L)	177,76	190,39	192,81	156,18
Vizkozite (cP)	0,95	1,01	1,04	1,08
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	3075	2708	2684	2988
Sülfat (mg/L)	136,88	142,99	143,88	141,31
Klorür (mg/L)	655,56	683,62	623,10	659,25
Florür (mg/L)	96,61	101,52	91,76	98,11
Nitrat (mg/L)	2,51	2,46	2,12	2,31
Bromür (mg/L)	0,26	0,27	0,38	0,37
Fosfat (mg/L)	740,14	850,28	750,28	844,91

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında vizkozite değeri en yüksek 45 dakikalık işletme süresi sonunda 1,08 cP olarak ölçülmüştür. Çözünmüş KOİ 5 dakikalık işletme süresi sonunda 8765 mg/L olarak hesaplanmıştır. İşletme süreleri boyunca azalmalar ve artışlar gerçekleşmesine rağmen en yüksek değer 5 dakikalık işletme süresi sonunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.48: pH 5 40°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2200	2000	2200	2200
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	9056	9403	9275	8654
Çözünmüş Protein (mg/L)	143,13	119,71	146,6	150,86
Vizkozite (cP)	1,01	1,03	1,08	1,08
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	3293	3358	3254	3036
Sülfat (mg/L)	98,21	76,54	78,84	64,29
Klorür (mg/L)	519,63	549,07	462,77	635,63
Florür (mg/L)	75,78	78,89	67,19	92,46
Nitrat (mg/L)	1,89	3,34	1,72	2,72
Bromür (mg/L)	0,08	0,07	0,09	0,22
Fosfat (mg/L)	545,42	666,05	472,12	802,64

1 M H₂SO₄ çözeltisi pH 5'e getirilmiş ve sıcaklığın 40°C'ye çıkartılmasıyla gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında çözünmüş protein işletme sürelerinde 143,13 mg/L, 119,71 mg/L, 146,6 mg/L ve 150,86 mg/L olduğu bulunmuştur. En yüksek çözünmüş KOİ değeri 15 dakikalık işletme süresi sonunda 9403 mg/L hesaplanmıştır. 15 dakikalık işletme süresi hariç diğer bütün işletme sürelerinde 5 günlük BOİ 2200 mg/L olarak ölçülmüştür. 5 günlük BOİ ve çözünmüş KOİ değerleri aynı pH değerlerinde oda sıcaklığında gerçekleştirilen ön arıtım sonuçları ile kıyaslandığında daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Sıcaklığın etkisinin belirlenebilmesi amacıyla 50 ve 60°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarının sonuçları aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.49: pH 5 50°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2400	2800	2800	2800
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	9552	9985	11952	8822
Çözünmüş Protein (mg/L)	158,24	164,34	165,27	169,39
Vizkozite (cP)	1,03	1,07	1,08	1,01
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Toplam Organik Karbon (mg/L)	3351	3566	4112	3946
Sülfat (mg/L)	78,12	74,74	76,62	69,05
Klorür (mg/L)	521,76	587,3	568,95	538,32
Florür (mg/L)	73,72	83,89	79,63	74,16
Nitrat (mg/L)	2,08	2,28	2,37	2,49
Bromür (mg/L)	0,38	0,49	0,47	0,10
Fosfat (mg/L)	584,67	773,21	773,14	695,12

Sıcaklığın 50°C çıkartılması sonucunda çözünmüş KOİ 11952 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çözünmüş protein işletme sürenin artmasıyla artış eğilimi göstermiştir. En yüksek çözünmüş protein konsantrasyonu 169,39 mg/L 45 dakika sonunda elde edilmiştir. 5 günlük BOİ, ilk 5 dakikalık işletme süresi sonunda 2400 mg/L, sürenin artmasına bağlı olarak 2800 mg/L değerinde sabit kalmıştır. 30 dakikalık işletme sürelerinde gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmalarında vizkozite değerinde kademeli olarak artışlar belirlenmiştir. 45 dakika sonunda vizkozite değeri azalmış ve 1,01 cP olarak ölçülmüştür

Çizelge 4.50: pH 5 60°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	2800	2800	3000	2600
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	10856	11754	10554	12702
Çözünmüş Protein (mg/L)	174,42	178,75	191,97	159,23
Vizkozite (cP)	1,08	1,02	1,10	1,05
pH	5,00	5,00	5,00	5,00
Çözünmüş Organik Karbon mg/L)	3849	4274	3651	4380
Sülfat (mg/L)	88,54	72,87	75,44	87,09
Klorür (mg/L)	514,12	567,48	545,24	528,12
Florür (mg/L)	72,14	75,42	69,18	73,24
Nitrat (mg/L)	2,06	2,14	2,67	2,58
Bromür (mg/L)	0,38	0,28	0,35	0,38
Fosfat (mg/L)	546,12	682,14	722,56	695,13

60°C’de gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmalarında 5 günlük BOİ 30 dakika işletme süresi sonunda 3000 mg/L’ye ulaşmasına neden olmuştur. Sıcaklığın artması çözünmüş KOİ değerlerinde artışlara neden olmuştur. 45 dakikalık işletme süresi sonunda çözünmüş protein konsantrasyonunda azalmalar belirlenmiştir. Sıcaklığın ön arıtım çalışmalarında protein yapısını bozarak çözünmüş protein konsantrasyonlarında azalmalar gözlemlenmesine neden olmuştur. En yüksek vizkozite değeri 1,10 cP bulunmuştur.

NaOH alkali ön arıtım çalışmalarının substratlar üzerinde başta metan verimi olmak üzere pek çok artış sağladığı belirlenmiştir (Zheng vd., 2014).

4.2.1.6 pH 10 kimyasal ön işlemler

pH değeri 10'na çıkarıldığında 5, 15, 30 ve 45 dakika işletme sürelerinde ön arıtım çalışmaları yapılmıştır. Her bir ön arıtım şartı için yapılan çalışmalar aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.51: pH 10 25°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	3600	3400	3600	3200
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12738	13748	12505	13204
Çözünmüş Protein (mg/L)	232,54	220,14	242,12	222,95
Vizkozite (cP)	1,04	1,17	1,03	1,10
pH	10,00	10,0	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	4632	4940	4809	4926
Sülfat (mg/L)	88,62	72,42	75,89	87,20
Klorür (mg/L)	514,12	567,48	545,24	528,12
Florür (mg/L)	72,14	75,42	69,18	73,24
Nitrat (mg/L)	2,06	2,14	2,67	2,58
Bromür (mg/L)	0,38	0,28	0,35	0,38
Fosfat (mg/L)	546,12	682,14	722,56	695,15

pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında 5 günlük BOİ ve çözünmüş protein değerleri diğer kimyasal, ultrases ve termal ön arıtmalar ile kıyaslandığında yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek çözünmüş KOİ 30 dakikalık işletme süresi sonunda 13748 mg/L olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.52: pH 10 40°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	3600	3800	3800	3200
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	12971	14136	13670	13204
Çözünmüş Protein (mg/L)	253,63	265,43	267,12	220,15
Vizkozite (cP)	1,09	1,07	1,05	1,03
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	4733	5012	5044	4836
Sülfat (mg/L)	75,54	86,54	85,21	87,65
Klorür (mg/L)	504,23	537,84	535,59	518,21
Florür (mg/L)	70,14	76,42	71,18	74,24
Nitrat (mg/L)	2,06	2,14	2,67	2,58
Bromür (mg/L)	0,38	0,28	0,35	0,38
Fosfat (mg/L)	526,12	562,14	625,56	685,1

NaOH çözeltisi kullanılarak pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında sıcaklık 40°C'ye çıkarılmasıyla elde edilen sonuçlara göre çözünmüş KOİ değeri 14136 mg/L değerine yükselmiştir. Aynı şartlarda çözünmüş protein değeri de 30 dakikalık işletme süresi sonunda 2647,12 mg/L ölçülmüştür. En yüksek toplam organik karbon 5044 mg/L en yüksek toplam azot 422,1 mg/L olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.53: pH 10 50°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	3000	3600	3800	3800
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	13903	14447	14214	14058
Çözünmüş Protein (mg/L)	212,54	258,14	272,12	265,95
Vizkozite (cP)	1,01	1,13	1,06	1,04
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	5055	5159	5076	5020
Sülfat (mg/L)	79,05	75,41	79,94	82,15
Klorür (mg/L)	726,99	731,94	747,0	762,06
Florür (mg/L)	100,46	99,62	103,56	88,45
Nitrat (mg/L)	4,19	2,91	3,15	2,91
Bromür (mg/L)	0,28	0,27	0,25	0,25
Fosfat (mg/L)	814,04	842,47	885,26	895,25

pH 10'na ayarlanarak işletme sıcaklığının 50°C'ye çıkarılması sonucu gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında çözünmüş KOİ'nin en yüksek olduğu işletme süresi 15 dakika olduğu belirlenmiştir. Bu işletme süresi sonunda 14447 mg/L ölçülmüştür. Çözünmüş protein değerinin en yüksek olduğu işletme süresinin ise 30 dakika olduğu tespit edilmiştir. 30 dakikalık işletme süresi sonunda 5 günlük BOİ 3800 mg/L değerine kadar çıkmıştır.

Klorür anyon iyon 762,06 mg/L konsantrasyonuna 45 dakikalık işletme süresi sonunda ulaşmıştır. Sülfat iyon konsantrasyonu 895,25 mg/L en yüksek değer olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.54: pH 10 60°C kimyasal ön arıtım çalışmaları sonuçları.

Yapılan Analizler	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk
5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	3600	4000	4000	3600
Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	13359	14680	14602	14214
Çözünmüş Protein (mg/L)	260,85	285,15	288,62	251,41
Vizkozite (cP)	0,95	1,19	1,09	1,05
pH	10,00	10,00	10,00	10,00
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	4857	5377	5123	5076
Sülfat (mg/L)	75,54	86,54	85,00	87,65
Klorür (mg/L)	504,23	537,84	535,59	518,21
Florür (mg/L)	68,74	75,125	73,56	76,89
Nitrat (mg/L)	2,52	2,75	2,57	2,85
Bromür (mg/L)	0,38	0,28	0,35	0,38
Fosfat (mg/L)	525,42	505,42	575,15	610,54

pH 10'a yükseltilmesi ve işletme sıcaklığının 60°C'ye çıkartılması ile gerçekleştirilen ön arıtım çalışmaları sonuçları Çizelge 4.54'te verilmiştir. Arıtma çamurlarına uygulanan diğer ön arıtım yöntemleriyle kıyaslandığında çözünmüş KOİ, çözünmüş protein ve 5 günlük BOİ yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çözünmüş KOİ 15 dakikalık işletme süreleri sonunda 14680 mg/L, çözünmüş protein miktarı ise 30 dakika sonunda 288,16 mg/L değerlerine yükseldiği belirlenmiştir.

Arıtma çamurlarının ön arıtım işlemlerinin çözünmüş protien ve çözünmüş KOİ değerlerindeki değişimler göz önüne alındığında en yüksek verimler pH 10 kimyasal ön arıtım şartlarında elde edilmiştir. Alkali ön arıtım ile en iyi anaerobik çürümenin elde edildiği ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında metan verimlerinde artışların elde edildiği çalışmalar (Cesaro ve Belgiorio, 2014) ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.2 Aşı Çamurunun Karakterizasyonu

Arıtma çamurlarının BMP analizlerinde kullanılmak üzere Aksaray SÜTAŞ fabrikasının anaerobik çürütücüsünün tabanından aşı olarak kullanılmak üzere çamur alınmıştır. ÇHİ çalışmaları Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Analiz sonucu çamurun çökelebilen katı kısmı 0,6 mL olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.15: Aşı çamurunun ÇHİ deney çalışmaları.

Aşı çamurunun ÇHİ değeri, 82,70 mL/g, UAKM 24000 mg/L ve AKM 26600 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Spesifik metan aktivite testi (SMA) için gerekli olan miktarlar AKM ve UAKM değerlerinden hesaplanmıştır. Çizelge 4.55'te verilmiştir.

Çizelge 4.55: Spesifik metan aktivite testinde şişelerin içerisine konulan miktarlar.

Saf su miktarı, mL	42,3
İlave edilecek glikoz miktarı, mL	10,0
İlave edilecek NaHCO ₃ , mL	5,00
İlave edilecek basal ortamı, mL	16,0
İlave edilecek çamur, mL	6,67

Çizelge 4.55'te belirtilen miktarlardaki değerler alınmış 125 mL'lik amber renkli şişelere konulmuş, hava sızdırmaması için tıplar ile kapatılmış ve 2 dakika boyunca azot gazından geçirildikten sonra 36°C sıcaklıktaki 80 rpm dönüş hızındaki inhibitör içerisine konulmuştur. Günlük olarak üretilen metan miktarı %11 KOH'luk timol mavisi içeren çözelti kullanılmış ve sıvı yer değiştirmesi yöntemi ile belirlenmiştir. 3 tekrarlı ve 5 gün boyunca gerçekleştirilen SMA testi sonuçları Çizelge 4.56'da verilmiştir.

Çizelge 4.56: Aşı çamurunun SMA sonuçları.

GÜN	1.TÜP			2.TÜP			3.TÜP		
	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Miktar (mL)	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Miktar (mL)	Ölçüm Tarihi	Ölçüm Saati	Miktar (mL)
1. GÜN	25.06.2017	12:30	0,9	25.06.2017	12:35	0,4	25.06.2017	12:30	0,5
2. GÜN	26.06.2017	12:30	0,7	26.06.2017	12:35	0,4	26.06.2017	12:30	0,5
3. GÜN	27.06.2017	12:30	0,4	27.06.2017	12:33	0,2	27.06.2017	12:30	0,7
4. GÜN	28.06.2017	12:30	0,1	28.06.2017	12:33	0,4	28.06.2017	12:30	0,5
5. GÜN	29.06.2017	12:30	-	29.06.2017	12:30	0,1	29.06.2017	12:30	0,1

5 gün boyunca gerçekleştirilen SMA test sonuçlarında ortalama 7,2 mL CH₄/gUKM.gün belirlenmiştir.

4.2.3 BMP Çalışmaları

BMP deneyleri ön arıtım çalışmaları sonunda çözünmüş KOİ ve protein değerlerinin en yüksek olduğu şartlarda daha önce belirtildiği şekilde yapılmıştır. Çözünmüş KOİ dikkate alınarak Çizelge 4.57’de çözünmüş protein dikkate alınarak da Çizelge 4.58 hazırlanmıştır. Çizelge 4.57’de uygulanan her bir ön işlem içinde en yüksek çözünmüş KOİ olduğu değer için BMP testleri yapılmışken benzer durum Çizelge 4.58’deki protein değerinin en yüksek olduğu değer içinde yapılmıştır

Çizelge 4.57: Ön işlemlerde sonucunda en yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği işletme şartları.

25°C	40°C	50°C	60°C	-18°C	25°C 35 kHz	40°C 35 kHz	50°C 35 kHz	60°C 35 kHz
45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk
2877	4137	4753	5041	2191	4711	5421	5615	5815
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
25°C	40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C	25°C
53 kHz	53 kHz	53 kHz	53 kHz	pH 5	pH 5	pH 5	pH 5	pH 10
5 dk	15 dk	30 dk	45 dk	5 dk	15 dk	30 dk	45 dk	15 dk
10400	14536	13568	14536	8765	9403	11952	12702	13748
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C	-	-
pH 10	pH 10	pH 10	pH <2	pH <2	pH <2	pH <2	-	-
15 dk	15 dk	15 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	-	-
14136	14447	14680	5067	5285	5572	5812	-	-
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	-	-

Termal ön arıtım işlemleri sonucunda sıcaklığın artmasıyla çözünmüş KOİ değerleri artmıştır. Oda sıcaklığında 2877 mg/L değerinde olan çözünmüş KOİ işletme sıcaklığının artmasıyla 5041 mg/L seviyelerine çıkmıştır. Termal arıtımda optimum işletme süresi 45 dakika olarak belirlenmiştir. Yüksek frekanslı ön arıtım çalışmalarında işletme süresinin artması çözünmüş KOİ değerlerinde belirgin artışlara neden olmuştur. pH 5 kimyasal ön arıtlımlarda KOİ değişimlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. pH değerinin 10'a çıkartıldığı kimyasal ön işlemlerde çözünmüş KOİ değerlerindeki artış işletme süresinden ziyade işletme sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. En yüksek değer 14680 m/L olarak 60°C'de ölçülmüştür. Asit ilavesi ile yapılan kimyasal ön işlemlerinde çözünmüş KOİ değerlerinde sıcaklığa bağlı düşük lineer artışlar belirlenmiştir.

Çizelge 4.58: Ön işlemlerde sonucunda en yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği işletme şartları.

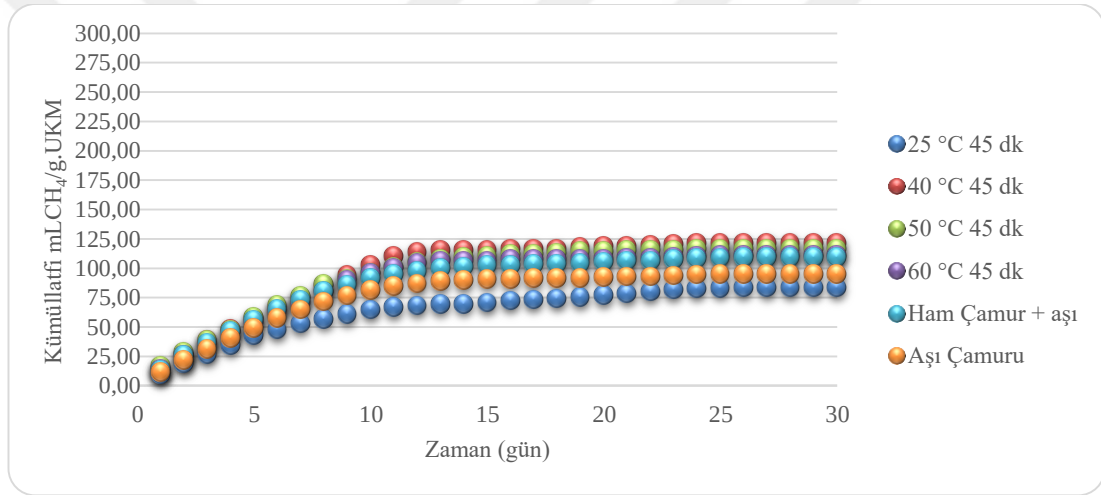
25°C	40°C	50°C	60°C	-18°C	25°C 35 kHz	40°C 35 kHz	50°C 35 kHz	60°C 35 kHz
45 dk	45 dk	45 dk	5 dk	45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	5 dk
45,17	51,12	53,36	58,51	58,14	163,93	129,42	176,40	110,97
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
25°C	40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C	25°C
53 kHz	53 kHz	53 kHz	53 kHz	pH 5	pH 5	pH 5	pH 5	pH 10
45 dk	45 dk	45 dk	45 dk	30 dk	45 dk	45 dk	30 dk	30 dk
135,68	235,0	207,20	276,10	192,0	150,86	169,39	191,97	242,0
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
40°C	50°C	60°C	25°C	40°C	50°C	60°C		
pH 10	pH 10	pH 10	pH <2	pH <2	pH <2	pH <2	-	-
30 dk	30 dk	30 dk	45 dk	30 dk	15 dk	5 dk		
267,0	272,0	288,0	40,0	41,0	42,54	42,56		
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		

Termal ön arıtlımlarda çözünmüş protein değerlerindeki değişimler belirgin şekilde artmamıştır. 60°C'deki işletme sıcaklığında diğer sıcaklıklardan farklı olarak kısa işletme süresinde en yüksek çözünmüş protein değeri elde edilmiştir. Düşük frekanslı ultrases ön arıtlımları termal ön arıtım çalışmalarında elde edilen protein değerleri ile kıyaslandığında çözünmüş protein değerleri fazladır. Termal ön arıtıma benzer şekilde yüksek sıcaklıklarda düşük işletme sürelerinde çözünmüş protein değerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ultrases uygulamalarında frekansın arttırılması ile 50°C işletme sıcaklığında çözünmüş protein miktarında düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek değer 276,1 mg/L ile 60°C işletme sıcaklığında elde edilmiştir. Kimyasal ön arıtım çalışmalarından pH 5'te en yüksek çözünmüş protein değeri 25°C'de elde edilmiştir. İşletme süresi ve sıcaklığına bağlı olarak çözünmüş protein değerleri değişkenlik göstermiştir. pH değerinin 10 olduğu kimyasal ön arıtım çalışmalarında tüm işletme sıcaklıkları için optimum işletme süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. İşletme

sıcaklığının artması ile birlikte çözünmüş protein değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. En yüksek çözünmüş protein değerleri pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında elde edilmiştir. pH değerinin 2'nin altına düşürüldüğü kimyasal ön arıtım çalışmalarında çözünmüş protein değerleri işletme sıcaklığı ile doğru orantılıyken işletme süresi ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Çözünmüş protein değerlerindeki artışların yüksek olmadığı görülmüştür.

4.2.3.1 Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP deneyleri

Süzüntü suyundan kapalı reflüks titrimetrik yöntemine göre yapılan çözünmüş KOİ değerinin en yüksek olduğu ön arıtım şartları belirlenmiştir. Belirlenen şartlarda 30 günlük BMP test sonuçları Şekil 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21'de verilmiştir.

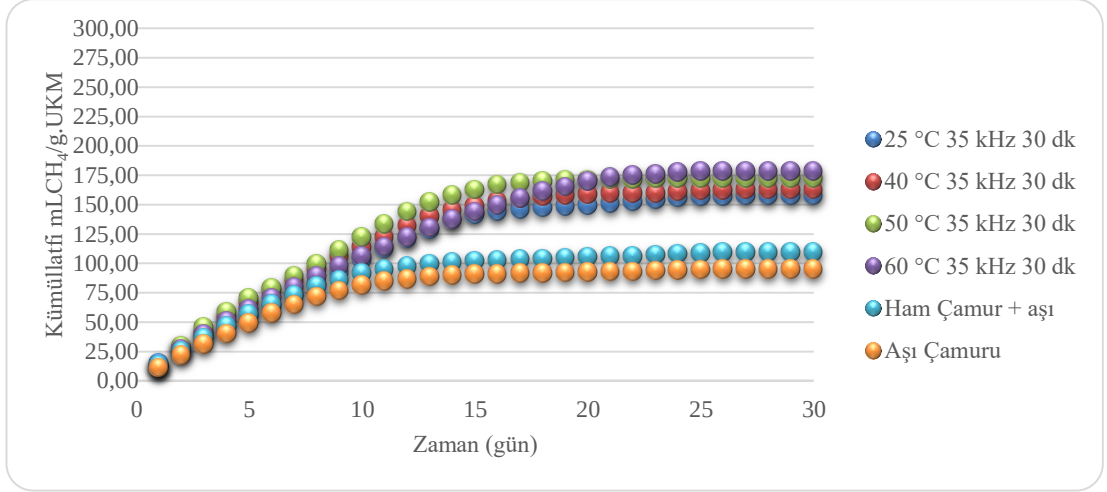


Şekil 4.16: Çözünmüş KOİ değerlerine göre termal ön arıtmaların BMP sonuçları.

Oda sıcaklığında ve 45 dakika işletme süresinde, ön arıtım şartlarında gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda yapılan BMP testlerinde kümülatif BMP değerleri ham çamur + aş (Blank) elde edilen BMP değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. 40°C, 50°C ve 60°C işletme sıcaklıklarında gerçekleştirilen ön arıtmalar sonucunda sırasıyla %10, %6,68 ve %1,49 artışlar elde edilmiştir. Kümülatif biyokimyasal metan potansiyeli artışı 25°C 45 dk.<60°C 45 dk.<50°C 45 dk.<40°C 45 dk. olarak sıralanmıştır.

Kuglarz vd. (2013), yaptığı çalışmalardan daha düşük metan üretim verimleri elde edilmiştir.

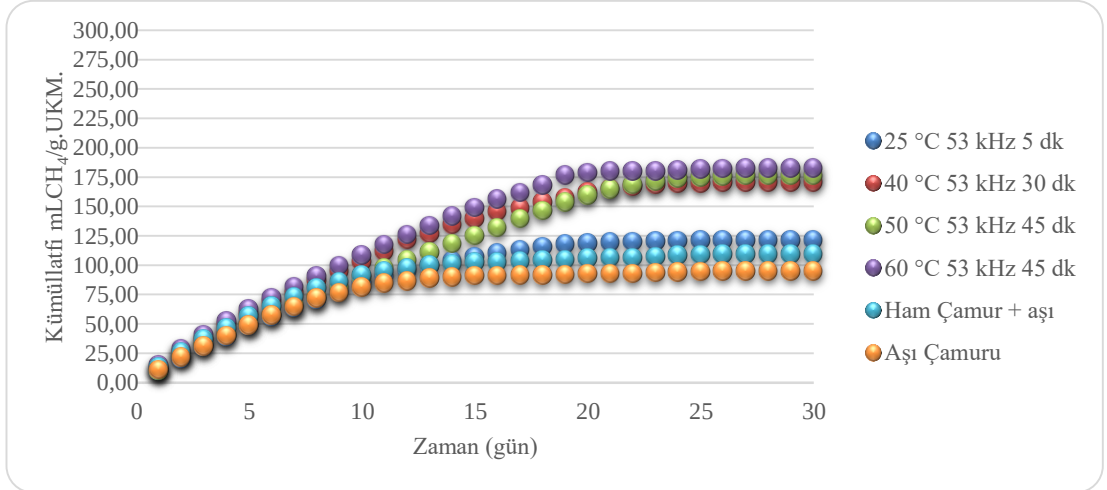
Düşük frekanslı ultrases ön işlemlerinde en yüksek çözünmüş KOİ değerleri 30 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir.



Şekil 4.17: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.

En yüksek BMP değeri 178,4 mL CH₄/gUKM olarak 60°C 30 dakikada gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında elde edilmiştir. Elde edilmiş olan bu değer %63,12’lik bir artışa karşılık geldiği belirlenmiştir. 25°C 45. dakika da ise %44,09’lük bir artış elde edilmesine rağmen 40°C 30. dakikada ve 50°C 30. dakikalarda sırasıyla %48,92 ve %57,66 artışlar belirlenmiştir.

Düşük frekansta gerçekleştirilen ön arıtım şartları BMP artışlarında etkili olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18: Çözünmüş KOİ değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.

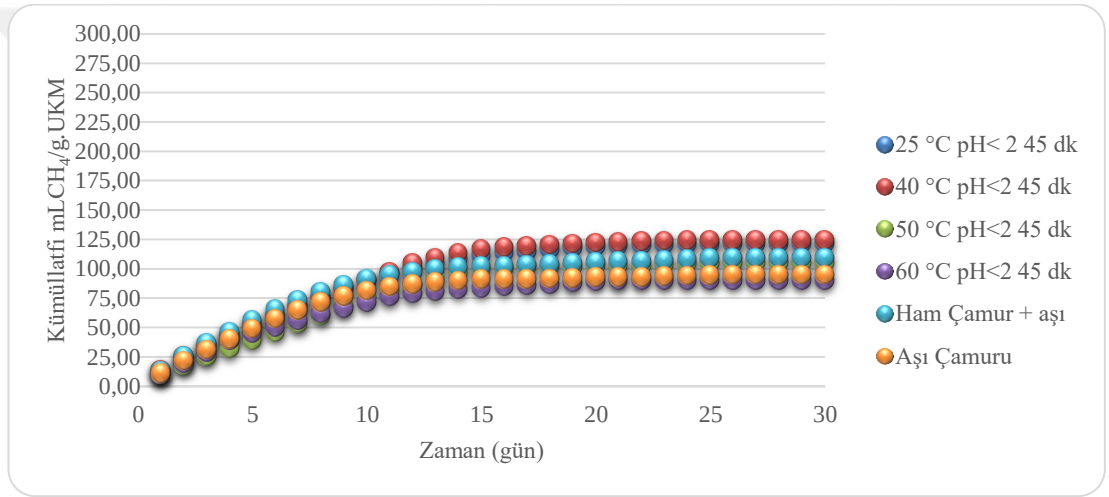
Yüksek frekanstaki ses dalgalarının suya verilmesi sonucunda farklı işletme sürelerinde ve sıcaklıklarında gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarının 30 günlük kümülatif BMP değerlerinin Şekil 4.18’de verilmiştir.

25°C, 40°C, 50°C ve 60°C işletme sıcaklıklarında sırasıyla 121,5 mL CH₄/gUKM, 170,6 mL CH₄/gUKM, 176,2 mL CH₄/gUKM ve 182,4 mL CH₄/gUKM kümülatif BMP değerleri ölçülmüştür.

Pilli vd. (2011), ultrases ön işlemlerinin etkileri çamurun özelliklerine ve ultrasese bağlı olarak değiştiğini ve tam ölçekli sistemlerde biyogazda %50'ye varan artışlar elde edilmiştir. Yüksek frekansta yapılan ön arıtım şartlarında işletme sıcaklığına bağlı olarak BMP değerlerinde %44,09-%57,66 artışlar elde edilmiştir.

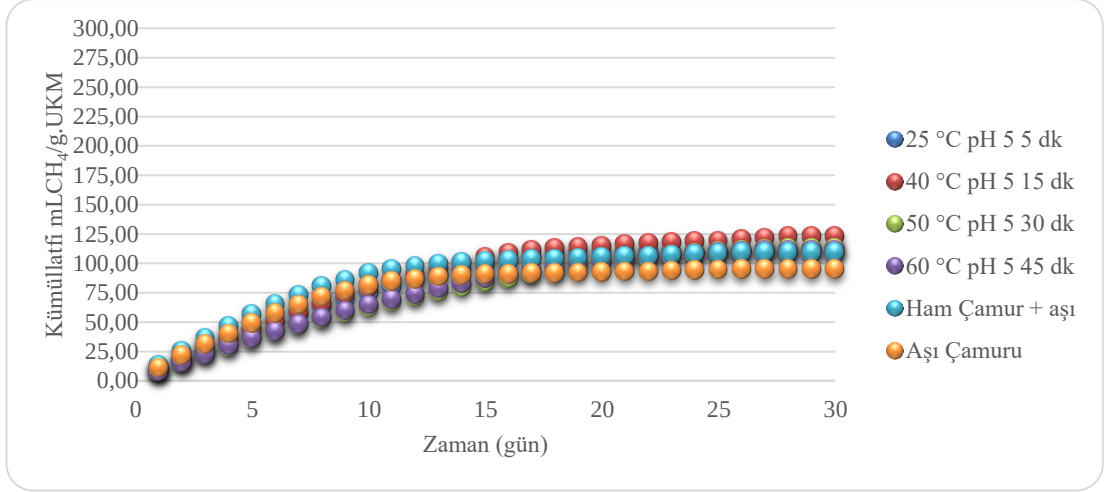
pH<2 kimyasal ön arıtım çalışmalarında çözünmüş KOİ değerlerinde artışların çok düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir.

Çözünmüş KOİ değerlerindeki artışlar dikkate alınarak gerçekleştirilen BMP test sonuçları Şekil 4.19'da verilmiştir.



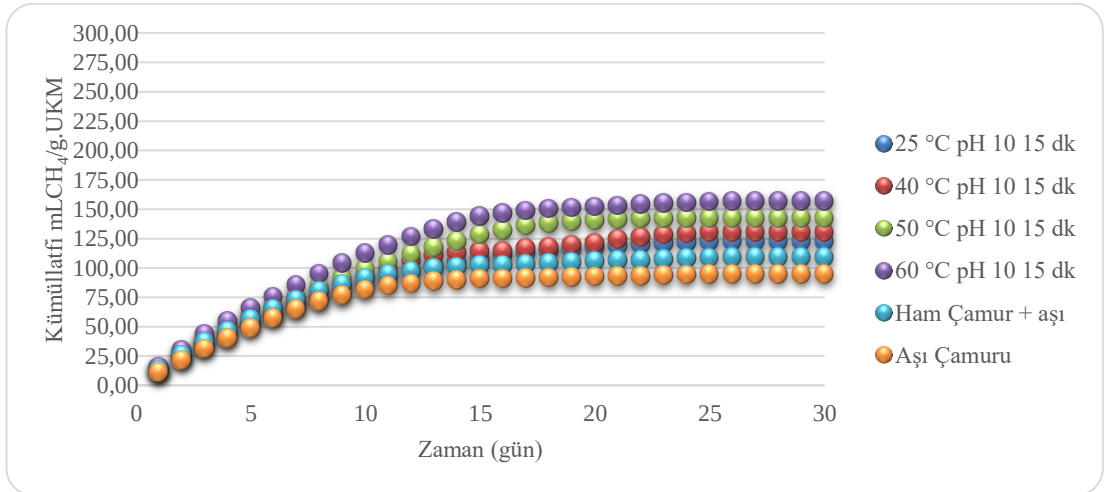
Şekil 4.19: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.

Ön arıtım çalışmaları sonucunda en uygun işletme süresinin 45 dakika olduğu belirlenmiş 45 dakika işletme süreleri boyunca gerçekleştirilen ön arıtım çalışmaları sonucunda düşük işletme sıcaklıklarında (25 ve 40°C) BMP artışlar gözlemlenmiştir. İşletme sıcaklığının artması BMP değerlerinde artışlara neden olmamıştır. Bu işletme sıcaklıklarında çözünmüş KOİ değerlerinde artışlar elde edilmesine rağmen BMP değerleri üzerinde artırıcı etki göstermediği belirlenmiştir.



Şekil 4.20: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.

pH 5 BMP test sonuçları, Şekil 4.21’de verilmiştir. Çözünmüş KOİ değerinin en yüksek olduğu ön arıtım şartları 25°C 5 dakika, 40°C 15 dakika, 50°C 30 dakika ve 60°C 45 dakika olduğu belirlenmiştir. Bu ön arıtım şartları altında 30 günlük BMP testlerinde en yüksek 122,8 mL CH₄/gUKM 40°C işletme sıcaklığında 15 dakika sonunda işletme süresi sonunda elde edilmiştir. Diğer şartlarda da BMP değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir.



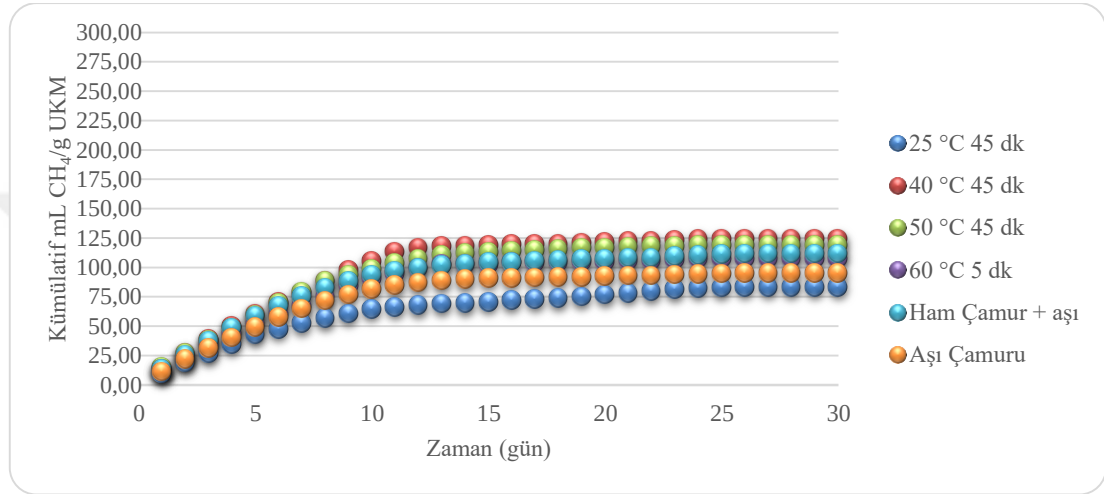
Şekil 4.21: Çözünmüş KOİ değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtmaların BMP sonuçları.

Arıtma çamurlarının ön arıtım çalışmaları sonucunda en fazla çözünmüş KOİ değerleri pH 10 kimyasal ön arıtmaları sonucunda elde edildiği önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte kümülatif BMP sonuçlarında artışlar elde

edilmiştir. 25°C, 40°C, 50°C ve 60°C sıcaklıklarında BMP değerlerindeki artışlar sırasıyla %12,12, %19,48, %30,36 ve %43,61 olarak bulunmuştur.

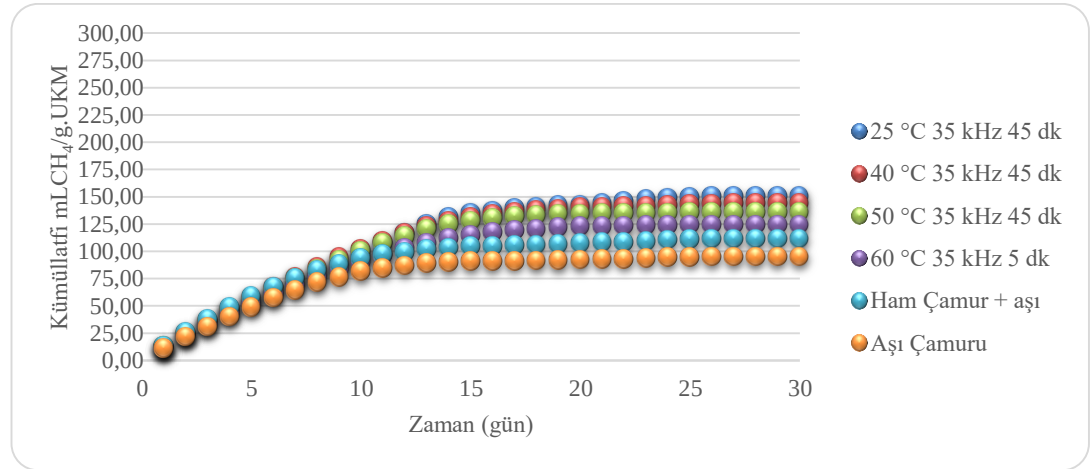
4.2.3.2 Çözünmüş protein değerlerine göre BMP deneyleri

Farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan ön arıtım çalışmaları sonucu süzöntü suyundan çözünmüş protein değerinin en yüksek olduğu ön arıtım şartlarından sonra 30 günlük kümülatif BMP testleri sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



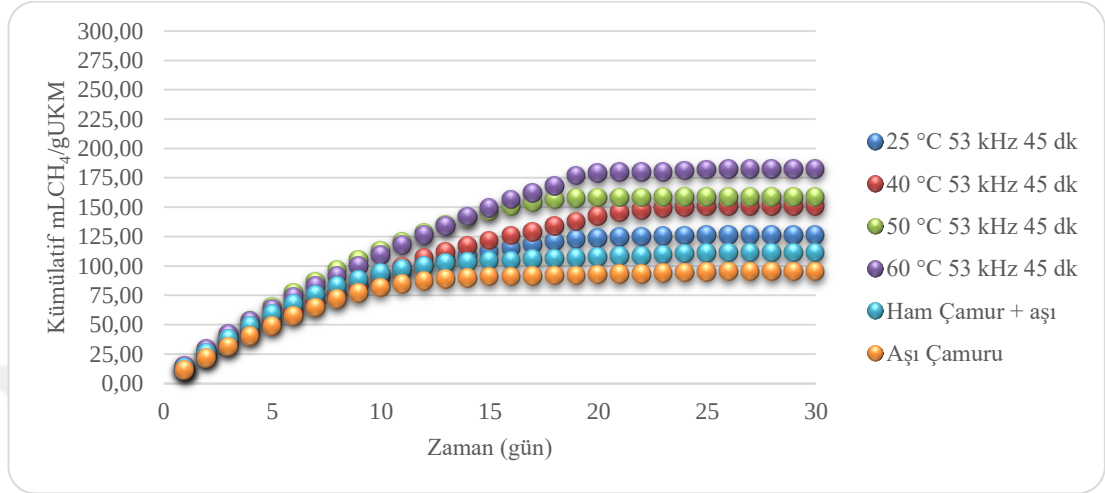
Şekil 4.22: Çözünmüş protein değerlerine göre termal ön arıtmaların BMP sonuçları.

Termal ön arıtım çalışmalarında yalnızca 40 ve 50°C işletme sıcaklıklarında BMP değerlerinde artışlar elde edilmiştir. Ultrases ön işlemlerine 2 farklı frekansta ses dalgaları ile gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarının BMP üzerine etkileri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



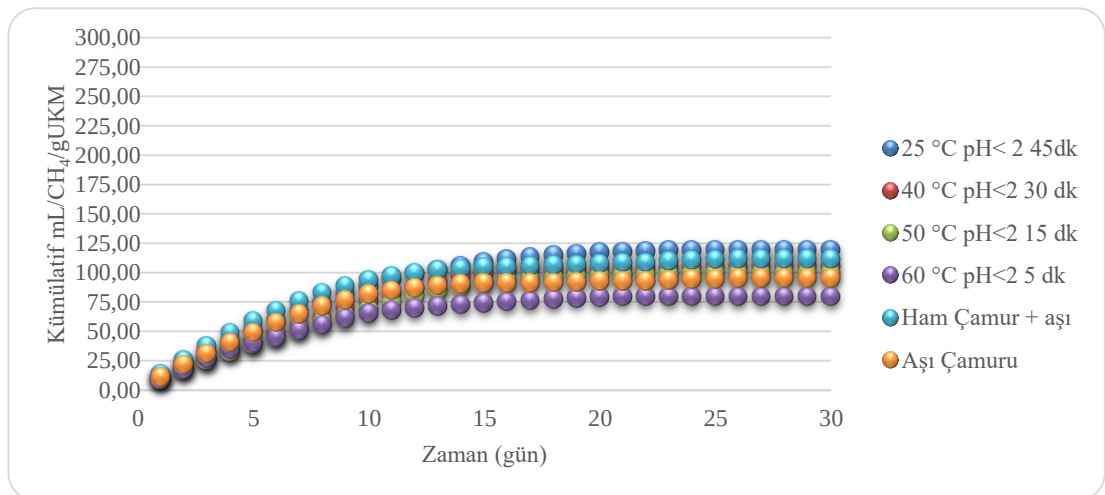
Şekil 4.23: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (35 kHz) ön arıtmaların BMP sonuçları.

Düşük frekanslı ultrases ön arıtım çalışmaları sonucunda işletme sıcaklığındaki artış ile ters orantılı olarak BMP değerlerinde azalmalar görülmüştür. 25°C işletme sıcaklığında 45 dakika işletme süresi sonunda %35,19'luk BMP artışı elde edilmişken sıcaklığın 40°C çıkarılmasıyla BMP değerlerinde %29,26'lık bir artış elde edilmiştir.



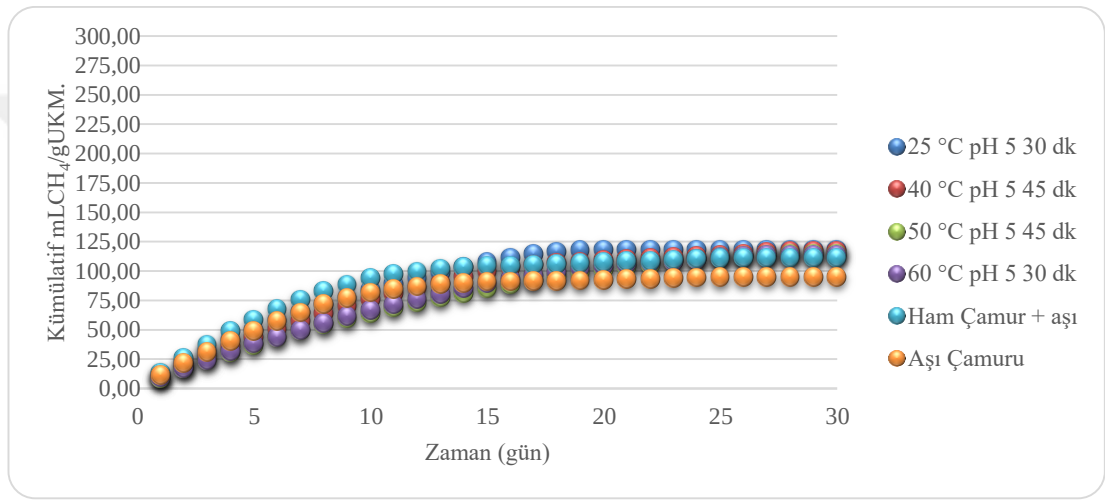
Şekil 4.24: Çözünmüş protein değerlerine göre ultrases (53 kHz) ön arıtımların BMP sonuçları.

53 kHz ultrases ön arıtım deneylerinde bütün işletme sıcaklıkları için ortak işletme süresi 45 dakika olarak belirlenmiştir. 53 kHz ön arıtım çalışmalarının bütün işletme sürelerinde BMP’de artışlar belirlenmiştir. İşletme sıcaklığına bağlı olarak %63,73’lük artışlar elde edilmiştir. Yüksek frekanslı ön arıtım çalışmalarında BMP değerlerinin artmasında sıcaklığın önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.25: Çözünmüş protein değerlerine göre pH<2 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.

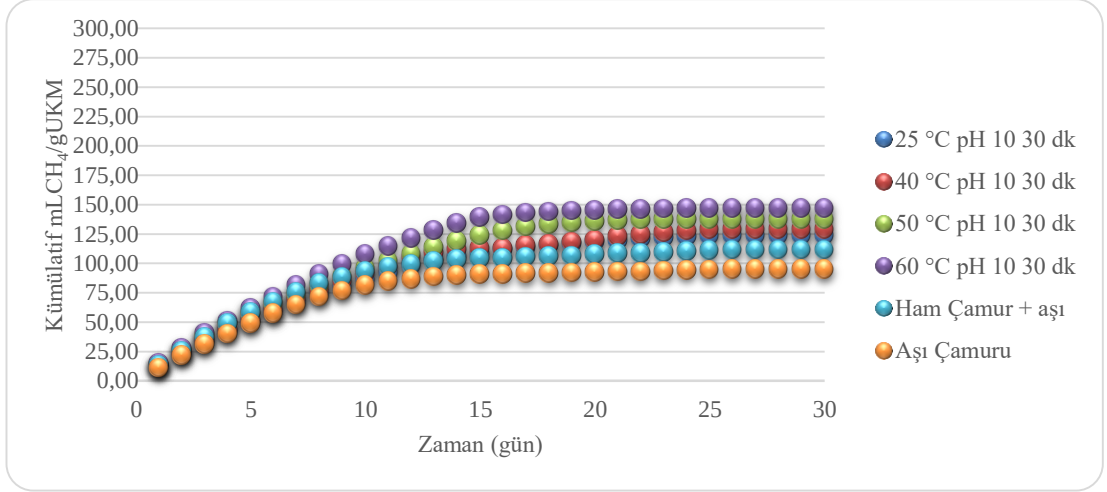
Arıtma çamurunun pH<2'ye getirilerek yapılan ön arıtım şartları sonunda BMP analiz sonuçları Şekil 4.25'de verilmiştir. Ön işlem gerçekleştirilmemiş arıtma çamurunun aşı çamuru ile birlikte çürütülmesi sonucunda BMP değeri 111,5 mL CH₄/gUKM bulunmuştur. 25°C pH< 2 kimyasal ön arıtım çalışmaları haricinde belirlenen işletme sıcaklıkları ve sürelerinde BMP değerleri blank olarak adlandırdığımız (Ham arıtma çamuru + aşı) değerlerinden az çıkmıştır. 40°C 30 dk. işletme şartlarında 105,6 mL CH₄/gUKM, 50°C 15 dk. şartlar altında 99,5 mL CH₄/gUKM ve işletme sıcaklığının 60°C' ye çıkartılmasıyla 5 dk işletme süresi sonunda 79,4 mL CH₄/gUKM değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.26: Çözülmüş protein değerlerine göre pH 5 kimyasal ön arıtımların BMP sonuçları.

pH 5 kimyasal ön arıtımlar sonucunda kümülatif BMP değerlerinde düşük seviyelerde artışlar belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte %5,9'luk değişimler belirlenmiştir. En fazla artış 25°C'de 30 dakikalık işletme süresinde elde edilmiştir.

pH 10 kimyasal ön arıtım deneylerinde en uygun işletme süresinin 30 dakika olduğu belirlenmiştir. Bu şartlardaki ön arıtım çalışmalarının BMP etkisi Şekil 4.27'de verilmiştir.



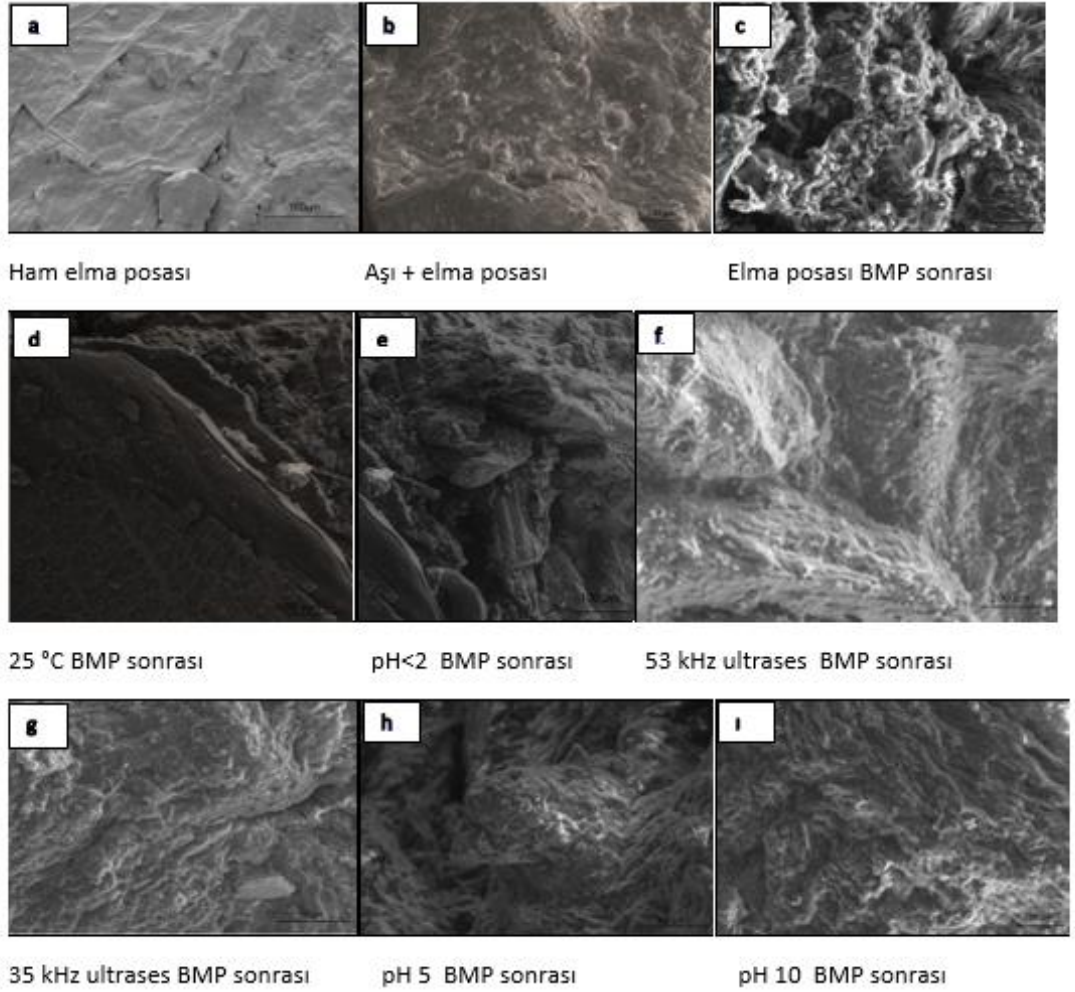
Şekil 4.27: Çözünmüş protein değerlerine göre pH 10 kimyasal ön arıtların BMP sonuçları.

pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda elde edilen kümülatif BMP değerleri yüksek sıcaklıklarda daha fazla olduğu belirlenmiştir. 25°C 30 dakikada %10,94, 60°C 30 dakikada ise %31,91'lik artış elde edilmiştir. 25°C'de kümülatif metan potansiyeli 123,7 mL CH₄/gUKM sıcaklık 40 °C'ye çıkarıldığında 129,4 mL CH₄/gUKM olarak ölçülmüştür.

4.3 SEM Analiz Sonuçları

Ham elma posası için yapılan ön arıtım yöntemleri sonrası gerçekleştirilen BMP analizleri neticesinde çekilen SEM görüntüleri Şekil 4.29'da verilmiştir. SEM görüntüleri elma posasının yüzeysel bozunmasını göstermiştir. Yüzeysel bozulmalara bağlı olarak ön arıtım çalışmalarının etkinliği hakkında yorum yapılmıştır. Elma posasının üst yüzeyi düz ve yüzey altında yuvarlak şekiller belirgin şekilde görülmüştür. SEM görüntüleri elma posası aşı çamuru ile karıştırıldığında elma yüzeyinin üzerini kapladığı belirlenmiştir. Ön arıtım çalışmalarının verimi elma posasının üst yüzeyini değiştirerek alt kısmındaki yuvarlak şekillerin parçalanması olarak düşünülmektedir.

Ön arıtım çalışmaları yapılan bir diğer substrat olan arıtma çamurlarının SEM görüntüleri çekilememiştir.



Şekil 4.28: Elma posasının BMP analizi sonrası SEM görüntüleri.

25°C oda sıcaklığında termal ve pH<2 kimyasal ön arıtım çalışmaları sonunda yapılan BMP testleri sonucunda çamur ile elma posası birleşerek daha sert bir ürüne dönüşerek parçalanma meydana gelmemiş ve BMP sonuçları aşı çamurundan elde edilenlerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. 53 kHz ultrases ön işlemleri sonucunda yüzeyde bulunan yuvarlak şekiller parçalanmış ve buna bağlı olarak yüzey parçalanması tespit edilmiş ve BMP potansiyelinde artışlar sağlanmıştır. 35 kHz ultrases çalışmalarında benzer göresel veriler elde edilmesine rağmen belli kısımlarda sertleşmeler ve birikimler elde edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda BMP değerlerinde artış elde edilmemiş olması buna bağlanmıştır. pH 5 kimyasal ön arıtımda bu sertleşme daha belirginken pH 10'da ise aşı çamuru yüzeyi büyük ölçüde kapatmaya başladığı ve yüzey morfolojisi incelendiğinde parçalanma işleminin daha az görüldüğü sonuçları çıkarılmıştır.

4.4 İstatiksel Analiz Sonuçları

4.4.1 Arıtma Çamurlarına Uygulanan Termal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları

Termal ön arıtmalarda sıcaklığın artması ile çözünmüş KOİ, 5 günlük BOİ, vizkozite, çözünmüş organik karbon gibi organik madde kökenli parametrelerin süzöntü suyunda derişimlerin arttığı belirlenmiştir. 5 günlük BOİ ile işletme sıcaklığı arasında $r:0,564$ iken çözünmüş KOİ ile işletme sıcaklığı arasında daha kuvvetli bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($r:0,699$).

İşletme süresi-çözünmüş KOİ arasında $r:0,636$ korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. İşletme süresi ile çözünmüş organik karbon arasında da $r:0,506$ korelasyon katsayısı bulunmuştur. Bu korelasyon katsayıları işletme süresinin artması ile çözünmüş KOİ ile çözünmüş organik karbon konsantrasyonları artıdığını göstermiştir.

Çözünmüş KOİ ile çözünmüş organik karbon arasında $r:0,966$ korelasyon katsayısı belirlenmiştir. Organik madde kökenli parametreler arasındada yüksek korelasyon göstermektedir. Sıcaklığın artması Klorür, Bromür ve Fosfat gibi bazı anyonların çözünmesinde olumlu etki göstermişken, nitrat gibi anyonların çözünmesi üzerinde anlamlı bir korelasyon gözlenmemiştir.

Temel bileşen analiziyle termal ön arıtmalar üzerinde etkili 8 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.59’da toplam varyanslar, Çizelge 4.60’da bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.59: Arıtma çamurlarının termal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	11,180	36,065	36,065	11,180	36,065	36,065	8,394	27,078	27,078
2	5,249	16,933	52,999	5,249	16,933	52,999	4,937	15,926	43,004
3	3,504	11,304	64,303	3,504	11,304	64,303	3,071	9,907	52,912
4	2,746	8,857	73,161	2,746	8,857	73,161	3,059	9,867	62,779
5	2,573	8,301	81,461	2,573	8,301	81,461	2,530	8,161	70,940
6	1,658	5,348	86,810	1,658	5,348	86,810	2,511	8,100	79,040
7	1,205	3,887	90,697	1,205	3,887	90,697	2,457	7,925	86,964
8	1,061	3,423	94,120	1,061	3,423	94,120	2,218	7,155	94,120

Bu bileşenler toplam varyansın %94,12’lik bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.60’ da bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.60: Arıtma çamurlarının termal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a								
Parametre	Bileşen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sıcaklık	0,815							
Süre							-0,805	
BOI ₅	0,543							0,735
Ç-KOI	0,904							
Ç- Protein			0,524	-0,574				
Vizkozite			0,567					
Ç-TOC	0,962							
SO ₄		0,950						
Cl	0,513	0,725						
F		0,930						
NO ₃		0,758						
Br	0,818							
PO ₄	0,874							
Ag					0,867			
Al		0,891						
Ba						0,908		
Cr				-0,935				
Cu				0,810				
Fe							0,579	
Ga					-0,805			
Hg								
Li				0,561				
Mn	0,749							
Ni							0,770	
Zn		-0,533						
St	0,841							
B			0,897					
Ca						0,756		
K	0,655							
Na			0,783					

Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.
a. Rotasyon 14 yenileme ile yapıldı

Burada en önemli 3 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %27,07'lik bir kısmını açıklamaktadır. Sıcaklık, çözünmüş KOİ, çözünmüş organik karbon parametreleri bu bileşende etkin bir şekilde yüklüdür. Sistemdekisıcaklığın süre ile artması ve çözünmüş organik karbon değerinin süre ile korelasyon göstermesi nedeniyle birinci temel bileşim süre olarak belirlenmiştir.

İkinci temel bileşen toplam varyansın %15,926'sını açıklamaktadır. Bu bileşenlerde sülfat, klorür, florür, nitrat ve alüminyum bileşenleri etkin bir şekilde yüklüdür. Alüminyum sularda bol miktarda bulunan bir elementtir. Bu sebepten dolayı deneysel

çalışmalarda seyrelme işlemi yapmak amacıyla kullanılan sudan kaynaklandığı söylenebilir. Bu bakımından ikinci parametre sistem performansı üzerinde etkisiz olan seyrelme suyu olarak belirlenmiştir.

Toplam varyansın %9,907'sini açıklayan 3. temel bileşen bor (B), sodyum(Na) ile beraber çözünmüş protein ve vizkozite yüküdür. Alkali kökenli B ve Na elementlerin çözünürlüğü ancak düşük pH değerlerinde gerçekleşmektedir. Benzer şekilde proteininde düşük pH değerlerinde çözünebileceği bilindiğinden bu faktör pH olarak tanımlanmıştır.

4.4.2 Arıtma Çamurlarına Uygulanan Ultrases Ön İşlemlerin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Korelasyon çalışmalarında işletme sıcaklığının en fazla vizkozite ($r:0,665$), fosfat ($r:0,532$) üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. İşletme süresinin herhangi bir parametre ile anlamlı bir korelasyon göstermediği tespit edilmiştir. Ultrases ön işlemlerinde işletme sıcaklığının önemli bir parametre olduğu sonucu çıkarılmıştır.

5 günlük BOİ, çözünmüş KOİ ile 0,742 korelasyon katsayısına sahipken çözünmüş protein ile 0,860'lık bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

Frekanas değerlerindeki değişimler 5 günlük BOİ, çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerleri arasında kuvvetli ilişkiler göstermiştir. Çözünmüş organik karbon ile çözünmüş protein arasında $r:0,690$ korelasyon katsayısı bulunmuştur.

Temel bileşen analiziyle ultrases ön arıtmalar üzerinde etkili 7 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.61'de toplam varyanslar, Çizelge 4.62'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.61: Arıtma çamurlarının ultrases ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	12,228	37,054	37,054	12,228	37,054	37,054	8,645	26,198	26,198
2	5,194	15,738	52,792	5,194	15,738	52,792	7,926	24,018	50,216
3	3,007	9,112	61,904	3,007	9,112	61,904	2,763	8,373	58,589
4	2,729	8,268	70,172	2,729	8,268	70,172	2,516	7,625	66,214
5	2,078	6,297	76,469	2,078	6,297	76,469	2,209	6,695	72,909
6	1,593	4,827	81,296	1,593	4,827	81,296	2,107	6,385	79,293
7	1,200	3,637	84,933	1,200	3,637	84,933	1,861	5,640	84,933

Bu bileşenler toplam varyansın %84,93'lük bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.62' de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.62: Arıtma çamurlarının ultrases ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.

Parametre	Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
	Bileşen						
	1	2	3	4	5	6	7
Sıcaklık				0,677			
Süre					0,890		
Frekans	0,840						
BOI ₅	0,747						
Ç-KOI	0,924						
Ç- Protein	0,687				0,531		
Vizkozite		0,520					
Ç-TOC	0,919						
SO ₄							0,742
Cl	0,516	0,793					
F		0,892					
NO ₃							0,538
Br				-0,721			
PO ₄	0,629	0,607					
Ag	0,782						
Al	-0,540						
Ba				0,654			
Cr		0,512					
Cu						-0,905	
Fe		0,929					
Ga	-0,838						
Hg			0,575				
Li						0,678	
Mn		0,896					
Ni	0,741						
Zn		0,765					
St		0,899					
B		0,680					
Ca							
K	-0,661		0,539				
Mg			-0,845				
Na		0,822					
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi							
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.							
a. Rotasyon 22 yenileme ile yapıldı							

Burada en önemli 2 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %26,19'lık bir kısmını açıklamaktadır. Bu faktörde birçok organik kökenli parametre frekansla birlikte yüklüdür. Bu ön arıtım şartlarında işletme sıcaklığı ve süresi etkin olmamasından

dolayı birinci temel bileşen ön işlemleri yapılan örneklerin başlangıç UKM miktarı olarak belirlenmiştir.

İkinci bileşen toplam varyansın %24,01'ni açıklamaktadır. Bu bileşenlerde başta vizkozite olmak üzere birçok element yüklüdür. Elementlerin çözünmesi ile vizkozitenin artacağı bilinmektedir. Elementlerin sıvı içeriğinde çözünürlüğü pH ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle bu ön arıtım çalışmalarında ikinci temel bileşen sıvı ortamın pH değeri olarak belirlenmiştir.

4.4.3 Arıtma Çamurlarına Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Farklı pH değerlerinde gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmalarında işletme sıcaklığının ve işletme süresinin korelasyon matrisi değerlerine göre etkisinin olmadığı sonucu çıkarılmıştır. pH değerleri ile birçok organik kökenli parametrelerin artışı anlaşılmaktadır. pH'ın en kuvvetli korelasyon kurduğu organik parametre 5 günlük BOİ'dir. pH ile 5 günlük BOİ arasında $r:0,924$ korelasyon katsayısı bulunmuştur.

Kimyasal ön arıtım çalışmalarında temel bileşen analizi yapıldığında arıtıma etki eden 8 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.63'de toplam varyanslar, Çizelge 4.64'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.63: Arıtma çamurlarının kimyasal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	8,825	26,742	26,742	8,825	26,742	26,742	7,035	21,319	21,319
2	5,406	16,382	43,124	5,406	16,382	43,124	4,958	15,024	36,343
3	3,866	11,714	54,838	3,866	11,714	54,838	4,313	13,069	49,412
4	2,787	8,444	63,283	2,787	8,444	63,283	3,527	10,688	60,100
5	2,319	7,026	70,309	2,319	7,026	70,309	2,480	7,514	67,614
6	1,669	5,057	75,365	1,669	5,057	75,365	1,696	5,139	72,753
7	1,250	3,788	79,153	1,250	3,788	79,153	1,657	5,021	77,774
8	1,114	3,376	82,530	1,114	3,376	82,530	1,569	4,755	82,530

Bu bileşenler toplam varyansın %82,53'lük bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.64'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.64: Arıtma çamurlarının kimyasal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a								
Parametre	Bileşen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sıcaklık				-0,671				
Süre								0,900
pH	0,926							
BOI ₅	0,971							
Ç-KOI	0,959							
Ç-Protein	0,963							
Vizkozite		0,664						
Ç-TOC	0,969							
SO ₄				0,847				
Cl			0,757					
F			0,682	0,522				
NO ₃			0,532					
Br		-0,879						
PO ₄			0,522					
Ag			0,884					
Al						-0,722		
Ba		-0,647						
Cr						0,513		
Cu					0,836			
Fe		0,723						
Ga							0,623	
Hg			0,610					
Li							0,546	
Mn		0,612						
Ni			0,892					
Pb					0,912			
Zn		0,801						
St				0,511	0,591			
B		0,622						
Ca				0,501				
K		-0,711				0,512		
Na				0,644				
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi								
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.								
a. Rotasyon 16 yenileme ile yapıldı								

Burada en önemli 2 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %21,31'lik bir kısmını açıklamaktadır. pH, 5 günlük BOİ, çözünmüş KOİ ve bazı organik parametreler bu bileşene yüklenmiş durumdadır. İşletme süresi ve işletme sıcaklığın korelasyon matrislerinde etkilerinin çıkmaması başlangıçtaki UKM değeri olarak belirlenmiştir. İkinci bileşen toplam varyansın %15,02 açıklamaktadır. Bu bileşenlerde başta vizkozite olmak üzere birçok element yüklüdür. Elementlerin çözünmesi ile vizkozitenin artacağı bilinmektedir. Elementlerin sıvı içeriğinde çözünürlüğü pH ile

ters orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle bu ön arıtım çalışmalarında ikinci temel bileşen sıvı ortamın pH değeri olarak belirlenmiştir.

4.4.4 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmalarda BMP değerleri yalnızca frekans ve çözünmüş protein değerleri ile anlamlı korelasyonlar göstermiştir. BMP değerleri-frekans arasında $r:0,722$, BMP-çözünmüş protein arasında $r:0,532$ korelasyon katsayıları bulunmuştur. Diğer parametre değerleri ile arasında bir ilişki bulunamamıştır. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 4 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.65'de toplam varyanslar, Çizelge 4.66'da bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.65: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	7,911	46,536	46,536	7,911	46,536	46,536	5,651	33,243	33,243
2	2,201	12,946	59,482	2,201	12,946	59,482	3,696	21,744	54,987
3	2,084	12,259	71,741	2,084	12,259	71,741	2,508	14,753	69,740
4	1,893	11,132	82,874	1,893	11,132	82,874	2,233	13,134	82,874

Bu bileşenler toplam varyansın %82,87'lük bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.66'da bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.66: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin bileşen matris değerleri.

Parametre	Rotasyon Bileşen Matrisi ^a			
	Bileşen			
	1	2	3	4
Süre	-0,582			
Sıcaklık				0,834
Frekans			0,892	
pH	0,815			
BO ₁₅	0,935			
Ç-KOİ	0,831			
Ç- Protein	0,908			
Vizkozite			0,584	
Ç-TOC	0,825			
SO ₄		0,775		
Cl		0,762		
F		0,801		
NO ₃				-0,812
Br		-0,801		
PO ₄	0,589	0,557		
T-CH ₄			0,866	
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi				
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.				
a. Rotasyon 9 yenileme ile yapıldı				

Burada en önemli 3 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %33,24'lük bir kısmını açıklamaktadır. BMP değerlerinde işletme sıcaklığı, süresi ve çözünmüş protein hariç diğer organik parametreler etkin olmamasından dolayı birinci temel bileşen örneklerin başlangıç UKM miktarı olarak belirlenmiştir. İkinci bileşen %21,74'lük etkiye sahiptir. Bu bakımından ikinci parametre sistem performansı üzerinde etkisiz olan seyrelme suyu olarak belirlenmiştir. Üçüncü bileşen ise ultrases ön işlemlerinde frekansın etkisidir. Frekansetkisi toplam bileşen varyansın %14'lük kısmını oluşturmuştur.

4.4.5 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

BMP değerleri üzerinde çözünmüş ağır metallerin korelasyon analizleri yapılmıştır. BMP'ler yalnızca potasyum (K) ve Sodyum (Na) ağır metalleri ile korelasyon göstermiştir. Her iki ağır metaller içinde sırasıyla r:0,600 ve r:0,566 korelasyon katsayısı değerleri elde edilmiştir. İncelenen diğer ağır metaller ile BMP arasında herhangi bir korelasyon değerine rastlanmamıştır. Çizelge 4.67'de toplam varyanslar, Çizelge 4.68'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.67: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	5,906	26,847	26,847	5,906	26,847	26,847	5,407	24,576	24,576
2	3,192	14,509	41,356	3,192	14,509	41,356	2,568	11,673	36,249
3	2,457	11,170	52,526	2,457	11,170	52,526	2,347	10,668	46,917
4	2,127	9,667	62,192	2,127	9,667	62,192	2,342	10,646	57,563
5	1,651	7,504	69,697	1,651	7,504	69,697	2,174	9,881	67,444
6	1,223	5,561	75,258	1,223	5,561	75,258	1,437	6,532	73,976
7	1,140	5,183	80,441	1,140	5,183	80,441	1,422	6,465	80,441

Bu bileşenler toplam varyansın %80,44'lük bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.68'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.68: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a							
Parametre	Bileşen						
	1	2	3	4	5	6	7
Süre	-0,522			-0,679			
Sıcaklık						0,802	
Frekans			0,874				
pH				0,874			
T-CH ₄		0,721					
Ag							0,881
Al					0,816		
Ba	-0,823						
Cr		0,732					
Cu				0,543			
Fe	0,675						
Ga	-0,587						
Hg			0,808				
Li				-0,669			
Mn	0,901						
Ni							0,551
Zn	0,939						
St	0,909						
B		0,520					
Ca					0,901		
K	-0,768						
Na		0,729					
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi							
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.							
a. Rotasyon 8 yenileme ile yapıldı							

Burada en önemli 2 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %24,57'lik bir kısmını açıklamaktadır. BMP değerlerinde işletme sıcaklığı, süresi ve çözünmüş protein hariç diğer organik parametreler etkin olmamasından dolayı birinci temel bileşen örneklerin başlangıç UKM miktarı olarak belirlenmiştir. İkinci bileşen %11,63'lük etkiye sahiptir. Metan üretiminde Na iyonlarının etkisi korelasyon analizleri sonucunda elde edilmiştir. Na iyonları metan üretim aşamasında ortamda çözünür halde olması tamponlama görevi yaptığı ve BMP değerlerinin yükselmesine neden olduğu belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı ikinci temel bileşen ortamın pH olarak tespit edilmiştir.

4.4.6 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmalarda BMP değerleri yalnızca frekans ve çözünmüş KOİ değerleri ile anlamlı korelasyonlar göstermiştir. BMP değerleri-frekans arasında $r:0,635$, BMP-çözünmüş KOİ arasında $r:0,515$ korelasyon katsayıları bulunmuştur. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 5 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.69'da toplam varyanslar, Çizelge 4.70'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.69: Çözünmüş protein değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	7,572	44,539	44,539	7,572	44,539	44,539	5,914	34,789	34,789
2	2,569	15,112	59,650	2,569	15,112	59,650	2,982	17,539	52,328
3	2,073	12,195	71,845	2,073	12,195	71,845	2,482	14,600	66,928
4	1,410	8,292	80,137	1,410	8,292	80,137	1,882	11,073	78,001
5	1,125	6,619	86,756	1,125	6,619	86,756	1,488	8,755	86,756

Bu bileşenler toplam varyansın %86,75'lik bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.70'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.70: Çözünmüş protein değerlerine göre BMP'nin bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a					
Parametre	Bileşen				
	1	2	3	4	5
Süre				-0,830	
Sıcaklık				0,837	
Frekans			0,916		
pH	0,781				
BOI ₅	0,937				
Ç-KOI	0,905				
Ç- Protein	0,922				
Vizkozite			0,832		
Ç-TOC	0,917				
SO ₄		0,776			
Cl		0,635			
F		0,728			
NO ₃					-0,910
Br		-0,839			
PO ₄	0,599	0,524			
T-CH ₄	0,533		0,592		
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi					
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.					
a. Rotasyon 9 yenileme ile yapıldı					

Burada en önemli 3 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %34,78'lük bir kısmını açıklamaktadır. BMP değerlerinde işletme sıcaklığı, süresi ve çözünmüş protein hariç diğer organik parametreler etkin olmamasından dolayı birinci temel bileşen örneklerin başlangıç UKM miktarı olarak belirlenmiştir. İkinci bileşen %17,53'lük etkiye sahiptir. Sistem performansı üzerinde etkisiz olan seyrelme suyu olarak belirlenmiştir. Üçüncü bileşen frekans olarak belirlenmiştir.

4.4.7 Arıtma Çamurlarında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları

En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği ön arıtım şartlarında gerçekleştirilen BMP değerleri üzerinde çözünmüş ağır metallerin korelasyon analizleri yapılmıştır. BMP'ler yalnızca Na ağır metalleri ile korelasyon göstermiştir ve r: 0,614 korelasyon katsayısı değerleri elde edilmiştir. İncelenen diğer ağır metaller ile BMP arasında herhangi bir korelasyona rastlanmamıştır. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 7 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.71'de toplam varyanslar, Çizelge 4.72'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.71: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	5,658	25,719	25,719	5,658	25,719	25,719	4,967	22,577	22,577
2	3,379	15,359	41,078	3,379	15,359	41,078	2,579	11,724	34,301
3	2,488	11,309	52,387	2,488	11,309	52,387	2,285	10,386	44,688
4	1,706	7,757	60,144	1,706	7,757	60,144	2,233	10,152	54,839
5	1,569	7,130	67,273	1,569	7,130	67,273	1,876	8,525	63,365
6	1,396	6,346	73,619	1,396	6,346	73,619	1,867	8,488	71,853
7	1,112	5,053	78,672	1,112	5,053	78,672	1,500	6,819	78,672

Bu bileşenler toplam varyansın %78,67'lik bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.72'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.72: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.

Parametre	Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
	Bileşen						
	1	2	3	4	5	6	7
Süre				-0,746			
Sıcaklık				0,783			
Frekans					0,857		
pH			0,804				
T-CH ₄		0,897					
Ag						0,844	
Al					-0,688		
Ba	-0,870						
Cr		0,546					
Cu							0,842
Fe	0,599						
Ga			0,688				
Hg							
Li			0,619				
Mn	0,842						
Ni						0,832	
Zn	0,948						
St	0,885						
B				0,686			
Ca							
K	-0,838						
Na	0,518	0,690					
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi							
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.							
a. Rotasyon 8 yenileme ile yapıldı							

Burada en önemli 3 bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %22,57'lik bir kısmını açıklamaktadır. Ham örneğin içindeki başlangıçtaki metal konsantrasyonları BMP üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. İkinci bileşen %11,72'lik etkiye sahiptir. Ortam pH'ı metallerin çözünmesi üzerinde etkisi olarak tespit edilmiştir. Üçüncü bileşen ise tamponlama kapasitesine sebep olan Na iyonudur. Asit üretimine karşı tamponlama kapasitesine neden olan Na iyonları BMP artıcı yönde etki ettiği analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir.

4.4.8 Elma Posasına Uygulanan Termal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları

Elma posasına uygulanan termal ön işlemler sonunda gerçekleştirilen korelasyon analizleri sonucunda işletme sıcaklığının artırılması sadece organik kökenli bileşiklerin değil aynı zamanda bir çok iyonun çözünürlüğü üzerinde etkileri gözlemlenmiştir. Organik parametrelerden çözünmüş KOİ ile işletme sıcaklığı arasında $r:0,712$ korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Florür iyonu ile işletme sıcaklığı arasında $r: 0,901$ kuvvetli bir korelasyon olduğu sonuçları çıkarılmıştır.

İşletme süresi ile sadece çözünmüş KOİ, vizkozite ve Na konsantrasyonları üzerinde olumlu etkileri belirlenmiştir.

Temel bileşen analiziyle termal ön arıtmalar üzerinde etkili 6 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.73'de toplam varyanslar, Çizelge 4.74'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.73: Elma posalarının termal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	17,072	50,211	50,211	17,072	50,211	50,211	12,756	37,518	37,518
2	5,373	15,802	66,013	5,373	15,802	66,013	7,590	22,322	59,840
3	3,720	10,941	76,954	3,720	10,941	76,954	3,570	10,500	70,341
4	2,272	6,682	83,636	2,272	6,682	83,636	2,538	7,466	77,807
5	1,481	4,356	87,992	1,481	4,356	87,992	2,435	7,163	84,970
6	1,207	3,551	91,543	1,207	3,551	91,543	2,235	6,573	91,543

Bu bileşenler toplam varyansın %91,54'lük bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.74'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.74: Elma posalarının termal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
Parametre	Bileşen					
	1	2	3	4	5	6
Sıcaklık	0,689					
Süre				-0,551		
BOI ₅		0,877				
Ç-KOI		0,617				
Ç-Protein	0,530		-0,641			
Vizkozite					-0,669	
Ç-TOC	0,589	0,735				
SO ₄						0,843
Cl		0,778				
F	0,605	0,521				
NO ₃	0,628					
Br			0,910			
PO ₄	0,762					
Al	0,726	0,636				
Ba		0,739				
Bi	0,883					
Cr					0,819	
Cu	0,924					
Fe	0,918					
Hg			0,752			
In	0,890					
Li	0,907					
Mn	0,827	0,508				
Ni	0,940					
Pb			0,917			
Se		0,904				
Zn	0,860					
St	0,820					
B	0,714		0,554			
Ca		0,573			0,628	
K	0,690	0,694				
Mg	0,752	0,602				
Na				-0,799		
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi						
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.						
a. Rotasyon 13 yenileme ile yapıldı						

Burada 2 temel bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen varyansın %37,51’lik bir kısmını açıklamaktadır. Bu temel bileşende sıcaklık ve organik, iyonik, elementel olmak üzere birçok parametre ile yüklüdür. Bu temel bileşenin atığın başlangıç UKM seviyesi olduğu değerlendirilmiştir. İkincil temel bileşen ise varyansın %22,32’sini açıklamaktadır. Bu temel bileşende 5 günlük BOİ, çözünmüş oksijen gibi organik parametrelerle beraber Ca, Mg, K gibi kabuk elementler ile yüklüdür. Bu elementlerin

düşük pH değerlerinde çözündüğü, düşük pH değerlerinde çözünmüş KOİ ve dolayısıyla 5 günlük BOİ konsantrasyonunda yükseleceği öngörülmüş ve bu faktör sistemde pH olarak değerlendirilmiştir.

4.4.9 Elma Posasına Uygulanan Ultrases Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları

Ultrases ön işlemlerinin korelasyon çalışmalarında işletme süresinin hiçbir parametre ile korelasyonu bulunamamıştır. İşletme sıcaklığın 5 günlük BOİ (r:0,653), çözünmüş protein (r:0,813) organik parametreler ile sülfat (r:0,560) ile kuvvetli ilişkileri belirlenmiştir. Sisteme uygulanan frekanstaki değişimler çözünmüş KOİ' yi artırıcı yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Temel bileşen analiziyle ultrases ön arıtmalar üzerinde etkili 7 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.75'de toplam varyanslar, Çizelge 4.76'da bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.75: Elma posalarının ultrases ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	12,117	34,620	34,620	12,117	34,620	34,620	11,378	32,509	32,509
2	6,528	18,651	53,271	6,528	18,651	53,271	4,604	13,153	45,662
3	4,409	12,597	65,867	4,409	12,597	65,867	4,068	11,624	57,286
4	3,042	8,692	74,560	3,042	8,692	74,560	3,553	10,152	67,438
5	2,110	6,029	80,589	2,110	6,029	80,589	3,252	9,292	76,730
6	1,505	4,301	84,889	1,505	4,301	84,889	2,073	5,922	82,652
7	1,227	3,505	88,395	1,227	3,505	88,395	2,010	5,743	88,395

Bu bileşenler toplam varyansın %88,39'luk bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.76'da bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.76: Elma posalarının ultrases ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a							
Parametre	Bileşen						
	1	2	3	4	5	6	7
Sıcaklık	0,900						
Süre							0,781
Frekans			-0,746				
BOİ ₅	0,674						0,605
Ç- KOİ					0,596		
Ç-Protein	0,692						
Vizkozite					0,663		
Ç-TOC						0,795	
SO ₄					0,629		
Cl					0,788		
F					0,809		
NO ₃				0,661			
Br				0,885			
PO ₄	0,528		-0,768				
Al			0,674				
Ba	0,743						
Bi	-0,862						
Cd	0,957						
Cu		0,930					
Fe		0,515					
Hg	0,544		0,547				
In	0,960						
Li	-0,680	0,634					
Mn	0,942						
Ni		0,652					
Pb				0,868			
Se						0,814	
Zn		0,902					
St	0,921						
B			0,827				
C	0,877						
K	0,876						
Mg	0,525			0,640			
Na	0,505	0,673					
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi							
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.							
a. Rotasyon 9 yenileme ile yapıldı							

Burada 2 temel bileşen açıklanmıştır. Birinci temel bileşen sıcaklık, 5 günlük BOİ ile yüklü olduğu yine içerisinde bazı metaller barındırdığı temel bileşen analizleri ile tespit edilmiştir. Bu temel bileşen varyansın %32,50'lik kısmını oluşturmuştur.

Uygulanan frekans ile ilişkilendirilmiştir. İkinci temel bileşen metal iyonları konsantrasyonu olduğu düşünülmüştür. Metallerin çözünürlüğü üzerinde pH parametresinin önemli olmasından dolayı bu faktör pH olarak değerlendirilmiştir.

4.4.10 Elma Posasına Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin İstatiksel Analiz Sonuçları

Kimyasal ön arıtım çalışmalarında işletme süresinin ve işletme sıcaklıklarının incelenen parametreler üzerinde olumlu etkisine rastlanmamıştır. pH artışlarının çözünmüş protein miktarı üzerindeki olumlu etkisi belirlenmiştir. pH ile çözünmüş protein arasında $r:0,749$ korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Benzer durum Ph ile vizkozite arasında da belirlenmiştir Her iki parametre arasında $r:0,503$ korelasyon katsayısı bulunmuştur.

Temel bileşen analiziyle ultrases ön arıtmalar üzerinde etkili 8 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.77’de toplam varyanslar, Çizelge 4.78’de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.77: Elma posalarının kimyasal ön işlemleri sonucu toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	10,034	28,670	28,670	10,034	28,670	28,670	7,975	22,785	22,785
2	5,430	15,513	44,183	5,430	15,513	44,183	4,249	12,141	34,927
3	3,844	10,984	55,167	3,844	10,984	55,167	4,153	11,865	46,792
4	2,313	6,609	61,776	2,313	6,609	61,776	3,867	11,048	57,840
5	1,925	5,499	67,275	1,925	5,499	67,275	2,171	6,202	64,042
6	1,778	5,081	72,356	1,778	5,081	72,356	2,064	5,898	69,940
7	1,466	4,190	76,546	1,466	4,190	76,546	1,871	5,345	75,285
8	1,416	4,046	80,592	1,416	4,046	80,592	1,857	5,307	80,592

Bu bileşenler toplam varyansın %80,59’luk bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.78’de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.78: Elma posalarının kimyasal ön işlemleri sonucu bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a								
Parametre	Bileşen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sıcaklık					0,866			
Süre								0,925
pH		-0,729						
BOI ₅					0,624			
Ç-KOI							0,593	
Ç-Protein		-0,774						
Vizkozite	0,818							
Ç-TOC	0,601							
SO ₄		0,683	-0,511					
Cl	0,944							
F			0,720					
NO ₃	0,766							
Br			0,949					
PO ₄	-0,844							
Ag	-0,750							
Al		0,553						
Ba	0,622	-0,631						
Cr		-0,627						
Cu				0,801				
Fe	-0,598			0,615				
Ga								
Hg	0,566							
In	0,743	0,531						
Li		0,699						
Mn								
Ni						0,881		
Pb			0,954					
Se	-0,508			0,610				
Zn								
St	-0,604			0,678				
C							0,819	
K	-0,846							
Mg				0,578				
Na	-0,598							

Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.
a. Rotasyon 23 yenileme ile yapıldı.

2 temel bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen toplam varyansın %22,78'lik kısmını oluşturmuştur. Bu bileşen çözünmüş-TOC, NO₃ ve PO₄ ile yüklüğü olduğu belirlenmiştir. Bu yüklü iyonların varlığı ortamın pH değeriyle ilişkelendirilmiştir. İkincil temel bileşen ise %12,14'lük bir orana sahiptir. Çözünmüş protein değerinin artması pH değerinin yükselmesi ile korelasyon göstermiştir. Ortamda SO₄ iyonlarının bulunması bu faktörün asidite olduğunu işaret etmiştir.

4.4.11 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmalarda BMP değerleri yalnızca 5 günlük BOİ ve vizkozite ile anlamlı korelasyonlar göstermiştir. BMP değerleri-5 günlük BOİ arasında $r:0,931$, BMP-vizkozite arasında $r:0,707$ korelasyon katsayıları bulunmuştur. Diğer parametre değerleri ile arasında bir ilişki bulunamamıştır. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 6 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.79'de toplam varyanslar, Çizelge 4.80'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.79: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	4,281	25,184	25,184	4,281	25,184	25,184	3,715	21,852	21,852
2	4,113	24,192	49,376	4,113	24,192	49,376	2,942	17,307	39,159
3	2,122	12,484	61,860	2,122	12,484	61,860	2,516	14,801	53,960
4	1,821	10,713	72,573	1,821	10,713	72,573	2,167	12,745	66,705
5	1,390	8,175	80,747	1,390	8,175	80,747	1,813	10,667	77,372
6	1,119	6,580	87,327	1,119	6,580	87,327	1,692	9,955	87,327

Bu bileşenler toplam varyansın %87,32'lik bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.80'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.80: Çözünmüş KOİ değerlerine göre BMP'nin bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
Parametre	Bileşen					
	1	2	3	4	5	6
Süre					0,836	
Sıcaklık	0,522					
Frekans						0,884
pH		0,741				
BOI ₅		0,966				
Ç-KOİ	0,853					
Ç-Protein		0,974				
Vizkozite	0,787					
Ç-TOC				0,609		
SO ₄			0,837			
Cl	0,793					
F				0,640		
NO ₃				0,554		
Br				0,880		
PO ₄			0,899			
CH ₄	0,932					

%21,85 ve %17,30' luk 2 temel bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen işletme sıcaklığının etkisini göstermiştir. İşletme sıcaklığı ile termal ön arıtım ilişkilendirilmiştir. İkincil temel bileşen ise pH değerleri üzerindeki etkileri işaret etmiştir. pH değişimleri ise kimyasal ön arıtmalar ile bağlantı kurularak sistem üzerindeki etkisi bu şekilde açıklanmıştır.

4.4.12 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş KOİ Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları

BMP değerleri üzerinde çözünmüş ağır metallerin korelasyon analizleri yapılmıştır. İncelenen ağır metaller arasında BMP üzerinde korelasyon ile ifade edilebilecek herhangi bir metal tespit edilememiştir. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 6 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.81'de toplam varyanslar, Çizelge 4.82'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.81: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	5,902	21,080	21,080	5,902	21,080	21,080	5,189	18,532	18,532
2	5,644	20,155	41,235	5,644	20,155	41,235	4,111	14,681	33,213
3	4,657	16,632	57,867	4,657	16,632	57,867	3,874	13,837	47,051
4	2,716	9,700	67,567	2,716	9,700	67,567	3,631	12,967	60,018
5	2,095	7,483	75,050	2,095	7,483	75,050	3,104	11,087	71,105
6	1,451	5,180	80,231	1,451	5,180	80,231	2,555	9,126	80,231

Bu bileşenler toplam varyansın %80,23'lük bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.82'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.82: En yüksek çözünmüş KOİ değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
Parametre	Bileşen					
	1	2	3	4	5	6
Süre						
Sıcaklık			0,556			
Frekans						
pH				-0,756		
Ag	0,668					
Al		0,665				
Ba			0,749			
Bi	-0,584	0,700				
Cd			0,807			
Cr	0,667					
Cu					-0,537	
Fe		0,762				
Ga	0,615					
Hg					0,595	
In			0,828			
Li	-0,568					
Mn	0,778					
Ni		0,730				
Pb						
Se		0,523				
Zn			0,501		-0,559	
St	0,880					
B	-0,546	0,591				
Ca			0,666			
K	0,750	0,574				
Mg		0,867				
Na	0,682					
CH ₄			0,582			-0,697
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi						
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.						
a. Rotasyon 6 yenileme ile yapıldı						

%18,53, %14,68 ve %13,83'lük 3 temel bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen ve ikinci bileşen elmanın sulama suyuna, kullanılan gübre miktarına ve yetiştirildiği toprak özelliklerine bağlı olarak yapısında metal iyon konsantrasyonları varlığını belirlenmiştir. %13,83'lük 3. temel bileşen ise, proses üzerinde direk bir etki göstermemesine rağmen işletme sıcaklığına bağlı olarak artış gösteren bazı metallerle CH₄ üretiminin doğru orantılı olarak artış gösterdiği anlaşılmıştır.

4.4.13 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmalarda, BMP değerleri yalnızca çözünmüş KOİ ve vizkozite ile anlamlı korelasyonlar göstermiştir. BMP değerleri-çözünmüş KOİ arasında $r:0,980$, BMP-vizkozite arasında $r:0,500$ korelasyon katsayıları bulunmuştur. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 6 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.83'de toplam varyanslar, Çizelge 4.84'de bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.83: Çözünmüş protein değerlerine göre BMP'nin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	4,179	24,580	24,580	4,179	24,580	24,580	3,475	20,441	20,441
2	3,771	22,183	46,763	3,771	22,183	46,763	2,729	16,053	36,495
3	2,262	13,309	60,072	2,262	13,309	60,072	2,424	14,259	50,753
4	1,757	10,336	70,408	1,757	10,336	70,408	2,421	14,240	64,994
5	1,266	7,445	77,852	1,266	7,445	77,852	1,840	10,824	75,818
6	1,098	6,461	84,313	1,098	6,461	84,313	1,444	8,495	84,313

Bu bileşenler toplam varyansın %84,31'lik bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.84'de bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.84: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.

Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
Parametre	Bileşen					
	1	2	3	4	5	6
Süre				0,558		
Sıcaklık					0,890	
Frekans				0,924		
pH		0,848				
BOI ₅		0,919				
Ç-KOI			0,602	0,589		
Ç-Protein		0,921				
Vizkozite			0,846			
Ç-TOC	0,727					
SO ₄	-0,610					
Cl			0,852			
F	0,842					
NO ₃	0,893					
Br	0,618					
PO ₄	-0,712					
CH ₄			0,534	0,551		
Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi						
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.						
a. Rotasyon 15 yenileme ile yapıldı						

%20,44, %16,05, %14,25 ve %14,24'lük 4 temel bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen sistemde kullanılan elma posasının UKM miktarını işaret etmiştir. İkinci bileşen ortamdaki SO₄ iyonun varlığıyla metal iyonlarının çözünürlüğü üzerinde BMP değerlerindeki değişimleri belirtmiştir. Bu neden ile ikinci bileşen asidite olarak belirlenmiştir. Üçüncü temel bileşen doğrudan elma posalarının başlangıç anındaki çözünmüş KOİ konsantrasyonları ile ifade edilmiştir. Dördüncü temel bileşen ise sıcaklık ve frekans değerlerinin etkisi ile çözünmüş KOİ değerlerinin BMP üretimini artırdığını göstermiştir.

4.4.14 Elma Posasında En Yüksek Çözünmüş Protein Değerlerinin Elde Edildiği Şartlarda Ağır Metallerin BMP Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analiz Sonuçları

Metal iyonları ile BMP değerleri arasında herhangi bir korelasyon belirlenememiştir. Temel bileşen analizi yapıldığında BMP'ye etki eden 7 bileşen belirlenmiştir. Çizelge 4.85'de toplam varyanslar, Çizelge 4.86'da bileşen matrisleri verilmiştir.

Çizelge 4.85: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin toplam varyans değerleri.

Bileşen	Başlangıç Değeri			Kareler Toplamının Farkı			Kareler Toplamının Rotasyonu		
	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif	Toplam	% Varyans	% Kümülatif
1	6,163	22,011	22,011	6,163	22,011	22,011	4,714	16,834	16,834
2	5,040	17,999	40,009	5,040	17,999	40,009	4,041	14,431	31,265
3	4,298	15,350	55,359	4,298	15,350	55,359	3,777	13,491	44,756
4	2,645	9,448	64,808	2,645	9,448	64,808	3,090	11,035	55,791
5	2,059	7,352	72,160	2,059	7,352	72,160	2,985	10,661	66,452
6	1,616	5,770	77,930	1,616	5,770	77,930	2,592	9,257	75,709
7	1,403	5,009	82,939	1,403	5,009	82,939	2,024	7,230	82,939

Bu bileşenler toplam varyansın %84,31'lik bir kısmını açıklamaktadır. Toplam varyansa etki eden bileşenler Çizelge 4.86'da bileşen matrislerinde verilmiştir.

Çizelge 4.86: En yüksek çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda BMP üzerinde ağır metallerin bileşen matris değerleri.

Parametre	Rotasyon Bileşen Matrisi ^a						
	Bileşen						
	1	2	3	4	5	6	7
Süre							0,728
Sıcaklık						0,591	
Frekans							0,619
pH			0,834				
Ag	0,810						
Al			-0,559	0,511			
Ba			0,768				
Bi		-0,506					
Cd		0,943					
Cr			0,820				
Cu					0,897		
Fe	0,596						
Ga			0,804				
Hg				0,615			
In		0,851					
Li			-0,584				
Mn	0,775						
Ni					0,599		
Pb				0,860			
Se	0,515						0,620
Zn					0,804		
St	0,937						
B				0,797			
Ca						0,768	
K	0,895						
Mg						0,625	
Na		0,506					
CH ₄						0,541	0,563

Çıkarma Metodu: Temel Bileşen Analizi
Rotasyon Metodu: Varimax ile Kaiser Normalization.
a. Rotasyon 17 yenileme ile yapıldı

%16,83 ve %14,43 ve %13,49'luk 3 temel bileşen açıklanmıştır. İlk bileşen sisteme işletme süresi ve işletme sıcaklığının BMP üzerindeki etkisi olarak açıklanmıştır. İkinci bileşen ortam şartlarını alkali hale getiren Ca ve Mg gibi elementler asitliği tamponlama görevi görmesi ile beraber BMP değerlerinde artışlar belirlenmiştir. Bu neden ile ikinci bileşen ortam alkalitesi olarak değerlendirilmiştir. Üçüncü temel bileşen elma posasına uygulanan frekansın ve işletme süresinin BMP üzerinde etkili olduğu anlaşılmış olduğundan dolayı ultrases ön arıtımın etkisi olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada elma posası ve arıtma çamurlarına uygulanan ön arıtmaların BMP değişimleri, belirlenen işletme sürelerinde ve sıcaklıklarındaki etkileri çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerleri dikkate alınarak incelenmiştir. Ön arıtım çalışmaları arıtma çamurlarına uygulanmış ve bu uygulamalar literatürde fazlaca yer verilmiştir. Buna rağmen elma posasının substrat kabul edilerek yapılan ön arıtım çalışmalarına rastlanmamıştır.

Çalışma kapsamında işletme sıcaklıkları 25, 40, 50 ve 60°C işletme süreleri ise 5, 15, 30 ve 45 dakika olarak kabul edilmiş ve termal, ultrases ve kimyasal ön arıtım çalışmaları sonucunda en yüksek çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerlerinin elde edildiği şartlarda 30 günlük BMP analizleri sıvı yerdeğiştirme yöntemiyle hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ön arıtım yapılmayan substratların BMP analiz sonuçları ile kıyaslanarak ön arıtım verimlerinin etkileri belirlenmiştir.

Elma posasına uygulanan termal ön arıtım çalışmalarında işletme süresi ve sıcaklık değerine bağlı olarak çözünmüş KOİ artışlar gözlemlenmişken 25°C'deki termal ön arıtım sonrasında yapılan BMP çalışmasında ham elma posası ile birlikte aşı kullanılarak yapılan çalışmalar sonucundaki BMP değerlerinden daha düşük değerler elde edilmiştir. Oda sıcaklığında 45 dakika işletme süresi sonunda çözünmüş KOİ değerinde gözlemlenen artışlar BMP analizlerinde artışlara sebep olmadığı belirlenmiştir. Termal ön arıtmada hem çözünmüş KOİ hem de BMP değerlerinin en yüksek olduğu şartlar 60°C 45 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu şartlarda kümülatif BMP 261 mL CH₄/gUKM olarak ölçülmüştür. Bu artış ham elma posası ile birlikte aşı çamuru kullanarak yapılan BMP değerlerine göre %53,01 daha fazla bulunmuştur. Climent vd. (2007), yaptığı çalışma düşük termal ön arıtmalarda (70°C) biyogaz üretiminin %50 arttığı sonucuna benzer değerler elde edilmiştir.

53 kHz frekansta ultrases ön arıtımında ise sıcaklık değerinin artması ile birlikte hem çözünmüş KOİ değerinde hem de BMP'de sırasıyla %80 ve %73,7 oranında artış elde edilmiştir.

Wang vd. (1999), evsel arıtma çamurlarına 9 kHz ultrases ön arıtmalarda %64 biyogaz artışı sağladığı çalışmalardan daha yüksek artış elde edilmiştir. Bunun temel nedeni

kullanılan substratın organik içeriğinin daha fazla olması ve ultrases frekansının yüksek olmasıyla açıklanabilir.

Kimyasal ön arıtım çalışmalarında 3 farklı pH değerlerinde ön arıtım çalışmaları yapılmıştır. pH<2 ön arıtım çalışmalarında çözünmüş KOİ konsantrasyonlarında artışlar olmasına rağmen oldukça düşük seviyelerde ölçülmüştür. BMP analizlerinde düşük sıcaklıklarda (25 ve 40°C) yaklaşık %4'lük artışlar elde edilmiştir.

Badshah vd. (2012), şeker kamışı küspesine 15 dakika işletme süresince %2'lik seyreltik asit ön arıtım çalışmalarında metan verimini %166 artırdığı sonuçları ile örtüşmemiştir. Asidik şartlarda gerçekleşen ön arıtlarda elma posalarının birbirine kenetlendiğini ve parçalanmaya karşı daha dayanıklı bir yapı sergilediğini SEM görüntülerine bakılarak belirlenmiştir. Bu yapı işletme sıcaklığının artmasıyla daha da kuvvetlenmekte, çözünmeyi azaltmakta ve BMP değerlerindeki artışı engellemektedir. pH değerinin 5'e çıkartılmasıyla çözünmüş KOİ değerlerinde işletme süresine bağlı olarak artışlar elde edilmiştir. En yüksek çözünmüş KOİ konsantrasyonu 60°C 45 dakikalık ön arıtım şartlarında 82234 mg/L olduğu ölçülmüştür. pH 5 kimyasal ön arıtım çalışmaları sonunda gerçekleştirilen BMP testlerinde sırasıyla 240, 222,7, 195,5 ve 207,8 mL CH₄/gUKM bulunmuştur.

pH değerinin 10'a çıkartılmasıyla gerçekleştirilen ön arıtlarda çözünmüş KOİ konsantrasyonları bütün işletme sıcaklarındaki en yüksek değerlerler 15 dakikalık işletme sürelerinde elde edilmiştir. Çözünmüş KOİ'deki artışlar göz önüne alındığında işletme süresinden ziyade işletme sıcaklığının daha etkili olduğu belirlenmiştir. 15 dakikalık işletme süresi kırılma süresi olarak kabul edilmiştir. Bu süreden sonra çözünmüş KOİ değerinde azalamalar meydana gelmiştir. pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarının BMP analizlerinde işletme süresine bağlı olarak artışlar gözlemlenmiştir. 25°C'de % 4,81' lik artış belirlenmişken işletme sıcaklığının 60°C'ye çıkarılmasıyla %25'lik artış elde edilmiştir. Yüksek pH değerleri BMP ve çözünmüş KOİ değerlerinde belirliğin artışlara neden olduğu tespit edilmiştir.

pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmalarında Sambusiti vd. (2012), %10 NaOH (g/g toplam katı) kullanılarak buğday samanının 40°C'de 24 saat ön işlemler sonucundan daha düşük değerler elde edilmiştir. Bunun nedeni uygulanan işletme sürelerinin kısa olmasıdır. Daha uzun işletme sürelerinde artışlar elde edilmesi mümkün olabilir.

Termal ön arıtlar sonucu elma posasının çözünmüş protein değerleri dikkate alındığında en yüksek değerler 15 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edildiği belirlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte çözünmüş protein miktarlarının azaldığı

tespit edilmiştir. Bu durumun yüksek sıcaklıklarda protein yapının bozulmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Çözünmüş proteinin en yüksek olduğu ön arıtım çalışma şartları sonunda BMP analizlerinde 25 ve 50°C işletme sıcaklıklarında artışlar elde edilmemiştir. En yüksek kümülatif BMP değeri 60°C işletme sıcaklığında 201,99 mL CH₄/gUKM bulunmuştur.

Düşük frekanslı ultrases ön arıtmalarında en uygun işletme süresi 45 dakika olarak belirlenmiştir. İşletme sıcaklığıyla birlikte çözünmüş protein değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen düşük frekanslı ön arıtım çalışmaları hariç diğer işletme sıcaklıklarında BMP değerlerinde artış belirlenmemiştir. Oda sıcaklığında ise % 21,5'lik artış elde edilmiştir.

Grönroos vd. (2005), evsel arıtma çamurlarına 27,4 kHz ultrases ön işlemleni 10 dakika işletme süreleri sonunda %20'lik biyogaz artışı elde ettikleri çalışmadan daha yüksek artış elde edilmiştir. İşletme süresinin ve frekansın yüksek olması bu artışın nedenidir.

53 kHz ultrases ön arıtmaları 35 kHz ultrases ön arıtmaları ile kıyaslanarak incelendiğinde çözünmüş protein değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Ultrases işlemleri sırasında oluşan kavitasyon kabarcıkları hücre duvarlarına etki ederek çözünmeyi hızlandırmıştır. BMP test sonuçları incelendiğinde 25, 40, 50 ve 60°C işletme sıcaklıklarında sırasıyla %6,9, %21,1, %26,3, %69,3 artışlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda işletme süresi ve yüksek frekans BMP' de artırıcı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Kimyasal ön arıtmalarda optimum şartlar belirlendikten sonra gerçekleştirilen BMP çalışmalarında düşük pH değerlerinde artışlar belirlenmemiştir. Elma posasının yapısal özelliği nedeniyle düşük pH değerleri posanın yapısal bir bütünlük sağlamasına neden olmuştur. pH 5 değerinde gerçekleştirilen kimyasal ön arıtmalarda düşük işletme sıcaklıklarında BMP artışlar gerçekleşmemektedir. Ham elma posasının pH değerinin 4 civarlarında olması ve bu değer 5'e yükseltilebilmesi için gerekli olan kimyasal ilavesinin az olması nedeniyle çözünme fazla olmamıştır. İşletme sıcaklığının artırılması ile termal ön arıtmadan kaynaklı artışlar elde edilmiştir. pH'ın 10'a çıkartılmasıyla BMP değerlerinde tek başına bir artış sağlamasına yetmediği belirlenmiştir. İşletme sıcaklığın 50 ve 60°C çıkartılmasıyla %1,34, %3,96 artışlar gerçekleşmiştir.

Elma posası için yapılan korelasyon ve temel bileşen analizlerinde ultrases ön işlemlerinin ve işletme süresinin etkisinin BMP değerleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Endüstriyel faaliyetlerin hız kazanması ve buna bağlı olarak enerji talebindeki artışın fosil yakıtlar ile sağlanabilmesi konusunda endişeleri beraberinde getirmiştir. Biyokütleler ile yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması yavaş bir şekilde artmaktadır. Elma işlenmesine ve elmanın özelliğine bağlı olarak meyve ağırlığının %30'u kadar posası oluşabilir. Elma işleme endüstrilerinin gelişmesi sonucunda hızla artan elma posalarının taşınması ve bertaraf edilmesi çevre kirliliği ile bağlantılı olarak önemli bir sorun haline gelmesinden ve uygun bir atık yönteminin olmamasından dolayı elma posalarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde elma posası için yapılan bu ön arıtım çalışmalarıyla BMP'deki artışların elde edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Biyokütle enerji olarak bu posaların ön arıtım yöntemleri uygulanarak ekonomik değer kazandırılabilceği belirlenmiştir.

Farklı organik atıklar için, daha uzun işletme sürelerinde ön arıtım işlemleri yapılarak organik atıkların BMP potansiyelleri incelenebilir.

Çamur işletme maliyeti ve sermayeyle ilişkilendirildiğinde atık su arıtma tesisinin toplam maliyetinin %50'sinden daha yüksek olması, arıtma çamurunun patojen içeriğinden ve stabil olmamasından son bertarafından önce bazı arıtımlar yapılması gerekmektedir.

Arıtma çamurları içinde benzer şartlar altında aynı ön arıtım yöntemleri kullanılarak hem çözünmüş KOİ hem de çözünmüş protein değerlerine göre BMP analizleri yapılmıştır.

Termal ön arıtım çalışmalarında en yüksek çözünmüş KOİ değeri 45 dakikalık işletme süreleri sonunda elde edilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen termal ön arıtım çalışmaları haricinde bütün işletme sıcaklıklarında BMP değerleri artmıştır. 40°C'de %10,96'lık artış elde edilmişken sıcaklığın 60°C'ye çıkartılmasıyla %1,49'luk artış elde edilmiştir. İşletme sıcaklığının artması BMP değerlerinde azaltıcı etki göstermiştir.

Düşük frekanslı ultrases ön arıtım çalışmaları, çözünmüş KOİ değişimleri işletme sıcaklığına bağlı olarak artma eğilimi göstermiştir. İşletme süresinin çözünme üzerindeki etkisi belirlenememiştir. Bütün şartlarda 30 dakikalık işletme süresinin en uygun süre olduğu tespit edilmiştir. İşletme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak BMP değerleri de artmıştır. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen ultrases ön işlemi sonucunda

kümülatif BMP 157,6 mL CH₄/gUKM, 40°C’de 162,8 mL CH₄/gUKM, 50°C’de 172,44 mL CH₄/gUKM ve 60°C’de ise 178,4 mL CH₄/gUKM olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar Wood vd. (2009), arıtma çamurlarına uyguladıkları 20 kHz ultrases ön arıtım çalışma sonuçlarına benzerlik göstermiştir.

Çözünmüş KOİ ve buna bağlı olarak BMP değerleri üzerinde ultrases frekans etkisinin belirlenebilmesi için 53 kHz’de ultrases ön arıtım çalışmalarında işletme süresi ile birlikte işletme sıcaklığının arttığı ön arıtım şartlarında daha yüksek çözünmüş KOİ değerleri elde edilmiştir. 25°C’de 5 dakika işletme süresi sonunda BMP %11,12’lik artış elde edilmiştir. İşletme sıcaklığının 60°C’ye işletme süresinin 45 dakikaya çıkarılmasıyla gerçekleştirilen ön arıtım çalışmalarında 14536 mg/L çözünmüş KOİ elde edilmiştir. Aynı şartlar altında 30 günlük kümülatif BMP değeri %66,82 artmıştır. Ultrases ön işlemlerinde frekans ile birlikte işletme sıcaklığının artırılması BMP değerlerinde yükselmelere neden olmuştur. Arıtma çamurları için en uygun ön arıtım yöntemi 53 kHz ön arıtım yöntemi olarak kabul edilmiştir.

Kimyasal ön arıtmaların çözünmüş KOİ’ye etkisi düşük pH değerlerinde düşük artışlar gözlemlenmiştir. pH değerinin yükselmesi ile birlikte çözünmüş KOİ değerleri arttığı tespit edilmiştir. pH 5 kimyasal ön arıtmada işletme süresinin artmasıyla birlikte çözünmüş KOİ değerleri de artmıştır. Bu kimyasal ön arıtım çalışmalarında en yüksek BMP değeri 40°C ve 15 dakikalık işletme süresinde elde edilmiştir. pH 10 kimyasal ön arıtmalarda ise bütün işletme sıcaklıklarında optimum işletme süresi 15 dakika olarak bulunmuştur. İşletme sıcaklığına bağlı olarak BMP değerlerinde artışlar belirlenmiştir. 25, 40, 50 ve 60°C işletme sürelerinde gerçekleştirilen pH 10 kimyasal ön arıtım çalışmaları sonrası gerçekleştirilen BMP analizlerinde sırasıyla %12,22, %19,48, %30,36 ve %43,61 artışlar elde edilmiştir. Çözünmüş KOİ’deki artış BMP analizlerindeki artışlara yansımıştır.

Literatürde belirtildiği gibi alkali ön arıtım yöntemleri substratın yapısını bozarak mikroorganizmaların ve enzimlerin daha kolay parçalayacağı formlara çevirmiştir. SEM görüntüleriyle yüzey morfolojisinin bozulduğu tespit edilmiştir.

Arıtma çamurlarının termal ön arıtım çalışmalarında en yüksek çözünmüş protein değeri işletme sıcaklığının 60°C’ye çıkmasıyla işletme süresi 5 dakikaya düşmüştür. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen termal ön arıtım çalışmalarının yetersiz olması yüksek sıcaklıklarda protein yapısının bozulması nedeniyle BMP değerlerinde artışlar gözlemlenememiştir. Düşük frekanslı ultrases ön arıtmalarında işletme sıcaklığının artmasıyla birlikte çözünmüş protein ve BMP değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir.

Düşük frekanslı ultrases ön arımlarda işletme sıcaklığı çözünmüş protein ve BMP değerlerinde azaltıcı etkiye neden olmuştur.

Ultrases çalışmalarında frekansın ve işletme süresinin artırılması çözünmüş protein değerlerinin yükselmesine neden olmuştur. En yüksek çözünmüş protein değerleri 45 dakikalık işletme süreleri sonunda ölçülmüştür.

Belirlenen şartlar altında BMP değerlerinde liner artışlar elde edilmiştir. İşletme sıcaklığın artmasıyla kümülatif BMP değerleri, 126,4, 150,9, 158,8 ve 182,5 mL CH₄/gUKM olarak bulunmuştur.

pH<2, 5 ve 10'da gerçekleştirilen kimyasal ön arıtım çalışmalarında en yüksek BMP artışları pH 10'da gerçekleştirilen ön arımlar neticesinde elde edilmiştir. pH<2 kimyasal ön arıtım çalışmalarında artışlar gerçekleşmemiştir. Düşük pH değerlerinde ön arıtım yöntemleri çözünmüş KOİ ve çözünmüş protein değerlerinde artışlar sağlanmasına rağmen BMP değerlerinde artışlara neden olmamıştır.

Literatür çalışmalarında genel olarak çözünmüş KOİ değerlerinde meydana gelen artışların BMP değerlerinde artışlara neden olduğu görüşü %100 doğru olmadığı bir substratın sadece çözünmüş KOİ değerine bakılarak BMP değerlerinde artışa sebep olmayacağı bu çalışmada kanıtlanmıştır.

Ön arıtım yöntemleri ile organik fraksiyonlar ile beraber çeşitli anyonlarda çözünmektedir.Çözünen bu anyonlar BMP inhibe edici yönde etki etmektedir.

Arıtma çamurları için yapılan korelasyon ve temel bileşen analizlerinde ön arıtım işlemlerinde organik kökenli maddelerin çözünmesinde sıcaklık, süre ve frekanasın etkileri belirlenmiştir. BMP artırıcı etkiye sahip olan iyon Na iyonu olduğu tespit edilmiştir. Na iyonları asidik şartlardan bazik şartlara geçmede tampon görevi görmektedir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. ve Ültanır, M. Ö., 2000. Türkiye’de biyokütle (Biomass) enerji potansiyeli ve değerlendirilmesi için öneriler, Türkiye 8. Enerji Kongresi, WEC-TNC, Ankara, Bildiriler Kitabı, 161-171.
- Adıyaman, Ç., 2012. Türkiye’nin yenilenebilir enerji politikaları, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Ağayev, E., 2011. At gübresinin biyogaz üretiminin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Alqaralleh, M.R., 2012. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste, Master's Thesis, University of Ottawa, Ottawa-Carleton Institute for Environmental Engineering Department of Civil Engineering, Ottawa, Canada.
- Amril, A.M., 1986. Dried apple pomace with silvacel in steers diets, Doctoral Thesis, Washington State University, Department of Animal Sciences, Washington, America.
- Anastasov, A., 2009. Biodiesel-basis characteristics, technology and perspectives, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 23, 2, 755-759.
- Anonim, (2008-2012). Atık eylem planı (2008-2012), Çevre ve Orman Bakanlığı yayınları, Ankara.
- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. American Public Health Association, Baltimore, 57–2-59.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. ve Dewil, R., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 6, 755-781.
- Aracı, F., 2013. Yenilenebilir enerji kaynakları ve termal enerji kaynaklarından yararlanma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ardıç, İ., 2009. İnek gübresinden biyogaz üretim verimine termal, kimyasal ve termokimyasal ön işlemlerinin etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F. ve Lens P.N.L., 2014. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste, *Applied Energy*, 123, 143-156.
- ASTM, 2004. American Society for Testing and Materials, United States.
- Badshah M., Lam D.M., Liu J. ve Mattiasson B., 2012. Use of an automatic methane potential test system for evaluating the biomethane potential of sugarcane bagasse after different treatments, *Bioresource Technology*, 114, 262-269.
- Bayrakçeken, H., 2007. Biyogaz üretim sistemi tasarımı ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Bougrier, C., Albasi, C., Delgenès, J. P. ve Carrère, H. 2006. Effect of ultrasonic, thermal and ozone pretreatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, Journal of Chemical Engineering and Process Technology, 45, 711-718.

Canan, B., 2008. Elma posasından glikoz eldesinde ozonlamanın etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.

Carrère, H., Bougrier, C., Castets, D. ve Delgenès, J.P., 2008. Impact of initial biodegradability on sludge anaerobic digestion enhancement by thermal pretreatment, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 43,1551–1555.

Cesaro, A. ve Belgiorno, V., 2014. Pretreatment methods to improve anaerobic biodegradability of organic municipal solid waste fractions, Chemical Engineering Journal, 240, 24-37.

Chang, C.J., Tyagi, K.V. ve Lo, L.S., 2011 Effects of microwave and alkali induced pretreatment on sludge solubilization and subsequent aerobic digestion, Bioresource Technology, 102, 17, 7633-7640.

Chen., X., Zhang, Y., Gu, Y., Liu, Z., Shen, Z., Chu H. ve Zhou, X., 2014a. Enhancing methane production from rice straw by extrusion pretreatment, Applied Energy, 122, 34-41.

Chen, G., Chang, Z. ve Zheng, Z., 2014b. Feasibility of NaOH-treatment for improving biogas production of digested *Spartina alterniflora*, International Biodeterioration & Biodegradation, 93, 131-137.

Chen, L., Li, B., Li, D., Gan, J. ve Kitamura, Y., 2008. Ultrasound-assisted hydrolysis and acidogenesis of solid organic wastes in a rotational drum fermentation system, Bioresource Technology, 99, 8337-8343.

Chu, C. P., Chang ,B.-V., Liao, S.G., Jean, S. D. ve Lee, .D. J. 2001. Observations on changes in ultrasonically treated waste- activated sludge, Water Research 35, 4, 1038-1046.

Climent, M., Ferrer, I., Baeza, M.D., Artola, A., Vazquez, F. ve Font, X., 2007. Effects of thermal and mechanical pretreatments of secondary sludge on biogas production under thermophilic conditions, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 133, 335–342.

Çelik, N.S., 2012. Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

Çiçek, O. A., 2014. Farklı çiftlik atıklarının birlikte çürütülmesi ve gaz üretim optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çoban, V., 2009. Hayvansal ve bitkisel atıklardan biyogaz üretim prosesinin simülasyon ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknolojisi Enstitüsü, Gebze.

Demirtürk, C., 2013. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerjisi karşılaştırmalı yatırım fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Deublein, D. ve Steinhauser, A., 2008. Biogas: from waste and renewable energy resources, Wiley-Vch Verlag GmbH Co. & KGaA, Weinheim, Almanya.

Dongyan, Y., Yunzhi, P., Hairong, Y., Shulin, C., Jingwei, M.A, Liang, Y. ve Xiuji, L., 2014. Enhancing biogas production from anaerobically digested wheat straw through ammonia pretreatment, Chinese Journal of Chemical Engineering, 22, 5, 576-582.

Dumlu, L., 2011. Evsel atıksu arıtma tesisi çamurları ile termokimyasal ön arıtım uygulanmış lignoselülozik atıkların birlikte anaerobik parçalanabilirliğinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Elbeshbishy, E. ve Nakhla, G., 2011. Comparative study of the effect of ultrasonication on the anaerobic biodegradability of food waste in single and two-stage systems, Bioresource Technology, 102, 6449-6457.

Elbeshbishy, E., Nakhla, G. ve Hafez, H., 2012. Biochemical methane potential (BMP) of food waste and primary sludge: Influence of inoculum pre-incubation and inoculum source, Bioresource Technology, 110, 18-25.

Engelhart, M., Krüger, M., Kopp, J. ve Dichtl, N., 2000. Effects of disintegration on anaerobic degradation of sewage excess sludge in downflow stationary fixed film digesters, Water Science and Technology, 41, 3, 171-179.

Eismann, F., Glindemann, D., Bergmann, A. ve Kusch, P., 1997. Effect of free phosphine on anaerobic digestion, Water Research, 31, 11, 2771-2774.

Eryaşar, A., 2007. Kırsal kesime yönelik bir biyogaz sisteminin tasarımı, kurulumu, testi ve performansına etki eden parametrelerin araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Esen, S.R., 2013. Konut alanlarında yenilenebilir enerji kullanımı İstanbul-Eyüp örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Feng, X., Lei, H., Deng, J., Yu, Q. ve Li, H., 2009a. Physical and chemical characteristics of waste activated sludge treated ultrasonically, Chemical Engineering and Processing, 48, 187-194.

Feng, X., Deng, J., Lei, H., Bai, T., Fan, Q., ve Li, Z., 2009b. Dewaterability of waste activated sludge with ultrasound conditioning, Bioresource Technology, 100, 1074-1081.

Fernandez, B., Porrier, P. ve Chamy, R., 2001. Effect of inoculum-substrate ratio on the start up of solid waste anaerobic digesters, *Water Science & Technology*, 44, 4, 103-108.

Ferreira, L.C., Donoso-Bravo, A., Nilsen, P.J., Fdz-Polanco, F. ve Pérez-Elvira S.I., 2013. Influence of thermal pretreatment on the biochemical methane potential of wheat straw, *Bioresource Technology*, 143, 251-257.

Filibeli, A., 2013. Arıtma çamurlarının işlenmesi, 7. Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir.

Ge, X., Matsumoto, T., Keith, L. ve Li, Y., 2014. Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, 169, 38-44.

Gedik, T.Ö., 2015. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gogate, P.R. ve Kabadı, A.M., 2009. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology, *Biochemical Engineering Journal*, 44, 60-72.

Gönül, R.B., 2007. Yenilenebilir enerji kullanımı ve karbondioksit emisyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Graja, S., Chauzy, J., Fernandes, P. ve Cretenot, D., 2005. Reduction of sludge production from WWTP using thermal pretreatment and enhanced anaerobic methanisation, *Water Science & Technology*, 52, 1-2, 267-273.

Grönroos, A., Kylönen, H., Korpijärvi, K., Pirkonen, P., Paavola, T., Jokela, J. ve Rintala J., 2005. Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion, *Ultrasonics Sonochemistry*, 12, 1-2, 155-120.

Guiot, S.R., Safi, B., Frigon, J.C., Mercier, P., Mulligan, C., Tremblay, R. ve Samson, R., 1995. Performances of a full-scale novel multiplate anaerobic reactor treating cheese whey effluent, *Biotechnology and Bioengineering*, 45, 5, 398-405.

Gül, N., 2006. Tavuk gübresinin biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Halisdemir, B., 2009. Aktif çamur ve portakal posasının biyogaz üretim verimleri ve bazı ön işlemlerin biyogaz üretim verimine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Han, H., Wu, X., Ge, L. ve Qiao, J., 2017. A sludge volume index (SVI) model based on the multivariate local quadratic polynomial regression method, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, doi:10.1016/j.cjche.2017.08.007.

Hatunoğlu, E.E., 2010. Biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne etkileri, Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

Haug, R., Thomas, T., LeBrun, J. ve Tortorici, D.L., 1983. Thermal pretreatment of sludges- field demonstration, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 55,1, 23-34.

Haug, R.T., Stuckey, D.C., Gossett, J.M., MaCarty, P.L., 1978. Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 50, 1, 73-85.

Havan, C.,2017. Türkiye'de yenilenebilir enerji politikası: TR42 Doğu Marmara Bölgesi örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.

Hogan, F., Mormede, S., Clark, P. ve Crane. M., 2004. Ultrasonic sludge treatment for enhanced anaerobic digestion, *Water Science &Technology* 50, 9, 25-32.

Jung, J., Xing, X.H. ve Matsumoto, K., 2001. Kinetic analysis of disruption of excess activated sludge by Dyno Mill and characteristics of protein release for recovery of useful materials, *Biochemical Engineering Journal*, 8, 1-7.

Jung, J., Xing, X.H. ve Matsumoto, K., 2002. Recover ability of protease released from disrupted excess sludge and its potential application to enhanced hydrolysis of proteins in wastewater, *Biochemical Engineering Journal*, 10, 67-72.

Kamm, B. ve Kamm M., 2004. Principle of biorefineries, *Applied Microbiology Biotechnology*, 64, 137-145.

Karamanav, M., 2007. Güneş enerjisi ve güneş pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Kepp, U., Machenbach, I., Weisz, N. ve Solheim, O. E., 2000. Enhanced Stabilisation of sewage sludge through thermal hydrolysis- three years of experience with full scale plant, *Water Science & Technology*, 42, 9, 89-96.

Khanal, S. K., Grewell, D., Sung, S. ve Leeuwen. J.H., 2007. Ultrasound applications in wastewater sludge pretreatment: a review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 37, 4, 277-313.

Kim, D.-H., Jeong, E., Oh, S.-E. ve Shin, H.-S., 2010. Combined (alkaline+ultrasonic) pretreatment effect on sewage sludge disintegration, *Water Research*, 44, 3093-3100.

Kim, H. J., Hur, J. K., Hur, C. S. ve Baek, Y. J., 2001. Effects of extractants on the characteristics of soluble dietary fiber from apple pomace, *Korean Journal of Food Science and Technology* 33, 161-165.

Kim, D.H., Han, S.K., Kim, S.H. ve Shin, H.S., 2006. Effect of gas sparging on continuous fermentative hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 31, 2158-2169.

Kim, J., Park, C, Kim, T.H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.W. ve Lee, J., 2003. Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge, *Journal of Bioscience and Bioengineering* 95, 271-275.

Kim, Y.U. ve Kim, B.I., 2003. Effect of ultrasound on dewaterability of sewage sludge, Japanese Journal of Applied Physics, Part 1, 42, 5898-5899.

Kıyak, A., 2007. Güneş enerjisinden yararlanma olanakları ve enerji verimliliğinin incelenmesi; Muğla ili toplu konut Yerleskesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Kondusamy, D. ve Kalamdhad, A. S., 2014. Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production – A review, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2, 1821-1830.

Kuglarz, M., Karakashev, D. ve Angelidaki, I., 2013. Microwave and thermal pretreatment as methods for increasing the biogas potential of secondary sludge from municipal wastewater treatment plants, Bioresource Technology, 134, 290-297.

Lay, J.J., Li, Y.Y. ve Noike, T., 1997. Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solid sludge digestion, Water Research, 31, 6, 1518-1524.

Li, C., 2012. Using anaerobic co-digestion with addition of municipal organic wastes and pre-treatment to enhance biogas production from wastewater treatment plant sludge, Doctoral Thesis, Queen's University, Department of Civil Engineering, Ontario, Canada.

Li, C., Liu, G., Jin, R., Zhou, J. ve Wang, J., 2010. Kinetics model for combined (alkaline + ultrasonic) sludge disintegration, Bioresource Technology, 101, 8555-8557.

Lin, J.-G., Chang C.-N ve Chang S.-C., 1997. Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by alkaline solubilization, Bioresource Technology, 62, 85-90.

Lin, Y.Q., Wang, D.H., Wu, S.Q. ve Wang, C.M., 2009. Alkali pretreatment enhances biogas production in the anaerobic digestion of pulp and paper sludge, Journal of Hazardous Materials, 170, 1, 366-373.

Liu, C.Z. ve Cheng, X.Y., 2009. Microwave-assisted acid pretreatment for enhancing biogas production from herbal-extraction process residue, Energy Fuel, 23, 6152-6155.

Lu, J., Gavala, H.N., Skiadas, I.V., Mladenovska, Z. ve Ahring, B.K., 2008. Improving anaerobic sewage sludge digestion by implementation of a hyper-thermophilic prehydrolysis step, Journal of Environmental Management, 88, 4, 1361-1372.

Marin, J., Kennedy, K.J. ve Eskicioglu, C., 2010. Effect of microwave irradiation on anaerobic degradability of model kitchen waste, Waste Management, 30, 10, 1772-1779.

Marsolek, D.M., Kendall, E., Thompson, L.P. ve Shuman, R.T., 2014. Thermal pretreatment of algae for anaerobic digestion, Bioresource Technology, 151, 373-377.

Mata-Alvarez, J., 2003. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA, Cornwall, UK.

Mata-Alvarez, J., Mace, S. ve Liabres, P., 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes an overview of research achievements and perspectives, *Bioresource Technology*, 74, 1, 3-16.

Metcalf ve Eddy 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th edition, New York, McGraw-Hill.

Mladenovska, Z., Hartmann, H., Kvist, T., Sales-Cruz, M., Gani, R. ve Ahring, B.K., 2006. Thermal pretreatment of the solid fraction of manure: impact on the biogas reactor performance and microbial community, *Water Science and Technology*, 53, 59-67.

Monlau F., Barakat A., Steyer JP. Ve Carrere H., 2012. Comparison of seven types of thermo-chemical pretreatments on the structural features and anaerobic digestion of sunflower stalks, *Bioresource Technology*, 102, 241-247.

Mudhoo, A. ve Sharma, K.S., 2011. Microwave irradiation technology in waste sludge and wastewater treatment research, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41, 11, 999-1066.

Muller, C.D., Abu-Orf, M., Blumenschein, D.C. ve Novak, T.J., 2009. A comparative study of ultrasonic pretreatment and an internal recycle for the enhancement of mesophilic anaerobic digestion, *Water Environment Research*, 81, 12, 2398-2410.

Muller, J., Lehne, G., Schwedes, J., Battenberg, S., Naveke, R., Kopp, J., Dichtl, N., Scheminski, A., Krull, R., ve Hempel, D. C., 1998. Disintegration of sewage sludges and influence on anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, 38, 8-9, 425-433.

Naddeo, V., Cesaro A., Amodio, V. ve Belgiorno V., 2012. Enhanced biogas production from anaerobic codigestion of solid waste by sonolysis, *Ultrasonics Sonochemistry*, 19, 596-600.

Onsekizoğlu, P., 2010. Elma suyu üretiminde ozmotik destilasyon ve membran destilasyon uygulamalarının ürün kalitesine etkileri, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Onyeche, T.I., 2007. Economic benefits of low pressure sludge homogenization for wastewater treatment plants, *IWA Specialist Conferences: Moving Forward Wastewater Biosolids Sustainability*, Moncton, New Brunswick, 417-422.

Oz, A.N. ve Uzun, C. A., 2015. Ultrasound pretreatment for enhanced biogas production from olive mill wastewater, *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 565-572.

Özcan, M., 2013. Türkiye elektrik enerjisi üretim genişletme planlamasında yenilenebilir enerji kaynaklarının etkileri, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Öztürk, M., 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Pang, Y.Z., Liu, Y.P., Li, X.J., Wang, K.S. ve Yuan, H.R., 2008. Improving biodegradability and biogas production of corn stover through sodium hydroxide solid state pretreatment, *Energy & Fuels*, 22, 4, 2761-2766.

Pilli, S., Bhunia, P., Yan, S., LeBlanc, R.J., Tyagi, R.D. ve Surampalli, R.Y., 2011. Ultrasonic pretreatment of sludge: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 1-18.

Protot, A., Julien, L., Christophe, D. ve Partick, L., 2011. Sludge disintegration during heat treatment at low temperature: a better understanding of involved mechanisms with a multi-parametric approach, *Biochemical Engineering Journal*, 54, 178-184.

Rajeshwari, K.V., Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K. ve Kishore, V.V.N., 2000. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 135-156.

Saha, M. 2011. Enhancing methane potential of pulp mill wastewater treatment sludge by emerging pretreatments, Master's Thesis, The University of British Columbia, Department of Civil Engineering, Okanagan.

Sambusiti C., Ficara E., Rollini M., Manzoni M. ve Malpei F., 2012. Sodium hydroxide pretreatment of ensiled sorghum forage and wheat straw to increase methane production, *Water Science & Technology*, 66, 2447-2452.

Sawayama S., Inone, S., Tsukahara K., ve Ogi, T., 1996. Thermochemical liquidization of anaerobically digested and dewatered sludge and anaerobic pretreatment, *Bioresource Technology*, 55, 141-144.

Shahriari, H., Warith, M. ve Kennedy, K., 2011. Effect of microwave temperature, intensity and moisture content on solubilisation of organic fraction of municipal solid waste, *International Journal of Environmental Technology and Management*, 14, 1, 67-83.

Sharma, S.K., Mishra, I.M., Sharma, M.P. ve Saini, J.S., 1988. Effect of particle size on biogas generation from biomass residues, *Biomass*, 17, 4, 251-263.

Shen, S., Nges, I.A., Yun, J. ve Liu, J., 2014. Pre-treatments for enhanced biochemical methane potential of bamboo waste, *Chemical Engineering Journal*, 240, 253-259.

Skiadas, I. V., Gavala, H.N. ve Ahring. B.K., 2005. Thermal pre-treatment of primary and secondary sludge at 70 °C prior to anaerobic digestion, *Water Science & Technology* 52, 1-2, 161-166.

Sönmez, C.,Ö., 2015. Hatay, Belen Boğazı'nda bulunan rüzgar enerjisi santralinin süzülerek göç eden kuşlara etkileri, Yüksek Lisasn Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Stuckey D.C. ve McCarty P.L., 1984. The effect of thermal pre-treatment on the anaerobic biodegradability and toxicity of waste activated sludge, *Water Resource* 1984, 18, 1343-1353.

Sun, R., Xing, D., Jia, J., Zhou, A., Zhang, Lu. ve Ren, N., 2014. Methane production and microbial community structure for alkaline pretreated waste activated sludge, *Bioresource Technology* 169, 496-501.

Şen, M., 2010. Boludaki tavuk çiftliklerinin biyogaz kapasitesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Tiehm, A., Nickel, K., Zellhorn, M. ve Neis U., 2001. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization, Water Research, 35, 2003-2009.

Tokgöz, S., 1998. Application of anaerobic filter systems to treat concentrated organic wastes, Doctoral Thesis, Dokuz Eylül University, Institute of Science and Technology, İzmir.

Toreci, I., Kennedy, J.K. ve Droste, L. R., 2009. Effect of high temperature microwave thickened WAS pretreatment on distribution and digestion of soluble organic matter, Environmental Engineering Science 26, 5, 981-991.

Torres Lopez, M. ve Espinosa Llorens, M. C., 2008. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes, Waste Management, 28, 11, 2229-2234.

Turgut, K.B., 2011. Tarçın yağı ve atımlı elektrik alanı prosesinin elma suyunun kalitesi üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu.

EPA, 1997. Method 300.1 Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography, EPA-600/R/93/100, National Exposure Research Laboratory, Cincinnati.

Urgun, N., 2015. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Türkiye'nin potansiyeli ve bu potansiyelin harekete geçirilmesine yönelik stratejiler, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Valo, A., Carrère, H. ve Delgenès, J.P., 1998. Thermal, chemical and thermo-chemical pretreatment of waste activated sludge for anaerobic digestion, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 73, 83-92.

Verma, S., 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, Master's Thesis, Columbia University, Department of Earth & Environmental Engineering, Columbia, New York.

Vlyssides, A.G. ve Karlis, P.K., 2004. Thermal-alkaline solubilization of waste activated sludge as a pre-treatment stage for anaerobic digestion, Bioresource Technology, 91, 201-206.

Vural, E., 2012. Sürdürülebilir kalkınma sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve Türkiye'de uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.

Wang W., Hou, H., Hu, S. ve Gao, X., 2010. Performance and stability improvements in anaerobic digestion of thermally hydrolyzed municipal biowaste by a biofilm system, Bioresource Technology, 101, 1715-1721.

- Wang, J.Y., Liu, X.Y., Kao, C.M. ve Stabnikova, O., 2006. Digestion of pre-treated food waste in hybrid anaerobic solid–liquid (HASL) system, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 3, 345-351.
- Wang, Q., Kuninobu, M., Kamimoto, K., Ogawa, H.I. ve Kato, Y., 1999. Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by ultrasonic pre-treatment, *Bioresource Technology*, 1999, 68, 309-313.
- Weiland, P., 2010. Biogas production: current state and perspectives, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 849-860.
- Wood, N., Tran H. ve Master E., 2009. Pretreatment of pulp mill secondary sludge for high-rate anaerobic conversion to biogas, *Bioresource Technology*, 100, 5729-5735.
- Xu, J., Yuan, H., Lin, J. ve Yuan, W., 2014. Evaluation of thermal, thermal-alkaline, alkaline and electrochemical pretreatments on sludge to enhance anaerobic biogas production, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 2531-2536.
- Yadvika, S., Sreekrishnan T., Kohli, S. ve Rana, V., 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques, *Bioresource Technology*, 95, 1-10.
- Yerci, V., 2015. Türkiye denizlerindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli ve deniz üstü rüzgâr santralleri kurulabilecek bölgelerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mevlana Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yin, X., Han, P., Lu, X. ve Wang, Y., 2004. Review on the dewaterability of bio-sludge and ultrasound pretreatment, *Ultrasonics Sonochemistry*, 11, 337-348.
- Yıldırım, A., 2007. Güneş enerjisi ile ısıtma, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Yu, B., Xu, J., Yuan, H., Lou, Z., Lin, J. ve Zhu, N., 2014. Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by electrochemical pretreatment, *Fuel*, 130, 279-285.
- Zawieja, I., Wolny, L. ve Wolski, P., 2008. Influence of excessive sludge conditioning on the efficiency of anaerobic stabilization process and biogas generation, *Desalination*, 222, 374-381.
- Zhang, P., Zhang, G. ve Wang, W., 2007. Ultrasonic treatment of biological sludge: Floc disintegration, cell lysis and inactivation, *Bioresource Technology*, 98, 207-210.
- Zhang, G., Zhang, P., Yang, J. ve Liu, H., 2008. Energy-efficient sludge sonication: Power and sludge characteristics, *Bioresource Technology*, 99, 18, 9029-9031.
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F. ve Li, Y., 2014. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production, *Progress in Energy and Combustion Science*, 42, 35-53.
- Zi-lin, S., Gai-he, Y., Yong-zhong, F., Guang-xin, R. ve Xin-hui, H., 2013. Pretreatment of rice straw by hydrogen peroxide for enhanced methane yield, *Journal of Integrative Agriculture*, 12, 1258-1266.

EKLER

EK A Arıtım çamurlarının rekrasyon analiz sonuçları

EK B Elma posasının rekrasyon analiz sonuçları



a. This matrix is not positive definite.

Çizelge A.1 Arıtma çamurlarına uygulanan termal ön arıtım çalışmalarının istatistiksel analiz sonuçları.

a. This matrix is not positive definite.

164

		Koruyucu Matris																																
		Sesliklik	Sisire	pH	BO5	C-KOI	C-Protein	VitKozite	C-TOC	C-TN	SO4	Cl	F	NO3	Br	PO4	Ag	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	I2	Mn	Ni	Pb	Zn	Sr	B	Ca	K	Na
Koruyucu	Sesliklik	1.000	-0.010	0.033	0.219	0.236	0.148	0.221	0.228	0.247	-0.352	-0.207	-0.134	0.244	-0.168	-0.149	0.192	-0.064	0.026	0.247	0.278	0.218	-0.283	-0.093	0.110	0.077	0.015	0.166	0.153	-0.044	0.488	-0.353	-0.205	-0.341
	Sisire	-0.010	1.000	0.060	0.110	0.162	0.119	0.098	0.146	0.130	-0.110	0.129	-0.198	0.060	-0.195	0.331	0.179	-0.095	0.107	-0.265	-0.066	-0.180	-0.142	-0.199	0.095	0.047	-0.011	0.031	0.154	0.238	0.170	0.052	0.700	0.407
	pH	0.033	0.060	1.000	0.934	0.895	0.917	-0.386	0.909	0.900	0.155	0.350	0.195	0.233	0.114	0.479	0.273	-0.201	0.235	-0.120	0.048	-0.476	0.317	0.278	0.166	-0.443	0.329	-0.080	0.193	-0.159	0.236	-0.275	-0.002	-0.182
	BO5	0.219	0.110	0.934	1.000	0.964	0.981	-0.299	0.972	0.986	0.180	0.375	0.275	0.293	-0.091	0.568	0.274	-0.288	0.109	-0.154	0.174	-0.339	0.304	0.313	0.209	-0.290	0.272	0.081	-0.357	0.041	0.336	-0.307	-0.219	-0.048
	C-KOI	0.236	0.162	0.895	0.964	0.980	0.954	-0.268	0.963	0.968	0.198	0.423	0.364	0.111	-0.182	0.617	0.294	-0.323	0.053	-0.144	0.126	-0.321	0.345	0.315	0.196	-0.241	0.311	0.057	-0.400	0.062	0.366	-0.286	-0.230	-0.016
	C-Protein	0.148	0.119	0.917	0.981	0.954	1.000	-0.346	0.959	0.979	0.334	0.458	0.385	0.084	-0.119	0.635	0.280	-0.305	0.082	-0.197	0.135	-0.345	0.319	0.319	0.217	-0.283	0.336	0.036	-0.356	0.113	0.277	-0.224	-0.196	0.038
	VitKozite	0.221	0.098	-0.386	-0.299	-0.268	-0.346	1.000	-0.290	-0.276	-0.299	-0.243	-0.056	-0.141	-0.470	-0.319	0.082	0.029	-0.303	0.260	0.044	0.046	-0.396	-0.261	-0.154	0.430	-0.123	-0.135	-0.415	0.066	0.455	0.312	-0.328	0.087
	C-TOC	0.228	0.146	0.099	0.972	0.993	0.959	-0.290	1.000	0.971	0.179	0.403	0.334	0.127	-0.161	0.631	0.270	-0.325	0.074	-0.161	0.157	-0.333	0.300	0.297	0.179	-0.249	0.300	0.083	-0.390	0.060	0.348	-0.314	-0.222	-0.026
	C-TN	0.247	0.130	0.890	0.986	0.968	0.979	-0.276	0.971	1.000	0.223	0.405	0.329	0.081	-0.157	0.596	0.284	-0.311	0.061	-0.166	0.105	-0.299	0.321	0.303	0.202	-0.258	0.292	0.014	-0.409	0.056	0.388	-0.244	-0.252	0.000
	SO4	-0.352	0.110	0.155	0.180	0.198	0.334	-0.299	0.179	0.223	1.000	0.451	0.564	-0.129	-0.139	-0.461	-0.080	-0.159	-0.185	-0.269	-0.065	-0.054	0.115	0.061	0.033	0.106	0.247	-0.106	0.094	0.470	-0.223	0.700	0.049	0.472
Cl	-0.207	0.129	0.350	0.375	0.423	0.458	-0.243	0.405	0.405	0.451	1.000	0.853	0.177	-0.229	0.824	0.652	-0.327	0.113	-0.072	0.039	-0.451	0.332	0.571	0.255	0.332	0.740	0.015	0.290	0.240	-0.040	0.251	-0.019	0.468	
F	-0.134	0.198	0.195	0.275	0.364	0.385	-0.056	0.334	0.329	0.364	0.853	1.000	0.129	-0.483	0.759	0.588	-0.303	-0.119	-0.083	-0.029	-0.129	0.253	0.449	0.146	0.003	0.697	0.030	-0.492	0.499	0.096	0.296	-0.217	0.590	
NO3	0.244	0.060	0.233	0.091	0.111	0.084	-0.141	0.127	0.081	-0.129	0.177	0.129	1.000	0.237	0.098	0.408	0.173	0.433	-0.206	-0.008	-0.343	-0.156	0.272	0.006	-0.396	0.448	-0.140	-0.065	-0.166	0.249	-0.216	0.086	-0.199	
Koruyucu	Br	-0.168	-0.195	0.114	-0.091	-0.182	-0.119	-0.470	-0.161	-0.157	-0.139	-0.229	-0.483	0.237	1.000	-0.233	-0.144	0.341	0.543	-0.201	0.024	-0.554	0.083	0.069	0.048	-0.477	-0.076	0.018	-0.470	-0.451	-0.472	-0.202	0.579	-0.248
	PO4	-0.149	0.331	0.479	0.568	0.617	0.613	0.596	0.461	0.824	0.759	0.998	0.233	1.000	0.470	-0.352	0.103	-0.205	0.116	-0.410	0.346	0.591	0.217	-0.218	0.537	0.195	0.325	0.426	-0.087	0.043	-0.555	0.512		
	Ag	0.192	0.179	0.273	0.274	0.294	0.280	0.082	0.270	0.284	-0.080	0.652	0.588	0.408	-0.144	0.479	0.100	-0.151	0.331	0.174	-0.011	-0.292	0.028	0.499	0.146	0.391	0.731	-0.052	0.303	-0.016	0.288	0.022	0.047	0.111
	Al	-0.064	-0.095	-0.201	-0.288	-0.323	-0.305	0.029	-0.325	-0.311	-0.159	-0.327	-0.303	0.173	0.341	0.352	-0.151	1.000	0.248	0.314	-0.073	-0.031	-0.129	0.054	0.042	-0.296	-0.032	-0.046	-0.371	-0.233	0.013	-0.161	-0.069	
	Ba	0.026	0.107	0.235	0.109	0.053	0.082	-0.303	0.074	0.061	-0.185	0.113	-0.119	0.433	0.543	0.103	0.331	0.248	1.000	-0.348	-0.033	-0.517	-0.149	0.353	0.113	-0.471	0.338	0.024	-0.497	-0.328	-0.219	-0.321	0.268	-0.273
	Cr	0.247	-0.265	-0.210	-0.154	-0.144	-0.197	0.260	-0.161	-0.166	-0.269	-0.072	-0.031	-0.206	-0.201	-0.205	0.174	-0.143	-0.348	1.000	-0.088	0.416	-0.259	-0.174	0.022	-0.726	-0.035	0.053	-0.108	-0.044	0.108	0.026	0.048	-0.140
	Cu	0.278	-0.066	0.048	0.174	0.126	0.135	0.044	0.157	0.105	-0.065	0.039	-0.029	-0.008	0.024	0.116	-0.011	-0.073	-0.033	0.088	1.000	-0.089	-0.130	0.053	-0.003	0.116	-0.064	0.700	0.024	0.316	-0.136	-0.224	-0.068	0.041
	Fe	0.218	-0.180	-0.476	-0.339	-0.421	-0.345	0.606	-0.333	-0.209	-0.054	-0.451	-0.129	-0.343	-0.554	-0.410	-0.292	-0.031	-0.517	0.416	-0.089	1.000	-0.464	-0.498	-0.200	0.732	-0.401	-0.100	-0.387	0.269	0.282	0.176	-0.355	0.093
	Ga	-0.283	0.142	0.317	0.304	0.345	0.319	-0.396	0.330	0.321	0.115	0.332	0.253	-0.106	0.083	0.346	0.028	-0.129	0.149	-0.259	-0.310	-0.464	1.000	0.280	0.139	-0.281	0.082	0.054	-0.043	-0.074	-0.059	-0.150	0.055	0.097
	Hg	-0.093	0.139	0.278	0.313	0.315	0.319	-0.261	0.297	0.303	0.061	0.571	0.449	0.272	0.069	0.591	0.499	0.054	0.353	-0.174	0.053	-0.498	0.280	1.000	0.311	-0.560	0.537	0.217	-0.004	0.082	-0.031	-0.078	-0.312	0.176
I2	0.110	0.095	0.166	0.209	0.196	0.217	-0.154	0.179	0.202	0.033	0.255	0.146	0.006	0.048	0.217	0.146	0.042	0.113	0.022	-0.003	-0.200	0.139	0.311	1.000	0.288	0.182	0.056	-0.095	-0.070	-0.337	-0.092	0.063	0.107	
Mn	0.077	0.047	-0.443	-0.290	-0.441	-0.283	0.430	-0.249	-0.258	0.106	-0.332	0.003	-0.396	-0.477	-0.218	-0.391	-0.206	-0.721	0.376	0.116	0.732	-0.218	-0.560	-0.288	1.000	-0.481	0.163	-0.429	0.550	0.098	0.230	-0.155	0.268	
Ni	0.015	-0.011	0.329	0.272	0.311	0.336	-0.123	0.300	0.292	0.247	0.740	0.697	0.448	-0.076	0.537	0.731	-0.032	0.338	-0.035	-0.064	-0.401	0.082	0.537	0.182	-0.481	1.000	-0.116	0.114	-0.021	0.127	0.209	0.013	0.106	
Pb	0.166	0.031	-0.080	0.081	0.057	0.036	-0.135	0.083	0.014	-0.106	0.015	0.300	-0.140	0.018	0.195	-0.052	-0.046	0.024	0.035	0.700	-0.100	0.054	0.217	0.056	0.163	-0.116	1.000	0.020	0.482	-0.233	-0.408	-0.131	0.086	
Zn	0.153	0.142	0.193	0.357	0.400	0.356	0.415	0.390	0.409	0.094	0.290	0.492	-0.065	-0.770	0.325	0.303	-0.371	-0.497	0.108	0.024	0.387	-0.043	-0.004	-0.095	0.429	0.114	0.020	1.000	0.443	0.618	0.149	-0.506	0.367	
Sr	-0.044	0.238	-0.159	0.041	0.062	0.113	0.066	0.060	0.056	0.470	0.240	0.499	-0.165	-0.451	0.426	-0.016	-0.233	-0.328	-0.048	0.136	0.269	-0.074	0.082	-0.070	0.550	-0.021	0.482	0.443	1.000	-0.081	0.051	-0.328	0.577	
B	0.488	0.170	0.236	0.336	0.366	0.277	0.455	0.348	0.388	-0.223	-0.040	0.096	0.249	-0.472	-0.087	0.288	0.013	-0.219	0.108	-0.136	0.282	-0.059	-0.031	-0.037	0.098	0.127	-0.233	0.618	-0.081	1.000	-0.083	-0.495	-0.095	
Ca	-0.353	0.052	-0.275	-0.307	-0.286	-0.224	0.312	-0.314	-0.244	0.370	0.251	0.296	-0.216	-0.202	0.043	0.022	-0.161	-0.321	0.026	-0.224	0.176	-0.150	-0.078	-0.092	0.320	0.209	-0.408	0.149	0.051	-0.083	1.000	0.079	0.371	
K	-0.205	-0.070	-0.002	-0.219	-0.230	-0.196	-0.328	-0.222	-0.252	0.049	-0.019	-0.217	0.086	0.579	-0.155	-0.047	-0.031	0.268	0.048	-0.068	-0.355	0.055	-0.312	0.063	0.155	0.013	-0.131	-0.506	-0.328	-0.495	0.079	1.000	0.316	
Na	-0.341	-0.407	-0.182	-0.048	-0.016	0.038	0.087	-0.026	0.000	0.472	0.468	0.590	-0.199	-0.505	0.512	0.111	-0.069	-0.273	-0.140	0.041	0.093	0.097	0.176	0.107	0.268	0.106	0.086	0.367	0.577	-0.095	0.371	-0.316	1.000	

Çizelge A.3 Arıtma çamurlarına uygulanan kimyasal ön arıtım çalışmalarının istatistiksel analiz sonuçları.

EK.A

Korelasyon Matrisi																		
		Süre	Sıcaklık	FRK	pH	BOİ5	Ç-KOİ	Ç- Protein	Vizkozite	Ç-TOC	Ç-TN	SO4	Cl	F	NO3	Br	PO4	T-CH4
Korelasyon	Süre	1,000	0,127	-0,068	-0,471	-0,570	-0,502	-0,530	-0,126	-0,496	-0,475	-0,465	-0,513	-0,488	-0,128	0,360	-0,441	-0,091
	Sıcaklık	0,127	1,000	0,094	-0,038	0,263	0,355	0,237	0,528	0,375	0,377	0,068	0,205	0,225	-0,478	0,116	0,289	0,078
	FRK	-0,068	0,094	1,000	0,179	0,173	0,196	0,284	0,410	0,182	0,120	-0,171	0,442	0,451	0,234	-0,134	0,203	0,722
	pH	-0,471	-0,038	0,179	1,000	0,678	0,449	0,650	-0,021	0,450	0,577	-0,180	0,107	0,000	0,106	0,127	0,211	0,412
	BOİ5	-0,570	0,263	0,173	0,678	1,000	0,896	0,959	0,387	0,883	0,949	0,364	0,541	0,441	-0,082	-0,306	0,678	0,399
	Ç-KOİ	-0,502	0,355	0,196	0,449	0,896	1,000	0,873	0,441	0,986	0,928	0,417	0,658	0,568	-0,247	-0,353	0,782	0,279
	Ç- Protein	-0,530	0,237	0,284	0,650	0,959	0,873	1,000	0,398	0,860	0,948	0,388	0,559	0,448	-0,027	-0,304	0,662	0,532
	Vizkozite	-0,126	0,528	0,410	-0,021	0,387	0,441	0,398	1,000	0,451	0,402	0,162	0,530	0,608	-0,191	-0,388	0,293	0,490
	Ç-TOC	-0,496	0,375	0,182	0,450	0,883	0,986	0,860	0,451	1,000	0,916	0,408	0,630	0,548	-0,245	-0,342	0,751	0,246
	Ç-TN	-0,475	0,377	0,120	0,577	0,949	0,928	0,948	0,402	0,916	1,000	0,390	0,567	0,466	-0,237	-0,221	0,717	0,359
	SO4	-0,465	0,068	-0,171	-0,180	0,364	0,417	0,388	0,162	0,408	0,390	1,000	0,501	0,467	-0,054	-0,540	0,529	-0,136
	Cl	-0,513	0,205	0,442	0,107	0,541	0,658	0,559	0,530	0,630	0,567	0,501	1,000	0,949	-0,187	-0,526	0,812	0,342
	F	-0,488	0,225	0,451	0,000	0,441	0,568	0,448	0,608	0,548	0,466	0,467	0,949	1,000	-0,168	-0,588	0,678	0,314
	NO3	-0,128	-0,478	0,234	0,106	-0,082	-0,247	-0,027	-0,191	-0,245	-0,237	-0,054	-0,187	-0,168	1,000	-0,217	-0,301	0,261
	Br	0,360	0,116	-0,134	0,127	-0,306	-0,353	-0,304	-0,388	-0,342	-0,221	-0,540	-0,526	-0,588	-0,217	1,000	-0,316	-0,164
	PO4	-0,441	0,289	0,203	0,211	0,678	0,782	0,662	0,293	0,751	0,717	0,529	0,812	0,678	-0,301	-0,316	1,000	0,206
	T-CH4	-0,091	0,078	0,722	0,412	0,399	0,279	0,532	0,490	0,246	0,359	-0,136	0,342	0,314	0,261	-0,164	0,206	1,000

Çizelge A.4 Arıtma çamurlarından en yüksek çözünmüş KOİ elde edildiği şartlarda BMP değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.A

Korelasyon Matrisi																							
Parametre	Süre	Sıcaklık	FRK	pH	T-CH4	Ag	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	Li	Mn	Ni	Zn	St	B	Ca	K	Na	
Korelasyon	Süre	1,000	0,127	-0,068	-0,471	0,393	0,009	-0,013	0,237	0,034	-0,225	-0,309	0,203	0,050	0,435	-0,353	-0,172	-0,550	-0,530	0,029	-0,182	0,529	-0,034
	Sıcaklık	0,127	1,000	0,094	-0,038	0,206	0,158	-0,288	-0,078	0,227	0,180	0,351	-0,035	0,131	-0,073	0,208	0,079	0,147	0,281	0,378	-0,230	-0,046	0,307
	FRK	-0,068	0,094	1,000	0,179	-0,148	0,015	-0,071	0,162	-0,154	-0,063	-0,065	0,009	0,536	0,312	-0,409	0,286	-0,188	-0,064	0,217	0,358	-0,192	-0,023
	pH	-0,471	-0,038	0,179	1,000	-0,127	0,122	-0,004	0,391	-0,118	0,349	-0,217	0,369	0,100	-0,402	-0,355	0,260	-0,139	-0,225	0,176	0,044	-0,027	-0,124
	T-CH4	0,393	0,206	-0,148	-0,127	1,000	-0,035	0,022	0,304	0,214	-0,187	0,086	0,367	0,146	0,200	-0,209	0,073	-0,286	-0,227	0,361	0,020	0,600	0,566
	Ag	0,009	0,158	0,015	0,122	-0,035	1,000	-0,122	-0,249	0,124	-0,084	0,024	-0,238	0,126	0,029	0,107	0,319	0,265	0,118	0,133	-0,097	-0,133	0,093
	Al	-0,013	-0,288	-0,071	-0,004	0,022	-0,122	1,000	-0,008	-0,402	-0,032	-0,472	0,137	-0,195	0,012	-0,177	-0,196	-0,220	-0,343	-0,087	0,640	0,556	-0,603
	Ba	0,237	-0,078	0,162	0,391	0,304	-0,249	-0,008	1,000	-0,032	0,094	-0,411	0,472	0,061	0,248	-0,761	0,250	-0,736	-0,611	0,008	-0,009	0,494	-0,120
	Cr	0,034	0,227	-0,154	-0,118	0,214	0,124	-0,402	-0,032	1,000	-0,146	0,433	0,089	0,123	-0,046	0,252	0,257	0,304	0,244	0,345	-0,047	-0,221	0,464
	Cu	-0,225	0,180	-0,063	0,349	-0,187	-0,084	-0,032	0,094	-0,146	1,000	-0,037	0,102	-0,013	-0,329	0,109	-0,073	0,096	0,196	0,007	-0,052	-0,153	-0,061
	Fe	-0,309	0,351	-0,065	-0,217	0,086	0,024	-0,472	-0,411	0,433	-0,037	1,000	-0,334	-0,053	-0,192	0,656	0,198	0,740	0,705	0,148	-0,295	-0,473	0,590
	Ga	0,203	-0,035	0,009	0,369	0,367	-0,238	0,137	0,472	0,089	0,102	-0,334	1,000	-0,071	-0,153	-0,388	-0,222	-0,471	-0,496	0,154	0,276	0,504	-0,099
	Hg	0,050	0,131	0,536	0,100	0,146	0,126	-0,195	0,061	0,123	-0,013	-0,053	-0,071	1,000	0,326	-0,174	0,438	-0,041	0,156	0,102	0,085	-0,249	0,406
	Li	0,435	-0,073	0,312	-0,402	0,200	0,029	0,012	0,248	-0,046	-0,329	-0,192	-0,153	0,326	1,000	-0,384	0,196	-0,358	-0,229	-0,059	0,107	0,255	-0,027
	Mn	-0,353	0,208	-0,409	-0,355	-0,209	0,107	-0,177	-0,761	0,252	0,109	0,656	-0,388	-0,174	-0,384	1,000	-0,233	0,896	0,848	-0,084	-0,169	-0,580	0,335
	Ni	-0,172	0,079	0,286	0,260	0,073	0,319	-0,196	0,250	0,257	-0,073	0,198	-0,222	0,438	0,196	-0,233	1,000	0,004	0,042	0,162	-0,072	-0,110	0,200
	Zn	-0,550	0,147	-0,188	-0,139	-0,286	0,265	-0,220	-0,736	0,304	0,096	0,740	-0,471	-0,041	-0,358	0,896	0,004	1,000	0,864	0,012	-0,082	-0,708	0,358
	St	-0,530	0,281	-0,064	-0,225	-0,227	0,118	-0,343	-0,611	0,244	0,196	0,705	-0,496	0,156	-0,229	0,848	0,042	0,864	1,000	-0,018	-0,175	-0,737	0,470
	B	0,029	0,378	0,217	0,176	0,361	0,133	-0,087	0,008	0,345	0,007	0,148	0,154	0,102	-0,059	-0,084	0,162	0,012	-0,018	1,000	0,120	0,055	0,343
	Ca	-0,182	-0,230	0,358	0,044	0,020	-0,097	0,640	-0,009	-0,047	-0,052	-0,295	0,276	0,085	0,107	-0,169	-0,072	-0,082	-0,175	0,120	1,000	0,236	-0,337
	K	0,529	-0,046	-0,192	-0,027	0,600	-0,133	0,556	0,494	-0,221	-0,153	-0,473	0,504	-0,249	0,255	-0,580	-0,110	-0,708	-0,737	0,055	0,236	1,000	-0,313
	Na	-0,034	0,307	-0,023	-0,124	0,566	0,093	-0,603	-0,120	0,464	-0,061	0,590	-0,099	0,406	-0,027	0,335	0,200	0,358	0,470	0,343	-0,337	-0,313	1,000

a. This matrix is not positive definite.

Çizelge A.5 Arıtma çamurlarından en yüksek çözünmüş KOİ elde edildiği şartlarda BMP değerleri üzerinde ağır metallerin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.A

Korelasyon Matrisi																		
Parametre	Süre	Sıcaklık	FRK	pH	BOİ5	Ç-KOİ	Ç- Protein	Vizkozite	Ç-TOC	Ç-TN	SO4	Cl	F	NO3	Br	PO4	T-CH4	
Korelasyon	Süre	1,000	-0,446	0,303	0,174	0,161	0,147	0,169	-0,170	0,139	0,089	-0,189	-0,082	-0,163	-0,131	0,072	0,031	0,451
	Sıcaklık	-0,446	1,000	0,094	-0,038	0,227	0,299	0,224	0,466	0,303	0,349	0,094	0,347	0,319	-0,206	0,113	0,362	-0,095
	FRK	0,303	0,094	1,000	0,179	0,214	0,234	0,317	0,663	0,181	0,143	-0,041	0,374	0,405	0,203	-0,126	0,121	0,635
	pH	0,174	-0,038	0,179	1,000	0,651	0,504	0,645	-0,081	0,524	0,537	0,025	0,219	0,011	0,169	0,125	0,268	0,494
	BOİ5	0,161	0,227	0,214	0,651	1,000	0,924	0,959	0,157	0,935	0,952	0,427	0,543	0,450	-0,160	-0,332	0,673	0,469
	Ç-KOİ	0,147	0,299	0,234	0,504	0,924	1,000	0,915	0,145	0,986	0,950	0,362	0,570	0,474	-0,288	-0,314	0,700	0,515
	Ç- Protein	0,169	0,224	0,317	0,645	0,959	0,915	1,000	0,253	0,908	0,946	0,479	0,599	0,478	-0,158	-0,322	0,687	0,620
	Vizkozite	-0,170	0,466	0,663	-0,081	0,157	0,145	0,253	1,000	0,095	0,181	0,164	0,476	0,598	0,070	-0,301	0,208	0,338
	Ç-TOC	0,139	0,303	0,181	0,524	0,935	0,986	0,908	0,095	1,000	0,939	0,364	0,533	0,433	-0,276	-0,311	0,703	0,462
	Ç-TN	0,089	0,349	0,143	0,537	0,952	0,950	0,946	0,181	0,939	1,000	0,446	0,587	0,489	-0,307	-0,261	0,729	0,448
	SO4	-0,189	0,094	-0,041	0,025	0,427	0,362	0,479	0,164	0,364	0,446	1,000	0,573	0,549	-0,222	-0,484	0,620	0,028
	Cl	-0,082	0,347	0,374	0,219	0,543	0,570	0,599	0,476	0,533	0,587	0,573	1,000	0,904	-0,195	-0,430	0,856	0,296
	F	-0,163	0,319	0,405	0,011	0,450	0,474	0,478	0,598	0,433	0,489	0,549	0,904	1,000	-0,187	-0,557	0,698	0,183
	NO3	-0,131	-0,206	0,203	0,169	-0,160	-0,288	-0,158	0,070	-0,276	-0,307	-0,222	-0,195	-0,187	1,000	0,050	-0,390	0,048
	Br	0,072	0,113	-0,126	0,125	-0,332	-0,314	-0,322	-0,301	-0,311	-0,261	-0,484	-0,430	-0,557	0,050	1,000	-0,335	-0,066
	PO4	0,031	0,362	0,121	0,268	0,673	0,700	0,687	0,208	0,703	0,729	0,620	0,856	0,698	-0,390	-0,335	1,000	0,250
	T-CH4	0,451	-0,095	0,635	0,494	0,469	0,515	0,620	0,338	0,462	0,448	0,028	0,296	0,183	0,048	-0,066	0,250	1,000

Çizelge A.6 Arıtma çamurlarından en yüksek çözünmüş protein elde edildiği şartlarda BMP değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.A

Korelasyon Matrisi																							
Parametre	Süre	Sıcaklık	FRK	pH	T-CH4	Ag	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	Li	Mn	Ni	Zn	St	B	Ca	K	Na	
Korelasyon	Süre	1,000	-0,446	0,303	0,174	-0,118	0,111	-0,282	0,155	-0,110	0,223	-0,417	0,476	0,214	0,087	-0,436	0,178	-0,142	-0,211	-0,359	0,019	0,094	-0,232
	Sıcaklık	-0,446	1,000	0,094	-0,038	0,296	0,180	-0,060	0,060	0,192	0,078	0,549	-0,237	0,095	0,171	0,288	0,156	0,196	0,326	0,378	-0,055	-0,018	0,370
	FRK	0,303	0,094	1,000	0,179	-0,004	0,068	-0,355	0,160	0,020	0,048	-0,200	0,247	0,314	0,020	-0,407	0,076	-0,176	-0,143	0,171	0,246	-0,010	-0,018
	pH	0,174	-0,038	0,179	1,000	0,028	0,109	0,110	0,328	-0,312	0,094	-0,291	0,453	0,297	0,408	-0,529	0,271	-0,153	-0,206	0,259	-0,155	0,094	-0,042
	T-CH4	-0,118	0,296	-0,004	0,028	1,000	-0,015	-0,142	0,464	0,327	0,197	0,310	0,232	0,298	0,062	-0,044	0,233	-0,205	0,091	0,330	0,072	0,584	0,614
	Ag	0,111	0,180	0,068	0,109	-0,015	1,000	-0,204	-0,073	0,031	-0,119	0,074	-0,056	0,358	0,049	0,098	0,512	0,288	0,278	0,080	-0,173	-0,165	0,151
	Al	-0,282	-0,060	-0,355	0,110	-0,142	-0,204	1,000	-0,006	-0,043	-0,148	-0,193	-0,075	-0,201	0,004	-0,059	-0,094	-0,183	-0,267	0,045	-0,089	0,288	-0,441
	Ba	0,155	0,060	0,160	0,328	0,464	-0,073	-0,006	1,000	-0,023	0,103	-0,393	0,285	0,026	-0,006	-0,757	0,447	-0,765	-0,651	0,073	0,172	0,731	-0,168
	Cr	-0,110	0,192	0,020	-0,312	0,327	0,031	-0,043	-0,023	1,000	-0,185	0,525	-0,303	0,185	-0,033	0,241	0,196	0,213	0,108	0,251	0,162	0,085	0,282
	Cu	0,223	0,078	0,048	0,094	0,197	-0,119	-0,148	0,103	-0,185	1,000	-0,170	0,124	-0,142	0,011	-0,026	0,022	-0,054	0,141	-0,165	-0,149	0,180	0,076
	Fe	-0,417	0,549	-0,200	-0,291	0,310	0,074	-0,193	-0,393	0,525	-0,170	1,000	-0,384	0,191	-0,058	0,744	0,109	0,678	0,696	0,339	-0,057	-0,316	0,671
	Ga	0,476	-0,237	0,247	0,453	0,232	-0,056	-0,075	0,285	-0,303	0,124	-0,384	1,000	0,289	0,302	-0,488	0,111	-0,308	-0,240	0,021	0,019	0,217	0,069
	Hg	0,214	0,095	0,314	0,297	0,298	0,358	-0,201	0,026	0,185	-0,142	0,191	0,289	1,000	0,143	-0,028	0,318	0,276	0,282	0,265	0,087	-0,160	0,495
	Li	0,087	0,171	0,020	0,408	0,062	0,049	-0,006	-0,033	0,011	-0,058	0,302	0,143	1,000	-0,130	0,075	0,013	-0,056	0,056	-0,067	0,052	0,028	0,028
	Mn	-0,436	0,288	-0,407	-0,529	-0,044	0,098	-0,059	-0,757	0,241	-0,026	0,744	-0,488	-0,028	-0,130	1,000	-0,231	0,823	0,844	-0,004	-0,046	-0,552	0,478
	Ni	0,178	0,156	0,076	0,271	0,233	0,512	-0,094	0,447	0,196	0,022	0,109	0,111	0,318	0,075	-0,231	1,000	-0,037	-0,051	0,145	-0,032	0,214	0,067
	Zn	-0,142	0,196	-0,176	-0,153	-0,205	0,288	-0,183	-0,765	0,213	-0,054	0,678	-0,308	0,276	0,013	0,823	-0,037	1,000	0,887	0,098	-0,068	-0,781	0,508
	St	-0,211	0,326	-0,143	-0,206	0,091	0,278	-0,267	-0,651	0,108	0,141	0,696	-0,240	0,282	-0,056	0,844	-0,051	0,887	1,000	0,104	-0,122	-0,606	0,698
	B	-0,359	0,378	0,171	0,259	0,330	0,080	0,045	0,073	0,251	-0,165	0,339	0,021	0,265	0,056	-0,004	0,145	0,098	0,104	1,000	-0,087	-0,069	0,465
	Ca	0,019	-0,055	0,246	-0,155	0,072	-0,173	-0,089	0,172	0,162	-0,149	-0,057	0,019	0,087	-0,067	-0,046	-0,032	-0,068	-0,122	-0,087	1,000	0,053	-0,069
	K	0,094	-0,018	-0,010	0,094	0,584	-0,165	0,288	0,731	0,085	0,180	-0,316	0,217	-0,160	0,052	-0,552	0,214	-0,781	-0,606	-0,069	0,053	1,000	-0,276
	Na	-0,232	0,370	-0,018	-0,042	0,614	0,151	-0,441	-0,168	0,282	0,076	0,671	0,069	0,495	0,028	0,478	0,067	0,508	0,698	0,465	-0,069	-0,276	1,000

a. This matrix is not positive definite.

Çizelge A.7 Arıtma çamurlarından en yüksek çözünmüş protein elde edildiği şartlarda BMP değerleri üzerinde ağır metallerin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.B

Parameter	Korelasyon Matrisi																																		
	Sıcaklık	Süre	BOİ5	C-KOI	C-Protein	Vitkozite	C-TOC	C-TN	SO4	Cl	F	NO3	Be	PO4	Al	Ba	Bi	Cr	Cu	Fe	Hg	İn	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn	Si	B	Ca	K	Mg	Na	
Korelasyon	Sıcaklık	1.000	0.023	0.458	0.712	0.666	0.061	0.713	0.252	0.710	0.744	0.901	0.880	0.031	0.608	0.843	0.736	0.877	0.584	0.583	0.861	-0.162	0.847	0.581	0.897	0.602	0.066	0.231	0.758	0.802	0.671	0.564	0.860	0.914	-0.309
	Süre	0.023	1.000	0.038	0.509	0.060	0.630	-0.153	-0.366	0.242	0.015	-0.240	-0.109	-0.356	-0.114	-0.115	0.079	0.117	-0.165	0.072	-0.029	-0.330	0.173	0.228	-0.027	0.096	-0.347	-0.226	0.281	-0.021	-0.188	-0.249	-0.065	-0.049	0.410
	BOİ5	0.458	0.038	1.000	0.622	0.234	0.486	0.576	0.610	0.532	0.663	0.531	0.473	0.271	-0.044	0.490	0.650	0.198	-0.066	-0.387	0.146	0.267	0.191	-0.016	0.397	-0.327	0.135	0.790	0.026	0.304	0.127	0.480	0.538	0.501	-0.094
	C-KOI	0.712	0.509	0.622	1.000	0.557	0.557	0.556	0.063	0.577	0.736	0.559	0.528	-0.200	0.215	0.601	0.759	0.663	0.275	0.211	0.515	-0.165	0.593	0.388	0.626	0.271	-0.228	0.345	0.608	0.568	0.232	0.433	0.667	0.668	0.150
	C-Protein	0.666	0.060	0.234	0.557	1.000	-0.028	0.526	0.076	0.308	0.458	0.605	0.554	-0.442	0.456	0.586	0.511	0.624	0.288	0.468	0.606	-0.472	0.586	0.537	0.624	0.497	-0.416	0.027	0.705	0.593	0.139	0.358	0.589	0.629	-0.240
	Vitkozite	0.061	0.630	0.486	0.557	-0.028	1.000	0.261	0.182	0.314	0.419	0.002	0.033	0.196	-0.133	0.158	0.472	0.133	-0.431	-0.249	-0.018	0.188	0.204	0.144	0.136	-0.205	0.131	0.404	0.181	0.089	0.049	-0.112	0.232	0.152	0.223
	C-TOC	0.713	-0.153	0.576	0.556	0.526	0.261	1.000	0.522	0.359	0.683	0.802	0.761	0.308	0.617	0.965	0.752	0.677	0.238	0.304	0.752	0.095	0.669	0.540	0.899	0.364	0.308	0.598	0.516	0.822	0.534	0.514	0.948	0.919	-0.322
	C-TN	0.252	-0.366	0.610	0.063	0.076	0.182	0.522	1.000	0.453	0.370	0.505	0.439	0.612	0.179	0.387	0.479	0.109	-0.225	-0.325	0.072	0.335	0.156	0.023	0.297	-0.272	0.514	0.539	-0.091	0.206	0.230	0.193	0.353	0.345	-0.334
	SO4	0.710	0.242	0.532	0.577	0.308	0.314	0.359	0.453	1.000	0.533	0.644	0.644	0.290	0.395	0.423	0.598	0.553	0.201	0.183	0.431	-0.002	0.610	0.342	0.509	0.226	0.263	0.120	0.405	0.415	0.498	0.305	0.443	0.524	-0.247
	Cl	0.744	0.015	0.663	0.736	0.458	0.419	0.683	0.370	0.533	1.000	0.684	0.599	0.168	0.166	0.718	0.858	0.664	0.252	0.159	0.559	0.179	0.571	0.334	0.693	0.155	0.134	0.612	0.555	0.622	0.590	0.599	0.798	0.752	-0.004
	F	0.901	-0.240	0.531	0.559	0.605	0.002	0.802	0.505	0.644	0.684	1.000	0.940	0.275	0.616	0.863	0.733	0.798	0.529	0.454	0.800	-0.026	0.775	0.572	0.883	0.501	0.290	0.302	0.579	0.816	0.652	0.593	0.841	0.901	-0.537
	NO3	0.880	-0.109	0.473	0.528	0.554	0.033	0.761	0.439	0.644	0.599	0.940	1.000	0.247	0.646	0.835	0.611	0.762	0.588	0.493	0.821	-0.046	0.757	0.608	0.877	0.537	0.274	0.208	0.567	0.816	0.632	0.576	0.813	0.880	-0.528
	Be	0.031	-0.356	0.271	-0.200	-0.442	0.196	0.308	0.612	0.290	0.168	0.275	0.247	1.000	0.211	0.228	0.206	0.047	-0.178	-0.130	0.098	0.598	0.162	0.136	0.186	-0.096	0.981	0.330	-0.228	0.147	0.554	0.058	0.185	0.182	-0.408
	PO4	0.608	-0.114	-0.044	0.215	0.456	-0.133	0.617	0.179	0.395	0.166	0.616	0.646	0.211	1.000	0.675	0.332	0.636	0.350	0.660	0.768	-0.224	0.720	0.619	0.725	0.726	0.303	-0.117	0.518	0.658	0.530	0.215	0.602	0.666	-0.492
	Al	0.843	-0.115	0.490	0.601	0.586	0.158	0.965	0.387	0.423	0.718	0.863	0.835	0.228	0.675	1.000	0.755	0.808	0.407	0.498	0.880	-0.006	0.786	0.640	0.975	0.541	0.261	0.471	0.657	0.899	0.656	0.563	0.987	0.985	-0.331
	Ba	0.736	0.079	0.650	0.759	0.511	0.472	0.752	0.479	0.598	0.858	0.733	0.611	0.206	0.332	0.755	1.000	0.765	0.099	0.208	0.587	-0.082	0.637	0.469	0.748	0.249	0.179	0.514	0.651	0.713	0.526	0.517	0.793	0.779	-0.033
	Bi	0.877	0.117	0.198	0.663	0.624	0.133	0.677	0.109	0.553	0.664	0.798	0.762	0.047	0.636	0.808	0.765	1.000	0.539	0.768	0.919	-0.257	0.896	0.807	0.901	0.790	0.138	0.041	0.907	0.896	0.729	0.481	0.808	0.867	-0.179
	Cr	0.584	-0.165	-0.066	0.275	0.288	-0.431	0.238	-0.225	0.201	0.252	0.529	0.588	-0.178	0.350	0.407	0.099	0.539	1.000	0.590	0.627	-0.047	0.386	0.287	0.493	0.566	-0.092	-0.154	0.391	0.534	0.406	0.565	0.407	0.475	-0.159
	Cu	0.583	0.072	-0.387	0.211	0.468	-0.249	0.304	-0.325	0.183	0.159	0.454	0.493	-0.130	0.660	0.498	0.208	0.768	0.590	1.000	0.815	-0.400	0.758	0.792	0.638	0.984	0.043	-0.441	0.790	0.658	0.612	0.149	0.458	0.551	-0.264
	Fe	0.861	-0.029	0.146	0.515	0.606	-0.018	0.752	0.072	0.431	0.559	0.800	0.821	0.098	0.768	0.880	0.587	0.919	0.627	0.815	1.000	-0.139	0.878	0.805	0.948	0.832	0.203	0.084	0.815	0.916	0.761	0.498	0.863	0.911	-0.338
	Hg	-0.162	-0.330	0.267	-0.165	-0.472	0.188	0.095	0.335	-0.002	0.179	-0.026	-0.046	0.598	-0.224	-0.006	-0.082	-0.257	-0.047	-0.400	-0.139	1.000	-0.169	-0.291	-0.106	-0.410	0.539	0.549	-0.430	-0.195	0.220	0.001	0.029	-0.057	-0.022
	İn	0.847	0.173	0.191	0.593	0.586	0.204	0.669	0.156	0.610	0.571	0.775	0.757	0.162	0.720	0.786	0.637	0.896	0.386	0.758	0.878	-0.169	1.000	0.825	0.867	0.792	0.251	0.009	0.829	0.765	0.744	0.194	0.771	0.835	-0.422
	Li	0.581	0.228	-0.016	0.388	0.537	0.144	0.540	0.023	0.342	0.334	0.572	0.608	0.136	0.619	0.640	0.469	0.807	0.287	0.792	0.805	-0.291	0.825	1.000	0.750	0.831	0.258	-0.199	0.765	0.788	0.620	0.210	0.591	0.678	-0.324
Mn	0.897	-0.027	0.397	0.626	0.624	0.136	0.899	0.297	0.509	0.693	0.883	0.877	0.186	0.725	0.975	0.748	0.901	0.493	0.638	0.948	-0.106	0.867	0.750	1.000	0.677	0.246	0.301	0.761	0.950	0.716	0.568	0.960	0.989	-0.337	
Ni	0.602	0.096	-0.327	0.271	0.497	-0.205	0.364	-0.272	0.226	0.155	0.501	0.537	-0.096	0.726	0.541	0.249	0.790	0.566	0.984	0.832	-0.410	0.792	0.831	0.677	1.000	0.070	-0.430	0.774	0.690	0.583	0.158	0.488	0.591	-0.287	
Pb	0.066	-0.347	0.135	-0.228	-0.416	0.131	0.308	0.514	0.263	0.134	0.290	0.274	0.981	0.303	0.261	0.179	0.138	-0.092	0.043	0.203	0.539	0.251	0.258	0.246	0.070	1.000	0.212	-0.125	0.221	0.642	0.043	0.208	0.220	-0.435	
Se	0.231	-0.226	0.790	0.345	0.027	0.404	0.598	0.539	0.120	0.612	0.302	0.208	0.330	-0.117	0.471	0.514	0.041	-0.154	-0.441	0.084	0.549	0.009	-0.199	0.301	-0.430	0.212	1.000	-0.073	0.195	0.157	0.372	0.532	0.401	0.071	
Zn	0.758	0.281	0.026	0.608	0.705	0.181	0.516	-0.091	0.405	0.555	0.579	0.567	-0.228	0.518	0.657	0.651	0.907	0.391	0.790	0.815	-0.430	0.829	0.765	0.761	0.774	-0.125	-0.073	1.000	0.751	0.570	0.259	0.680	0.715	-0.073	
Si	0.802	-0.021	0.304	0.568	0.593	0.089	0.822	0.206	0.415	0.622	0.816	0.816	0.147	0.658	0.899	0.713	0.896	0.534	0.658	0.916	-0.195	0.765	0.788	0.950	0.690	0.221	0.195	0.751	1.000	0.668	0.679	0.877	0.917	-0.257	
B	0.671	-0.188	0.127	0.232	0.139	0.049	0.534	0.230	0.498	0.590	0.652	0.632	0.554	0.530	0.656	0.526	0.729	0.406	0.612	0.761	0.220	0.744	0.620	0.716	0.583	0.642	0.157	0.570	0.668	1.000	0.355	0.657	0.688	-0.367	
c	0.564	-0.249	0.480	0.433	0.358	-0.112	0.514	0.193	0.305	0.599	0.593	0.576	0.058	0.215	0.563	0.517	0.481	0.565	0.149	0.498	0.001	0.194	0.210	0.568	0.158	0.043	0.372	0.259	0.679	0.355	1.000	0.586	0.596	0.020	
K	0.860	-0.065	0.538	0.667	0.589	0.232	0.948	0.353	0.443	0.798	0.841	0.813	0.185	0.602	0.987	0.793	0.808	0.407	0.458	0.863	0.029	0.771	0.591	0.960	0.488	0.208	0.532	0.680	0.877	0.657	0.586	1.000	0.980	-0.258	
Mg	0.914	-0.049	0.501	0.668	0.629	0.152	0.919	0.345	0.524	0.752	0.901																								

EK.B

Parametre	Koruyucu Matrisi																																			
	Snaklık	Sare	FSK	IK05	C-KOI	C-Prone	Vakucan	C-TOC	C-TN	NO3	Cl	F	NO3	Is	PO4	Al	Is	Is	Ca	Ca	Fe	Hg	Is	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn	Si	R	C	K	Mg	Na	
Snaklık	1.000	0.061	0.159	0.053	0.192	0.013	0.163	0.114	0.716	0.560	0.139	0.011	-0.081	-0.329	0.110	0.117	0.775	-0.113	0.063	0.014	0.228	0.113	0.019	-0.001	0.055	0.096	-0.262	0.018	0.212	0.018	0.107	0.016	0.713	0.150	0.510	
Sare	0.061	1.000	0.171	0.118	0.216	0.289	0.017	0.104	-0.120	0.010	-0.046	-0.113	-0.176	-0.216	0.214	-0.195	0.071	-0.111	0.066	0.010	-0.195	-0.110	0.011	-0.097	0.055	-0.025	-0.251	0.109	0.073	0.105	-0.119	0.151	-0.075	-0.175	0.153	
FSK	0.159	0.171	1.000	0.111	0.586	0.128	0.273	-0.115	0.127	0.514	0.212	-0.251	-0.272	-0.012	0.701	-0.061	-0.186	-0.113	0.281	-0.267	-0.011	-0.195	0.172	-0.115	-0.007	-0.150	-0.719	-0.329	-0.217	-0.007	-0.700	-0.125	-0.082	-0.156	-0.108	
IK05	0.053	0.118	0.111	1.000	0.258	0.015	0.219	0.015	0.111	0.178	-0.071	-0.116	-0.111	-0.156	0.190	-0.021	0.112	-0.178	0.578	-0.125	-0.118	0.106	0.559	-0.018	0.586	-0.221	-0.161	0.199	-0.027	0.577	0.198	0.071	0.568	0.066	0.208	
C-KOI	0.192	0.216	0.586	0.258	1.000	0.119	0.755	0.013	0.158	0.591	0.299	0.217	0.111	-0.156	0.583	-0.005	-0.101	-0.092	0.116	-0.117	-0.506	-0.211	0.011	-0.162	-0.065	-0.261	-0.111	-0.111	-0.271	-0.105	-0.111	0.024	0.050	-0.012	-0.196	
C-Prone	0.013	0.289	0.128	0.015	0.119	1.000	0.115	0.061	0.197	0.716	0.111	0.078	-0.228	-0.159	0.550	-0.150	0.510	-0.596	0.017	-0.091	-0.111	0.195	0.572	-0.070	0.620	-0.121	-0.151	0.117	0.060	0.060	-0.027	0.700	0.581	0.118	0.117	
Vakucan	0.163	0.017	0.273	0.219	0.755	0.115	1.000	0.054	0.163	0.518	0.185	0.167	0.118	0.081	0.113	-0.119	0.211	-0.191	0.125	-0.255	-0.117	0.118	0.265	-0.185	0.220	-0.019	-0.001	-0.216	-0.151	0.187	0.162	0.123	0.101	0.177	0.069	
C-TOC	0.114	0.101	-0.115	0.015	0.013	0.061	0.054	1.000	0.213	0.092	0.125	0.272	-0.159	0.216	0.013	0.099	0.181	-0.015	0.017	0.068	0.101	0.272	0.098	0.019	0.163	0.086	0.214	0.187	0.082	0.102	-0.015	0.271	0.260	0.113	0.017	
C-TN	0.716	-0.120	0.127	0.111	0.158	0.597	0.163	0.213	1.000	0.618	0.080	0.101	-0.229	-0.015	0.516	0.196	0.510	-0.610	0.760	0.171	0.199	0.210	0.712	-0.066	0.513	0.226	0.071	0.007	0.211	0.092	0.010	0.710	0.791	0.061	0.166	
NO3	0.560	0.010	0.514	0.178	0.591	0.716	0.518	0.092	0.618	1.000	0.583	0.266	-0.076	-0.282	0.617	-0.177	0.287	-0.121	0.502	-0.020	-0.285	-0.085	0.189	-0.123	0.195	-0.186	-0.210	-0.017	0.060	0.159	-0.118	0.195	0.556	0.295	0.171	
Cl	0.119	-0.016	0.212	-0.071	0.299	0.111	0.185	0.125	0.100	0.581	1.000	0.562	-0.096	-0.159	0.250	-0.091	0.101	-0.195	0.210	0.123	0.172	-0.218	0.079	0.115	0.210	0.115	-0.018	0.011	0.111	0.252	-0.061	0.129	0.106	0.107	0.110	
F	0.011	-0.113	-0.251	-0.116	0.217	0.078	0.167	0.272	0.101	0.266	0.562	1.000	0.196	0.000	-0.178	-0.014	0.086	0.121	-0.101	-0.211	0.211	0.109	-0.119	0.071	-0.113	0.188	0.295	0.101	-0.115	-0.125	0.161	0.168	0.181	0.210	-0.013	
NO3	-0.181	-0.176	-0.272	-0.111	0.111	-0.228	0.118	-0.159	-0.229	-0.076	-0.096	0.196	1.000	0.092	-0.182	-0.281	-0.521	0.771	-0.560	-0.115	-0.221	-0.011	-0.575	0.091	-0.557	-0.012	0.179	-0.027	-0.560	-0.576	0.120	-0.267	-0.161	0.156	-0.535	
Is	-0.129	-0.216	-0.012	-0.156	-0.156	-0.159	0.091	0.216	-0.015	-0.282	-0.159	0.000	0.092	1.000	-0.256	0.193	-0.211	0.581	-0.169	-0.173	0.185	0.114	-0.122	0.191	-0.260	0.119	0.098	0.171	-0.122	-0.261	0.509	-0.019	0.086	0.019	-0.002	
PO4	0.110	0.211	0.701	0.190	0.583	0.550	0.113	0.013	0.516	0.617	0.250	-0.178	-0.182	-0.256	1.000	-0.110	0.058	-0.561	0.621	-0.083	-0.265	-0.105	0.511	-0.517	0.009	-0.011	-0.105	-0.118	-0.010	0.125	-0.515	0.162	0.125	0.160	0.013	
Al	0.117	-0.195	-0.061	-0.021	-0.005	-0.150	-0.119	0.099	0.196	-0.177	0.091	-0.011	-0.281	0.191	-0.110	1.000	0.578	-0.281	0.296	0.122	0.775	0.572	0.106	0.019	0.095	0.119	0.156	0.092	0.195	0.195	0.127	0.550	0.181	0.179	0.161	0.115
Is	0.775	0.071	-0.186	0.112	-0.101	0.510	0.211	0.181	0.510	0.287	0.101	0.086	-0.521	-0.211	0.058	0.578	1.000	-0.066	0.676	0.186	0.591	0.523	0.710	-0.286	0.812	0.218	-0.020	0.270	0.500	0.092	0.169	0.811	0.719	0.216	0.767	
Is	-0.113	-0.111	-0.113	-0.178	-0.082	-0.596	-0.191	-0.015	-0.610	-0.121	-0.195	0.121	0.771	0.581	-0.281	-0.066	1.000	-0.913	-0.118	-0.209	-0.192	-0.912	0.198	-0.965	-0.116	0.111	0.103	-0.165	-0.816	0.207	-0.619	-0.599	-0.279	-0.616		
Ca	0.063	0.066	0.281	0.558	0.116	0.617	0.125	0.017	0.760	0.502	0.210	-0.103	-0.560	-0.169	0.621	0.296	0.676	-0.113	1.000	0.191	0.213	0.119	0.966	-0.623	0.900	0.128	-0.213	-0.120	0.115	0.876	-0.011	0.767	0.776	0.092	0.517	
Ca	0.011	0.010	-0.267	-0.125	-0.147	-0.093	-0.255	0.068	0.171	-0.020	0.123	-0.111	-0.115	-0.173	-0.081	0.122	0.186	-0.118	0.191	1.000	0.173	-0.210	0.185	0.599	0.110	0.115	0.258	0.153	0.910	0.199	-0.068	0.210	0.153	0.123	0.590	
Fe	0.218	-0.195	-0.011	-0.118	-0.500	-0.113	-0.117	0.103	0.199	-0.285	0.172	0.211	-0.221	0.185	-0.265	0.775	0.591	-0.109	0.213	0.173	1.000	0.019	0.101	0.187	0.091	0.781	0.166	0.010	0.561	0.572	0.117	0.776	0.029	0.113	0.522	
Hg	0.111	-0.110	-0.195	0.066	-0.211	0.195	0.118	0.272	0.210	-0.085	-0.218	0.109	-0.011	0.111	-0.105	0.572	0.523	-0.192	0.119	-0.210	0.119	1.000	0.079	-0.112	0.510	-0.113	0.277	0.197	-0.115	0.520	0.571	0.575	0.598	0.272	0.060	
Is	0.019	0.011	0.172	0.559	0.011	0.572	0.265	0.098	0.712	0.189	0.079	-0.119	-0.575	-0.122	0.513	0.006	0.710	-0.012	0.966	0.185	0.101	0.079	1.000	-0.001	0.912	0.099	-0.193	-0.013	0.125	0.900	0.012	0.778	0.788	0.117	0.519	
Li	-0.081	-0.097	-0.115	-0.008	-0.162	-0.070	-0.185	0.019	-0.166	-0.123	0.125	0.071	0.091	0.191	-0.517	0.019	-0.286	0.198	-0.623	0.599	0.187	-0.112	-0.001	1.000	-0.172	0.210	0.117	0.123	0.127	-0.121	-0.071	-0.188	-0.500	-0.195	0.020	
Mn	0.015	0.015	-0.007	0.586	-0.005	0.620	0.210	0.163	0.713	0.195	0.210	-0.113	-0.557	-0.260	0.099	0.195	0.812	-0.065	0.900	0.110	0.193	0.510	0.912	-0.172	1.000	0.216	-0.075	0.210	0.500	0.092	0.119	0.901	0.017	0.061	0.062	
Ni	0.096	-0.025	-0.150	-0.221	-0.261	-0.121	-0.019	0.066	0.226	-0.196	0.115	0.188	-0.012	0.119	-0.011	0.119	0.218	-0.116	0.128	0.115	0.581	-0.113	0.099	0.210	0.216	1.000	0.260	0.100	0.112	0.251	0.017	0.216	0.163	0.171	0.566	
Pb	-0.262	-0.251	-0.719	-0.161	-0.111	-0.113	-0.001	0.214	0.071	-0.210	-0.018	0.295	0.179	0.098	-0.105	0.156	-0.020	0.111	-0.213	0.258	0.166	0.277	-0.191	0.117	-0.075	0.260	1.000	0.212	0.091	-0.011	0.526	0.090	0.196	0.507	-0.120	
Se	0.018	0.109	-0.129	0.199	-0.111	0.117	-0.216	0.187	0.007	-0.017	0.011	0.101	-0.027	0.171	-0.118	0.092	0.270	0.101	-0.120	0.153	0.110	0.197	-0.013	0.123	0.210	0.100	0.212	1.000	0.192	0.228	0.053	0.119	0.212	-0.156	0.021	
Zn	0.212	0.073	-0.117	-0.027	-0.271	0.060	-0.151	0.082	0.211	0.060	0.111	-0.115	-0.560	-0.122	-0.050	0.195	0.590	-0.065	0.115	0.950	0.563	-0.115	0.125	0.127	0.500	0.132	0.091	0.193	1.000	0.572	-0.018	0.161	0.270	0.106	0.721	
Si	0.018	0.107	-0.067	0.577	-0.105	0.600	0.187	0.202	0.092	0.359	0.252	-0.125	-0.576	-0.261	0.125	0.527	0.901	-0.016	0.876	0.189	0.515	0.522	0.900	-0.121	0.982	0.251	-0.051	0.228	0.552	1.000	0.191	0.911	0.011	0.008	0.721	
R	0.107	-0.119	-0.700	0.198	-0.111	-0.027	0.162	-0.015	0.100	-0.118	-0.065	0.161	0.120	0.509	-0.515	0.550	0.169	0.207	-0.051	-0.068	0.117	0.571	0.012	-0.07												

[illegible]

Çizelge B.3 Elma posasına uygulanan kimyasal ön arıtım çalışmalarının istatistiksel analiz sonuçları.

EK.B

Korelasyon Matrisi																		
Parametre	Süre	Sıcaklık	FRK	pH	BOİ5	Ç-KOİ	Ç-Protein	Vizkozite	Ç-TOC	Ç-TN	SO4	Cl	F	NO3	Br	PO4	CH4	
Korelasyon	Süre	1,000	0,067	-0,049	-0,431	-0,191	0,118	-0,165	-0,117	0,134	-0,394	-0,231	-0,201	0,387	0,421	0,279	-0,108	-0,007
	Sıcaklık	0,067	1,000	0,094	0,046	0,412	0,451	0,392	0,121	0,166	0,213	0,319	0,427	0,342	0,047	-0,173	0,228	0,497
	FRK	-0,049	0,094	1,000	-0,219	-0,028	0,376	0,012	0,209	0,267	0,155	-0,426	0,092	-0,283	-0,263	-0,171	-0,022	0,283
	pH	-0,431	0,046	-0,219	1,000	0,682	0,000	0,726	0,328	-0,077	0,320	0,132	0,357	0,088	-0,107	-0,150	-0,172	0,099
	BOİ5	-0,191	0,412	-0,028	0,682	1,000	0,144	0,963	0,071	-0,117	0,563	0,246	0,109	0,051	-0,251	-0,120	0,203	0,169
	Ç-KOİ	0,118	0,451	0,376	0,000	0,144	1,000	0,177	0,605	0,377	0,032	-0,079	0,430	0,255	0,318	-0,311	-0,045	0,931
	Ç-Protein	-0,165	0,392	0,012	0,726	0,963	0,177	1,000	0,088	-0,158	0,487	0,201	0,137	0,032	-0,312	-0,252	0,173	0,184
	Vizkozite	-0,117	0,121	0,209	0,328	0,071	0,605	0,088	1,000	0,367	0,133	-0,171	0,647	0,299	0,340	-0,041	-0,358	0,707
	Ç-TOC	0,134	0,166	0,267	-0,077	-0,117	0,377	-0,158	0,367	1,000	0,028	-0,577	0,240	0,524	0,628	0,378	-0,580	0,358
	Ç-TN	-0,394	0,213	0,155	0,320	0,563	0,032	0,487	0,133	0,028	1,000	0,239	0,150	-0,174	-0,386	0,059	0,344	0,100
	SO4	-0,231	0,319	-0,426	0,132	0,246	-0,079	0,201	-0,171	-0,577	0,239	1,000	0,231	-0,181	-0,371	-0,226	0,732	0,065
	Cl	-0,201	0,427	0,092	0,357	0,109	0,430	0,137	0,647	0,240	0,150	0,231	1,000	0,359	0,171	-0,113	-0,062	0,596
	F	0,387	0,342	-0,283	0,088	0,051	0,255	0,032	0,299	0,524	-0,174	-0,181	0,359	1,000	0,750	0,469	-0,355	0,274
	NO3	0,421	0,047	-0,263	-0,107	-0,251	0,318	-0,312	0,340	0,628	-0,386	-0,371	0,171	0,750	1,000	0,493	-0,551	0,290
	Br	0,279	-0,173	-0,171	-0,150	-0,120	-0,311	-0,252	-0,041	0,378	0,059	-0,226	-0,113	0,469	0,493	1,000	-0,245	-0,257
	PO4	-0,108	0,228	-0,022	-0,172	0,203	-0,045	0,173	-0,358	-0,580	0,344	0,732	-0,062	-0,355	-0,551	-0,245	1,000	-0,057
	CH4	-0,007	0,497	0,283	0,099	0,169	0,931	0,184	0,707	0,358	0,100	0,065	0,596	0,274	0,290	-0,257	-0,057	1,000

Çizelge B.4 Elma posalarından en yüksek çözünmüş KOİ elde edildiği şartlarda BMP değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.B

		Korelasyon																											
Parametre	Siw	Scaklık	FRK	pH	Ag	Al	Ba	Bu	Cd	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	It	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn	Se	B	Ca	K	Mg	Na	C3H	
Korulan	Siw	1.000	0.067	-0.049	-0.431	0.148	0.210	-0.289	0.427	-0.145	-0.370	0.148	0.040	-0.405	-0.152	-0.227	0.433	-0.195	0.220	0.238	0.299	0.157	0.017	0.291	-0.050	0.142	0.244	-0.050	-0.007
	Scaklık	0.067	1.000	0.094	0.046	0.183	0.164	0.356	-0.009	0.500	-0.027	0.177	0.310	0.384	0.155	0.243	-0.062	0.523	0.211	-0.170	0.249	0.446	0.426	0.103	0.516	0.501	0.278	0.224	0.497
	FRK	-0.049	0.094	1.000	-0.219	-0.298	0.223	0.282	-0.192	0.524	-0.383	0.041	-0.429	0.208	0.018	0.513	0.184	-0.089	-0.292	-0.128	-0.005	0.049	-0.285	0.020	-0.035	-0.455	-0.344	-0.061	0.283
	pH	-0.431	0.046	-0.219	1.000	-0.214	-0.552	0.526	-0.166	-0.132	0.526	-0.199	0.010	0.313	0.056	-0.168	-0.548	0.021	-0.042	-0.098	-0.449	-0.143	-0.053	-0.185	0.239	-0.115	-0.184	-0.024	0.099
	Ag	0.148	0.183	-0.298	-0.214	1.000	-0.182	-0.496	-0.217	-0.412	0.440	0.016	0.483	0.091	-0.386	-0.435	-0.220	0.399	-0.037	-0.137	0.570	-0.034	0.723	-0.264	-0.175	0.097	0.119	0.409	-0.301
	Al	0.210	0.164	0.223	-0.552	-0.182	1.000	0.043	0.609	0.057	-0.432	0.351	0.307	-0.267	0.290	0.256	0.620	-0.159	0.417	0.397	0.338	0.367	-0.247	0.722	0.145	0.014	0.558	-0.344	0.044
	Ba	-0.289	0.356	0.282	0.526	-0.496	0.043	1.000	-0.150	0.476	-0.021	0.103	-0.016	0.392	0.342	0.455	-0.251	0.194	0.007	-0.002	-0.252	0.353	-0.078	0.176	0.501	-0.150	-0.021	0.055	0.365
	Bu	0.427	-0.009	-0.192	-0.166	-0.217	0.609	-0.150	1.000	-0.415	-0.292	0.228	0.289	-0.597	0.090	-0.266	0.520	-0.402	0.761	0.393	0.019	0.215	-0.425	0.091	0.068	-0.051	0.638	-0.404	0.141
	Cd	-0.145	0.300	0.524	-0.132	-0.412	0.057	0.476	-0.415	1.000	-0.180	0.104	-0.438	0.370	0.404	0.934	0.056	0.228	-0.269	-0.162	-0.201	0.214	-0.094	-0.071	0.359	-0.257	-0.236	0.194	0.413
	Cr	-0.370	-0.027	-0.383	0.526	0.440	-0.432	-0.021	-0.292	-0.180	1.000	-0.011	0.382	0.246	-0.176	-0.177	-0.556	0.352	-0.010	-0.175	0.112	-0.101	0.467	-0.356	0.279	0.480	0.206	0.335	0.070
	Cu	0.148	0.177	0.041	-0.199	0.016	0.351	0.103	0.228	0.104	-0.011	1.000	0.358	0.214	-0.228	0.163	0.380	0.171	0.476	0.108	0.075	0.943	0.122	0.172	0.250	0.156	0.291	0.386	-0.083
	Fe	0.040	0.310	-0.429	0.010	0.483	0.307	-0.016	0.289	-0.438	0.382	0.358	1.000	0.183	0.006	-0.275	-0.008	0.474	0.535	0.153	0.579	0.366	0.588	0.209	0.326	0.773	0.710	0.160	-0.200
	Ga	-0.405	0.384	0.208	0.313	0.091	-0.267	0.392	-0.597	0.370	0.246	0.214	0.183	1.000	0.117	0.369	-0.425	0.548	-0.190	-0.222	0.009	0.196	0.443	-0.307	0.314	0.261	-0.194	0.577	0.097
	Hg	-0.152	0.155	0.018	0.056	-0.386	0.200	0.342	0.090	0.404	-0.176	-0.228	0.006	0.117	1.000	0.407	0.038	0.010	-0.042	0.436	-0.072	-0.150	-0.164	0.518	0.312	-0.075	0.231	-0.234	0.180
	It	-0.227	0.243	0.513	-0.168	-0.435	0.256	0.455	-0.266	0.934	-0.177	0.163	-0.275	0.369	0.407	1.000	0.130	0.198	-0.118	-0.088	-0.121	0.221	-0.145	0.062	0.377	-0.241	-0.072	0.079	0.405
	Li	0.433	-0.062	0.184	-0.548	-0.220	0.620	-0.251	0.520	0.056	-0.556	0.380	-0.008	-0.425	0.038	0.130	1.000	-0.132	0.275	0.290	0.082	0.260	0.406	-0.145	-0.271	0.240	-0.353	-0.088	
	Mn	-0.195	0.523	-0.089	0.021	0.399	-0.159	0.194	-0.402	0.228	0.352	0.171	0.474	0.548	0.010	0.198	-0.132	1.000	-0.023	-0.200	0.341	0.298	0.806	-0.307	0.425	0.655	0.147	0.465	-0.012
	Ni	0.220	0.211	-0.292	-0.042	-0.037	0.417	0.007	0.761	-0.269	-0.010	0.476	0.535	-0.190	-0.042	-0.118	0.275	-0.023	1.000	0.127	0.020	0.536	-0.047	0.421	0.321	0.250	0.680	-0.051	0.182
	Pb	0.238	-0.170	-0.128	-0.098	-0.137	0.397	-0.002	0.393	-0.162	-0.175	0.108	0.153	-0.222	0.436	-0.088	0.290	-0.200	0.127	1.000	0.149	-0.114	-0.192	0.730	0.158	0.014	0.370	-0.394	-0.247
	Se	0.299	0.249	-0.005	-0.449	0.570	0.338	-0.242	0.019	-0.201	0.112	0.075	0.579	0.009	-0.072	-0.121	0.082	0.341	0.020	0.149	1.000	0.065	0.543	0.049	0.051	0.618	0.378	0.013	-0.236
	Zn	0.157	0.446	0.049	-0.143	-0.034	0.367	0.353	0.215	0.214	-0.101	0.943	0.366	0.196	-0.150	0.221	0.260	0.208	0.536	-0.114	0.065	1.000	0.165	0.140	0.387	0.223	0.339	0.429	0.129
	Se	0.017	0.426	-0.285	-0.053	0.723	-0.247	-0.076	-0.425	-0.094	0.467	0.122	0.588	0.443	-0.164	-0.145	-0.289	0.806	-0.047	-0.192	0.543	0.165	1.000	-0.325	0.110	0.826	0.133	0.532	-0.201
	B	0.291	0.103	0.020	-0.185	-0.264	0.722	0.176	0.691	-0.071	-0.356	0.172	0.309	-0.307	0.518	0.062	0.406	-0.307	0.421	0.730	0.049	0.140	-0.325	1.000	0.231	-0.022	0.493	-0.345	0.144
	Ca	-0.030	0.516	-0.035	0.239	-0.175	0.145	0.501	0.068	0.359	0.279	0.250	0.326	0.314	0.312	0.377	-0.145	0.425	0.321	0.158	0.051	0.387	0.110	0.231	1.000	0.392	0.516	0.120	0.476
	K	0.142	0.501	-0.455	-0.115	0.697	0.014	-0.150	-0.051	-0.257	0.480	0.156	0.773	0.261	-0.075	-0.241	-0.271	0.655	0.250	0.014	0.618	0.223	0.826	-0.022	0.392	1.000	0.545	0.388	-0.035
	Mg	0.244	0.278	-0.344	-0.184	0.119	0.558	-0.021	0.638	-0.236	0.206	0.291	0.710	-0.194	0.231	-0.072	0.240	0.147	0.680	0.370	0.378	0.339	0.133	0.493	0.516	0.545	1.000	-0.218	0.175
	Na	-0.050	0.224	-0.061	-0.024	0.409	-0.344	0.055	-0.484	0.194	0.335	0.386	0.160	-0.234	0.079	-0.353	0.465	-0.051	-0.394	0.013	0.429	0.532	-0.345	0.120	0.388	-0.218	1.000	-0.010	
	C3H	-0.007	0.497	0.283	0.099	-0.301	0.044	0.365	0.141	0.413	0.070	-0.083	-0.200	0.097	0.180	0.405	-0.088	-0.012	0.182	-0.247	-0.236	0.129	-0.201	0.144	0.478	-0.035	0.175	-0.010	1.000

a. This matrix is not positive definite.

Çizelge B.5 Elma posalarından en yüksek çözünmüş KOİ elde edildiği şartlarda BMP değerleri üzerinde ağır metallerin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.B

Korelasyon Matrisi																		
Parametre	Süre	Sıcaklık	FRK	pH	BOİ5	Ç-KOİ	Ç-Protein	Vizkozite	Ç-TOC	Ç-TN	SO4	Cl	F	NO3	Br	PO4	CH4	
Korelasyon	Süre	1,000	0,306	0,441	0,091	0,409	0,247	0,397	0,074	0,143	0,064	0,078	0,240	-0,292	-0,373	-0,218	0,219	0,279
	Sıcaklık	0,306	1,000	0,128	-0,056	0,355	0,242	0,336	-0,083	0,066	0,165	0,384	0,204	0,046	0,067	-0,183	0,325	0,329
	FRK	0,441	0,128	1,000	-0,179	0,143	0,550	0,119	0,222	0,391	0,132	-0,309	0,213	-0,220	-0,263	-0,149	0,063	0,499
	pH	0,091	-0,056	-0,179	1,000	0,654	-0,087	0,688	0,293	0,035	0,096	0,024	0,293	0,054	-0,039	-0,094	-0,190	-0,116
	BOİ5	0,409	0,355	0,143	0,654	1,000	0,112	0,948	0,052	-0,079	0,300	0,172	0,048	-0,142	-0,376	-0,161	0,259	0,124
	Ç-KOİ	0,247	0,242	0,550	-0,087	0,112	1,000	0,179	0,604	0,281	0,181	0,008	0,392	0,232	0,112	-0,192	0,188	0,980
	Ç-Protein	0,397	0,336	0,119	0,688	0,948	0,179	1,000	0,075	-0,037	0,196	0,092	0,036	-0,053	-0,304	-0,275	0,206	0,193
	Vizkozite	0,074	-0,083	0,222	0,293	0,052	0,604	0,075	1,000	0,404	0,175	-0,068	0,631	0,284	0,264	0,111	-0,168	0,500
	Ç-TOC	0,143	0,066	0,391	0,035	-0,079	0,281	-0,037	0,404	1,000	-0,222	-0,599	0,307	0,464	0,603	0,299	-0,705	0,192
	Ç-TN	0,064	0,165	0,132	0,096	0,300	0,181	0,196	0,175	-0,222	1,000	0,222	0,165	0,014	-0,112	0,098	0,313	0,198
	SO4	0,078	0,384	-0,309	0,024	0,172	0,008	0,092	-0,068	-0,599	0,222	1,000	0,191	-0,333	-0,400	-0,248	0,716	0,094
	Cl	0,240	0,204	0,213	0,293	0,048	0,392	0,036	0,631	0,307	0,165	0,191	1,000	0,199	0,124	-0,105	-0,130	0,343
	F	-0,292	0,046	-0,220	0,054	-0,142	0,232	-0,053	0,284	0,464	0,014	-0,333	0,199	1,000	0,799	0,435	-0,462	0,230
	NO3	-0,373	0,067	-0,263	-0,039	-0,376	0,112	-0,304	0,264	0,603	-0,112	-0,400	0,124	0,799	1,000	0,467	-0,622	0,101
	Br	-0,218	-0,183	-0,149	-0,094	-0,161	-0,192	-0,275	0,111	0,299	0,098	-0,248	-0,105	0,435	0,467	1,000	-0,289	-0,190
	PO4	0,219	0,325	0,063	-0,190	0,259	0,188	0,206	-0,168	-0,705	0,313	0,716	-0,130	-0,462	-0,622	-0,289	1,000	0,280
	CH4	0,279	0,329	0,499	-0,116	0,124	0,980	0,193	0,500	0,192	0,198	0,094	0,343	0,230	0,101	-0,190	0,280	1,000

Çizelge B.6 Elma posalarından en yüksek çözünmüş protein elde edildiği şartlarda BMP değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları.

EK.B

Korelasyon Matrisi																													
Parametre	Süre	Sıcaklık	PRK	pH	Ag	Al	Ba	Bi	Cd	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	In	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn	Si	B	Ca	K	Mg	Na	CH4	
Korelasyon	Süre	1.000	0.308	0.431	0.101	0.025	-0.095	0.329	-0.417	0.398	0.032	0.279	-0.017	0.485	-0.151	0.450	0.026	0.494	-0.112	-0.151	0.419	0.207	0.373	-0.033	0.037	0.001	-0.246	0.319	0.280
	Sıcaklık	0.308	1.000	0.094	0.046	0.213	0.026	0.170	-0.088	0.300	0.083	0.191	0.451	0.188	0.120	0.226	-0.073	0.549	0.227	-0.168	0.128	0.398	0.463	0.124	0.418	0.409	0.195	0.461	0.327
	PRK	0.431	0.094	1.000	-0.219	-0.351	0.143	0.166	-0.181	0.524	-0.295	0.062	-0.363	0.021	-0.016	0.550	0.160	-0.056	-0.205	-0.127	0.149	0.017	-0.222	0.076	-0.046	-0.415	-0.405	0.130	0.490
	pH	0.101	0.046	-0.219	1.000	-0.075	-0.617	0.566	-0.181	-0.133	0.540	-0.192	-0.228	0.456	0.081	-0.165	-0.538	0.011	-0.128	-0.097	-0.230	-0.065	-0.034	-0.202	0.063	-0.138	-0.328	0.069	-0.091
	Ag	0.025	0.213	-0.351	-0.075	1.000	-0.267	-0.529	-0.286	-0.418	0.233	-0.023	0.520	0.016	-0.295	-0.439	-0.317	0.428	-0.041	-0.138	0.339	-0.184	0.687	-0.320	0.020	0.775	0.108	0.319	-0.058
	Al	-0.095	0.026	0.143	-0.617	-0.267	1.000	-0.225	0.705	-0.023	-0.537	0.360	0.331	-0.426	0.033	0.104	0.661	-0.250	0.492	0.428	0.173	0.236	-0.267	0.770	0.271	-0.084	0.621	-0.336	-0.094
	Ba	0.329	0.170	0.166	0.566	-0.529	-0.225	1.000	-0.207	0.397	0.416	0.003	-0.301	0.614	0.344	0.382	-0.277	0.167	-0.172	-0.067	-0.125	0.385	-0.004	0.064	0.201	-0.224	-0.194	0.297	0.032
	Bi	-0.417	-0.088	-0.181	-0.181	-0.286	0.705	-0.207	1.000	-0.453	-0.260	0.088	0.313	-0.486	-0.020	-0.329	0.546	-0.581	0.536	0.373	0.016	0.052	-0.476	0.603	0.297	-0.157	0.656	-0.665	0.012
	Cd	0.398	0.300	0.524	-0.133	-0.418	-0.023	0.397	-0.453	1.000	-0.329	0.143	-0.360	0.207	0.345	0.944	0.036	0.305	-0.150	-0.161	-0.107	0.274	-0.057	-0.008	0.055	-0.301	-0.253	0.400	0.243
	Cr	0.032	0.083	-0.295	0.540	0.233	-0.537	0.416	-0.260	-0.329	1.000	-0.125	0.204	0.732	-0.023	-0.349	-0.581	0.208	-0.079	-0.144	-0.127	0.008	0.378	-0.302	-0.013	0.348	-0.084	0.265	0.022
	Cu	0.279	0.191	0.062	-0.192	-0.023	0.360	0.003	0.088	0.143	-0.125	1.000	0.349	0.128	-0.254	0.164	0.384	0.162	0.475	0.098	0.026	0.753	0.119	0.244	0.142	0.073	0.280	0.274	-0.159
	Fe	-0.017	0.451	-0.363	-0.228	0.520	0.331	-0.301	0.313	-0.360	0.204	0.349	1.000	0.107	-0.194	-0.279	0.203	0.305	0.562	0.173	0.337	0.200	0.552	0.276	0.273	0.709	0.657	0.049	-0.034
	Ga	0.485	0.188	0.021	0.456	0.016	-0.426	0.614	-0.486	0.207	0.732	0.128	0.107	1.000	-0.047	0.239	-0.427	0.448	-0.017	-0.190	-0.014	0.224	0.391	-0.244	0.029	0.150	-0.193	0.418	0.082
	Hg	-0.151	0.120	-0.016	0.081	-0.295	0.033	0.344	-0.020	0.345	-0.023	-0.254	-0.194	-0.047	1.000	0.303	-0.031	0.044	-0.265	0.432	-0.010	-0.129	-0.110	0.361	0.067	-0.098	-0.031	-0.103	-0.138
	In	0.450	0.226	0.550	-0.165	-0.439	0.104	0.382	-0.329	0.944	-0.349	0.164	-0.279	0.239	0.303	1.000	0.107	0.296	-0.042	-0.092	0.056	0.218	-0.082	0.102	0.131	-0.270	-0.117	0.238	0.274
	Li	0.026	-0.073	0.160	-0.538	-0.317	0.661	-0.277	0.546	0.036	-0.581	0.384	0.203	-0.427	-0.031	0.107	1.000	-0.149	0.313	0.287	0.146	0.226	-0.251	0.406	-0.058	-0.305	0.319	-0.406	-0.002
	Mn	0.494	0.549	-0.056	0.011	0.428	-0.250	0.167	-0.581	0.305	0.208	0.162	0.305	0.448	0.044	0.296	-0.149	1.000	-0.047	-0.209	0.323	0.264	0.798	-0.188	0.182	0.578	-0.005	0.583	0.046
	Ni	-0.112	0.227	-0.205	-0.128	-0.041	0.492	-0.172	0.536	-0.150	-0.079	0.475	0.562	-0.017	-0.265	-0.042	0.313	-0.047	1.000	0.129	-0.107	0.308	-0.061	0.434	0.211	0.132	0.666	-0.221	0.016
	Pb	-0.151	-0.168	-0.127	-0.097	-0.138	0.428	-0.067	0.373	-0.161	-0.144	0.098	0.173	-0.190	0.432	-0.092	0.287	-0.209	0.129	1.000	0.122	-0.207	-0.199	0.704	0.027	-0.030	0.379	-0.425	-0.245
	Se	0.419	0.128	0.149	-0.230	0.339	0.173	-0.125	0.016	-0.107	-0.127	0.026	0.337	-0.014	-0.010	0.056	0.146	0.323	-0.107	0.122	1.000	-0.085	0.505	0.146	0.209	0.483	0.141	-0.093	0.165
	Zn	0.207	0.398	0.017	-0.065	-0.184	0.236	0.385	0.052	0.274	0.008	0.753	0.200	0.224	-0.129	0.218	0.226	0.264	0.308	-0.207	-0.085	1.000	0.185	0.075	0.314	0.079	0.253	0.481	-0.033
	Si	0.373	0.463	-0.222	-0.034	0.687	-0.267	-0.004	-0.476	-0.057	0.378	0.119	0.552	0.391	-0.110	-0.082	-0.251	0.798	-0.061	-0.199	0.505	0.185	1.000	-0.267	0.052	0.827	0.063	0.519	-0.048
	B	-0.033	0.124	0.076	-0.202	-0.320	0.770	0.064	0.603	-0.008	-0.302	0.244	0.276	-0.244	0.361	0.102	0.406	-0.188	0.434	0.704	0.146	0.075	-0.267	1.000	0.422	-0.090	0.505	-0.297	-0.171
	Ca	0.037	0.418	-0.046	0.063	0.020	0.271	0.201	0.297	0.055	-0.013	0.142	0.273	0.029	0.067	0.131	-0.058	0.182	0.211	0.027	0.209	0.314	0.052	0.422	1.000	0.266	0.465	0.183	0.220
	K	0.001	0.409	-0.415	-0.138	0.775	-0.084	-0.224	-0.157	-0.301	0.348	0.073	0.709	0.150	-0.098	-0.270	-0.305	0.578	0.132	-0.030	0.483	0.079	0.827	-0.090	0.266	1.000	0.427	0.325	0.003
	Mg	-0.246	0.195	-0.405	-0.328	0.108	0.621	-0.194	0.656	-0.253	-0.084	0.280	0.657	-0.193	-0.031	-0.117	0.319	-0.005	0.666	0.379	0.141	0.253	0.063	0.505	0.465	0.427	1.000	-0.251	0.072
	Na	0.319	0.461	0.130	0.069	0.319	-0.336	0.297	-0.665	0.400	0.265	0.274	0.049	0.418	-0.103	0.238	-0.406	0.583	-0.221	-0.425	-0.093	0.481	0.519	-0.297	0.183	0.325	-0.251	1.000	0.016
	CH4	0.280	0.327	0.490	-0.091	-0.058	-0.094	0.032	0.012	0.243	0.022	-0.159	-0.034	0.082	-0.138	0.274	-0.002	0.046	0.016	-0.245	0.165	-0.033	-0.048	-0.171	0.220	0.003	0.072	0.016	1.000

a. This matrix is not positive definite.

Çizelge B.7 Elma posalarından en yüksek çözünmüş protein elde edildiği şartlarda BMP değerleri üzerinde ağır metallerin istatistiksel analiz sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Şevket TULUN

Doğum Tarihi ve Yeri:15.07.1987-Ereğli/Konya

E-posta adresi :sevkettulun@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans :Çukurova Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü (2006-2010)

Yüksek Lisans :Aksaray Üniversitesi Çevre Müh.Bölümü (2012-2014)

Doktora :Aksaray Üniversitesi Çevre Müh.Bölümü(2014-2018)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

Onur Belgesi, 2009 Güz-Bahar dönemi; Çukurova Üni. Çevre Mühendisliği Bölümü.

Yüksek Onur Belgesi, 2010 Güz-Bahar dönemi; Çukurova Üni.Çevre Mühendisliği Bölümü

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

A. Uluslararası hakemli SCI ve SCI Expanded dergilerde yayımlanan makaleler

(Tam metinli makale ,özet, teknik not, editöre mektup, vb.):

A1. Şevket Tulun and Melayib Bilgin “Ultrasonic and thermal pretreatment of apple pomace to improve biochemical methane potential”, Environmental Progress & Sustainable Energy, DOI: 10.1002/ep.12836 (2017).

A.1. SCI, SCI Expanded, SSCI, AHCI ve Eğitimle ilgili uluslararası alan indeksleri kapsamı dışındaki hakemli dergilerde yayımlanan özgün makale

A1.1. Şevket Tulun, Melayib Bilgin, “Enhanced Soluble Protein and Biochemical Methane Potential of Apple Biowaste by Different Pretreatment”, Earth Systems and Environment, DOI:10.1007/s41748-017-0033-7.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

B1. Şevket Tulun, Melayib Bilgin, Ayşe Solak, “Aritma Çamurlarından Ultrases Ön İşlemlerle Ağır Metal Giderimi”, 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), October 25-27, 2017, Adana / TURKEY, 747-747. (2017)

B2.Melayib Bilgin, Şevket Tulun, Emine Güçlü, “Kimyasal Ön İşlemlerin Arıtma Çamurlarındaki Çinko (Zn) Ağır Metalinin Çözünürlüğe Etkisi”, 2nd Internaional Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), October 25-27, 2017, Adana / TURKEY, 748-748. (2017)

