

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA ULTRASES
ÖNİŞLEMİNİN PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMINA
ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Selen LALE**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2022
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA ULTRASES
ÖNİŞLEMİNİN PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMINA
ETKİSİ**

**Tezi Hazırlayan
Selen LALE**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından ABAP20F18nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Ocak 2022
NEVŞEHİR**

Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU danışmanlığında Selen LALE tarafından hazırlanan “**Süt Endüstrisi Atıksularında Ultrases Önişleminin Partikül Boyut Dağılımına Etkisi**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

...../...../2022

JÜRİ

Başkan :

Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Üye :

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun.....tarih ve.....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.... / / 2022

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Selen LALE

TEŞEKKÜR

GerçekleŐtirmiŐ olduğum yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, çalışmalarımnda heran desteğini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU'na,

Başta bugünlere gelmemde, özellikle eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili AİLEME,

Çalışmam boyunca gerek motivasyon gerekse mental açıdan sağladıkları destekten ötürü benim için her zaman değerli olan arkadaşlarım Çevre Mühendisi Aylin TAŐ ve Rabia YIRTICI, Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Gamze GÜLER ve Gıda Mühendisi Mine YAVUZ'a,

ABAP20F18nolu projesi ile araŐtırmayı destekleyen Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDA ULTRASES ÖNİŞLEMİNİN PARTİKÜL BOYUT DAĞILIMINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Selen LALE

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları yüksek organik madde içeriği ile karakterize edilir ve bu nedenle genellikle biyolojik proseslerle arıtılır. Atıksularda organik maddelerin partikül boyut dağılımı (PBD) ise biyolojik ayrışma hızını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Partiküllerin boyutunun indirgenmesi hidroliz sürecini kısıltacağından, arıtma süresini, buna bağlı olarak maliyetleri de azaltacaktır. Bu amaçla aktif çamur prosesi öncesinde önışlem olarak ultrases uygulaması etkili olabilmektedir. Ultrases adı verilen 16 kHz – 100 MHz aralığındaki ses dalgaları bir taraftan akustik kaviteasyon oluşturarak mekanik parçalanmaya neden olurken, diğer taraftan da hidroksil radikalleri oluşturarak kimyasal oksidasyon sağlayabilmektedir. Bu çalışmada süt ürünleri endüstrisi atıksuyunda ultrases önışlemının PBD üzerine etkisi araştırılmıştır. Peynir çeşitleri, tereyağı, yoğurt ve ayran üreten bir işletmenin biyolojik arıtma girişinden alınan atıksuyun karakterizasyonu ve PBD belirlendikten sonra, 0.25 W/mL spesifik gücünde 2, 4 ve 8 dakikalık süreler ile ultrases uygulanmış ve PBD'deki değişim izlenmiştir. PBD analizinde ardışık filtrasyon-ultrafiltrasyon yöntemi uygulanmıştır. Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) konsantrasyonu 2560 mg/L olan ham atıksuyun 2 nm gözenek çaplı filtreden geçebilen KOİ konsantrasyonu 8 dk ultrases uygulaması ile 500 mg/L'den 760 mg/L'ye yükselmiştir. Böylece çözünmüş olarak kabul edilebilecek 2 nm'nin altındaki organik partiküller %52 oranında artarken, toplam KOİ içerisindeki oranı da %19.5'ten %29.7'ye yükselmiştir.

Anahtar kelimeler: *Süt Endüstrisi, Atıksu, Ultrases, Partikül Boyut Dağılımı*

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Sayfa Adedi: 68

EFFECT OF ULTRASONICATION PRETREATMENT ON PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF DAIRY WASTEWATERS

(M. Sc. Thesis)

Selen LALE

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL of NATURAL and APPLIED SCIENCES**

January 2022

ABSTRACT

Dairy wastewaters are characterized by high organic content, and so they are treated by biological processes. Particle size distribution (PSD) of organic matter in wastewaters is one of the most important factors which affect the rate of biological degradation. Since the reduction of particle size will decrease the hydrolysis time, this causes a decrease in treatment time and so, cost reduction. With this aim, before the activated sludge process, the application of ultrasound as a pretreatment can be efficient. Sound waves between 16 kHz – 100 MHz which are named ultrasound cause mechanical destruction by creating acoustic cavitation, while providing chemical oxidation by generating hydroxyl radicals. In this study, the effect of ultrasound pretreatment on PSD in dairy wastewater was investigated. The wastewater sample taken from the influent of biological treatment of a plant producing cheese species, butter, yogurt, and buttermilk was characterized, and after determination of PSD, ultrasound with 0.25 W/mL specific power was applied for the periods of 2, 4, and 8 minutes and the changes in the PSD was observed. The sequenced filtration-ultrafiltration method was applied for PSD analyses. In the raw wastewater with 2560 mg/L total chemical oxygen demand (COD), the COD which can pass through the filter with 2 nm pore size was increased from 500 mg/L to 760 mg/L by 8 min ultrasound application. Thus, organic particles below 2 nm which can be accepted as soluble were increased 52%, while its ratio in total COD was increased from 19.5% to 29.7%.

Keywords: Dairy, Wastewater, Ultrasonication, Particle Size Distribution

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan DULKADİROĞLU

Page Number: 68

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinin Başlıca Özellikleri.....	3
2.2. Süt Üretim Prosesleri	5
2.2.1. Isıtma.....	5
2.2.2 Klarifikasyon.....	5
2.2.3 Separasyon	5
2.2.4 Hava Giderme	5
2.2.5 Pastörizasyon	6
2.2.6 Homojenizasyon.....	6
2.2.7 Standardizasyon	6
2.2.8 Sterilizasyon.....	6
2.2.9 Ultra Yüksek Sıcaklık (UHT) İşlemi	6
2.3 Süt Ürünleri ve Üretim Prosesleri.....	7
2.3.1 Peynir Üretimi.....	7
2.3.2 Beyaz Peynir	8
2.3.3 Kaşar Peyniri.....	9
2.3.4 Krema Üretimi	10
2.3.5 Yoğurt Üretimi.....	11
2.3.6 Ayran Üretimi	12
2.3.7 Tereyağ Üretimi	13

2.4 Süt Endüstrisi Atıksu Kaynakları.....	14
2.4.1 Peyniraltı Suyu.....	15
2.4.2 Soğutma Suları.....	16
2.5 Süt Endüstrisi Atıksu Özellikleri.....	17
2.6 Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtımı.....	18
2.6.1 Fiziksel Yöntemler.....	19
2.6.2 Kimyasal Yöntemler.....	19
2.6.3 Biyolojik Yöntemler.....	19
2.7 Süt Endüstrisi Atıksuları Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar.....	20
2.8 Partikül Boyut Dağılımı.....	21
2.9 Biyolojik Arıtılabilirliğe Yönelik KOİ Fraksiyonları.....	23
2.10 PBD'nin Biyolojik Arıtım Üzerindeki Etkisi.....	24
2.11 Ultrases.....	25
2.11.1 Atıksu Arıtımında Ultrases.....	25
2.11.2 Ultrases Prosesinin Atıksuda Gerçekleştirdiği Reaksiyonlar.....	26
2.11.3 Atıksu Arıtımında Kullanılan Ultrases Uygulamaları.....	26
2.11.3.1 Ultrases ile oksidasyon uygulamaları.....	27
2.11.3.2 Sonofotokatalitik Oksidasyon.....	27
2.11.3.3 Ultrases ve H ₂ O ₂ /O ₃	27
2.11.3.4 Ultrases ve adsorpsiyon.....	27
2.12 Partikül Boyut Dağılımı ve Ultrases Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar.....	28
BÖLÜM3.....	32
MATERYAL ve METOT.....	32
3.1 Atıksu Örneği.....	32
3.2 Metot.....	32
3.2.1 PBD Analizleri.....	33
3.2.2 Ultrases Önışlem Deneyleri.....	37
BÖLÜM 4.....	39
BULGULARve DEĞERLENDİRME.....	39
4.1 Atıksu Karakterizasyonu.....	39
4.2 Ham Atıksu PBD Analiz Sonuçları.....	39
4.3 Ultrases Önışlemi Sonrası PBD Analiz Sonuçları.....	41
BÖLÜM 5.....	44

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	44
KAYNAKÇA.....	46
ÖZGEÇMİŞ	52



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Süt Üretimi Kaynaklı Oluşan Su ve Atıksu Hacimleri	15
Tablo 2.2 Süt endüstrisi atıksu karakterizasyonu[19].	18
Tablo 3.1 PBD analizinde kullanılan filtrelerin özellikleri	35
Tablo 4.1 Süt Endüstrisi Numunesindeki Konvasyonel Karakterizasyon Değerleri	39
Tablo 4.2 Ham atıksu örneğinin PBD analizi sonuçları.....	40
Tablo 4.3 Ham ve farklı sürelerde ultrases uygulanan atıksularda PBD analiz sonuçları	41



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 Sütün bileşenleri [9].....	4
Şekil 2.2 Peynir Üretimi Aşamaları	8
Şekil 2.3 Beyaz Peynir Üretimi Aşamaları	9
Şekil 2.4 Kaşar Peyniri Üretimi Aşamaları.....	10
Şekil 2.5 Krema Üretim Aşamaları.....	11
Şekil 2.6 Yoğurt Üretim Aşamaları	12
Şekil 2.7 Ayran Üretim Aşamaları.....	13
Şekil 2.8 Tereyağı Üretim Aşamaları.....	14
Şekil 2.9 Süt endüstrisi atıksularında yaygın olarak bulunan kirleticiler [4].	17
Şekil 2.10 KOİ fraksiyonları	24
Şekil 2.11Çözünmüş ve partiküler organiklerin biyolojik giderim mekanizması.....	24
Şekil 2.12 a) Boynuz tipi ultrason reaktör b) Durağan dalga tipi ultrason reaktör	25
Şekil 3.1 Ardışık filtrasyon-ultrafiltrasyon yöntemi ile PDB analizinin şematik gösterimi.....	34
Şekil 3.2 Millipore Amicon® pozitif basınçlı ve karıştırılmalı süzme düzeneği:.....	37
(a) Süzme hücresi, (b) Süzme düzeneği, (c) Hücre tabanı ve membran filtrenin yerleşimi	37
Şekil 4.1 Ham atıksuyun PBD sonuçları: (a) Kümülatif KOİ Dağılımı, (b) Diferansiyel KOİ Dağılımı	41
Şekil 4.2 Farklı sürelerde US uygulaması sonrası atıksuyun PBD sonuçları: (a) Kümülatif KOİ Dağılımı, (b) Diferansiyel KOİ Dağılımı	42

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1 Süt İşletmesi Örnek Görünüm	3
Resim 3.1 Kapalı refluks yöntemi ile KOİ ölçümü.....	32
Resim 3.2 AKM analizi.....	33
Resim 3.3 PBD analizinde kullanılan filterlerin mikroskop görüntüsü	35
Resim 3.4 Azot gazı ile pozitif basınçlı ve karıştırmalı süzme düzeneği	36
Resim 3.5 Bandelin Sonopuls HD 2200 homojenizatör	38



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

HCL	:Hidroklorik asit
HNO ₃	:Nitrik Asit
Hg(NO ₃) ₂	:Civa Nitrat
Fe(H ₄)(SO ₄) ₂	:Demir Amonyum Sülfat(DAS)
K ₂ Cr ₂ O ₇	:Potasyum Dikromat
H ₂ SO ₄	:Sülfirik Asit
Cl ⁻	:Klorür
NaCl ⁻	: Sodyum Klorür
C ₆ H ₁₂ O ₆	:Glikoz
cm	:Santimetre
g	:Gram
kg	:Kilogram
L	:Litre
m	:Metre
mg	:Miligram
µm	:Mikrometre-mikron
µS	:Mikrosimens
kDa	: Kilodalton
dk	: Dakika
sa	: saat
sn	: saniye
T	: Sıcaklık
N	: Normalite
V	: Hacim
mL	:Mililitre
°C	: Santigrad Derece
ppm	: Milyonda bir kısım
PBD	: Partikül boyut dağılımı
PAS	: Peynir altı suyu
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
AKM	: Askıda Katı madde

TKM : Toplam katı madde
UKM :Uçucu katı madde
US : Ultrases



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Süt ve süt ürünleri ihtiyacı yaygın olarak küçük ve orta ölçekli üretim yapan mandıralar tarafından karşılanmaktadır. Hammadde temini açısından daha avantajlı olduğundan, bu tip işletmeler kırsal alanlarda da bulunabilmekte ve kanalizasyon altyapısı bulunmayan bu bölgelerde atıksularını alıcı ortama deşarj edebilmektedirler. Talebe bağılı olarak artan firma sayılarıyla orantılı olarak bu işletmelerden kaynaklısu kirliliği sorunları da artmaktadır. Bu yüzden doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir bir çevre için endüstrilerde oluşan atıksuların çevreye zarar vermemesi veya verecek zararın en aza indirgenmesi amacıyla kaynağında etkili, yeni teknolojiler kullanılarak arıtılması ve yeniden kullanılması önem arz etmektedir [1-2].

Süt ve süt ürünleri endüstrisine genel anlamda bakıldığında dünya çapında ve gıda sektöründe önemli bir yere sahiptir. Süt endüstrisi kaynaklı oluşan atıksular içerisinde yüksek miktarda organik madde, yağ-gres ile yağ asitleri ve azotlu bileşikler bulunabilmektedir [3]. Süt endüstrisi atıksuları, yıkama için kullanılan deterjan ve dezenfektanlar haricinde kazein, inorganik tuzlar ve laktoz gibi çok miktarda süt bileşeni de içerebilmektedir [4]. Organik kirlilik oranları tesislerde kullanılan teknolojiye bağılı olarak değişim gösterebilmektedir. Birinci aşamada peyniraltı suyunufarklı yöntemlerle değerlendiren ve ürün dönüşümünü sağlayan işletmelerde arıtma tesisine gelen organik yük miktarıönemli derecede azalırken, bunun tam tersi durumlarda organik yük miktarı artmaktadır [1].

Süt endüstrisi atıksularının arıtımında genel olarak kullanılan yöntemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Kullanılan bu yöntemlerle birlikte, bu atıksuların organik madde içeriğinin üst düzeylerde olması nedeniyle uygulanan teknolojilerin çoğu biyolojik arıtma ile gerçekleştirilmektedir [5]. Bu nedenle süt endüstrisi atıksuları alıcı ortama verilmeden önce, en verimli biyolojik arıtma yöntemleri ile deşarj standartlarına uygun olarak arıtımı sağlanmalıdır. Organik yükü fazla olan atıksuların arıtımında kullanılan biyolojik arıtım yönteminde, karakterizasyonda özellikle Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) veya Biyokimyasal

Oksijen İhtiyacı (BOI_5) parametreleri kullanılır. Fakat biyolojik olarak ayrışabilen tüm organik maddelerin oksijen cinsinden ifade edebilen bu parametreler, çeşitli hızlarda ayrışan maddelerin oranlarının ifade edilmesinde yetersizdir. Bu yüzden bir atıksu arıtma tesisinin olması gereken koşullarda tasarlanıp, boyutlandırılıp ve en uygun şekilde işletilmesi olası değildir. Bu yüzden çok bileşenli KOİ fraksiyonu üzerinde durulmuştur. Böylelikle KOİ; hızlı ayrışabilen (S_s), yavaş ayrışabilen (S_H) ve inert (S_I) olarak üç farklı fraksiyona ayrılmıştır. Partikül boyutları, KOİ bileşenlerinin dağılımında önemli bir faktördür. Çünkü organik maddelerin boyutları küçüldükçe, mikroorganizmalar tarafından kullanımı buna bağlı olarak kolaylaşır ve hızlanmaktadır. Bu yüzden partikül boyutları ile KOİ bileşenleri arasında doğrudan birlişkinin olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte partikül boyut dağılımı (PBD) analizleri ile KOİ bileşenleri hakkında bilgi edinilebilir. Ayrıca son yıllara bakıldığında özellikle atıksuların arıtımını kolaylaştırıp hızlandırmak için ultrases prosesinin bir ön işlem olarak kullanılması üzerine çalışmalar görülmektedir. Bu çalışmalarda ultrases, partikül boyutlarını küçültmek için oluşturulan kavitasyon ile parçalama etkisi meydana getirmek ve bununla birlikte oluşan hidroksil radikalleri ile kimyasal oksidasyonu sağlayan 2 önemli fonksiyona sahiptir. Yapılan araştırmalarda atıksular üzerinde ultrasesin biyolojik arıtılabilirlik etkisinin PBD ile ilişkisini ortaya koyan çalışmaların yok denecek kadar az olduğu görülmüştür [6].

Bu çalışma ile süt endüstrisi atıksularının genel bir karakterizasyonun ve PBD'nin belirlenmesi ile farklı koşullarda uygulanacak ultrases ön işleminin PBD'yi nasıl etkilediğinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Atıksuların biyolojik arıtılabilirliğini değerlendirmede bir araç olarak kullanılabilen PBD analizine dayanarak, süt endüstrisi atıksularında ultrasesin biyolojik arıtma öncesi ön işlem olarak uygulanabilirliğinin ortaya konması, biyolojik arıtmada yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi açısından önem taşımaktadır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinin Başlıca Özellikleri

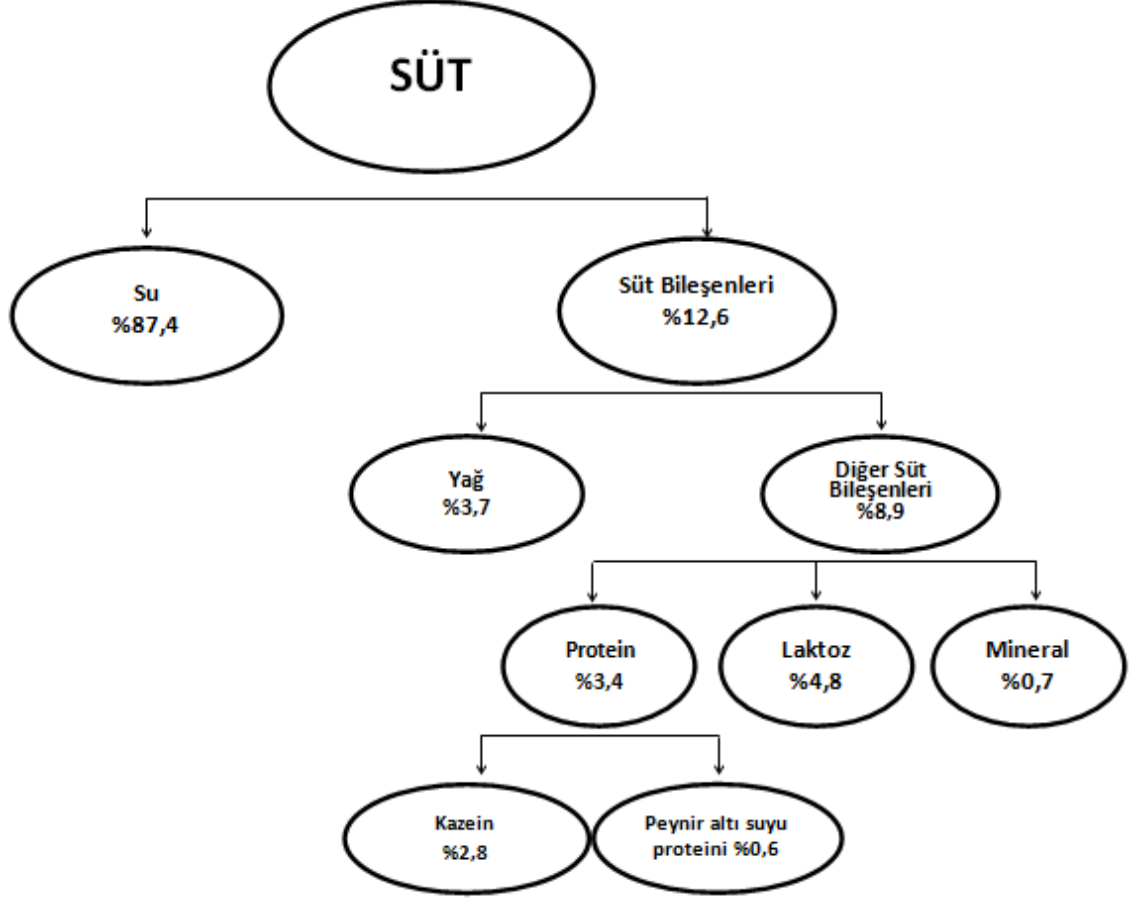
Süt endüstrisi, büyükbaş-küçükbaş hayvan besiciliğinin yapıldığı yerlerden alınan ham sütü işleyen içme sütü, peynir, tereyağı, yoğurt vs. ürünlerinin üretildiği önemli gıda endüstrisi kollarından biridir (Resim 2.1). Nüfusa bağlı olarak talebin artması ile üretimi artan süt ve süt ürünleri endüstrisi temel besin kaynaklarımızın önemli bir kısmını karşılamaktadır. Süt endüstrilerindeki üretim genellikle mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Üretim özellikle mandıra olarak adlandırılan küçük işletmelerde Mayıs-eylül aylarında gerçekleşmekte ve diğer aylarda ise çoğunlukla işlenen ham süt ürün olarak satılmaktadır. Başta mevsimsel etkiler etkili olmak üzere küçük ve orta ölçekli süt endüstrilerinde kullanılan proseslerin farklı olması ile de işletmelerin atıksu hacimleri, karakteristik özellikleri değişkenlik gösterebilir. Bu yüzden ülkemize ve dünya geneline bakıldığında süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu değişkendir [1-7].



Resim 2.1 Süt İşletmesi Örnek Görünüm

Süt, karışık bir yapıda olup içerisinde birçok kimyasal bileşik bulundur. Sütü oluşturan bileşenler genel olarak su, yağ, laktoz, kazein, peyniraltı suyu (PAS) proteinleri ve minerallerdir. Bu bileşenlerin sütteki yüzdeleri sütün temin edildiği canlılığın hem yaşamsal faaliyetlerine bağlı genetik etkenlerden hem de yetiştirildiği bölgeden kaynaklı

farklılıklardan dolayı önemli derecede değişkenlik gösterebilir [8]. Sütün bileşenleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Sütün bileşenleri [9].

Süt endüstrisinden kaynaklanan atıksuların organik içeriğinin yüksek olması nedeniyle çevresel zararı fazladır. Bu atıksular yapılarından ötürü BOİ ve KOİ konsantrasyonları yüksek atıksulardır. Özellikle süt endüstrisi atıksularındaki kirliliğe neden olan en önemli etken PAS’dır. PAS peynir işletmelerinde en çok açığa çıkan atıktır. İçeriğinde, biyolojik olarak parçalanabilen yüksek miktarda organik madde bulundurduğu için yüksek kirlilik potansiyeline sahiptir. Bu yüzden oluşan atıksuların alıcı ortamlara verilmeden önce arıtılması ve kirlilik yüklerinin düşürülmesi gereklidir.

2.2. Süt Üretim Prosesleri

Süt üretiminde uygulanan temel işlemler; ısıtma, klarifikasyon, seperasyon, hava giderme, pastörizasyon, homojenizasyon, standardizasyon, sterilizasyon ve UHT (Ultra Yüksek Sıcaklık) olarak sıralanabilir.

2.2.1. Isıtma

Çiğ sütün uygun sıcaklıkve saklama koşullarının sağlanarakbelli koşullarda işlenip soğutulması işlemidir. Bu işlem çiğ süte 10-20saniye kada 60-65°C'de ısı değıştircilerde uygulanmaktadır. Böylelikle sütbozulmadan uzun süre muhafaza edilebilmektedir [10].

2.2.2 Klarifikasyon

Sütün prosten önce filtrasyon ve santrifüj gibi ayırma teknikleri kullanılarakproteingruplarının temizlenmesi işleme klarifikasyon denir[10].

2.2.3 Separasyon

Süt, seperatör yardımıyla yağsız veya düşük yağlı süt ve krema şeklinde ikiye ayrılır. Suyun yoğunluğu yağın yoğunluğundan fazla olduğu için hafif olan yağ zerrecikleri yüzeyde birikir. Seperatör, operatörün önceden yağ içeriğinin belirlemesini sağlar. Vitamin ve mineraller bu bölümde eklenir. A ve D vitanimleri yağsız ve düşük yağlı sütlere eklenebilmektedir [10].

2.2.4 Hava Giderme

Sütün içeriğinde çözünmüş veya dağılmış halde gazlar bulunmaktadır. Bu gazların yüksek oranlarda olması proses hatlarında probleme neden olmaktadır. Bu da seperatörlerden elde edilen verimin düşmesine, ısı değıştircilerinin fazla ısınmasına ve kültür ilave edilmiş ürünlerde peynir altı suyunun ayrılma eğiliminin artmasına sebep olmaktadır. Kısaca bu işlemdeki amaç, yem kaynaklıoluşan kokulu maddelerin süttten uzaklaştırılmasıdır [10].

2.2.5 Pastörizasyon

Ham süt içerisinde olabilecek ve insanlarda hastalık oluşturabilen patojen mikroorganizmaların belli ısılarda yok edilmesi işlemine pastörizasyon denir. Bu işlemin önceden yapıldığı çalışmalarda sütün 62,8°C'de 30 dakika ısıtılmasının süt içerisinde bulunan bakterilerin yok edilmesi için yeterli olduğu görülmüştür. Buna "düşük sıcaklıkta uzun süreli pastörizasyon" (LTLT) adı verilmiştir. Yine yapılan başka çalışmalara bakıldığında daha kesin ve insan sağlığını etkilemeyecek sağlıklı bir süt için 71.7°C'de 15 saniye ısıl işlemin yeterli olduğu görülmüştür. Buna "yüksek sıcaklıkta kısa süreli pastörizasyon" (HTST) adı verilmiştir [10].

2.2.6 Homojenizasyon

Süt içinde bulunan yağ zerreciklerinin ortalama çapları 3-5 µm kadardır. Bu ortalama çapın sütte krema oluşumunu engellemek için ≤ 1 µm olacak şekilde düşürülmesi gerekir. Bu işlem homojenizasyon ile gerçekleştirilir. Homojenizasyon genellikle 37°C'den yüksek sıcaklıklarda uygulanır. Süt yüksek basınç altında pompalanır. Bu yüksek basınç yağ zerreciklerinin süttten ayrılmasını sağlar [11]. Homojenizasyon ve pastörizasyon işlemleri ardı sırayapılmalıdır [10].

2.2.7 Standardizasyon

Yağ konsantrasyonu, işlem görmemiş sütte en çok değişkenlik gösteren parametredir. Yağın istenilen düzeye getirilmesine standardizasyon denir [10].

2.2.8 Sterilizasyon

Çoğunlukla süt üretim proseslerinde kullanılan bu işlem 2 şekilde uygulanmaktadır. Birinci işlem 120-140°C arasında ısıtmayı takiben birkaç saniye olarak gerçekleştirilir. İkinci işlem ise, şişe sterilizasyonu 110-120°C'de ve 10-20 dakika aralıklarla uygulanmaktadır [12].

2.2.9 Ultra Yüksek Sıcaklık (UHT) İşlemi

Süt endüstrilerinde üretilen süt ürünlerinin oda sıcaklığında 6 aya kadar muhafaza edilebilmesi bu endüstride gerçekleştirilen işleme ve paketleme bölümündeki

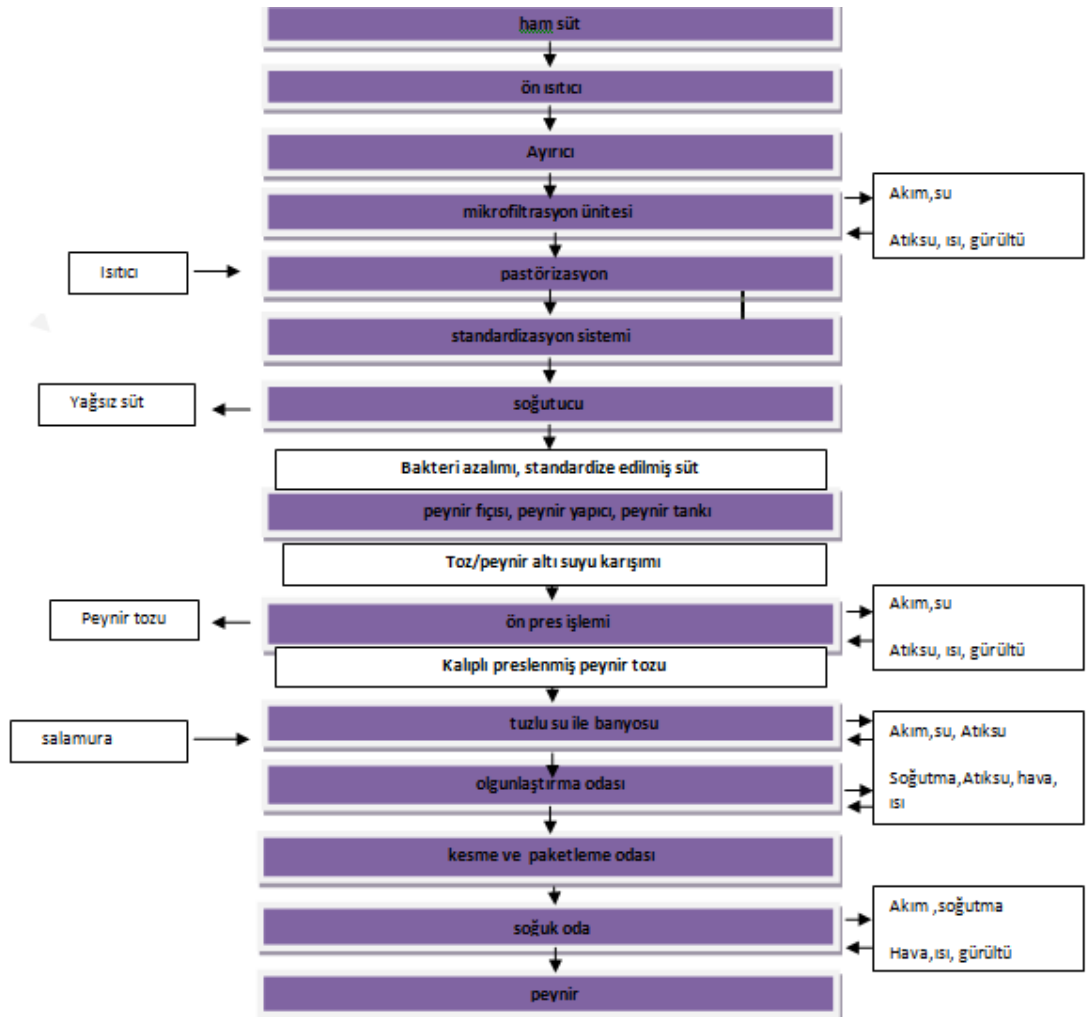
gelişmelerle sağlanır. Aslında, uygun bir teknolojiyle daha yüksek sıcaklıklarda sütün niteliğinde meydana gelebilecek olumsuz durumları düşük seviyelere indirmek amacıyla daha kısa temas süreleri tercih edilebilir. Bu işlem kısaca, sütün devamlı bir akım şeklinde 2-8 saniye aralıklarında 135-150°C’de ısıtılmasından sonra aseptik koşullarda peketlenmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu şekilde işlenen sütler neredeyse sterilidir. Steril olan bu sütler birkaç ay buzdolabına girmeden kapalı kaplarda saklanabilmektedir [10].

2.3 Süt Ürünleri ve Üretim Prosesleri

2.3.1 Peynir Üretimi

Farklı miktarlarda pıhtılaştırılmış süt proteinleri, süt ve tuzlardan meydana gelen peynir taze veya olgunlaştırılmış olarak tüketilen bir üründür. Kapsamlı bir alanda değişiklik gösteren bu ürün, işletme ve üretim alanları göz önüne alındığında farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Geçmiş yıllarda farklı uygulamalarda üretilen peynir aynı zamanda modern uygulamalarla da kültür ve peynir mayası eklenmesi ile pıhtılaştırılması sağlanmaktadır. Geçmiş yıllara göre kesilmiş sütün suyu ile lor birbirinden ayrılarak presleme ve germe işlemleri uygulanmaktadır. Lor bölümlerine tuz eklenir. Küf oluşumu ve nem kaybını engellemek için soğuk depolar kullanılmaktadır. Aynı zamanda peynirin yüzeyindeki nem, sıcaklık, tat ve dokusunu korumak için olgunlaştırma odalarında bekletilmektedir. Daha sonra soğuk depo bölmelerinde depolanmaktadır [13].

Modern endüstrinin yaygınlaşması ile üretiminde çeşitlilik gösteren peynir üretimi incelendiğinde, daha çok beyaz peynir ve kaşar peynirinin ağırlıkta olduğu gözlemlenmektedir. Son yıllarda ülkemizde de özellikle bu peynir çeşitlerinin yaygınlaşarak arttığı ve süt endüstrisi üretiminde önemli bir kolunu oluşturduğu görülmektedir [13]. Peynir üretim aşamaları Şekil 2.2’de verilmiştir.



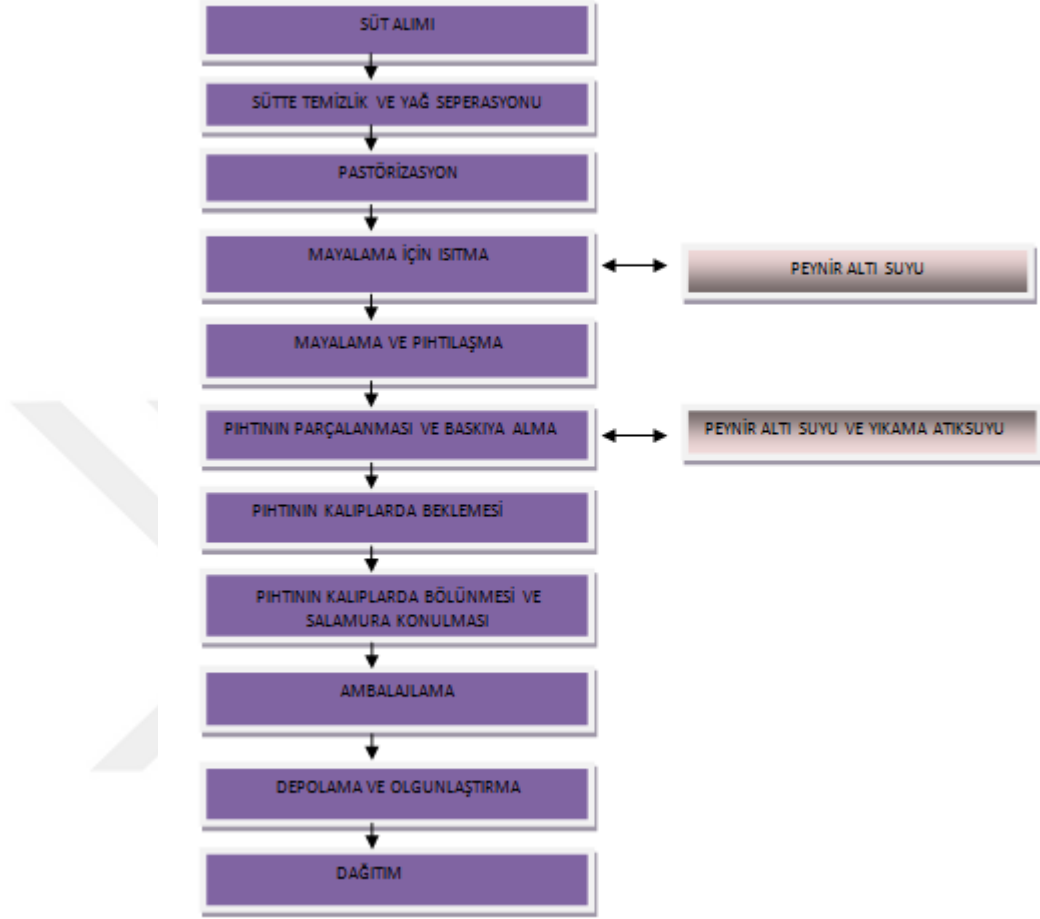
Şekil 2.2 Peynir Üretimi Aşamaları

2.3.2 Beyaz Peynir

Ülkemizde peynir çeşitlerinden olan beyaz peynir önemli ve tüketimi çok olan bir üründür. Bu peynir çeşidinin çoğu genellikle ilkel şartlarda mandırada üretilmektedir. Ham kaynağı çiğ süttür. Bu yüzden içerisinde insan sağlığına olumsuz etki edecek zararlı mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bu nedenle, bu peynir üretiminde belli bir olgunlaşma döneminden geçmeden tüketilmesi uygun değildir.

Kalite değeri yüksek bir çiğ süte, uygun hijyenik koşulların istenilen değerdeki ısı işlemlerinin sağlanması ve doğru bir paketleme işleminin getirilmesi ile kaliteli bir peynir üretimi sağlanır. Fakat peynir üretiminin gerçekleştiği firmalara gelen her sütün kalite değeri ve kullanılan cihazların farklı olması, uygulanan işlemlerin de işletmelere

göre farklılık göstermesi beyaz peynirin kalitesinde çeşitliliğe sebep olur[14]. Beyaz peynir üretim aşamaları Şekil 2.3'te verilmiştir.

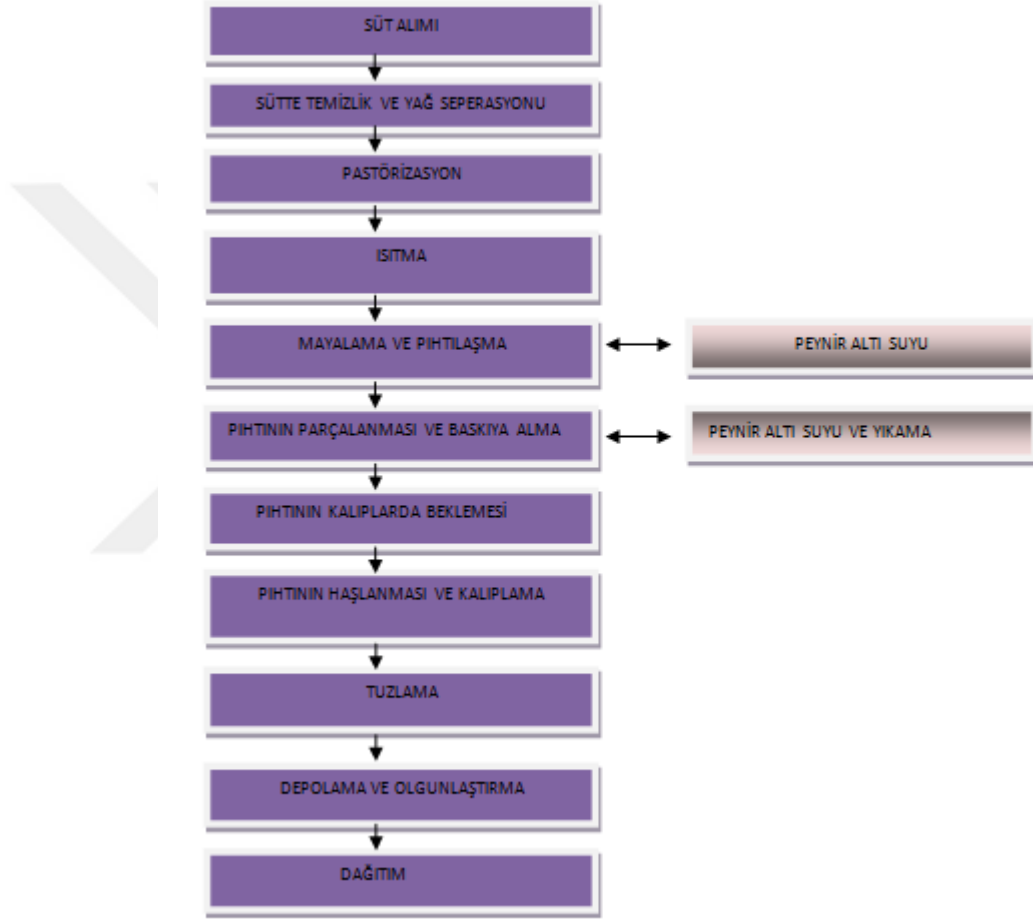


Şekil 2.3 Beyaz Peynir Üretimi Aşamaları

2.3.3 Kaşar Peyniri

Beyaz peyniri takiben ülkemizde çoğunlukla tercih edilen bir diğer peynir türüdür. Süt toplama merkezlerinden getirilen çiğ süt kalite kontrollerinden geçirildikten sonra yağ, kuru madde, asitlik gibi analizlere tabi tutulur. Bu işlemler kaydedildikten sonra çiğ süte klarifikasyon işlemi uygulanır. Bu işlemden sonra süt olması gereken sıcaklıklarda ısıtılıp pH kontrolünden geçer. Uygun pH'ın ardından maya ilave edilir, bir süre sonra kırma işlemi gerçekleştirilir. Ve sıcaklık ayarlaması yapılır. Bu işlemden sonra belli bir süre telemenin ön olgunlaştırılması gerçekleştirilir. Teleden sonra porsiyonlama yapılır. Bu aşamada tekrar pH kontrolü yapılır. Uygun pH'da işlemler devam ederek haşlama işlemine geçilir. Bu aşamada tuz ilavesi yapılır. Bu işlemden sonra peynirler

kaplara alınır. Kaplara alınan peynire, kaplardan çıkarıldıktan sonraki aşamada belli bir sıcaklıkta iki gün kadar ön olgunlaştırma işlemi uygulanır. Bu aşama da tamamlandıktan sonra kaşar peynirler paketleme işlemiyle soğuk hava depolarında saklanır. Gerekli son kontrollerden sonra ürün satışa hazır hale gelir [1]. Kaşar peyniri üretim aşamaları Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Kaşar Peyniri Üretimi Aşamaları

2.3.4 Krema Üretimi

Toplama merkezlerinden getirilen çiğ sütler kalite kontrol aşamalarından geçirildikten sonra süttten örnek alınıp yağ, kuru madde, asitlik ve antibiyotik analizlerine tabi tutulur. Bu analizlerden sonra miktar kaydedilir. Kaydedilen sonuçlardan sonra pastörizasyon işlemi uygulanır. Uygulanan bu işlemden sonra süt soğutma aşamsından geçirilip olması gereken sıcaklığa indirgenir. Bunun ardından mayalama yapılır. Mayalama ile birlikte

sütte meydana gelen pıhtılaşma, pıhtı kırım uygulaması ile peynir altı suyunun ayrılmasını sağlar. Daha sonra peyniraltı suyu seperatöre çekilirç seperatöre ayrılan krema, uygun ambalaj ve etiketten sonra depolanır. Son kontrol işlemleri tamamlandıktan sonra da satışa sunulur [1]. Kremanın üretim aşamaları Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Krema Üretim Aşamaları

2.3.5 Yoğurt Üretimi

Yoğurt, toplama merkezlerinden getirilen sütün uygunluk analizleri yapıldıktan sonra süt içerisine, “yağsız kuru süt katısı veya yağsız süt konsantresi” eklenir, tam yağlı veya

yarım yağlı olarak ayrılan süte kültür ilave edilip fermente edilmesi ile üretilen bir üründür. Yoğurt aynı zamanda sade veya meyve gibi aromalar katılarak üretilmektedir. Üretim aşamaları Şekil 2.6’da verilmiştir [10].



Şekil 2.6 Yoğurt Üretim Aşamaları

2.3.6 Ayran Üretimi

Ayran, yoğurt gibi belli analizlerden geçtikten sonra gerekli tüm işlemlerin uygulanması ile üretilen bir üründür. Üretim aşamaları Şekil 2.7’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2.7 Ayran Üretim Aşamaları

2.3.7 Tereyağ Üretimi

Tereyağ, tatlı kremanın yayıklanması ve yağ taneciklerinin yumuşak bir katı madde oluşturmasıyla üretilir. Birkaç adımdan oluşan tereyağ üretim prosesinin en önemli basamağı kremanın tereyağına dönüştüğü yayıklama prosesidir [10]. Tereyağ üretim aşamaları Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Tereyağı Üretim Aşamaları

2.4 Süt Endüstrisi Atıksu Kaynakları

Süt endüstrisi atıksuları, fazla miktarda organik madde, yağ-gres ve katı madde içerdikleri için önemli çevresel problemlere neden olmaktadır. Süt kaynaklı karbonhidratlar, yağlar ve proteinler organik yükü oluşturan bileşiklerdir. Süt ve süt ürünleri üretimi yapılan işletmelerde hijyeni sağlamak ve sağlıklı üretimler yapabilmek için üretimin her aşamasında su kullanımını mecburi hale gelmektedir[15].

Süt endüstrisi atıksuları genellikle üretim sırasında kullanılan ekipmanların ve hatların temizlenmesi, konteynırların temizlenmesi, süt silolarının yıkanması ve cihaz veya üretim hatlarından kaynaklı sızma ve dökülmelerden oluşmaktadır [16]. Örnek olarak

genellikle bir tesiste yapılan çalışma sonucu elde edilen üretim işlemlerinde kullanılan su ve atıksu hacimleri Tablo 2.1’de verilmiştir [17].

Tablo 2.1 Süt Üretimi Kaynaklı Oluşan Su ve Atıksu Hacimleri

Kaynaklar	Su Kullanımı				Atıksu Oluşumu			
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
	(m ³ /gün)	(m ³ /gün)	(m ³ /ton süt)	(m ³ /ton süt)	(m ³ /gün)	(m ³ /gün)	(m ³ /ton süt)	(m ³ /ton süt)
Tanker Boşaltma	0,9-1,3	1,2	0,09-0,13	0,12	0,95-1,4	1,25	0,095-0,14	0,125
Berraklaştırma								
Standartlaştırma	0,1-0,18	0,15	0,01-0,018	0,015	0,1-0,18	0,15	0,01-0,018	0,015
Harmanlama								
Depolama	0,6-1	0,8	0,06-0,1	0,08	0,6-1	0,8	0,06-0,1	0,08
Toplam	1,6-2,48	2,15	0,16-0,248	0,215	1,65-2,58	2,2	0,165-0,258	0,22
Pastörizasyon	2,8-3,2	3	0,28-0,32	0,3	2,8-3,2	3	0,28-0,32	0,3
Depolama	0,8-1,3	1	0,08-0,13	0,1	0,8-1,3	1	0,08-0,13	0,1
Doldurma	0,4-0,6	0,5	0,04-0,06	0,05	0,4-0,6	0,5	0,04-0,06	0,05
Toplam	4-5,1	4,5	0,4-0,51	0,45	4-5,1	4,5	0,4-0,51	0,45

Genel olarak süt endüstrisi kaynaklı atıksular ısıtma ve soğutma sistemlerinden gelen temiz sular, evsel atıksular, tesis ve ekipmanın yıkanmasından kaynaklanan atıksular ile peynir altı atıksuları olarak 4 grupta toplanabilir. İlk üç grupta sayılan atıksular küçük işletmelerde genellikle bir aradatoplanır, peyniraltı suları ise ayrı olarak toplanır [18]. Arıtımı zor olan sular; kirlilik yükü fazla olan atıksu kaynakları, peynir atıksuyu ve soğutma sularıdır.

2.4.1 Peyniraltı Suyu

Büyük oranda çevre kirliliğine sebep olan peyniraltı suları yıllarca ülkemizde bir atık olarak değerlendirilmiştir. Fakat son yıllarda farklı endüstriler tarafından hammadde olarak kullanılabilir. Bu yüzden arıtımının zor ve yüksek maliyete neden

olmasından dolayı artık günümüzde peyniraltı suları biriktirilerek hammadde olarak kullanan firmalara verilmektedir [1].

Peyniraltı suyu; beyaz peynir ve kaşar peyniri gibi peynir üretimlerinde gerçekleşen pıhtının parçalanması ve baskıya alınması durumlarında oluşur [1].

Peyniraltı suyu içeriğinde çok miktarda şeker bulunur. Buna bağlı olarak mikroorganizmaların büyümesi için uygun ortam sağlanmış olur. Bu yüzden peyniraltı suyunun deşarj noktalarına verilmesine devam edilirse doğal su kaynaklarında biyokütle oluşumu hızlanır ve bunun ile birlikte çözülmüş oksijen miktarı azalarak ekolojik denge üzerinde olumsuz etkilere neden olur [10].

Ekonomik yönden bakıldığı zaman peyniraltı sularının geri kazanımı oldukça önem arz eder. Peyniraltı sularından, peyniraltı suyu tozu üretilmektedir. Peyniraltı suyu tozu; şekerlemeler, unlu mamüller gibi birçok üründe dolgu malzemesi olarak ve süt yerine geçen yemlerde de kullanılabilir. Aynı zamandapeyniraltı suları, çikolata ve dondurma yapımında da kullanılabilir [1].

2.4.2 Soğutma Suları

İşlenmemiş süt pastörize edilip ve gerekli sıcaklıklar sağlandıktan sonrayardımcı mikroorganizmalar vasıtasıyla peynir ve yoğurt oluşumu gerçekleşir. Pastörizasyon sıcaklığı 90°C ve mayalanma sıcaklığı 45°C'dir. Pastörizasyon sıcaklığını mayalanma sıcaklığına indirmek için soğutma sularından faydalanılır.

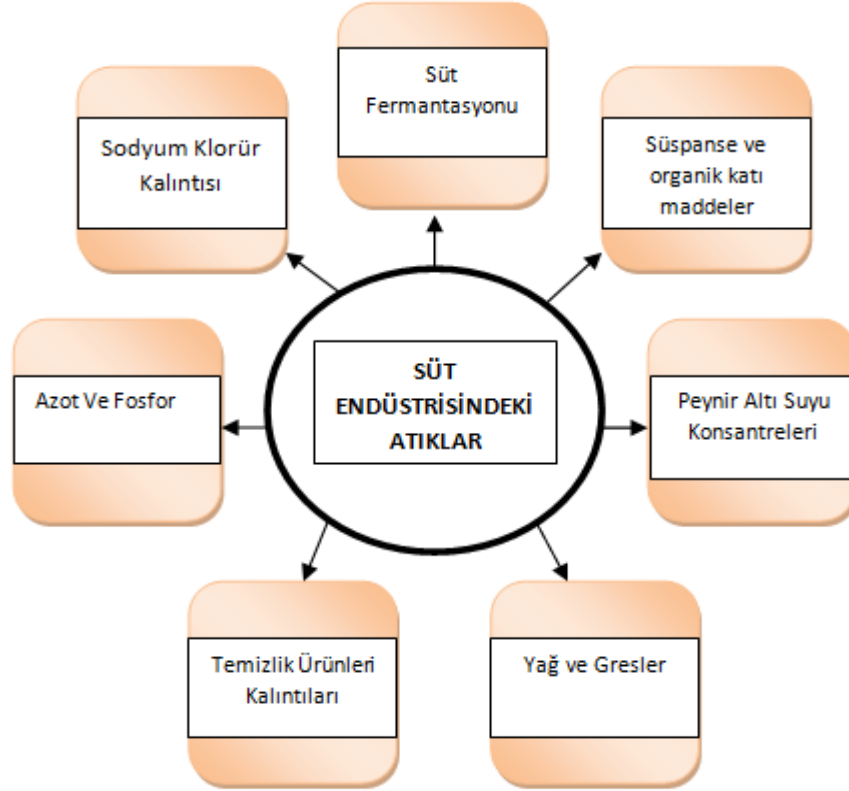
Süt endüstrisi işlemlerinden kaynaklanan atıksuların neredeyse %60-90'ı soğutma sularından kaynaklanmaktadır. Diğer atıksuların ise yıkama amaçlı kullanılan sulardan ve sırasıyla diğer aşamalardan kaynaklandığı görülmektedir [7].

Soğutma suları, "temaslı ve temassız soğutma suları" şeklinde iki sınıfa ayrılır. Temassız atıksularda, sütü soğutmak için eşanjörlü sistemler kullanılır. İç içe geçen borular vardır. İçteki borudan sıcak süt, dışdaki borudan soğuk su geçer. Boruda meydana gelen sıcak soğuk çarpışması ile sütün sıcaklığı düşerek, süt mayalanma

ünitesine gönderilir. Isımiktarı yükselen su, tank veya yüzey temizliklerinde kullanılır daha sonra arıtma sistemlerine iletilir. Bunun sonucunda meydana gelen atıksulara, temassız atıksu denir. Aynı zamanda temaslı atıksularda da sütün soğutulması, süt ve soğuk suyun temas ile gerçekleştirilir. Örneğin; treyağın üretiminde meydana gelen kremanın yıkanmasında soğuk sular kullanılır ve bu işlem ile birlikte suyun kirlilik oranı artar. Bu süreçte tereyağ kremaya dönüşürken yıkama işlemlerinde meydana gelen atıksular arıtma sistemlerine gönderilir. Bunun sonucunda oluşan atıksular ise, temaslı atıksular olarak tanımlanır[1].

2.5 Süt Endüstrisi Atıksu Özellikleri

Bir atıksuyun karakterizasyonu atıksu miktarı ve özellikleri, üretimi ve ürün yapısına bağlı olduğu için firmadan firmaya, kullanılan prosten prosese büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Yüksek organik madde içeriğine sahip olan bu atıksularda özellikle BOİ ve KOİ konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 2.9'da süt endüstrisi atıksularında bulunabilen kirleticiler verilmiştir.



Şekil 2.9 Süt endüstrisi atıksularında yaygın olarak bulunan kirleticiler [4].

Bu tür atıksuların karakterizasyonunda; BOİ, KOİ, AKM, pH, yağ-gres ve sıcaklık gibi parametreler kullanılan en önemli parametrelerdir. Aşağıda Tablo 2.2’de süt endüstrisi atıksularında kirleticilerin konsantrasyon aralıkları verilmiştir[16].

Tablo 2.2 Süt endüstrisi atıksu karakterizasyonu[19].

Parametre	Aralık
BOİ ₅ (mg/L)	1630-4950
KOİ (mg/L)	3800-8650
AKM (mg/L)	84-4950
Yağ-Gres (mg/L)	280-2200
Toplam Azot (mg/L)	1-200
Toplam Fosfor (mg/L)	0.3-0.8
Klorür (mg/L)	50-2000
Sıcaklık (°C)	18-55
pH	5.6-9.4

Süt endüstrisinde kullanılan çeşitli kimyasal temizleyiciler de atıksu karakteristiğinde etkilidir. Buna bağlı olarak pH değerlerinde çok değişken sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [20]. Bu atıksularda, koagüle edilmiş süt, peynir pıhtıları, meyve ve fındık gibi tatlandırıcı maddeler AKM kaynağı olarak görülür. AKM kaynaklarının yapısından dolayı organik içeriğinin fazla olduğu söylenebilir [21].

2.6 Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtımı

Süt ve süt ürünleri üretimi yapılan işletmelerde oluşan atıksuların arıtım işlemleri gerçekleştirilmeden evvel katı atıkları ayırmak, kullanılan suların tekrar kullanımını sağlamak gibi önlemler alınabilir. Aynı zamanda atıksuyun miktarını ve kirlilik oranını azaltmak için süt endüstrisinde alınabilecek diğer önlemler şu şekildedir [7-22]:

- Yüksek kirlilik içeren atıkların az kirli atıklardan ayrılması,
- Taşma ve kazalardan ileri gelen hammadde ve ürün kayıplarının en aza indirilmesi,
- Yıkama sularının toplanması,
- Süt işleme süreçlerinde ileri yöntemlerin kullanılması,
- Dikkatli ve kontrollü çalışmalar.

Süt endüstrisi atıksuları fazla miktarlarda organik madde içeriğine sahip olduğu için alıcı ortama verildiğinde mikroorganizmaların fazla miktarda oksijen tüketmesine neden olurlar. Geleneksel yöntemlerle bu yükün üstesinden gelmek, tesis yeterliliği ve ekonomisi açısından oldukça zordur [7]. Buna bağlı olarak süt ve süt ürünleri atıksularının arıtımını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli teknolojiler kullanılabilmektedir. Bu yöntemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri olmak üzere genel olarak üç ana başlık altında toplanabilir.

2.6.1 Fiziksel Yöntemler

Süt endüstrisi atıksuları ile evsel atıksuların arıtımı bir arada yapıyor ise bu atıksular manuel veya otomatik ızgaralardan geçirilmelidir. Büyük boyuttaki katı maddelerin sistemdeki diğer aşamalarda herhangi bir aksamaya sebep olmaması ve donanımların olumsuz yönde etkilememesi için “sepet tipi ızgaralar” kullanılabilir. Izgaralar yardımıyla büyük katı parçalardan arınan atıksular dengeleme havuzlarına aktarılır. Bu havuzlara alınan atıksularda, debi ve kirlilik dengelenerek, atıksu homojenize edilir ve böylece atıksu, arıtma sistemine stabil bir debiyle ve homojen şekilde verilmiş olur. Buna bağlı olarak arıtma tesisine anlık gelebilecek toksik maddelerin tesise girmesi engellenir [23].

2.6.2 Kimyasal Yöntemler

Koagülasyon ve flokülasyon, su ve atıksularda askıda ve koloidal yapıdaki maddelerin yumaklaştırılmasıdır. Meydana gelen yumaklar, çökelme işlemiyle atıksulardaki kirleticilerin giderilmesinde yardımcı olur. Koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemleri çoğunlukla $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç gibi kimyasal maddeler ile gerçekleştirilir. Kimyasal arıtma kesikli şekilde dizayn edilirse ise işlemler tek bir kademede, sürekli çalışacak şekilde dizayn edilir ise işlemler ayrı havuzlarda yürütülür [23].

2.6.3 Biyolojik Yöntemler

Biyolojik arıtım, çözülmüş ve kolloidal halde bulunan organik maddelerin aerobik ve anaerobik koşullarda giderilmesini sağlamak amacıyla yapılır. Biyolojik arıtma yöntemleri, mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkileyen etkenler dikkate

alınarak ve kabul edilen sınır değerler aşılmadan gerçekleştirilmelidir. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının arıtımında, genel olarak oksidasyon havuzları, damlatmalı filtreler, birleşik damlatmalı filtreler, aktif çamur sistemleri ve anaerobik arıtma gibi biyolojik arıtma sistemleri kullanılır [23].

2.7 Süt Endüstrisi Atıksuları Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Süt endüstrisi kaynaklı atıksuların arıtımına dair yapılan çalışmalara aşağıda örnekler verilmiştir.

Blanc ve Navia 1990 yılında; koagülasyon-flokülasyonun ön arıtma olarak uygulanabilirliği açısından bir çalışma yapmışlardır. Belli oranlarda seyreltilen süt numunesinden elde edilen sentetik numune ile çalışılmıştır. Bu çalışmada koagülant olarak $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ ve alum kullanılmıştır. Çalışma sonucunda $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ ile yaklaşık %70'in üzeri, alum ile ise %65'in üzerinde KOİ giderimi sağlanmıştır [24].

Hamoda ve Al-Awadi 1996 yılında; süt ve süt endüstrisinden kaynaklanan atıksuların kimyasal arıtma işleminden sonra oluşan suların, sulama maksadıyla kullanılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada alum kullanılarak atıksuların kimyasal arıtımı gerçekleştirilmiş ve bu arıtılan su ile bitkiler sulanıp, bunun bitkiler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Uygun koagülant miktarı ile %50'den fazla KOİ giderim verimi sağlanmıştır. Arıtılan atıksu, sulama amaçlı kullanılmasına yönelik gerekli su kalite değerlerini sağlamıştır, fakat tuz oranının yüksek olması nedeniyle tarımsal arazilerdeki kullanımı sınırlandırılmıştır [25].

Sarkar ve arkadaşları 2005 yılında süt endüstrisinde meydana atıksuyun tekrar kullanımı amacıyla yapmış oldukları çalışmada, koagülasyon, adsorpsiyon ve membran seperasyonlarını kullanmışlardır. Yapılan bu çalışmada süt endüstrisinin tercih edilmesinin nedeni süt üretiminde çok fazla su kullanılmasıdır. Bu çalışmada ön arıtma işlemlerinin tamamında koagülantların farklı tipleri uygulanmıştır. Bu koagülantlar, inorganik, polimerik ve biyolojik kökene sahip organikler olarak sıralanmıştır. Koagülasyonda farklı pH seviyelerinde değişik koagülant miktarları kullanılmıştır. Arıtmanın devamında aktif kömürün kullanımı ile biyolojik arıtma yapılmıştır. Bu

çalışma ile iki ön arıtma tekniklerinin birleşik etkileri hesaplanmıştır. Bunun sonucunda renk ve kokunun tamamıyla giderildiği ve aktif kömür kullanımıyla mevcut durumun devam ettiği görülmüştür. Buna istinaden ön arıtımı yapılmış su, ters osmoz membranlarından süzölmüş ve kaliteli bir su elde edilmiştir. Sonuç olarak, arıtılmış suyun karakteristiği, süt tesisinin prosesi sırasında harcanan su ile mukayese edilmiş ve süt üretimi için arıtılmış suyun yeniden kullanılabilceği gözlemlenmiştir [26].

Yasar ve arkadaşlarının 2007 yılında yaptıkları bir çalışma ile havasız çamur yataklı reaktörde süt, tekstil, şeker ve un endüstrisi atıksularının birlikte arıtılması sonrasında elde olan atıksuyun ozonlama prosesi ile ileri arıtımı araştırılmıştır. Anerobik arıtma sonrasında atıksuyun KOİ değeri 515 mg/L'den 108 mg/L'ye düşmüştür. Anaerobik arıtılmış atıksu ozonlama işlemine tabi tutulmuş ve farklı deney şartlarında (pH 7–11,25–60°C sıcaklık, 50 mg/saatozon dozu) çalışılmıştır. 25°C ve pH 8'de yapılan deneylerde yaklaşık %94 KOİ giderimi elde edilmiştir [27].

Banu ve arkadaşları 2008 yılında 5000 mg/L KOİ'ye sahip süt endüstrisi atıksuyunun havasız çamur yataklı reaktörde arıtımı hakkında bir çalışma yapmışlardır. 5.9 L kapasiteli reaktörde, organik yükleme hızı için 8–20 kgKOİ/m³gün aralığında bir değer seçmişlerdir, bu süreç 110 gün boyunca devam etmiştir. Bunun sonucunda 19.2 kgKOİ/m³gün organik yükleme hızında %84 KOİ giderimi bulunmuştur ve bu koşullarda arıtımı gerçekleştirilmiş atıksu TiO₂ ile fotokatalitik bir arıtma yapılmıştır. Bu işlemden sonra %64 KOİ giderimi sağlanmıştır. Bu ikili arıtım işleminin ardından toplam %95 KOİ giderim verimi elde edilmiştir [28].

2.8 Partikül Boyut Dağılımı

Atıksular partikül yada çözünmüş halde bulunabilen organik veya inorganik bileşikler içeren kompleks yapılardır. Atıksulara uygulanan herhangi bir fiziksel, kimyasal veya biyolojik işlem atıksuyun özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir. Aynı zamanda atıksulardaki partikül büyüklüğü dağılımı, içinde asılı kalan kirleticilerin türü hakkında bilgi sağlayabilir. Bu da dolaylı olarak su kalitesini etkiler [29]. Aynı zamanda atıksulardaki kirliliğin çoğunluğunu oluşturan organik kirleticilerin arıtımı için kullanılan prosesler yardımıyla olması gereken arıtım deşarj kriterleri sağlanmalıdır [30].

Ayrıca biyolojik atıksu arıtma tesislerinin başlıca ünitesi olan, havalandırma tanklarının büyüklüğünü belirleyen unsur atıksulardaki organik maddelerin biyolojik ayrışma hızına bağlıdır. Buna bağlı olarak biyolojik ayrışma hızı için organik maddelerin partikül boyutu önem arz eder [6]. Yani kısaca atıksu arıtma işlemlerinin etkinliği, hem çözülmüş hem de partiküler fraksiyonların giderimine bağlıdır [31]. Bu nedenle kirletici maddelerin büyüklüğü önemlidir, çünkü çözülmüş maddelerin uzaklaştırılmasının hızı ve etkinliği partikül hallerindekinden farklıdır. Bu yüzden atıksuların içerisindeki partiküllerin boyutlarını belirlemek için partikül boyut dağılımı (PBD) kullanılır [32].

PBD belirlemede kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Sequential Filtration-Ultrafiltration (Ardışık Filtrasyon-Ultrafiltrasyon)
- Tunable Resistive Pulse Sensor (TRPS)
- Particle Tracking Analysis (PTA)
- Differential Centrifugal Sedimentation (DCS)
- Dynamic Light Scattering (DLS)
- Transmission Electron Microscopy (TEM)
- Scanning Mobility Particle Sizing (SMPS)

Sıralanan yöntemlerin her biri farklı fiziksel prensip ve özelliklere dayanmakta, farklı türde sonuçlar vermektedir. Ancak basitçe özetlemek gerekirse; uygulanan yöntemlerin birçoğu belirli bir hacimde ve belirli boyut aralıklarındaki partiküllerin sayısı hakkında bilgi verirken, ardışık filtrasyon-ultrafiltrasyon yöntemi partikül boyut aralıklarına karşılık gelen KOİ konsantrasyonlarını vermektedir ve bu yönüyle bütün diğer yöntemlerden ayrılmaktadır.

PBD belirlemede en çok tercih edilen yöntemlerden biri organik maddeyi çözülmüş ve partiküler olarak 2 sınıfta gruplandırmaktır [33]. Kirleticilerin boyut dağılımları; atıksu özelliklerinin yorumlanması uygun arıtma teknolojilerinin değerlendirilmesi ve beklenen temizleme performanslarının tahmini için oldukça önemlidir.

İşlem görmemiş atıksularda çözünmemiş formlardaki partiküler maddeler, organik kirliliğin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu maddelerin içerisinde kendiliğinden çökebilen kirleticilerin boyutları genel olarak 10^5 nm'nin üzerindedir. Ayrıca gözenek ebatları 450 ila 1600 nm olan filtrelerin kimsayal çöktürme ile uzaklaştırılabilecek partiküllerin boyutlarının belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Atıksularda partiküller;

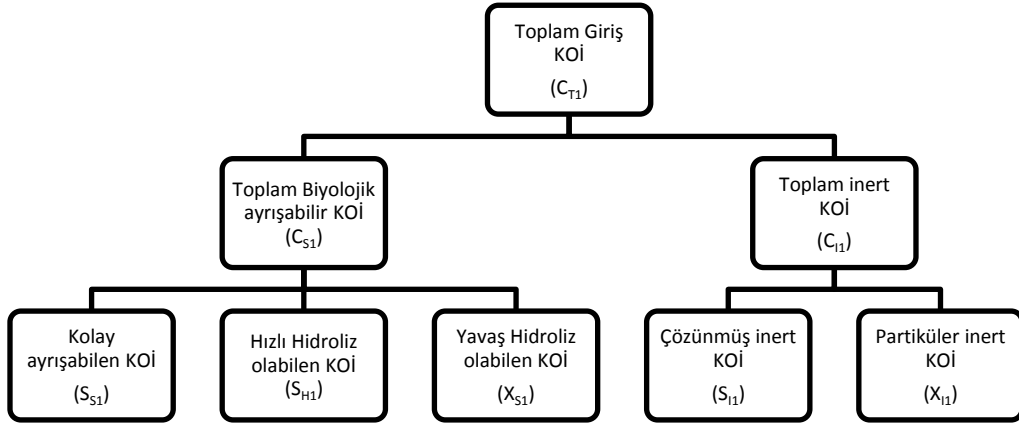
- 1) Çözünmüş (< 1 nm)
- 2) Koloidal ($1-10^3$ nm)
- 3) Suprakoloidal (10^3-10^5 nm)
- 4) Çökebilen ($>10^5$ nm) olmak üzere boyutlarına göre gruplara ayrılabilir [32-34].

PBD analizi fizikokimyasal ve biyolojik prosesler öncesinde arıtılmış suların veya atıksuların karakterizasyonu ile ilgili detaylı bilgi sağlayan partikül, kolloid veya çözünmüş boyuttaki kirleticilerin ayrılmasına dayalı bir analizdir. Arıtım proseslerinde kullanışlı bir araç olarak uygulanmaya başlanmış ve koagülasyon-flokülasyon proseslerinin verimini belirlemeye yardımcı olmuştur.

Biyolojik, kimyasal ve fiziksel sistemler için PBD analizi verilerinin önemi büyüktür. Bununla birlikte yapılan araştırmalarda özellikle biyolojik prosesleri anlamak için PBD verileri üzerine durulması gerekir [35-36].

2.9 Biyolojik Arıtılabilirliğe Yönelik KOİ Fraksiyonları

Biyolojik atıksu arıtımında, sadece organik maddeler için toplam KOİ parametresi, biyolojik arıtımın değerlendirilmesi ve güvenilir bir tesis tasarımı için yeterli bilgi sağlamamaktadır. Bu yüzden KOİ parametresini biyolojik olarak kullanılabilirlik açısından fraksiyonlara ayrılmaktadır. Şekil 2.10'da KOİ fraksiyonlarının şematik gösterimi verilmiştir.

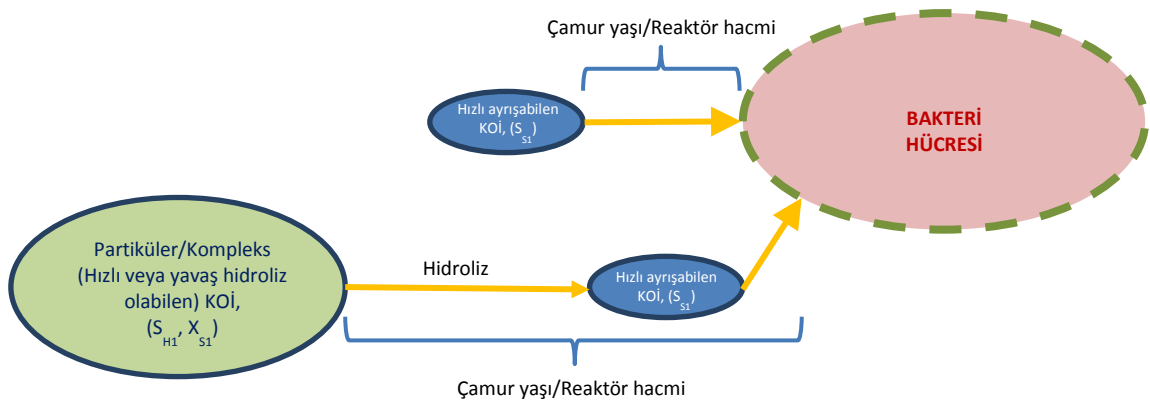


Şekil 2.10 KOİ fraksiyonları

Mikroorganizmalar parçacık boyutlarına bağlı olarak substratı kullanır. Partiküler organik madde olarak tanımlanan, yavaş ayrışabilen fraksiyon (X_{S1}), çözünürden koloidal ve karmaşık yapıdaki daha organik parçacıklara kadar çeşitli parçacık büyüklüğü dağılımını kapsar.

2.10 PBD'nin Biyolojik Arıtım Üzerindeki Etkisi

Atıksularda bulunan organik maddeler partikül yada kompleks halde bulduklarında doğrudan tüketilemezler, yani hücre duvarından geçemezler. Bu yüzden partiküler organikler hücre duvarından geçemedikleri için adsorpsiyondan önce hücre dışı enzimlerle hidrolize tabi tutulmaları gerekir. Bu durum Şekil 2.11'de özetlenmiştir.



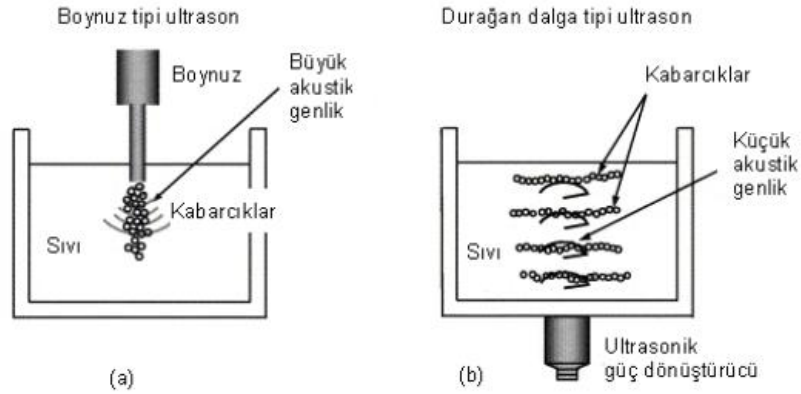
Şekil 2.11. Çözünmüş ve partiküler organiklerin biyolojik giderim mekanizması

2.11 Ultrases

Ultrases, çok yüksek frekanslardaki insan kulağının işitemeyeceği ses dalgalarıdır [37]. Atıksu arıtımında kullanılan 20 kHz veya daha yüksek sesler ‘ultrases’ veya ‘sonikasyon’ olarak isimlendirilmektedir [38].

Ultrases üretimi; piezoelektrik (basınç elektriklenmesi) özelliği olan kristaller yardımı ile üretilir. Piezoelektrik, elektriksel bir gerilimin oluşması için malzemeler üzerinde uygulanan mekanik basınç olarak ifade edilir. Bir kristal malzeme disk veya prizma şeklinde kesilir ve yüzeyi ince iletken metal ile kaplanır. Kristalin alt ve üst yüzeylerine mekaniksel bir basınç uygulanır, bununla birlikte yüzeylerde kutuplaşmalar meydana gelir. Ters bir uygulamada ise devamlı değişen voltajın frekansına bağlı olarak seri bir şekilde uzama ve kısalmalar ortaya çıkar. Bu mekaniksel uzayıp kısalmalar (titreşimler) ile ultrases ortaya çıkar [39].

Ultrases ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında, genellikle iki tip sonokimyasal reaktör kullanılmaktadır. Bunlar “boynuz tipi ve durağan dalga tipi” sonokimyasal reaktörler olarak adlandırılır. Şekil 2.12’ de bu reaktörler verilmiştir [36].



Şekil 2.12 a) Boynuz tipi ultrason reaktör b) Durağan dalga tipi ultrason reaktör

2.11.1 Atıksu Arıtımında Ultrases

Richard ve Romire tarafından ilk kez 1927 yılında ultrasesin kimyasal reaksiyonlara etkisi araştırılıp, makale olarak yayınlanmıştır. Özellikle son yirmi yılda ultrasesin

fiziksel, kimyasal ve radikal etkileri olduğu görülmüş ve birçok araştırmacı tarafından konu üzerineyoğunlaşmıştır. Ultrases prosesi; ses ile desteklenip geliştirilen bir oksidasyon yöntemidir. Son zamanlarda önem arz eden bu yöntem, ses dalgasının atıksularda oluşan kimyasal reaksiyonların etkileri özetlemesine yardımcı olmuştur [36].

2.11.2 Ultrases Prosesinin Atıksuda Gerçekleştirdiği Reaksiyonlar

Akustik kavitasyon oluşumu; fiziksel, kimyasal, radikal etkilere sebep olmaktadır. Kirleticilerin parçalanmasını sağlayan ve kimyasal reaksiyon hızını arttıran hidroksil radikaller akustik kavitasyon mekanizmasının kimyasal etkileri sonucu ortaya çıkar. Kavitasyon sırasında kabarcıkların sıkışma kısmında içe doğru çökmesi ile birlikte kimyasal ve mekanik reaksiyonlar için istenilen enerji elde edilir. Sucul kavitasyon etkisinin olması gereken koşulların sağlanmasıyla atıksudaki organik kirleticiler iki şekilde parçalanabilmektedir. Bunlar; OH radikalleri ile oksidasyon ve piroliz yöntemidir.

Ultrases prosesinde su moleküllerinin hidroksil ve hidrojen radikallerine dönüşmesi olayı bu prosesin istenilen koşullarda yürütülmesi sonucu oluşan ilk mekanizmadır. Meydana gelen hidrojen radikalleri ile gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları, sadece kabarcık yüzeyinde bulunan organik maddelerin bağlarının ayrılmasını sağlamaktadır [40].

Proliz işlemi organik maddelerin ısıl parçalanma olayıdır ve bu işlem oksijensiz ortamda gerçekleşir. Proliz işlemi ultrases prosesinde gerçekleşen ikinci mekanizmadır. Bu işlem sonucunda organik maddeler parçalanmaktadır ve bu parçalanma işleminin gerçekleşmesi için organik maddelerin yüksek buhar basıncında ve uygun sıcaklıkta olması gerekir. Bu yöntem uygulamada sağladığı kolaylık ve istenmeyen toksik maddeleri oluşturmaması sebebiyle tercih edilir [39].

2.11.3 Atıksu Arıtımında Kullanılan Ultrases Uygulamaları

Kullanımı çok eskilere dayanan ultrases yöntemi günümüzde birçok alanda özellikle kirleticilerin arıtımı ve farklı prosesler kullanımıyla ortaya çıkan yüksek oksidasyon

verimiyle birçok araştırmacının dikkatini çeken bir konu haline gelmiştir. Bu yöntemin çevreye olumsuz bir etkisinin olmaması ve kimyasal kullanımını azaltması gibi sağladığı avantajlarla bir ileri oksidasyon prosesi olarak kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Aynı zamanda ultrases ışınımı (US) tek başına kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, kirlilik giderim verimini artırmak amacıyla hem başka proseslerle birlikte hem de ön arıtım olarak kullanılabilir [41].

2.11.3.1 Ultrases ile oksidasyon uygulamaları

Ultrases ile oksidasyon işleminde daha az ekstrem şartlarda çok daha iyi verim sağlanması bu işlemi tercih edilir kılmaktadır. Bu işlemde gerçekleşen kavitasyon sonucunda, yüksek katalizör verimi eldesi, reaksiyon için yararlı reaktif oluşumu, kütle transferi gerçekleşmesinin sağlanması gibi verim artırıcı etkenler meydana gelir [42].

2.11.3.2 Sonofotokatalitik Oksidasyon

Fotokatalitik ve ultrases yöntemleri kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında etkilidir. Bu iki yöntem bir arada kullanıldığında reaksiyon için çok daha fazla serbest radikal meydana gelmektedir. Bu yöntemle birlikte oluşacak durumlar; katalist yüzeyinin şok dalgalarıyla arıtılması, kavitasyondan kaynaklı ara ürünlerin kirleticileri arıtılması sıcak-nokta teorisine göre gerçekleşen sıcaklık ve basınç artışı gibi sonuçlarla karşılaşmaktadır [43].

2.11.3.3 Ultrases ve H₂O₂/O₃

Ozon ve hidrojen peroksit ultrases ışınımı ile birlikte kullanılması sonucu ile ilave serbest radikalleri ortamda artış gösterecek ve bununla birlikte kirletici maddelerin bozulma yüzdesi artacaktır. Bu proseslerde pH, reaktördeki türbülans yoğunluğu, kirletici madde yapısı ve kirletici madde yoğunluğu gibi parametreler önemlidir [43].

2.11.3.4 Ultrases ve adsorpsiyon

Adsorpsiyon tekniği ile ultrases ışınımının birlikte kullanılması son zamanlarda önem kazanmıştır. Ultrasonik ışınımın mekanik etkisi ile adsorban maddelerin yüzey alanının artırılması, adsorpsiyon verimini ve dolayısıyla kirletici giderimini

arttırmaktadır [44].

Sonuç olarak bakıldığında ultrases teknolojisi uzun yıllardan beri günümüze kadar birçok farklı proseslerle kullanılması, atıksu arıtımlarında verim sağlama, ekstra kimyasal ilavesi gerektirmemesi ve basit bir yöntem olması dolayısıyla tercih edilmektedir.

2.12 Partikül Boyut Dağılımı ve Ultrases Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Belediye, endüstriyel ve tarımsal atıksularda, PBD ve buna bağlı kimyasal yapının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı PBD'na göre içerdikleri organik maddelerin kimyasal kompozisyonunu belirleyip atıksu arıtma tesisi planlandırılmalarında uygun tasarım ve işletme şartlarına etkisini belirlemektir. KOİ, protein, karbonhidrat ve yağ gres parametrelerine bakılmıştır. Sonuç olarak PBD'nın tasarım ve işletme parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir ölçüt olduğu görülmüştür [45]. Yine başka bir çalışmada bu kapsamda tekstil atıksuyunun kimyasal ve biyolojik arıtma öncesi ve sonrası PBD'na göre KOİ ve renk profilini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma için kimyasal arıtma (koagülasyon-flokülasyon) ve biyolojik arıtma (aktif çamur sistemi) yöntemi kullanılmıştır. PBD analizini de MF, UF (1600 nm-2 nm) ile gerçekleştirilip KOİ ve renk parametreleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda KOİ gideriminde, kimyasal arıtmanın daha çok partiküler yapıda etkili olduğu biyolojik arıtmada ise hem partiküler hemde çözülmüş yapıda etkili olduğu gözlemlenmiştir. Renk gideriminin de kimyasal arıtmanın, biyolojik arıtmaya göre daha etkin olduğu ortaya konulmuştur[46]. PBD üzerine yapılan başka bir çalışmada fenton oksidasyonunun karasuyun boyutsal dağılımına olan etkisini incelenmiştir. TOK, KOİ gibi parametrelere bakılmıştır. Bu çalışma sonucunda PBD'nın arıtma veriminin yorumlanmasında önemli bir etken olduğu görülmüştür. PBD'na göre yapılan KOİ fraksiyonlamasında, bileşiklerin daha çok çözülmüş (%49) ve partiküler (%20) yapıda olduğu ve kalanın koloidal ve suprakoloidal bölge aralığında kaldığı gözlenmiştir[47]. Yine PBD'nın etkili olduğu zeytinyağı karasularında organik karbon giderimi ve PBD'na bağlı organik madde profili üzerine kimyasal arıtmanın etkisini incelemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Zeytinyağı karasuyudan organik madde giderimi için çeşitli kimyasal arıtma prosesleri

(koagülasyon, fenton prosesi ve elektrokoagülasyon) incelenmiştir. Aynı zamanda artırılmış atıksu numuneleri üzerinde karakteristiksel tanecik boyut profillerinin belirlenmesi amacıyla PBD analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak uygulanan kimyasal arıtma prosesleri arasında en yüksek organik madde giderim verimi elektrokoagülasyon prosesi ile KOİ ve TOK bazında %30-40 oranında olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda elektrokoagülasyon prosesi ile de kolloidal ve suprakolloidal tanecik boyutundaki organik madde fraksiyonlarının giderildiği belirlenmiştir [48].

Ultrases yönteminin etkili olduğu çalışmalara bakıldığında zaman; arıtma çamurunun anaerobik çürümesini hızlandırmak için ultrasesin kullanımı üzerine bir yapılan ile arıtma çamurunun anaerobik çürütülmesinde 22 saat hidrolik bekletme süresine karşılık %45.8 uçucu katı madde giderimi elde edilmiştir. Bu işleme ultrases uygulandığında giderim veriminin %50.3'e yükseldiğini gözlemlenmiştir [49]. Atık çamurun ultrases ile ön işleme tabi tutulması KOİ giderim hızını da arttırmaktadır. Bunun sebebi ultrasesin ayrışmaya neden olarak çözünmüş KOİ konsantrasyonunu yükseltmesidir [47]. Aynı şekilde bu yöntemle atık arıtma çamurunu alkali çözünürleştirme ile birlikte uygulanmıştır. Bu işlemle birlikte toplam KOİ'nin %36-89 oranında çözünmüş KOİ'ye dönüştüğünü tespit edilmiştir [50]. Yine yapılan benzer bir çalışma olan Ultrases ön arıtımından sonra atık aktif çamurun özelliklerinin araştırılması ve değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışma ile çözünmüş KOİ'de %35.5 ve uçucu katı madde gideriminde %26 artış, partikül boyutunda ise %85 düşüş olduğu elde edilmiştir [51]. Bu yönteminin kirletici endüstriyel atıklardan birinin, damıtım atık yıkamasının artırılması için bir ön arıtma adımı olarak ultrasesin etkisine bakılmıştır. Bu çalışma ile ultrasesin atıksudaki molekülleri basit yapıya hale dönüştürerek, biyolojik ayrışabilirliğin arttırdığı gözlemlenmiştir [52]. Aynı araştırmacılar sonraki çalışmalarında ultrases prosesini enzim ile birlikte uygulamışlardır. Çalışma sonucunda ultrases ve enzim birlikte uygulandığında, bu proseslerin ayrı ayrı uygulanmasına göre daha verimli olduğu ve biyolojik ayrışma hızının ön işlem görmemiş atıksuya göre 4 kat arttığını tespit etmişlerdir [53]. Sonofotokatalitik teknoloji kullanılarak reaktif boya içeren atık sudan renk giderme ve KOİ giderimi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada ultra ses prosesini fotokatalitik parçalama ile birlikte uygulanmıştır. Sonuç olarak, hibrit teknolojinin, sentetik boya içeren atık sudan rengi verimli bir şekilde çıkarttığı ve KOİ'yi azalttığı görülmüştür. Ayrıca bu yöntemle elde ettikleri renk ve KOİ

giderim hız sabitlerinin, bu yöntemlerin ayrı ayrı uygulanması ile elde edilen hız sabitlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [54]. Başka bir örnek vermek gerekirse US destekli adsorbsiyon ile renk ve KOİ giderimi üzerine çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada boyar madde olarak rifacion yellow (HE4R) reaktif boyar maddesi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, sadece ultrases ile 253 kHz frekansta, %80.62; US/aktif karbon ile 25.67 kHz frekansta %99.9 renk, %85.22 KOİ giderimi olduğu gözlemlenmiştir [55]. Et işleme endüstrisinden alınan atık su çamurlarının ultrasonik ön arıtılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada 0 ile 100 MJ/kg Toplam Katı Madde (TS) arasında değişen farklı spesifik enerji girdileri kullanılmıştır. Bu çalışma ile ultrasonik ön arıtmanın, çamurun biyolojik olarak parçalanabilirliğini önemli ölçüde artırdığı ve metan üretiminin de etkili olduğu görülmüştür [56]. Hidroliz hızını ve biyogaz üretimini artırmak için anaerobik kesikli reaktörlerden önce bir ön arıtma olarak çöp sızıntı suyu için bir ultrases prosesinin entegrasyonu üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile sonikasyon sonrası sKOİ/tKOİ oranının 400 W/l'deki ham sızıntı suyuna kıyasla %32 arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak ultrasonik ön işlemin partikül organik maddenin çözünür organik maddelere dönüştürülmesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda sızıntı suyu numunelerinde anaerobik kesikli testlerde sonikasyon yoluyla KOİ çözünürlüğündeki artışla biyogaz üretimini ve metan verimini artırdığı tespit edilmiştir [57].

Genel olarak PBD ile alakalı çalışmalar değerlendirildiğinde, PBD ile atıksuların partikül, kolloid ve çözünmüş fraksiyonlarının belirlenmesi hem karakterizasyon bilgisi hem de fizikokimyasal ve biyolojik arıtma proseslerinin dönüşüm mekanizmaları üzerine bilgi verdiği, ayrıca PBD parametreleri dikkate alınarak arıtma verimi üzerine etkisinin olduğu, PBD'nin işletim ve tasarım koşullarının belirlenmesinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ultrases ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında zaman ister arıtma çamurları ister çeşitli atıksuları üzerindeki ultrases etkisi değerlendirilerek, bu prosesin oksidasyon ve biyolojik ayrışabilirliğini arttırmak için ön işlem etkilerinin giderim verimliliğinin üzerine araştırmalar yapılmıştır. Fakat bu prosesin daha anlaşılır, verimli ve ekonomik uygulanabilirliğini sağlamak üzere mekanizmasını anlatan çalışmaların sayısı çok az olduğu görülmüştür. Herhangi bir atıksuyun biyolojik ayrışabilirliği, hızlı ayrışan, hidroliz olan, yavaş ayrışan inert olmak üzere KOİ bileşenleri ile ifade edilir. Bu da organik maddelerin partikül boyutu fraksiyonlarının

oluşmasında önemli bir noktadır. Buna bağlı olarak tekstil endüstrisi atıksularında tanecik boyut dağılımı temelli koi, tok ve renk profilleri üzerine biyolojik arıtmanın etkisini araştıran araştırmacılar tarafından filtrasyon/ultrafiltrasyon kullanılarak belirlenen KOİ fraksiyonu, endüstriyel atıksu için bir kimlik görevi gördüğü bununla birlikte partikül boyut dağılımı temelli KOİ fraksiyonunun, respirometrik analiz sonuçlarını tamamlayıcı nitelikte olduğu belirtilmiştir [58]. Ultrases prosesinin tanecikli yapıların parçalanmasındaki etkisi göz önünde bulundurularak; yapılan bir araştırmada atık arıtma çamurlarının azot gideriminde karbon kaynağı olarak kullanılması amacı ile ultrases uygulanmasının karbon ve azot salımına etkisini partikül boyut dağılımına bağlı KOİ fraksiyonları incelenmiştir. Çalışma sonucunda ultrases yoğunluğunun partikül boyut dağılımını değiştirdiğini ve çözülmüş KOİ oranını önemli oranlarda arttırdığını tespit etmişlerdir [59].

BÖLÜM3

MATERYAL ve METOT

3.1 Atıksu Örneği

Çalışma kapsamında kullanılan atıksu örneği, Nevşehir il sınırları içerisinde faaliyet göstermekte olan, 2162 m²'si kapalı olmak üzere toplam 6258 m²'lik alan üzerinde yerleşik; peynir çeşitleri, yoğurt, tereyağ ve ayran gibi süt ve süt ürünlerinin üretiminin yapıldığı bir işletmeden alınmıştır. İşletmede günlük ortalama 25 m³ atıksu oluşmakta ve bu atıksular kimyasal ve biyolojik artımın ardından deşarj standartlarına uygun olarak alıcı ortama boşaltılmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan atıksu örneği arıtma tesis girişinden anlık olarak alınmış ve deneyler süresince buzdolabında, 4°C sıcaklıkta saklanmıştır.

3.2 Metot

Konvansiyonel karakterizasyon parametreleri Standard Methods (SM)'ta verilen yöntemler kullanılarak ölçülmüştür: pH için SM 4500-H⁺.B, iletkenlik için SM 2510 B, askıda katı madde (AKM) için SM 2540 D, uçucu askıda katı madde (UAKM) için SM 2540 D ve E, KOİ için SM 5220 C yöntemleri uygulanmıştır. pH ve iletkenlik parametreleri Hach Lange HQ40d model taşınabilir multimetre ile ölçülmüştür. Çözünmüş KOİ analizinde atıksu numunesi 0.70 µm gözenek çaplı Millipore AP40 cam elyaf filtreden süzölmüştür. Tüm analizler en az üç paralel olarak çalışılmıştır.



Resim 3.1 Kapalı reflüks yöntemi ile KOİ ölçümü



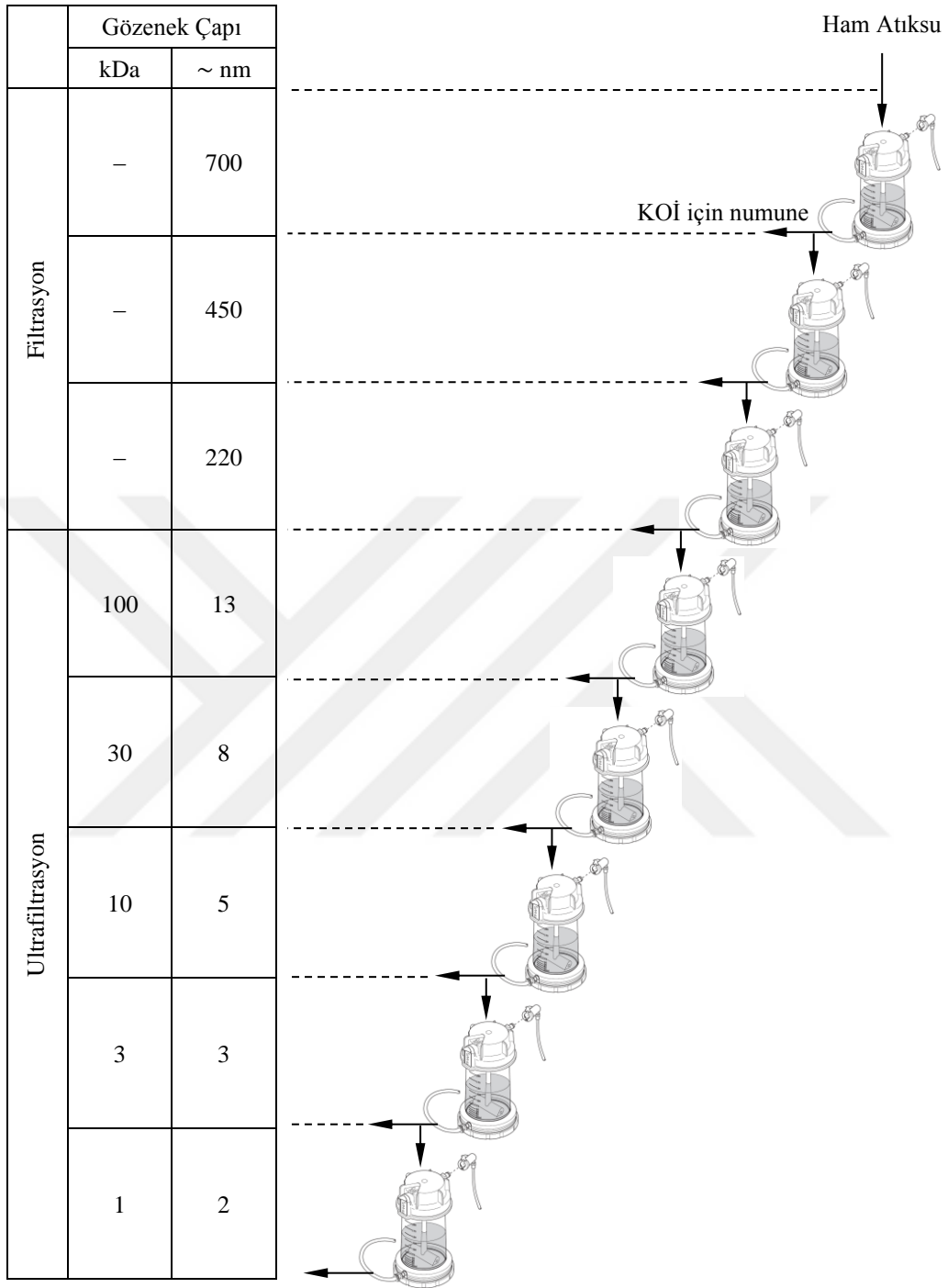
Resim 3.2 AKM analizi

3.2.1 PBD Analizleri

PBD analizleri ilk başta ham atıksuda, daha sonra farklı sürelerde ultrasese tabi tutulmuş atıksu numunelerinde yapılmıştır. Analizde ardışık filtrasyon-ultrafiltrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinin nedeni, belli partikül boyut aralıklarındaki organik madde miktarlarını KOİ cinsinden veren tek yöntem olması ve elde edilen bu verilerin biyolojik arıtılabilirlik açısından yorumlanabilir olmasıdır.

PBD analizlerinde sırasıyla 700 nm, 450 nm, 220 nm, 13 nm (100 kDa), 8 nm (30 kDa), 5 nm (10 kDa), 3 nm (3 kDa) ve 2 nm (1 kDa) gözenek çaplarına sahip filtreler kullanılmıştır. Ardışık filtrasyon-ultrafiltrasyon yönteminin uygulanışı Şekil 3.1’de şematik olarak görülmektedir. Filtrelerin özellikleri Tablo 3.2’de, mikroskobik görünümle ise Resim 3.10’da verilmiştir. Filtrelerden 700, 450 ve 220 nm gözenek boyutlu olanlar tek kullanımlık, diğerleri (Regenerated Cellulose, RC filtreler) ise tekrar kullanılabilir niteliktedir. RC filtreler her filtrasyondan sonra ultra saf su ile yıkanmış ve %70’lik etil alkol çözeltisi ile sterilize edildikten sonra %10’luk etil alkol çözeltisi içerisinde buzdolabında 4°C’de saklanmıştır. RC filtreler kullanımdan önce 0.1 N NaOH çözeltisi ile rejenere edilmiştir.

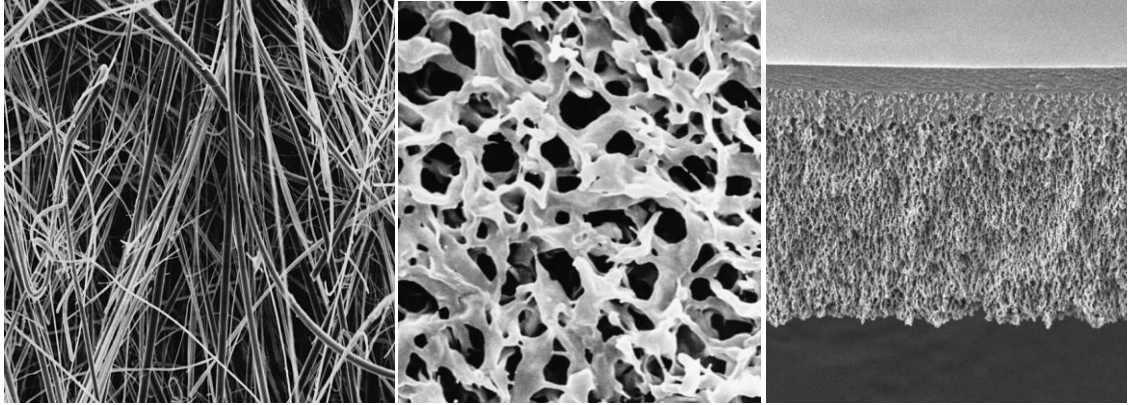
Her filtrasyon kademesinde filtratın ilk 10 mL’si atılmış, yaklaşık 20-25 mL’si KOİ analizi için ayrılmış ve kalanı ise bir sonraki filtrasyonda kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Ardışık filtrasyon-ultrafiltrasyon yöntemi ile PDB analizinin şematik gösterimi

Tablo 3.1 PBD analizinde kullanılan filtrelerin özellikleri

No		Filtre Tipi	Filtre Malzemesi	Gözenek Çapı	Gözenek Çapı(nm)
1	FİLTASYON	Millipore AP40	Cam elyaf filtre	0.70 µm	700
2		Millipore Durapore® HV	Hydrophilic Polyvinylidene Fluoride (PVDF)	0.45 µm	450
3		Millipore Durapore® GV	Hydrophilic Polyvinylidene Fluoride (PVDF)	0.22 µm	220
4	ULTRAFİLTASYON	Millipore Ultracell® PL-100	Regenerated Cellulose (RC)	100 kDa	13
5		Millipore Ultracell® PL-30	Regenerated Cellulose (RC)	30 kDa	8
6		Millipore Ultracell® PL-10	Regenerated Cellulose (RC)	10 kDa	5
7		Millipore Ultracell® PL-3	Rejenere selülöz (RC)	3 kDa	3
8		Millipore Ultracell® PL-1	Rejenere selülöz (RC)	1 kDa	2



Hidrofilik cam elyaf filtre
(700 nm gözenek boyutu)

Hidrofilik PVDF membranı
(450 ve 220 nm gözenek
boyutları)

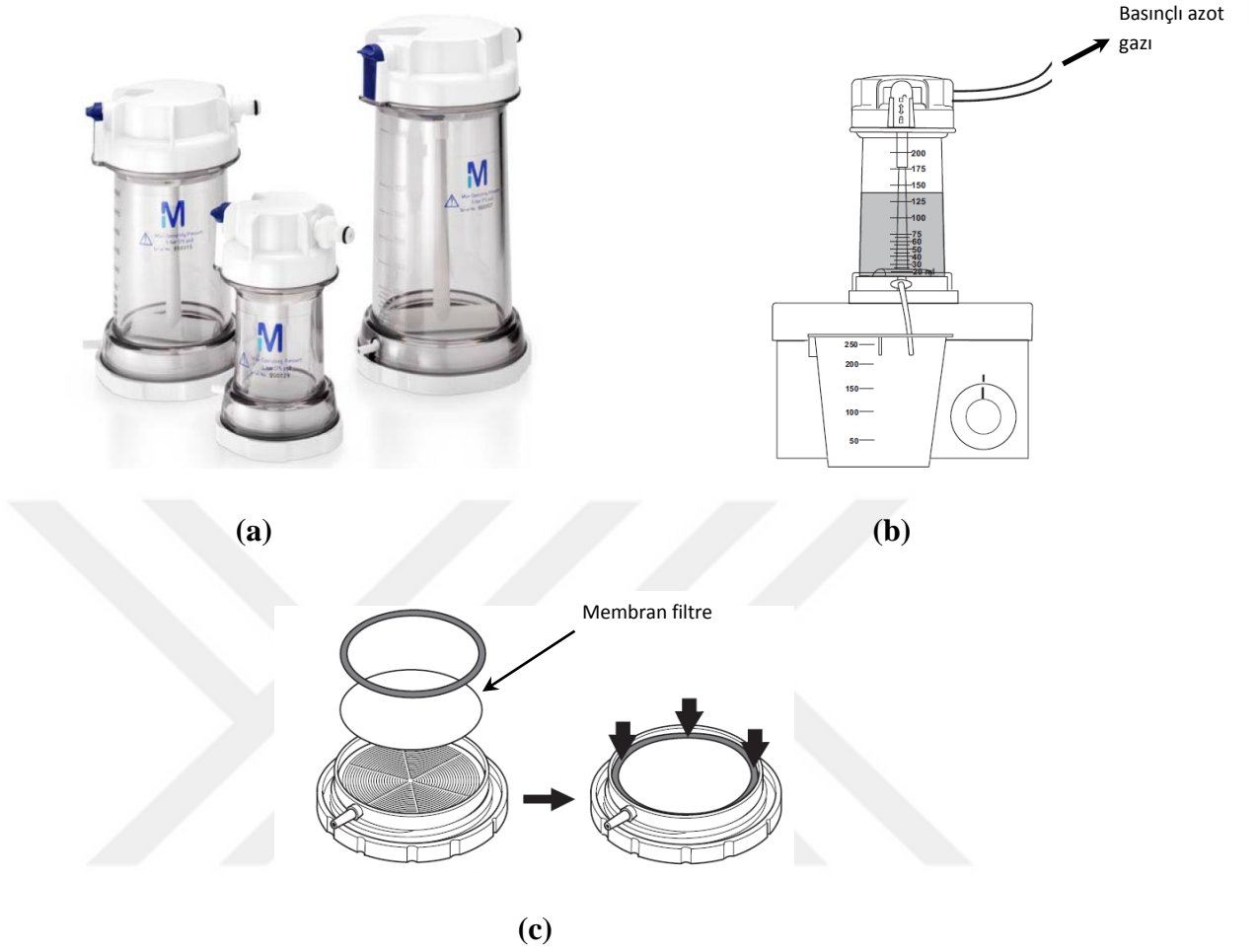
Rejenere selülöz ultrafiltrasyon
membranı
(2 - 13 nm gözenek boyutları)

Resim 3.3 PBD analizinde kullanılan filterlerin mikroskop görüntüsü



Resim 3.4 Azot gazı ile pozitif basınçlı ve karıştırmalı süzme düzeneği

Ardışık filtrasyonun ilk aşamalarından olancam elyaf filtreden süzme işleminde vakumlu süzme setinden yararlanılmıştır. Diğer aşamalarında pozitif basınçlı ve karıştırmalı, 400 mL hacimli Millipore Amicon® Stirred Cell süzme düzeneğinden yararlanılmıştır (şekil 3.2). Pozitif basıncın elde edilmesinde, inert bir gaz olması sebebiyle saf azot tercih edilmiştir. Kullanım prosedürüne uygun olarak süzme işleminde basınç süzme hızına bağlı olarak ayarlanmış ve en yüksek 5 bar'a kadar yükseltilmiştir. Her kullanım sonrası basınçlı-karıştırmalı filtrasyon düzeneği de %70'lik etil alkol çözeltisi ile sterilize edilmiş ve ultra saf su ile durulanmıştır.



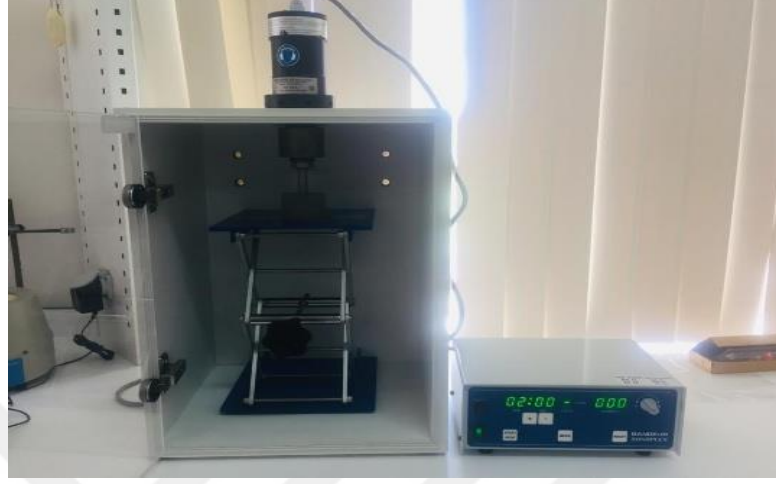
Şekil 3.2 Millipore Amicon® pozitif basınçlı ve karıştırmalı süzme düzeneği: (a) Süzme hücresi, (b) Süzme düzeneği, (c) Hücre tabanı ve membran filtrenin yerleşimi

3.2.2 Ultrases Önışlem Deneyleri

Süt endüstrisi atıksuyu üzerine uygulanan farklı sürelerdeki ultrases sonrasında elde edilen numunelerde PBD analizleri yapılarak, işlem süresine bağlı olarak partikül boyut aralıklarına karşılık gelen organik madde (KOİ) konsantrasyonlarındaki değişim karşılaştırılmıştır.

Ultrases ön işleminde TT13 model titan-sonotrode ile donatılmış Bandelin Sonopuls HD2200 homojenizatör kullanılmıştır (Resim 3.5). Her bir deney setinde 800 mL atıksu örneğine bir cam beher içerisinde ultrases uygulanmıştır. 2, 4 ve 8 dakika olmak üzere 3 farklı işlem süreleri için 35 kHz frekansta 200 W sabit güç uygulanmıştır. Böylece

uygulanan spesifik güç 0.25 W/mL olmuştur. İşlem başlangıcı ve sonunda tıksuyun sıcaklığı ölçülerek, değişim izlenmiştir.



Resim 3.5 Bandelin Sonopuls HD 2200 homojenizatör

BÖLÜM 4

BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

4.1 Atıksu Karakterizasyonu

Atıksu örneğinin genel özelliklerini belirlemek üzere, konvansiyonel parametrelerin ölçüldüğü karakterizasyon çalışmasının sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Sonuçlara göre toplam KOİ konsantrasyonu 2560 mg/L ile Turan (2004)’ın belirttiği 2000-10000 mg/L ve Tanık ve diğ. (2002)’nin belirttiği 2148-5134 mg/L aralıkları içerisinde, AKM konsantrasyonu ise 1030 mg/L olup, Tanık ve diğ. (2002)’nin raporladığı 370-770 mg/L aralığının oldukça üzerinde, Turan (2004)’ın raporladığı 800-1000 mg/L aralığına yakındır. Bu iki parametre ve aralarındaki ilişki ultrases (US) önişlemi açısından özellikle önemlidir. Çünkü partiküler haldeki organik maddeler ne kadar yüksek oranda bulunursa, US önişleminin uygulanması o kadar anlamlı olacaktır. Sonuçlar bu yönden değerlendirildiğinde; çalışmaların yürütüldüğü atıksudaki AKM’nin %80’inin organik yapıda olduğu, çözünmüş KOİ/toplam KOİ oranının %31.3 ya da tersinden ifade edilirse, toplam KOİ’nin %68.7’sinin partiküler halde olduğu, dolayısıyla atıksudaki organik maddelerin büyük oranda partiküler olması nedeniyle US önişleminin etkisinin daha net görülebileceği söylenebilir. Sonuç olarak, seçilen atıksu genel özellikleri ile çalışmanın amaçlarına uygundur[60-61].

Tablo 4.1 Süt Endüstrisi Numunesindeki Konvansiyonel Karakterizasyon Değerleri

Parametre	Değer	Birim
pH	6.18	–
İletkenlik	3340	µS/cm
Klorür (Cl ⁻)	750	mg/L
AKM	1030	mg/L
UAKM	827	mg/L
UAKM/AKM	80	%
Toplam KOİ	2560	mg/L
Çözünmüş KOİ (partikül boyutu<700 nm)	800	mg/L
Çözünmüş KOİ/Toplam KOİ	31.3	%

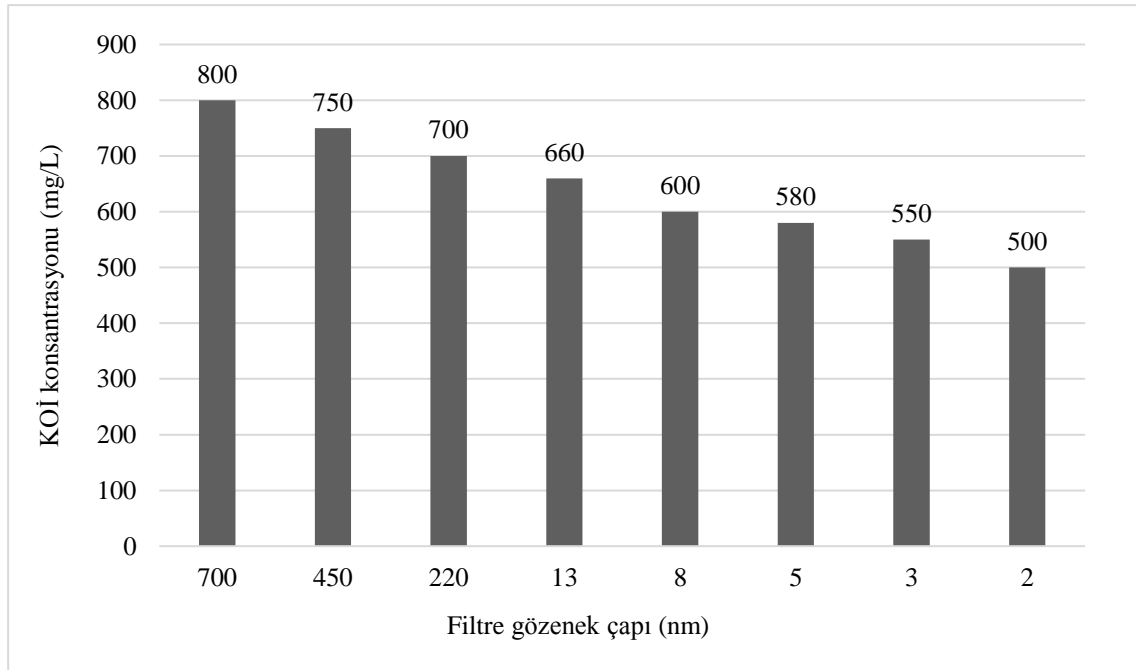
4.2 Ham Atıksu PBD Analiz Sonuçları

Ham atıksu örneğinde yürütülen PBD analizlerinin sonuçları Tablo 4.2’de ve Şekil 4.1’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, toplam KOİ’nin %69’unun 700 nm boyutunun üzerindeki partiküllerden oluştuğu, ara boyutlardaki oranların çok düşük

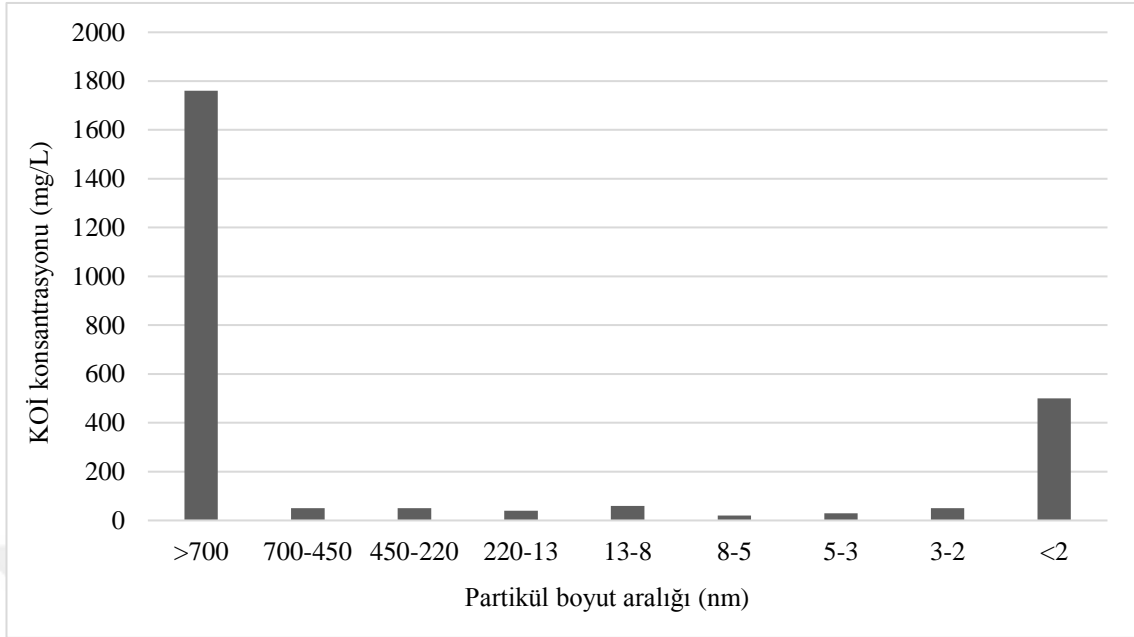
olduğu ve 2 nm'nin altındaki boyutta, tamamen çözülmüş kabul edilebilecek KOİ oranının ise %20 olduğu görülmektedir. US önışlemi ile amaç, 700 nm'nin üzerindeki organik partiküllerin kısa bir US uygulaması ile daha düşük boyutlara indirgenerek biyolojik ayrışma hızını arttırmaktır. Atıksu örneğinin yüksek partiküler KOİ oranı ile bu amaç için uygun olduğu PBD analizi ile tekrar görülmüştür.

Tablo 4.2 Ham atıksu örneğinin PBD analizi sonuçları

Filtre Tipi	Filtre Gözenek Çapı (nm)	Partikül Boyut Aralığı (nm)	KOİ Konsantrasyonu (mg/L)		Oran (%)
			Kümülatif	Diferansiyel	
<i>Filtrasyon</i>					
		>700		1760	69
AP40 Cam elyaf	700	700-450	800	50	2
HV	450	450-220	750	50	2
GV	220	220-13	700	40	2
<i>Ultrafiltrasyon</i>					
100 kDa	13	13-8	660	60	2
30 kDa	8	8-5	600	20	1
10 kDa	5	5-3	580	30	1
3 kDa	3	3-2	550	50	2
1 kDa	2	<2	500	500	20
Toplam			2560	2560	100.0



(a)



(b)

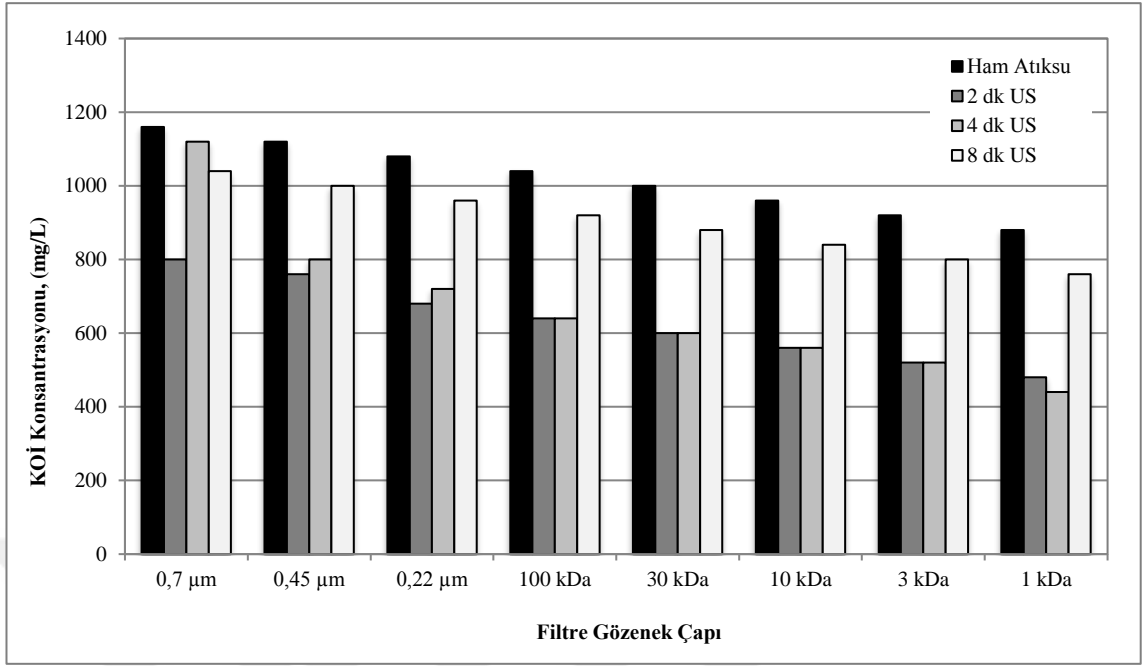
Şekil 4.1 Ham atıksuyun PBD sonuçları: (a) Kümülatif KOİ Dağılımı, (b) Diferansiyel KOİ Dağılımı

4.3 Ultrases Önışlemi Sonrası PBD Analiz Sonuçları

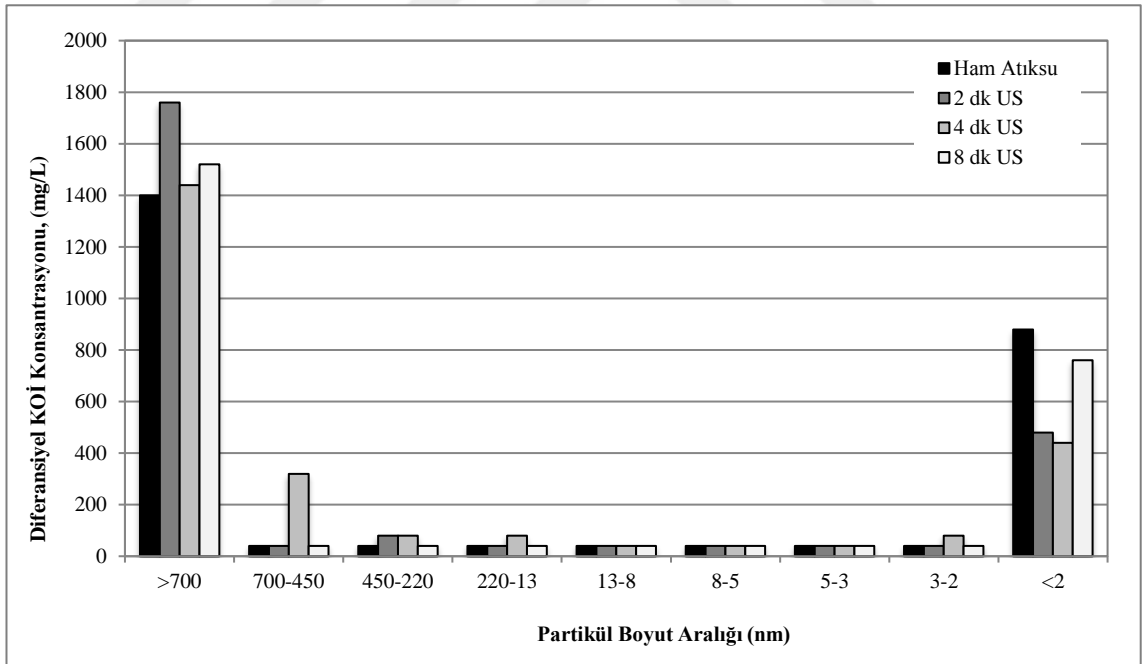
Ham atıksuya 0.25 W/mL spesifik güç ile 2, 4 ve 8 dk sürelerde US uygulanmış ve ardından PBD analiz yapılarak önışlem süresine bağılı olarak partikül boyut dağılımının ne şekilde değıştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen PBD sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.3 Ham ve farklı sürelerde ultrases uygulanan atıksularda PBD analiz sonuçları

Partikül Boyut Aralığı (nm)	Ham Atıksu KOİ		2 dk Ultrases Sonrası KOİ		4 dk Ultrases Sonrası KOİ		8 dk Ultrases Sonrası KOİ	
	Dif.	Oran (%)	Dif.	Oran (%)	Dif.	Oran (%)	Dif.	Oran (%)
>700	1760	69	1660	65	1440	56	1380	54
700-450	50	2	100	4	320	13	180	7
450-220	50	2	40	2	80	3	40	2
220-13	40	2	80	3	80	3	40	2
13-8	60	2	40	2	40	2	10	0,4
8-5	20	1	80	3	20	0,8	70	2,7
5-3	30	1	20	0,8	60	2,3	40	2
3-2	50	2	20	0,8	40	2	40	2
<2	500	19,5	520	20	480	19	760	29,6
Toplam	2560	100	2560	100	2560	100	2560	100



(a)



(b)

Şekil 4.2 Farklı sürelerde US uygulaması sonrası atıksuyun PBD sonuçları: (a) Kümülatif KOİ Dağılımı, (b) Diferansiyel KOİ Dağılımı

Ham atıksuyun ultrases önişlemine tabii tutulmadan önce 2 nm'nin altındaki KOİ değeri 500 mg/L'dir. Artan sürelerde ultrases önişlemine tabii tutulduğunda ise 2 dk'da 520 mg/L, 4 dk'da 480 mg/L, 8 dk 760 mg/L olduğu görölmüştür. Böylece çözünmüş olarak kabuledilebilecek boyuttaki organik partiküller 8 dakikalık US uygulamasıyla %52 oranında artarken, toplam KOİ içerisindeki oranının da %19.5'ten %29.7'ye yükseldiği deneysel verilerle ortaya konulmuştur. Dulkadiroğlu (2017), kentsel atıksu örneği üzerinde yaptığı benzer çalışmada 2 nm'den düşük boyuttaki KOİ oranının 8 dk US uygulaması ile %12.2'ten %20.6'ya yükseldiğini belirtmiştir[6]. Artış oranları kıyaslandığında, yakın oldukları söylenebilir. 700 nm'nin üzerindeki partiküllerin oranının ise %69'dan %54'e düştüğü görölmektedir. Büyük partiküllerin %15 oranında indirgendiği ve bunun yaklaşık %10'unun 2 nm'nin altına, %5'inin de diğer boyutlara dağıldığı, bu nedenle de ara boyutlarda belirgin değişim ve eğilimlerin görölemediği söylenebilir. Buna bağlı olarak US işleminin partikül boyutlarını kademeli olarak düşürmediği, doğrudan parçalayarak çözünmüş hale getirdiği düşünölmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada atıksuların biyolojik arıtımında önemli bir faktör olan partiküler organik maddelerin ultrases önişlemi ile boyutlarının indirgenmesi/çözünürleştirilmesi ve uygulanan işlemin etkinliğinin PBD analizi ile belirlenmesi amaçlanmış ve süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuyu üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Biyolojik ayrışma hızı organik maddelerin yapısı ve biyolojik ayrışabilirliğine olduğu kadar, boyutuna da bağlıdır. Çözünmüş veya daha basit moleküler yapıya sahip organik maddeler doğrudan hücre duvarından geçerek bakteriler tarafından kullanılabilirken, daha kompleks veya büyük boyutlu olanların, öncesinde hücre dışı enzimlerle parçalanarak olarak hücre duvarından geçebilebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Hidroliz adı verilen bu aşama ise biyolojik arıtmada en yavaş ilerleyen proses olup arıtmada hız sınırlayıcıdır ve biyolojik arıtmanın kapasitesini arttırmaktadır. Gerek ilk yatırım, gerekse işletme maliyetlerine yansıyan bu durumun iyileştirilebilmesi için atıksuya kısa süreli ultrases uygulanması ve böylece organik partiküllerin hidrolizden daha hızlı bir şekilde parçalanması hedeflenmiştir. Önişlemin etkinliği ise PBD analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında süt ve süt ürünleri üreten bir işletmeden alınan ham atıksu örneği kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar 2, 4, ve 8 dk sürelerle 0.25 W/mL spesifik güç ile uygulanan ultrases önişlemi sonucunda PBD'nin değiştiğini, organik partiküllerin boyutunun indirgenmesini ve çözünmüş (< 2 nm) KOİ'nin arttığını ortaya koymuştur.

Çalışma, ultrasesin uygulanan süre aralığında organik partiküllerin boyutunun indirgenmesinde etkili olduğunu ve PBD analizi ile bu etkinin izlenebildiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla PBD analizinin biyolojik arıtma öncesi ultrases önişleminin uygulanması ve optimizasyonunda, biyolojik arıtılabilirliği ölçüp izlemekten daha pratik bir yöntem olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Bu anlamda, seçilen süt endüstrisi atıksuyunun da yüksek partiküler organik madde içeriğiyle çalışmanın sonuçlarını net şekilde yansıtması nedeniyle doğru bir seçim olduğu görülmüştür.

Sonraki çalışmalarda, ultrases nişlemi uygulanan örneklerde PBD sonuçlarının biyolojik arıtılabilirlik çalışmaları ile desteklenmesi faydalı olacaktır.

Bunun yanında farklı atıksu türleri üzerinde ve daha geniş bir işlem süresi aralığında çalışmalar zenginleştirilebilir.

Detaylı bir maliyet analizi ile ultrases önişleminin uygulanabilirliği değerlendirilebilir ve ilk yatırım ve işletme maliyetleri hidrolizi kapsayan bir tesis ile karşılaştırılabilir.



KAYNAKÇA

1. Çelik, A.,“Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtma Alternatifleri”, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*,Tekirdağ, 2011.
2. Sabuncu,M.E.,“Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuların Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Arıtımında RSM Kullanılarak Proses Optimizasyonu”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2014.
3. Porwal, H.J., Mane, A.V., Velhal, S.G., “Biodegration of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge”, *Water Resources and Industry*, 9,1-15.doi:10.1016/j.wri.2014.11.002, 2015.
4. Ahmad, T., Adil, R.M., Ahmed, H., Rahman, U., Soares, B.C.V., Souza, S.L.Q., Pimentel, T.C., Scudino, H., Guimarães, J.T., Esmerino, E.A., Freitas, M.Q., Almada, R.B., Vendramel, S.M.R., Silva, M.C., Cruz, A.G.,“Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review”, *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361-372. doi: 10.1016/j.tifs.2019.04.003, 2019.
5. Çelik, T.,“Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Membran Prosesler İle Geri Kazanımı”*Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans*, 2017.
6. Dulkadiroğlu H.,“Atıksularda Ultrases Önişleminin Partikül Boyut Dağılımına Etkisi” Bilimsel Araştırma Sonuç Raporu, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, NEÜBAP16F29*, 2017.
7. Kılıç, A.,“Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Ardışık Kesikli Reaktör (SBR)’de Hareketli Biofilm Uygulaması”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*,Konya, 2006.
8. Hepşen, R.,“Süt Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanımı ve Deneysel Tasarım Uygulaması”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2010.
9. Chandan, R.C., *Dairy-Based Ingredients*, Eagan Press, Minnesota, 1997.
10. Ekdal, A.,“Süt Ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği”, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,YüksekLisans Tezi*, İstanbul, s. 15,8-11, 2000.
11. Chandan, R.C., Kilara, A. ve Shah, N., *Dairy Processing and Quality Assurance*, First Edition, Wiley-Blackwell, Massachusetts, 2008.

12. Britz, T.J. ve Robinson, R.K., *Advanced Dairy Science and Technology*, First Edition, Wiley-Blackwell, Oxford 2008.
13. European Commission, *Integrated pollution prevention and control, reference document on best available techniques in the, food, drink and milk industries*, IPPC, BREF, Spain, Europa, s.79-89, 185-194, 455-456, 2006.
(eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/fdm_bref_0806.pdf, 2017)
14. İzmirlioğlu, A., *Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, Gıda Sanayi ÖİK Raporu Süt ve Süt Ürünleri Sanayi Alt Komisyon Raporu*, DPT ISBN 975-19-2887-7, Ankara, Türkiye, 2001.
15. Koyuncu, M., Tunçtürk Y., “Sütçülük Atık Sularının Arıtılma Gereksinimi”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences* 19 (1-2):88-93, 2014.
16. Akkoyun, E., “Süt Endüstrisi Atıksu Arıtma Tesisinin Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi”, *İTÜ Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2020.
17. Tünay, O., “Endüstriyel Kirlenme Kontrolü”, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul 1996.
18. Pala, A. ve Sponza D., “Bir Süt Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtma Sisteminin İncelenmesi”, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 4(3):119-125 1994.
19. Khojare, A.S, Kadu, A. B., Wasnik, P.G., Patil, M.R.,” Adaptability of membrans for Dairy Waste Water Managent”, *Asian Exp. Sci*, Vol. 19, no. 2, 105-112, 2005.
20. Başkaran K, Palmowski L.M. ve Watson B.M. “Wastewater reuse and treatment options for the dairy industry”, *Water Science and Technology*, 3: 85–91, 2000.
21. Danalewich, J.R., Papagiannis, T.G., Belyea, R.L., Tumbleson, M.E. ve Raskin, L., “Characterization of Dairy Waste Streams, Current Treatment Practices and Potential for Biological Nutrient Removal”, *Water Research*, 32:3555-3568, 1998.
22. İpar, A., Saatcioğlu, T., “Süt Endüstrisi Atıksu Kaynakları Ve Arıtım Yöntemleri”, *Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi*, Eskişehir, 2005.
23. Karakaş, A., “Model Süt Endüstrisi Atıksuyunun Elektrokimyasal Yöntemlerle Arıtılması”, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir, 2013.

24. Blanc F., Navia R., "Treatment Of Dairy Wastewater By Checimal Coagulation", *Proceedings of the 45th Industrial Waste Conference, Purdue University, USA*, 681-689, 1990.
25. Hamoda MF., Al-Awadi SM., "Improvement Of Effluent Quality For Reuse İn A Farm", *Water Science and Technology*, 33: 79-85.
26. Sarkar B., Chakrabarti PP., Vijaykumar A. ve Kale V., "Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse", *Desalination*, 195: 141-152, 2005.
27. Yasar, A., Ahmad, N., Chaudhry, M.N., Rehman, M.S.U, Khan, A.A.A., "Ozone for color and COD removal of raw and anaerobically biotreated combined industrial wastewater", *Polish J. of Environ. Stud.* 16 (2), 289–294, 2007.
28. Banu JR., Anandan S., Kaliappan S. ve Yeom IT., "Treatment of dairy wastewater using anaerobic and solar photocatalytic methods", *Solar Energy*, 82: 812-819, 2008.
29. Juan J. Garcia-Mesa, Josê M. Poyatos, Fernando Delgado-Romas, Maria M. Munio, Francisno Osorio, Ernesto Hontoria, "Parçacık Büyüklüğü Dağılımına Göre Gerçek Biyofilm Atıksu Arıtma Sistemlerinde Su Kalitesi Karakterizasyonu" *Biyolojik Kaynak Teknolojisi cilt 101, sayı 21, sayfa 8038-8045*, Kasım 2010.
30. Doğruel S., Altun A., "Tekstil Endüstrisi Atıksularında Danecik Boyut Dağılımı Temelli KOİ, TOK Ve Renk Profilleri Üzerine Biyolojik Arıtmanın Etkisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2016.
31. Bouwer E.J., "Biyofilm Sistemlerinde Partikül Birikiminin Teorik Olarak İncelenmesi", *Su Arş. , 21 (12), s. 1489 – 1498*, 1987.
32. Marquet, R., Mietton-Peuchot, M., Wheatly A.D., "Damlama Filresinin Partikül Büyüklüğü Dağılımı Ve Yüksek Performans Büyüklüğü Dışlama Kromatografisi İle Karakterize Edilmesi"
33. Levine, A. D., Tchobanogles, G., Asano, T., "Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater treatment and reuse implications", *J. Water Pollut. Control Fed.*, 57(7), 805-816, 1985.
34. Konuk M., "Kimyasal Arıtma İşlemi Görmüş Evsel Atıksuların Membran Proseslerle Arıtmaya Uygunluğunun İncelenmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2014.

35. Levine, A. D., Tchobanoglous, G., Asano, T., "Size distributions of particulate contaminants wastewater and their impact on treatability", *Water Research*, 25, 911-922, 1991.
36. Yılmaz, E., "Maya Endüstrisi Atıksuyunun Ses Ötesi Dalgalarla Arıtılması" *Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Çorum, 2014.
37. Büyüktanır, A., *Ultras (ultrasound)*. Gazi Üniversitesi, 2010.
38. Esmer H. E., Kaymak G., Tartar Ş., Kayhan F. E., "Su Arıtımında Ultras Uygulaması: Arıtma Yöntemlerine Farklı Bir Yaklaşım" *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1), 84-110, 2016 .
39. Yarmuhammet, G., "Tekstil Atıksularının Membran Prosesleri İle Geri Kazanımında Ön Arıtmanın Etkisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2012.
40. Mason, T.J., "Developments in ultrasound-non-medical", *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93, 166-175, 2007.
41. Yakut, M.Ş., "Çevre Mühendisliğinde Su Arıtımında Ultras Uygulamaları", Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1) 73-81, 2019.
42. Vajnhandl S., Le Marechal A. M., "Ultrasound in textile dyeing and the decolouration/mineralization of textile dyes" *Dyes and Pigments*, 65(2), 89-101, 2005.
43. Gogate, P. R., Pandit, A. B., "A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods." *Advances in Environmental Research*, 8 (3-4), 553-597, 2014.
44. İleri, B., "Ultras Prosesi ile Modifiye Edilen Uçucu Kül Kullanılarak Metil Kırmızısı Boyasının Adsorpsiyon Prosesi ile Giderimi" *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21 (61), 25-40, 2019.
45. Sophonsiri, C., and Morgenroth, E., "Chemical composition associated with different particle size fractions in municipal, industrial, and agricultural wastewaters", *Chemosphere*, 55(5), 691-703, 2004.
46. Dülekürgen, E., Doğruel, S. ve Orhon, D., "Effect of chemical and biological treatment on COD fingerprints of textile wastewaters", *Water Science and Technology*, 55, 277-287, 2007.

47. Doğruel, S., Ölmez-Hancı, T., Kartal, Z., Arslan-Alaton, İ. ve Orhon, D., “Effect of Fenton’s oxidation on the particle size distribution of organic carbon in olive oil mill wastewater”, *Water Research*, 43, 3874-3983, 2009.
48. Ölmez T., Dülekürge E., Arslan-Alaton İ., Orhon D., “Zeytinyağı Karasularında Organik Karbon Giderimi Ve Danecik Boyut Dağılımı Bazlı Organik Madde Profili Üzerine Kimyasal Arıtmanın Etkisi” *İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu* 11-13 Haziran 2008.
49. Tiehm, A., Nickel, K., Neis, U., “The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludges”, *Water Science and Technology*, 36 (11), 121-128, 1997.
50. Chiu, Y.-C., Chang, C.-N., Lin J.-G., Huang S.-J., “Alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before anaerobic digestion”, *Water Sci. Technol.*, 36 (11), 155–162, 1997.
51. Yagci N., Akpınar I., “The investigation and assessment of characteristics of waste activated sludge after ultrasound pretreatment”, *Environmental Technology*, 32:2, 221-230, 2011.
52. Sangave, P.C., Pandit, A.B., “Ultrasound pre-treatment for enhanced biodegradability of the distillery wastewater”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 11, 197-203, 2004.
53. Sangave, P.C., Pandit, A.B., “Ultrasound and enzyme assisted biodegradation of distillery wastewater”, *Journal of Environmental Management*, 80, 36-46, 2006.
54. An, T., Gu, H., Xiong, Y., Chen, W., Zhu, X., Sheng, G., Fu, J., Decolorization and COD removal from reactive dye-containing wastewater using sonophotocatalytic technology, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 78, 1142–1148, DOI: 10.1002/jctb.915, 2003.
55. Şayan, E., “Optimization and modeling of decolorization and COD reduction of reactive dye solutions by ultrasound-assisted adsorption”, *Chemical Engineering Journal*, 119(2-3), 175-181, 2006.
56. Filibeli, Ayşe, Erden, Gulbin and Gunduz, Cimen “Ultrasonic Pre-Treatment Of Wastewater Sludge From A Meat Processing Industry”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2018, v. 35, n. 3, pp. 909-918. ISSN 1678-4383. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20180353s20170156>.

57. Yarimtepe, C. C., & Oz, N. A., “Enhanced biogas production from landfill leachate by low frequency ultrasound”, *WIT Transactions on The Built Environment*, 168, 225-234, 2015.
58. Altun, Atalay. *Tekstil Endüstrisi Atıksularında Danecik Boyut Dağılımı Temelli Koi, Tok Ve Renk Profilleri Üzerine Biyolojik Aritmanın Etkisi*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
59. Koroglu, S., Zengin, G. E., Yagci, N., Artan, N., “COD fractionation and denitrification potential of sonicated waste activated sludge liquids”, *Environmental Technology*, 33, (13), 1505-1510, DOI: 10.1080/09593330.2011.650226, 2012.
60. Turan M., Influence of filtration conditions on the performance of nanofiltration and reverse osmosis membranes in dairy wastewater treatment. *Desalination*, 170: 83-90, 2004.
61. Tanık A., Ateş-Genceli E. ve Ekdal A., “Chemical treatability of dairy wastewater.” *Environmental Management and Health*, 13: 163-174, 2002.