



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜT VE SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ  
MEMBRAN PROSESLER İLE GERİ KAZANIMI

TUĞBA ÇELİK

Aralık 2017



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜT VE SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ  
MEMBRAN PROSESLER İLE GERİ KAZANIMI

TUĞBA ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Fehiman ÇİNER

Aralık 2017

**Tuğba ÇELİK** tarafından **Prof. Dr. Fehiman Çiner** ve **Doç. Dr. Niğmet Uzal** danışmanlıklarında hazırlanan “SÜT VE SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLER İLE GERİ KAZANIMI” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Fehiman ÇİNER Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK İstanbul Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Niğmet UZAL Abdullah Gül Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK Erciyes Üniversitesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Öznur Begüm GÖKÇEK Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .... / .... / 20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun .... / .... / 20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

..... / ..... / 20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR V.**

## TEZ BİLDİRİMİ

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

Tuğba ÇELİK



## ÖZET

### SÜT VE SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ MEMBRAN PROSESLER İLE GERİ KAZANIMI

ÇELİK, Tuğba

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman :Prof. Dr. Fehiman Çiner

İkinci Danışman :Doç. Dr. Niğmet Uzal

Aralık 2017, 90 sayfa

Bu tezde, süt ve süt ürünleri üreten bir fabrikanın atıksuyunda ve peyniraltı suyunda (PAS) membran prosesler ile geri kazanım araştırılmıştır. Deneysel çalışması iki aşamalı olarak tasarlanmıştır. Membran deneyleri ticari ultrafiltrasyon (UF) membranlar SEPA CF 50.000Da, SEPA PES 20.000Da ve SEPA PES 10.000Da kullanılarak kesikli filtrasyon sisteminde, manyetik karıştırıcı 170rpm'de, 2-3bar basınçta gerçekleştirilmiştir. Her iki örnek için UF membranlarla arıtma yapılmadan önce; 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtre ile vakum filtrasyon sistemiyle ön arıtım işlemi uygulanmıştır. Atıksu ve peyniraltı suyu örneklerinde membran filtrasyon öncesi ve sonrası KOİ, iletkenlik, pH parametreleri incelenmiş olup aynı zamanda membranlarda akı takibi yapılmıştır. Peyniraltı suyu örneği ile yapılmış çalışmanın sonunda elde edilen akı verilerinin, atıksu örneği ile yapılmış çalışmanın sonunda elde edilen akı verilerine göre daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür. Akının düşük çıkması membran yüzeyinde oluşan kirlenmenin daha hızlı gerçekleştiğini göstermiştir. Süt ve süt endüstri ürünlerinin, peyniraltı suyu ve atıksu karakteristiğinde yüksek KOİ, yoğun yağ tabakası ve düşük pH değerlerinin arıtmada ve geri kazanımda hedeflenmiş olan yüksek verimliliğin sağlanmasında diğer membran alternatiflerinde değerlendirilmesi ile daha iyi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

*Anahtar Sözcükler:* Kesikli filtrasyon, süt ürünleri atıksuyu, geri kazanım, koi, ultrafiltrasyon (uf)

## SUMMARY

### RECOVERY OF MILK AND DAIRY WASTEWATERS WITH MEMBRANE PROCESSES

ÇELİK, Tuğba

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor :Prof. Dr. Fehiman ÇİNER

Co-Advisor :Assoc. Prof. Dr. Niğmet UZAL

December 2017, 90 page

In this thesis, recovery of membrane and processes in a wastewater and whey (PAS) of a factory that produces milk and dairy products was investigated. The experiment is designed in two stages. Membrane experiments were performed in dead end filtration system using commercial ultrafiltration(UF) membranes SEPA CF 50.000Da, SEPA PES 20.000Da and SEPA PES 10.000Da magnetic stirrer at 170 rpm, 2-3 bar pressure. Before treatment with UF membranes for both samples Pre-treatment was applied with vacuum filtration system with 0.45 µm membrane and 1.2 µm filter. In wastewater and whey samples, before and after membrane filtration, COD, conductivity and pH parameters were investigated and at the same time flux was observed in membranes. It was observed that the flux data obtained at the end of the study with the sample of the whey gave lower results than the flow data obtained at the end of the study with the wastewater sample. The flux low indicates that contamination on the membrane surface occurs faster. Milk and dairy industry products will provide better results when assessing the quality of whey and wastewater by evaluating high COD, dense oil layer and low pH values in other membrane alternatives to achieve high productivity in purification and recovery.

*Keywords:* Dead end filtration, dairy wastewater, recovery, cod, ultrafiltration (uf)

## ÖN SÖZ

Günümüzde endüstriyel kalkınma kavramı, üretim sürecine dahil tüm girdilerin etkin kullanılması ve azami ölçüde ürün üretimi, asgari ölçüde çevresel etki oluşumunu sağlamaktır. Dünya çapında hızla gelişen sektörler arasında süt ve süt ürünleri üretim ve tüketimini destekleyen ürün çeşitliliği ve ticaret hacminin artışı dikkati çeken bulgular arasındadır. Bu nedenle endüstrilerde çok farklı amaçlı su tüketimi gerçekleşmektedir. Endüstri proseslerinde su tüketimi en çok gıda ürünü üretiminde proses suyu ve temizlemede kullanılmaktadır. Diğer gıda işleme tesislerinde olduğu gibi, süt ve süt ürünleri endüstri tesislerinde çevresel etkileri arasında yüksek su tüketimi ve yüksek organik madde içeren atıksu oluşumu yer almıştır.

Değişen dünya koşullarından kaynaklı, verimli su tüketiminin sağlanması ve endüstriyel üretimlerde proses atıksularının geri kazanımında hedeflenen daha az su tüketiminde membran proses çalışmaları ve uygulamaları artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ve üretim yapan tesisten çıkan atıksuyun yeniden prosesler içinde kullanımını sağlamak için membran arıtım tekniklerinden faydalanılmıştır.

Bu tez çalışmasında SEPA CF Ultrafilic 50.000Da, SEPA PES 20.000Da ve SEPA PES 10.000Da ultrafiltrasyon ticari membranlarla süt ve süt endüstrisi atıksuyu ve peyniraltı suyunun SEPA CF sistemi ile geri kazanımı araştırılmıştır.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi, tecrübe ve zamanını benimle paylaşan değerli danışman hocalarım, Sayın Prof. Dr. Fehiman ÇİNER ve Sayın Doç. Dr. Niğmet UZAL'a en içten şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezimi, çalışmam süresince ve bu aşamalara gelmemde büyük katkısı olan değerli babam Mükremin ÇELİK, annem Havva ÇELİK'e ithaf ediyorum ve bu tezin oluşmasında en küçük dahi katkısı olan herkese en içten dileklerle teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II KURUMSAL BİLGİ .....	3
2.1 Süt ve Süt Endüstrisi .....	3
2.2 Süt ve Süt Endüstri Sektörünün Türkiye'deki Durumu .....	5
2.3 Süt ve Süt Endüstrisinde Temel Uygulamalar .....	7
2.3.1 Isıtma .....	8
2.3.2 Klarifikasyon .....	8
2.3.3 Seperasyon .....	8
2.3.4 Hava giderme .....	8
2.3.5 Pastörizasyon .....	8
2.3.6 Homojenizasyon .....	9
2.3.7 Standardizasyon .....	9
2.4 Süt ve Süt Endüstri Ürünlerinin Üretimi .....	9
2.4.1 Çiğ sütün toplanması .....	9
2.4.2 Pastörize süt üretimi .....	10
2.4.3 UHT süt üretimi .....	11

2.4.4 Sterilize süt retimi .....	12
2.4.5 Peynir retimi.....	13
2.4.6 Beyaz peynir retimi .....	15
2.4.7 Kaşar peynir retimi.....	16
2.4.8 Yoğurt retimi .....	17
2.4.9 Ayran retimi .....	19
2.4.10 Krema retimi .....	20
2.4.11 Yağ retimi.....	21
2.5 Süt ve Süt Endüstrisinde Atıksu ve Atık Kaynakları.....	22
2.5.1 Peyniraltı suyu (PAS) ve karakterizasyonu.....	25
2.5.2 Süt ve süt endüstrisi proses atıksuları .....	28
2.6 Süt ve Süt Endüstrisinde Kirlilik nleme.....	29
2.7 Endüstriyel Atıksu Arıtma Teknikleri ve Genel zellikleri.....	30
2.7.1 Birincil arıtma .....	31
2.7.2 İkincil arıtma .....	31
2.7.3 Üçüncül (İleri) arıtma.....	32
2.8 Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtılması ve Uygulanan Teknikler.....	32
2.8.1 Fiziksel yöntemler .....	33
2.8.2 Kimyasal arıtma yöntemi .....	33
2.8.3 Biyolojik arıtma yöntemi .....	34
2.8.4 Elektrokoagülasyon.....	36
2.9 Membran Prosesler .....	37
2.9.1 Membran proseslerin tarihsel süreci ve gelişimi.....	37
2.9.2 Membran tanımı ve uygulama alanları .....	41
2.9.3 Membranlarda akım şekilleri (filtrasyon) .....	43
2.9.4 Membran proseslerin tıkanması .....	44

2.9.5	Membran seçiminde etkili faktörler .....	45
2.9.6	Membranların yapısı ve sınıflandırılması .....	46
2.9.6.1	Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma .....	47
2.9.6.2	Geometrilerine göre sınıflandırma .....	47
2.9.6.3	Morfolojilerine göre sınıflandırma .....	49
2.9.6.4	Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma .....	50
2.9.6.5	Basınç kuvvetiyle yürütülen membran prosesler .....	50
2.9.6.6	Elektrik gücüyle (elektrodiyaliz) çalışan membran prosesler .....	53
2.10	Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuyu Arıtımında Membran Proseslerin Uygulanmasına Dair Yapılan Çalışmalar .....	53
<b>BÖLÜM III DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>		<b>61</b>
3.1	Deney Çalışmasında Kullanılan Malzemeler .....	61
3.1.1	Kimyasallar .....	61
3.1.2	Membranlar .....	62
3.1.3	Cihaz ve araçlar .....	62
3.2	Deney Analizler .....	63
3.2.1	pH .....	63
3.2.2	İletkenlik .....	63
3.2.3	Askıda katı madde .....	63
3.2.4	Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) .....	63
3.2.5	Yağ analizi .....	63
3.3	Deney Çalışmasında Uygulanan Metotlar .....	64
3.4	Deney Tasarımının Periyodik Uygulamaları .....	66
3.4.1	Peyniraltı suyu numunesine uygulanan 1. deney çalışması .....	66
3.4.2	Atıksu numunesine uygulanan 2. deney çalışması .....	68

BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA .....	70
4.1 Süt ve Süt Ürünleri Üretim Tesisi Peyniraltı Suyu ve Atıksu Karakterizasyonu .....	70
4.1.1 Peyniraltı suyu karakterizasyonu .....	70
4.1.2 Atıksu karakterizasyonu .....	72
4.2 Denev Çalışmasında Kullanılan Hesaplamalar .....	76
4.3 Peyniraltı Suyu İçin Akı Hesaplamaları .....	77
4.4 Atıksu İçin Akı Hesaplamaları .....	78
4.5 UF Membranlarda Tıkanma .....	79
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	83
KAYNAKLAR .....	86
ÖZ GEÇMİŞ .....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Süt ve süt ürünleri alıcı ortama deşarj standartları .....	23
Çizelge 2.2. Membranın tarihsel gelişimi .....	41
Çizelge 2.3. Membranların genel özellikleri .....	51
Çizelge 3.1. SEPA CF deney sisteminde kullanılan membranların özellikleri .....	62
Çizelge 4.1. Peyniraltı suyu karakterizasyonu (ön arıtım 0,45 µm ) .....	71
Çizelge 4.2. Peyniraltı suyu karakterizasyonu (ön arıtım 1,2 µm) .....	72
Çizelge 4.3. Atıksu karakterizasyonu (ön arıtım 0,45 µm ).....	73
Çizelge 4.4. Atıksu karakterizasyonu (ön arıtım 1,2 µm).....	73
Çizelge 4.5. Peyniraltı suyu akı sonuçları (ön arıtım 0,45 µm ).....	78
Çizelge 4.6. Peyniraltı suyu akı sonuçları (ön arıtım 1,2 µm).....	78
Çizelge 4.7. Atıksu akı sonuçları (ön arıtım 0,45 µm ).....	79
Çizelge 4.8. Atıksu akı sonuçları (ön arıtım 1,2 µm).....	79
Çizelge 4.9. Akılardaki azalış formülü .....	79
Çizelge 4.10. Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm ).....	80
Çizelge 4.11. Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm ).....	80
Çizelge 4.12. Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm).....	81
Çizelge 4.13. Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm).....	81
Çizelge 4.14. Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm ).....	81
Çizelge 4.15. Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm ).....	82
Çizelge 4.16. Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm).....	82
Çizelge 4.17. Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm).....	82

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Pastörize süt üretimi .....	11
Şekil 2.2. UHT süt üretimi.....	12
Şekil 2.3. Steril süt üretimi .....	13
Şekil 2.4. Peynir üretimi .....	14
Şekil 2.5. Beyaz peynir üretimi .....	15
Şekil 2.6. Kaşar peynir üretimi .....	16
Şekil 2.7. Yoğurt üretimi .....	18
Şekil 2.8. Ayran üretimi.....	19
Şekil 2.9. Krema üretimi.....	20
Şekil 2.10. Yağ üretimi.....	21
Şekil 2.11. Basınç kuvvetiyle oluşan akım şekilleri .....	44
Şekil 3.1. Vakum filtrasyon sistemi (Ön Arıtım).....	65
Şekil 3.2. SEPA CF deney sistemi.....	65
Şekil 3.3. Peyniraltı suyu filtrasyon akım şeması .....	67
Şekil 3.4. Atıksu filtrasyon akım şeması .....	69
Şekil 4.1. Peyniraltı suyu (ön arıtım 0,45 µm) için KOİ grafiği.....	71
Şekil 4.2. Peyniraltı suyu (ön arıtım 1,2 µm) için KOİ grafiği.....	72

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
%	Yüzde
<	Küçük
>	Büyük
$\mu\text{S/cm}$	Milisimens/santimetre
bar	Basınç
$^{\circ}\text{C}$	Santigratderece
Da	Dalton
dk	Dakika
$\text{kg/m}^{-3}$	Organik yük birimi
kPa	Kilopascal
$\text{L/m}^2 \cdot \text{st}$	Akı (Birim alanının birim zamanda geçirdiği hacim)
mg/l	Miligram /litre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Pa	Pascal
sn	Saniye
$\mu$	Mikron
$\mu\text{m}$	Nanometre

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AKM	Askıda Katı Madde
Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Alimünyum 3 Sülfat
CF	Ultrafilic
FeCl <sub>3</sub>	Demir 3 Klorür
FeSO <sub>4</sub>	Demir Sülfat
HTST yöntemi	Yüksek Derecede Kısa Süreli Pastörizasyon
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LTLT yöntemi	Düşük Derecede Uzun Süreli Pastörizasyon
mA/cm <sup>2</sup>	Akım Yoğunluğu Birimi
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
MF	Mikrofiltrasyon
MWCO	Molecular Weight Cut Off-Ayırma Sınırı
NF	Nanofiltrasyon
PAS	Peyniraltı Suyu
PES	Polyethersulfone
Ph	Power of Hydrogen
RO	Reverse Osmoz
rpm	Dakikada Karıştırma Hızı
SEPA CF	Membrane Hücre Sistemi
TMP	Trans Membran Basıncı
UF	Ultrafiltrasyon
UHT	Ultra-High Temperature
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit



# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Süt, organizmanın gelişebilmesi ve yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan besin maddesi olup insanlar içinde önemli besin maddesi olma özelliğini korumuştur. Süt proteinleri, bileşiminde önemli amino asitlerin tümünü içerdiği için yüksek biyolojik değere sahiptir. Sütün yapısı tuz ve süt şekerinden oluşur, içerisindeki kazein, albümin kolloidal olarak yağ ise emülsiyon halde bulunup akışkan beyaz bir sıvıdır. İnek sütünün %87'sinin su, %4'ü yağ, %5'i karbonhidrat (laktoz), %3,3'ünün protein ile %0,7'sini organik ve inorganik maddeler ve geriye kalan kısmını vitaminler ve enzimler oluşturmaktadır. Süt proteinleri; kazein, albümin ve globülin kanda bulunan amino asitler tarafından oluşturulur. Bunlar;  $\alpha_{s1}, \alpha_{s2}, \beta, \gamma$  kazeinleri ile  $\alpha$ -Lactalbumin,  $\beta$ -Lactoglobulin gibi protein maddeleridir (Clark vd., 2014).

Süt tek başına değerli bir içecek olmasının yanı sıra çeşitli şekillerde işlenerek farklı tat ve görünümde ürünler elde edilmiştir. Süt ürünleri olarak adlandırdığımız bu grubu peynir, yoğurt, dondurma, krema ve tereyağı oluşturmaktadır. Buna göre süttten elde edilen süt ürünlerinin birinci grubunu çiğ süttten elde edilen içme sütü oluşturmaktadır. Yoğurt ve ayran ikinci, peynirler (beyaz peynir, kaşar peyniri, çökelek, lor ve diğerleri) ise üçüncü alt gruptur. Sütün cinsine, kalitesine, katkı maddelerine ve yöresel özelliklere göre peynirler çok çeşitlilik göstermiştir (Önen, 1999).

Süt ve süt ürünleri işleyen işletmelerden kaynaklanan atıklara baktığımızda en önemli atık kaynağı olarak atıksu ortaya çıkmaktadır. Sektörde oluşan atıksu hacminin %60-98'ini de soğutma ve proses suları teşkil etmektedir.

Endüstriyel atıksular, genellikle bir tesisten diğerine kullanılan üretim yöntemlerine göre atıksu karakterizasyonu açısından farklılık göstermiştir ki bu durum süt ve süt ürünleri üretim tesislerinde de geçerlidir. Bunun yanı sıra, süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu üretilen ürünün üretim prosesine bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Süt ve süt ürünlerinin üretildiği tesislerde asıl kirlilik kaynağı emülsiyon halindeki yağ ve süt atıklarını içeren atıksulardır. Yıkama işlemlerinden gelen tüm atıklar kimyasal maddeleri de (asitler, bazlar ve deterjanlar gibi)

içermektedir. Süt atıksuyunda, nütrientler (azot, fosfor ve potasyum) ve organik madde (yağ, çözülmüş laktik asit vb.) her zaman yüksektir. Süt işletmesinden çıkan atıksular, yüksek konsantrasyonlarda çözülmüş tuzlara (toplam çözülmüş katı madde) sahiptir.

Süt endüstrisi atıksuları, genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılarak arıtılmaktadır. Atıksular yüksek miktarda organik madde içermesi nedeniyle uygulanan teknolojilerin büyük bir kısmı biyolojik arıtma esasına dayanmaktadır. Ancak biyolojik prosesler bu atıksuların yeniden kullanımına olanak vermediğinden günümüzde çok büyük önem kazanan yeniden kullanım alternatifi oluşturacak arıtım metotlarının tercihi söz konusu olmuştur. Bu kapsamda membranprosesler ile bu atıksuların arıtılması ve hem atıksuyun hem de atıksu içinde bulunan protein ve laktoz gibi kıymetli sayılan ürünlerin geri kazanımı mümkün olmuştur.

Bu çalışmanın amacı, Niğde ilinde faaliyet gösteren bir süt ve süt ürünleri üretim tesisinde oluşan atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı için membran proseslerin performansının değerlendirilmesidir. Deneysel çalışmalara başlamadan önce, süt endüstrisinden gelen ham atıksuyu ve ham peyniraltı suyunun KOİ, İletkenlik, pH ve AKM parametre değerlerine bakılmıştır. Peyniraltı suyu ve atıksu numuneleri için vakum filtrasyonu ve kesikli filtrasyon sistemleri kullanılarak arıtma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. SEPA CF Ultrafilic UF 50.000Da ve SEPA PES UF (Polyethersulfone) 20.000Da, SEPA PES UF (Polyethersulfone) 10.000Da membranlar kesikli filtrasyon sisteminde kullanılmıştır. Kaba filtre kağıdı, 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtre ise ön arıtım uygulaması için vakum filtrasyonu sisteminde kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, süt ve süt ürünleri atıksuyu ve peyniraltı suyunun membran prosesleriyle geri kazanımı hedeflenmiş ve farklı boyutlardaki UF membranların etkilerine bakılmıştır. Literatüre bu özellikteki UF membranlarla yapılan çalışma sonucunda veri üretilmiştir.

## BÖLÜM II

### KURUMSAL BİLGİ

#### 2.1 Süt ve Süt Endüstrisi

Süt endüstrisinin ülkemizde uygulamalarına bakıldığında genellikle mandıra, kooperatif işletmeleri ve fabrikalarda uygulanan üretim ve sanitasyon yöntemlerinde teknolojik düzey hem birbirinden farklı olup hem de kendi içlerinde değişiklik göstermiştir. İşleyiş süt toplama merkezlerinden tankerler ile toplanıp getirilen çiğ sütlerin önce kalite kontrolden geçmesiyle başlamaktadır. Tesise işlenmeye gelen süt ya hacim olarak lt cinsinden ya da kg cinsinden kantar ve terazilerde tartılarak süt işleme ve üretim aşamalarına gönderilmektedir. Çiğ süt tesise kabul edilme aşamasında kalite sınıflarına ayrılmaktadır. Bu safha üretim planlamasının yapılabilmesi sütün hangi ürünlere işleneceğinin ve kaliteli hammadde üretiminin desteklenmesi açısından önemlidir. Bu aşamada sütün normal olması gereken tat, koku, renk ve görünüşünde bozulma varsa bu bozulmada ürün kalitesini olumsuz olarak etkiler. Bu sebepten; süt ürün üretim aşamalarında kullanılmaz. Daha sonra işletmeye gelen süttten numune alınarak yağ, kuru madde, asitlik, antibiyotik analizi yapılarak bunlara ilişkin miktarlar kaydedilmektedir. Süt ve süt ürünleri endüstrisi kapsamında temel bazı işlemler genellikle bütün üretimlerde uygulanmaktadır. Bu işlemler şu şekilde sıralanabilir; ısıtma, klarifikasyon, separasyon, hava giderme, pastörizasyon, homojenizasyon ve standardizasyon (Önen, 1999). Süt endüstrisinde üretilen ürünlerin prosesakım şemaları ve ürün imalat aşamaları aşağıda yer alan başlıklarda daha detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Sütün yoğunluğu 15 °C'de 1.034 gr /cm<sup>3</sup>'tür. İnek sütünün viskozitesi 15-20 °C'de 1,5-4,2N.s/m<sup>2</sup> arasında değişir. Suyun vizkozitesi "1" olarak kabul edilir. Isı derecesi yükseldikçe suyun vizkozitesi azalır. Sütün pH değeri zayıf olup 6.3-6.6 arasında değişir. Sütün ısıtılmasıyla pH değeri artmaktadır. Süt pH değerinin 4,9'a düşürülmesiyle pıhtılaşır. Laktoz ve inorganik maddelerin çoğu süt serumunda çözülmüş olarak bulunur. Protein kolloidal halde, yağ ise zerrecikler halinde dağılmıştır. Sütün tadı laktozdan dolayı hafif tatlımsıdır. Sütün içinde bulunan klor ve diğer çözülmüş gazlar sütün tadına etki etmektedir (Altunışık vd., 2002).

Bileşim değerleri farklılık göstermekle birlikte tüm süt türleri başlıca su, protein, laktoz, yağ, mineraller, vitaminler, enzimler ve diğer iz elementleri içermektedir. Sütü oluşturan bileşimler kısaca şunlardır:

### Süt proteinleri

Proteinler aminoasit zincirinden meydana gelmiş büyük moleküllerdir. Sütte bulunan yaklaşık 20 aminoasidin 8'i insan organizmasında sentezlenmemektedir. Metabolizma için gerekli olan bu amino asitlerin dışardan alınması gerekmektedir ve bu nedenle bunlara "esansiyel aminoasitler" denilmektedir. Süt, 100'den fazla protein çeşidi içermektedir. Bunların çoğunun süt içerisindeki miktarı oldukça azdır. Süt proteininin ana grubu ise kazein ve serum proteinleridir (MEB, 2013). Süt proteinleri %3 kazein, %0,05 laktoglobulin ve %0,05 laktalbuminden oluşur. Sütün bu protein fraksiyonları, erime özelliklerine göre birbirinden ayrılır. Ayrıca, ısıya dayanıklı serum proteinlerinden oluşan bir fraksiyonda (parça, kısım) proteozpeptondur (Altunışık vd., 2002).

### Kazein

Sütte en büyük protein fraksiyonunu oluşturur. Başta inek sütü olmak üzere geviş getirenlerin sütlerindeki kazein, tüm proteinlerin %80'ini oluşturmaktadır. Kazein sütte kalsiyum tuzu halinde bulunur ve bünyesinde %6 oranında kolloid halinde kalsiyum fosfat taşır. Süt serumu proteinleri; tüm süt proteinlerinin %20'sini oluşturur. Laktalbumin ve laktoglobulin fraksiyonlarından ibarettir (Altunışık vd., 2002).

### Serum Proteini

Kazein ayrıldıktan sonra kalan proteinlerdir.  $\alpha$ - laktalbumin ve  $\beta$ -laktoglobulin olmak üzere 2 fraksiyonu bulunmaktadır. Kazeine oranla daha fazla esansiyel aminoasit içerdiğinden beslenme fizyolojisi açısından daha değerlidir (MEB, 2013).

### Süt Yağı

Süt yağı, süt serumu içerisinde globül denilen ve çapları 0,1-20  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$ = 0,001 mm) arasında değişen damlacıklar şeklinde bulunmaktadır. Sütte %3-4 oranında yağ bulunur.

Süt yağı hafif olduğu için (15,5 °C’de yoğunluğu 0,93 g/cm<sup>3</sup>’tür) taze-yeni sağılmış sütte krema tabakası olarak üstte toplanmaktadır (MEB, 2013). Süt yağı süt plazması içerisinde yağ globülleri halinde dağılmış durumdadır. Süt yağı globülleri, çekirdek kısmı ile bunu saran zardan trigliseridlerden meydana gelen çekirdeğin etrafında radyal konumlu fosfolipid tabakası vardır. Ortalama 3 mikrondur. Yağda az miktarda A , D, E ve K vitaminleri de bulunmaktadır (Altunışık vd., 2002).

### Laktoz

Doğada sadece sütte bulunduğundan süt şekeri olarak da bilinir. Bir molekül galaktoz ve bir molekül glikozdan oluşmuş bir disakkarittir. Bünyesinde bulunan galaktoz beyin ve sinir dokularının oluşumunda rol oynamaktadır. Sütte gerçek çözelti halinde bulunan laktoz, ürüne ve işleme yöntemine bağlı olarak ürünlerde farklı miktarlarda bulunmaktadır. İyi bir enerji kaynağı olan laktoz özellikleri süt ve ürünlerinin üretimi açısından şu önemlere sahiptir: 1) Sütün besin değerine katkıda bulunmaktadır. 2) Ürünlerin asitlendirilmesinde bir giriş maddesi olarak kullanılmaktadır. Sütün daha az dayanmasına sebep olur. 3) Dayanıklı süt ürünlerinin, özellikle süttozlarının eriyebilirliğine etki etmektedir. 4) Yüksek ısı işlem uygulanan süt ürünlerinde renk ve tat değişimlerine neden olmaktadır (MEB, 2013).

### Sütün Karbonhidratları

Sütte %4-6 arasında değişen oranlarda laktoz bulunur. Sütte laktoz dışında eser miktarda glikoz, galaktoz ve diğer çeşitli şekerlerde mevcuttur. Sütte K,Na,Ca,Mg,Fe,P,S,Cl’de mineralleri ve A,D,E,F,K,Cl,B1,B2,B6 vitaminleride bulunmaktadır (Altunışık vd., 2002).

## **2.2 Süt ve Süt Endüstrisi Sektörünün Türkiye’deki Durumu**

Günümüzde kalkınma kavramı salt ekonomik büyüme dışında daha geniş bir perspektifte tanımlanmaktadır. İnsani gelişmişlik ölçütlerinin de daha yaygın şekilde kabul görmesi, üretim ve tüketim kalıplarını da değiştirmektedir. İnsani kalkınma, gıdaya erişim, sağlıklı beslenme gibi bağlamlarda kritik bir gösterge sayılabilecek süt ve süt ürünleri üretim ve tüketimi bu eğilimlere bağlı olarak hızla artmaktadır. Bu durum

süt ve süt ürünleri endüstrisini dünya çapında hızla gelişen sektörler arasında konumlandırmaktadır. Ürün çeşitliliği ve ticari açılardan bakıldığında talep edilen ürünlerin çeşitlendiği; ticaret hacminin arttığı ve arzın yarısına yakın bir bölümünün endüstriyel amaçlarla kullanıldığı sektördeki dikkati çeken bulgular arasında sayılabilir. Sektör profilini daha iyi anlamak adına ülkemizde süt ve süt ürünlerinin üretimine dair dikkati çeken noktaları kısaca aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür:

### Süt

- Ülkemizde çiğ süt üretimi sürekli artış halindedir. Türkiye süt ve süt ürünleri sektöründe net dış ticaret fazlası veren bir ülkedir.
- 2013 yılında ABD'nin lider olduğu çiğ inek sütü üretiminde Türkiye 9. sırada yer almaktadır. 2014 yılı için toplam 18,5 milyon tonluk bir süt üretimi söz konusudur. Bu miktarın yaklaşık %46'sı endüstriye aktarılmaktadır.
- Türkiye'de süt endüstrisinde içme sütünün yaklaşık %91'i inek sütünden elde edilmektedir. İçme sütü miktarının %85'ini UHT pastörize süt oluşturmaktadır.
- Türkiye'de Nisan 2016 itibari ile 2258 adet süt işleme tesisi, 5943 adet süt toplama merkezi olmak üzere toplam 8201 işletme faaliyet göstermektedir. Bu işletmelerin büyük çoğunluğu küçük ve orta ölçeklidir.
- Sanayiye giden sütün 2/3'ü 20 büyük ölçekli işletme tarafından toplanarak işlenmektedir.
- Süt üretiminin en yoğun olduğu illerimiz Konya, İzmir, Balıkesir, Erzurum, Kars ve Sivas'tır.
- 2013 verilerine göre Türkiye, dünyada büyükbaş hayvan varlığı ile 22. sırada, koyun varlığı ile 10. sırada, keçi varlığı ile ise 22. sırada yer almaktadır.
- Yine 2013 yılı için Türkiye dünyada, inek, manda, koyun ve keçi sütü üretiminde sırasıyla 9., 10., 2. ve 8. sırada yer almaktadır (Akbulut, 2016).

### Süt ürünleri

- 2013 yılı verilerine göre Türkiye peynir, süt tozu, krema, peynir altı suyu ve tereyağı, üretiminde dünyada sırasıyla 23., 21., 24., 22., ve 8., sırada yer almaktadır.

- Türkiye’de 2013 yılında kişi başı süt tüketimi 37,3 kg, peynir tüketimi 16,5 kg, yoğurt tüketimi 30,6 kg, tereyağı tüketimi 1,42 kg civarında hesaplanmaktadır.
- Türkiye’de 200’e yakın peynir çeşidi üretimi yapılmaktadır. Toplam peynir üretiminin %90’ı inek sütünden elde edilmektedir.
- Ülkemizdeki süt tozu üretimi 2014 verilerine göre yaklaşık 129 bin ton civarındadır.
- Kaymak üretiminde üretim 32 bin tona ulaşmıştır.
- 2014 yılı verilerine göre tereyağı üretimi Türkiye’de 45 bin tonun üzerine çıkmıştır.
- Yoğurt üretiminde yalnızca endüstriyel üretimin 2014 verileri doğrultusunda 1,1 milyon tonu aştığı görülmektedir.
- Gıda imalat sanayiinde kullanılan peynir altı suyu 2014 yılı verilerine göre 670 bin ton civarındadır. Son yıllarda üretim belirgin şekilde artmaktadır.
- Türkiye 2014 yılında peynir, süt tozu, krema, peyniraltı suyu, tereyağı ve yoğurt ihracatında dünya ülkeleri arasında sırasıyla 25., 23., 24., 21., 24. ve 24. sırada yer almaktadır (Akbulut, 2016).

### **2.3 Süt ve Süt Endüstrisinde Temel Uygulamalar**

Süt endüstrisinde üretim aşamalarında ürün eldesi için uygulanan temel bazı uygulamalar bulunmaktadır. Bu aşamalar şu şekilde sıralanabilir; standardizasyon, homojenizasyon, pastörizasyon, hava giderme, separasyon, klarifikasyon, ısıtma. Uzun süre içerisinde, buzdolabına konulmadan saklanabilen dayanıklı süt üretimi için UHT yöntemi uygulanmaktadır. Ham soğuk süt, süthanelerden alınarak depolara transfer edilmektedir. Süt üretiminde çiğ süt ilk olarak homojenize edilmektedir. Homojenizasyonda önce süt ayırıcı sayesinde krema bileşenlerine ve yağ moleküllerine ayrılır. Homojenleştirmede yağ moleküllerinin çapı 1-2  $\mu$  ise sütün raf ömrü kısadır. Daha uzun raf ömrü için sütün UHT yöntemiyle yağ moleküllerinin çapının daha fazla azaltılması gerekir. Süt, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi değişik metotlar kullanılarak, ısıl işlemlerden geçirilir. Isıl işlemde işlenecek sütün miktarı ve kullanılan yöntemle bağlı olarak sürekli veya kesikli bir işletim gerçekleştirilebilmektedir. Pastörize süt işlenmiş olup 7°C’den az olan depolara konularak hızla soğutulmaktadır. Tipik ısıtma parametreleri sürekli bir pastörizasyon işlemi için 15 saniye boyunca 72°C dir. Yüksek sıcaklıkta pastörizasyon kısa sürelidir (European Commission, 2006).

### **2.3.1 Isıtma**

Çiğ sütün ılık bir sıcaklıkta işlenip soğutulması işlemidir. Bu işlem çiğ süte 10-20 saniye süre boyunca 60 ve 65°C'de ısı değiştiricilerde uygulanmaktadır. Böylelikle süt bozulmadan uzun süre depolanabilmektedir (Ekdal, 2000).

### **2.3.2 Klarifikasyon**

Sütün prosese girmeden önce yabancı maddelerden yani; toz, kir, ölü epital hücreler, akyuvarlar, yüksek konsantrasyondaki bakteri ve mikroorganizma içeren protein grupları gibi kirleticilerden temizlenmesi işlemidir. Bunun için filtrasyon ve santrifüj gibi ayırma tekniği kullanılmaktadır (Ekdal, 2000).

### **2.3.3 Seperasyon**

Sütseperatör uygulamasıyla yağsız, düşük yağlı ve krema olarak iki ayrı maddeye ayrılmaktadır. Yağın yoğunluğu sudan daha az olduğu için yüzeyde toplanmaktadır. Busafhada yağın içeriği önceden belirlenmektedir. Seperatörde vitamin ve mineraller eklenmektedir. A ve D vitaminleri yağsız ve düşük yağlı sütlere eklenebilmektedir (Ekdal, 2000).

### **2.3.4 Hava giderme**

Sütün içerisinde dağılmış ve çözünmüş halde her zaman gaz bulunmaktadır. Yüksek miktarda gaz bulunması ise proses hattında sorun oluşturabilmektedir. Bular ise; ısı değiştiricilerin fazla ısınması, kültür ilave edilmiş ürünlerde perynir altı suyunun ayrılma eğilimi ve yağ speratörlerinden elde edilen verimin düşmesidir (Ekdal, 2000).

### **2.3.5 Pastörizasyon**

Pastörizasyon işleminde hedef hastalık yapan patojen mikroorganizmaların ısı etkisiyle yok edilmesidir. Daha önce yapılan çalışmalarda sütün 30 dakika 62,8°C de ısıtılmasıyla sütün bakterilerden arındığı gözlemlenmiştir. Bu yöntemle “düşük derecede uzun süreli



pastörizasyon” (LTLT) adı verilmiştir. Yine yapılan çalışmalarda daha güvenilir ve sağlıklı süt için “yüksek derecede kısa süreli pastörizasyon” (HTST) yönteminde kullanılmıştır. Bu yöntemde ise 15 saniyede 71.7°C de ısıl işlem uygulanmaktadır (Ekdal, 2000).

### **2.3.6 Homojenizasyon**

Süt yağı, süt içerisinde 0,1 ve 22 µm arasında değişen yağ zerrecikleri halinde bulunmaktadır. Homojenizasyonun amacı depolanan sütte krema oluşmasını önlemek için yağ zerreciklerinin boyutunu  $\leq 1$  µm olacak şekilde azaltmaktır. Bu işlemin en etkili olduğu zaman yağ fazının sıvı olduğu durumdur. Herhangibiri önce gelmek kaydıyla pastörizasyon ve homojenizasyon işlemlerinin arka arkaya uygulanması gerekmektedir (Ekdal, 2000).

### **2.3.7 Standardizasyon**

Yağın istenilen seviyeye getirilmesi işlemine standardizasyon denir. Çiğ sütün en çok değişkenlik gösteren parametresi yağ konsantrasyonudur (Ekdal, 2000).

## **2.4 Süt ve Süt Endüstrisi Ürünlerinin Üretimi**

### **2.4.1 Çiğ sütün toplanması**

Süt endüstrisinin hammaddesi çiğ süttür. Ham madde kaynağı, besiciliğin yapıldığı, sabit verime sahip süt üretim tesisleridir. Bu nedenle Türkiye’de besiciliğin yaygın olduğu bölgelerde süt endüstrileri de yaygınlaşmıştır. Endüstri süt alımı ve süt üretimi olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Süt alımı ünitesini takiben süt işleme ünitesi gelmektedir (Kılıç, 2006). Büyük kapasiteli işletmeler sütü uzak mesafelerden ya da dağıtık üreticilerden sağlıyorsa; sütlerin önce belli noktalarda toplanması gerekmektedir. Bu merkezde belirli işlemlerin yapılması ve sonrasında sütün toplu halde işletmeye nakledilmesi tercih edilmektedir. Bu şekilde sütün toplandığı noktalara “süt toplama merkezleri” denir. Büyük işletmelerin süt toplama merkezleri kurmasıyla hem çiğ süt kalitesi daha iyi korunmakta hem de daha ekonomik veriler elde edilmektedir. Bu merkezlerde oluşturulacak laboratuvar ile işletmede yapılacak birçok

analiz toplama merkezinde gerekleŒmiŒtir. Böylece farklı kalitede sütlerin ayrı nakledilmesi ve uygun olmayan sütlerin yerinde reddedilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca, soğutma ve süzme imknları bulunmayan üretim birimlerinden gelen sütler bu merkezlerde szlebilmekte ve soğutulabilmektedir (MEB, 2013).

#### **2.4.2 Pastörize süt üretimi**

Çiğ sütün doğal ve biyolojik özelliklerine zarar vermeden pastörizasyon iŒlemi uygulanmasıyla patojen mikroorganizmaların vejetatif formlarının tamamının ve diğer mikroorganizmalarında büyük bir kısmının yok edilmesiyle elde edilen pastörizasyondan hemen sonra, kısa sürede 6 'yi geçmeyecek sıcaklığa soğutulan içecek türüdür (İzmirlioğlu, 2001). Pastörize süt üretimi akım Œeması Œekil 2.1'de zetlenmiŒtir (European Commission, 2006).

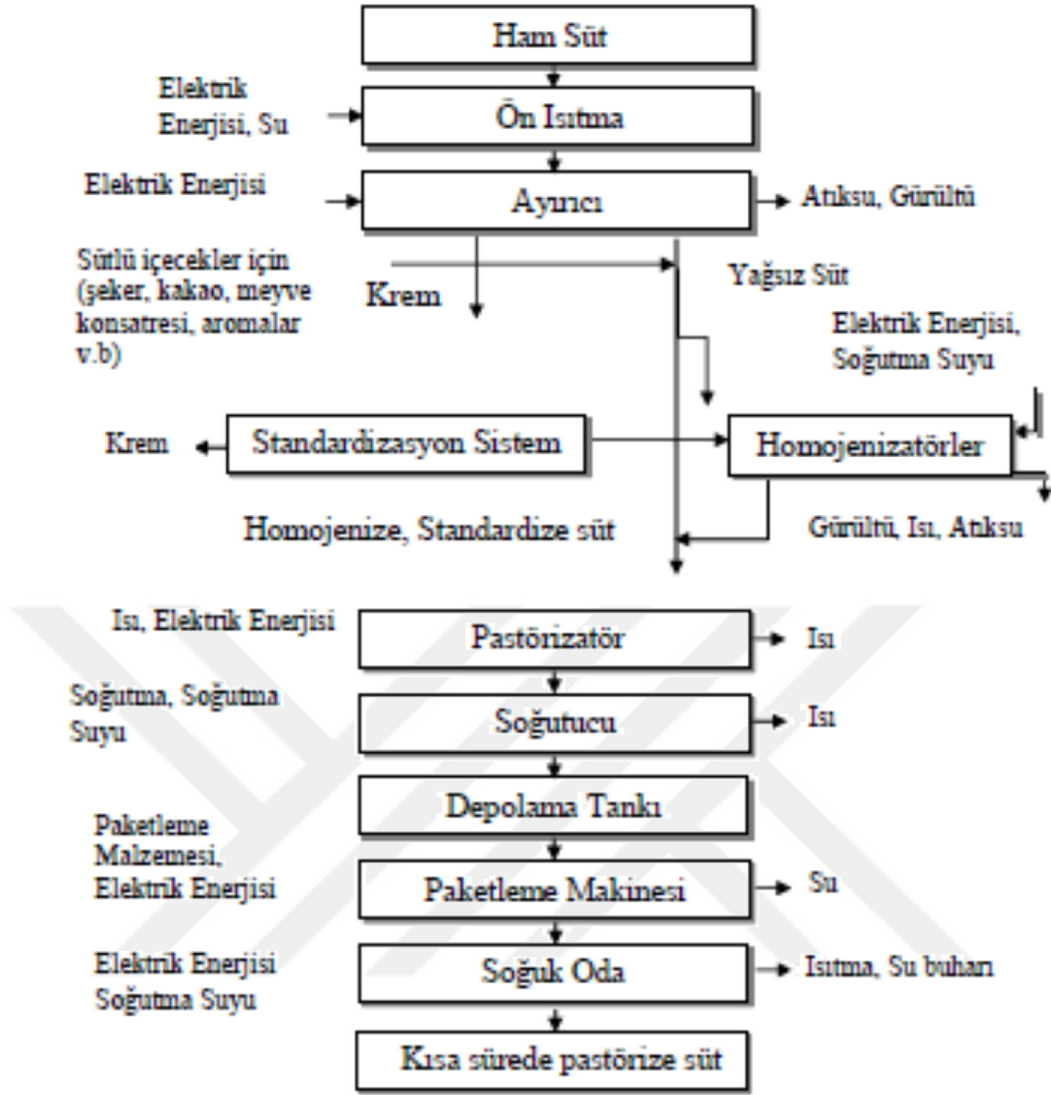
Pastörizasyon iŒlemi ülkemizde iki uygulama ile gereŒtirilmektedir:

##### LTLT yöntemi

DŒk derecede uzun süreli (63-65 'de 30 dk.) olarak yapılan bu pastörizasyon iŒlemi genellikle çift cidarlı tanklarda yapılmaktadır (İzmirlioğlu, 2001).

##### HTST yöntemi

Yüksek derecede ve kısa sürede (71,7 'de 15 sn.) veya eŒdeđer etkiyi elde edecek farklı sıcaklık ve zaman kombinasyonunda uygulanan bu pastörizasyon iŒleminde plakalı ısı deđiŒtiriciler kullanılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde pastörize süt saklamada plastik ve karton gibi ambalajların kullanılması yaygınlaŒmıŒtır (İzmirlioğlu, 2001).

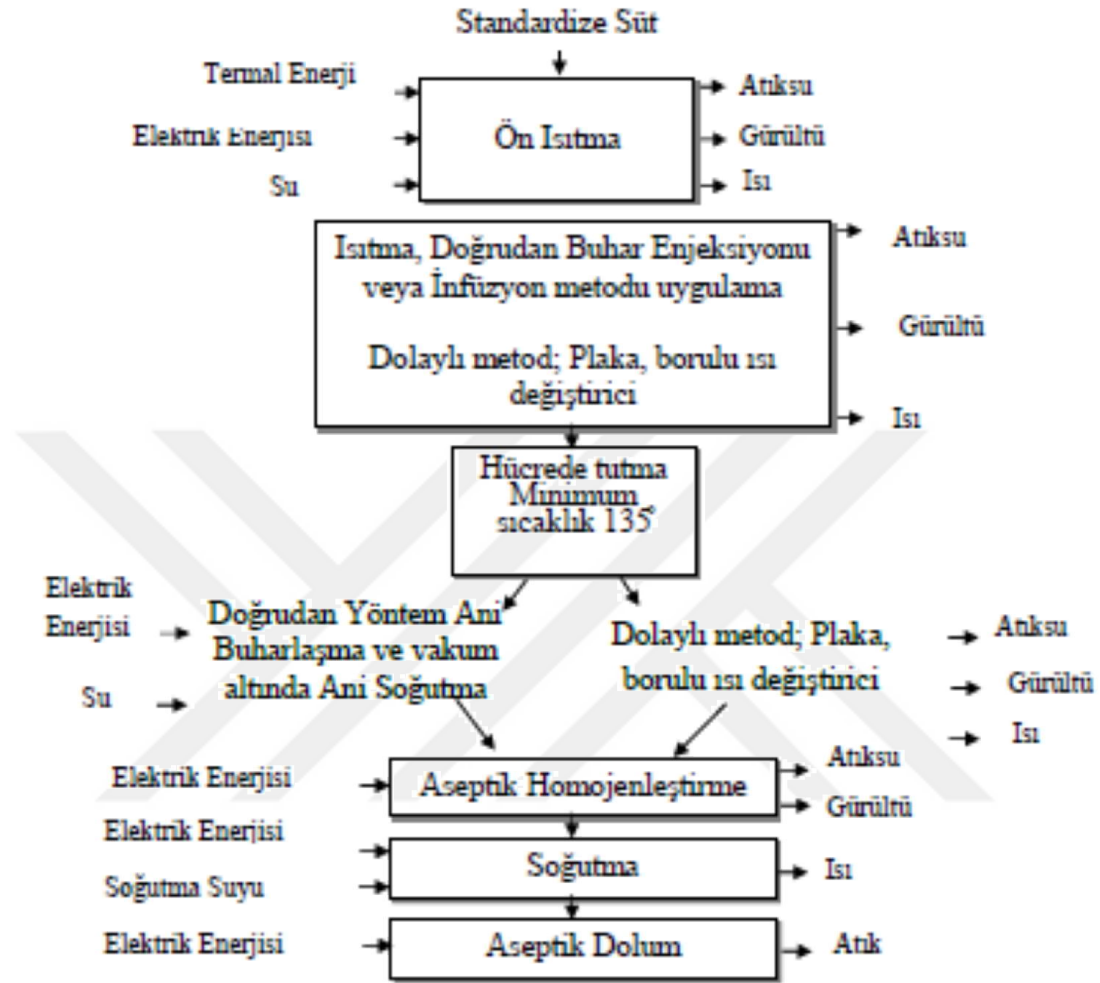


Şekil 2.1. Pastörize süt üretimi (European Commission, 2006)

#### 2.4.3 UHT süt üretimi

Çiğ sütün karakteristik özelliğini içeren kimyasal, fiziksel ve duyuşal yapılarının en az değişikliğe uğrayarak bozulma yapabilen tüm mikroorganizmaların ve bunların sporlarının UHT işlemi ile dolum yapılmasından elde edilen süte denir (İzmirlioğlu, 2001). UHT veya sterilizasyon için 135°C lik sıcaklıkta bir saniye yürütülen proses, UHT raf ömrünü arttırmak için kullanılmaktadır. Bu yöntem iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Doğrudan yöntem, yani ani soğutma veya ani buharlaştırma kullanılarak yapılır. Dolaylı yöntemde ise plaka şeklinde değişik tip borularla ısı değiştirme işlemi yapılır. Kullanılan buhar ağırlığı ve süt oranı yaklaşık 1:10'dur. Süt ısıtmadan hemen sonra soğutmaya tabi tutulur. Bu işlem sırasında ürüne vakum altında

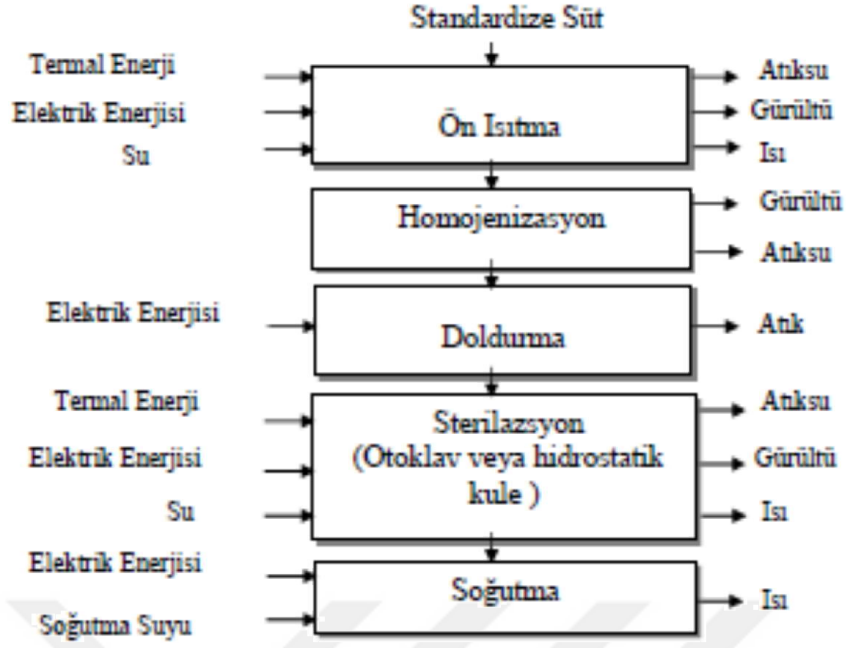
soğutulurak ısıtım işlem uygulanır. UHT üretim prosesi Şekil 2.2’de özetlenmiştir (European Commission, 2006).



Şekil 2.2.UHT süt üretimi (European Commission, 2006)

#### 2.4.4 Sterilize süt üretimi

Hava geçirmeyen opak ambalajlarda sterilizasyon işlemi uygulanarak bozulma yapan tüm mikroorganizmaların ve bunların sporlarının yok edilmesiyle elde edilen içme sütüdür (İzmirlioğlu, 2001). Sterilize süt üretim prosesi Şekil 2.3’te özetlenmiştir (European Commission, 2006).



**Şekil 2.3.** Sterilize süt üretimi (European Commission, 2006)

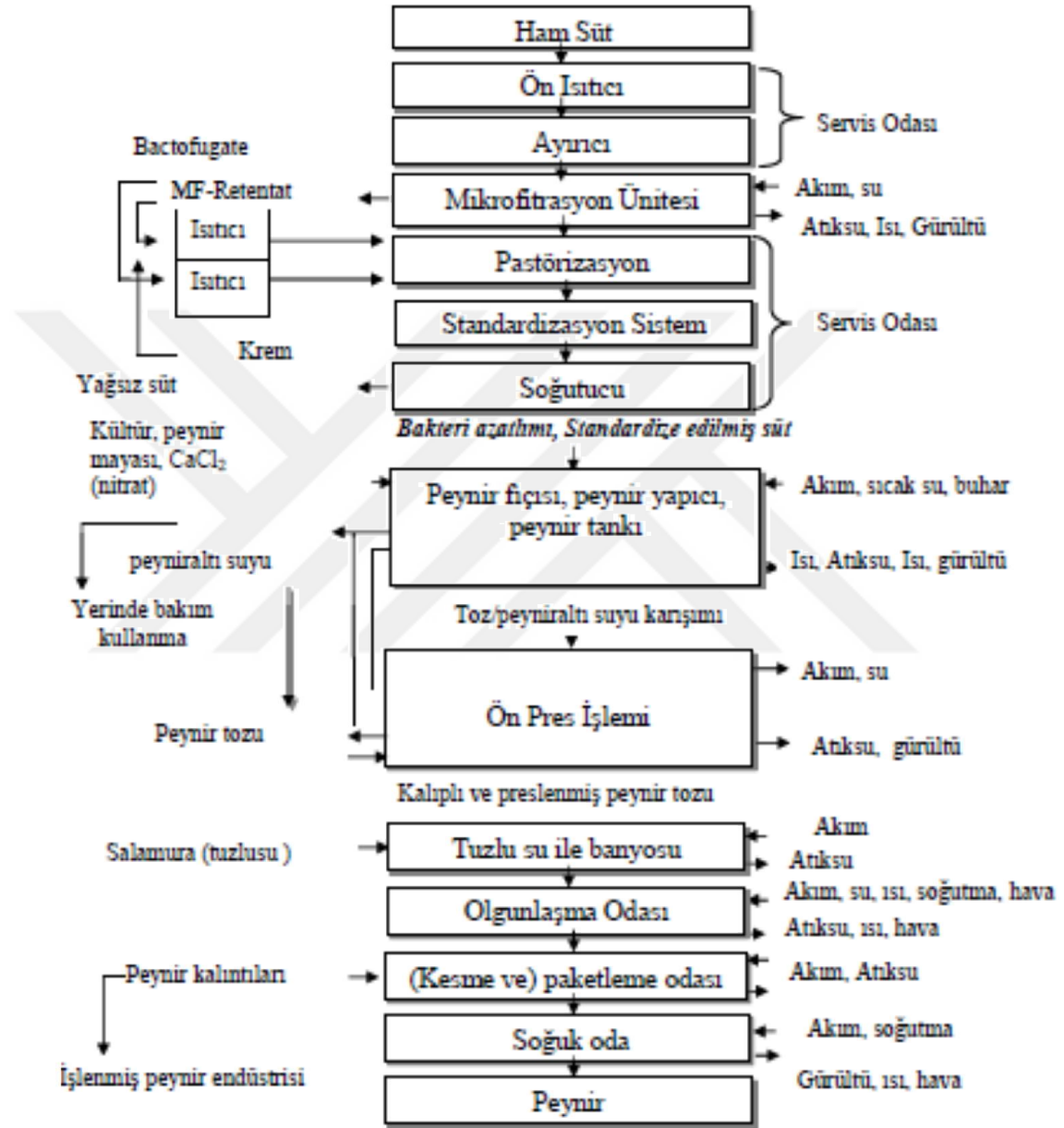
#### 2.4.5 Peynir üretimi

Peynir değişen miktarlarda pıhtılaşmış süt proteinleri, yağ, süt ve tuzlardan meydana gelmiş taze veya olgunlaştırılmış olarak tüketilen bir üründür. Farklı bölgesel kaynaklara, tüketim alışkanlıklarına, kimyasal kompozisyona, dokuya, tada, aroma ve raf ömrüne sahip çok çeşitli peynir türü vardır (Ekdal, 2000).

Peynir çeşitleri, çok geniş bir yelpazede çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle işletme ve üretim uygulamalarına bakıldığında farklılıkları vardır. Geleneksel yöntemle üretilen bir ürün olduğu gibi modern yöntemlerle de kültür ve peynir mayası eklenmesi ile pıhtılaşması sağlanmıştır. Geleneksel yöntemle göre lor ve kesilmiş sütün suyu birbirinden ayrılır ardından presleme işlemi ile sıkıştırma ve germe işlemleri uygulanmaktadır. Lor bloklarına tuz eklenmesi yapılır. Nem kaybını engellemek ve küfe karşı korumak için soğuk depolara konulmaktadır. Peynirin yüzeyindeki nem, sıcaklık, lezzet ve dokusunun koruma ve geliştirme için olgunlaştırma odalarında bekletildikten sonra soğuk depo odalarında muhafaza edilmektedir (European Commission, 2006).

Modern endüstri tesislerinde üretilen peynir çeşitlerine bakıldığında beyaz peynir ve kaşar peynir üretiminin ülkemizde de son yıllarda artarak yaygınlaştığını ve

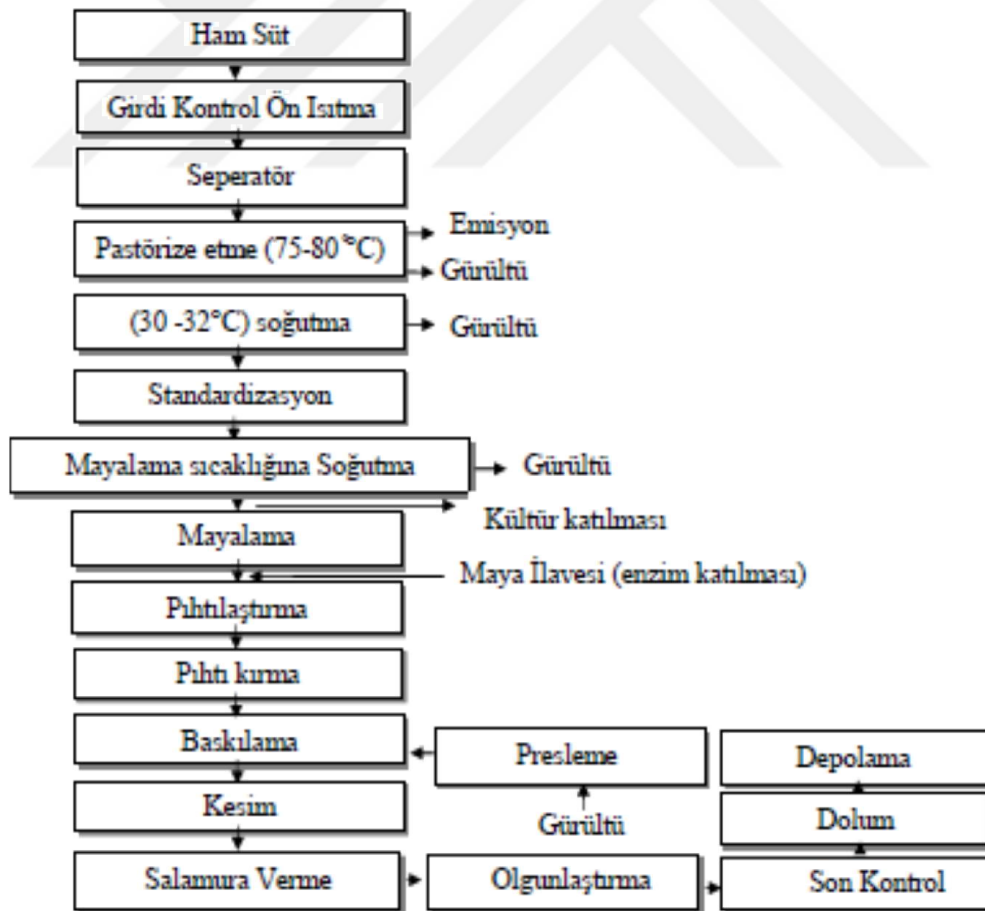
bu doğrultuda yapılan çalışmaların süt endüstrisinin üretim aşamasındaki önemli bir kolunu oluşturduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle; ilerleyen kısımlarda beyaz peynir ve kaşar peynir üretim prosesleri başlıkları halinde detaylı olarak incelenmiştir. Peynir üretim prosesi Şekil 2.4'te özetlenmiştir (European Commission, 2006).



Şekil 2.4. Peynir üretimi (European Commission, 2006)

## 2.4.6 Beyaz peynir üretimi

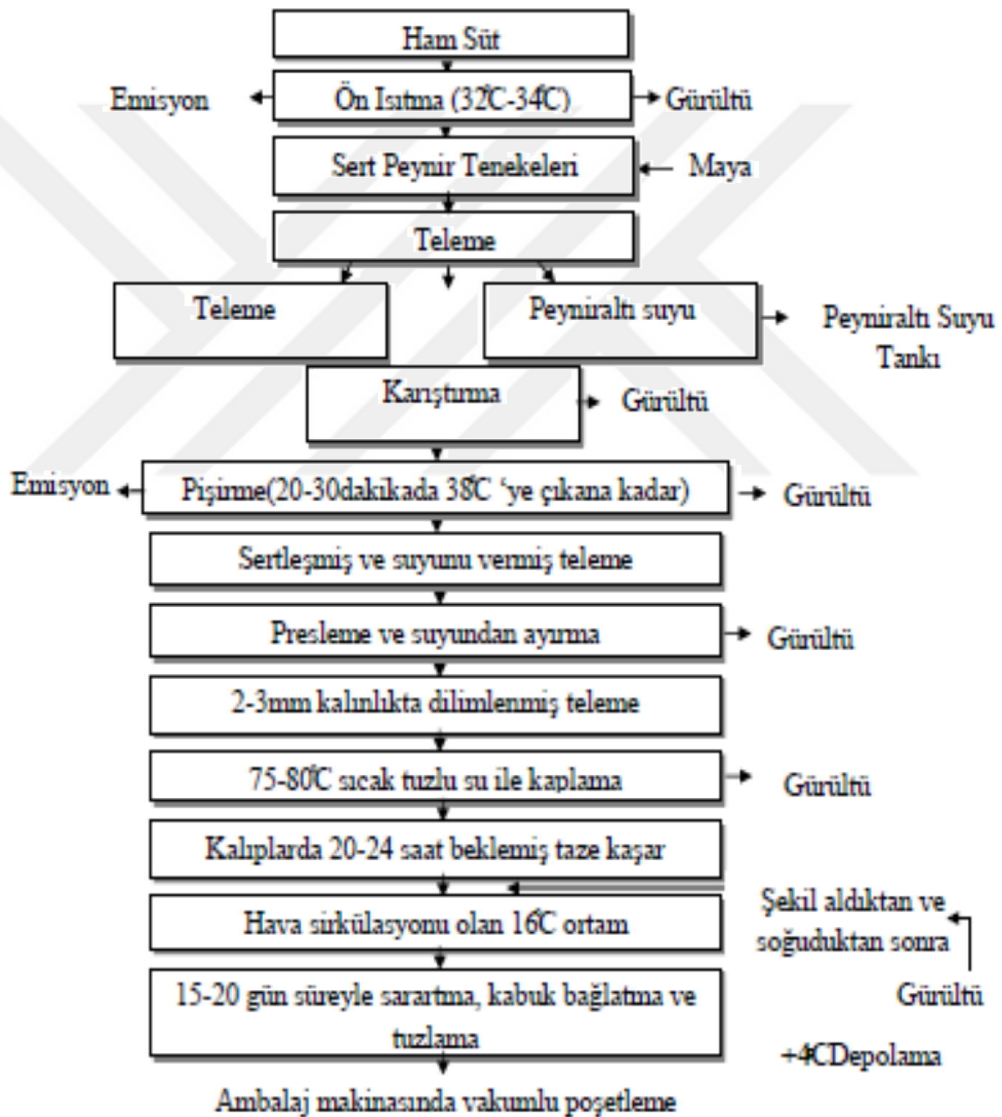
Yerli peynir çeşitlerimizden en önemlisi ve en çok tüketilen beyaz peynir çeşidinin büyük bir kısmı mandıralarda ilkel şartlarda üretilmektedir. Çiğ süttten üretilen bu peynirler zararlı mikroorganizmaları içerdiğinden insan sağlığı yönünden potansiyel bir tehlike arz etmektedir. Bu nedenle bu peynirler en az 90 günlük olgunlaşma dönemini tamamlamadan kesinlikle tüketime sürülmemelidir. Beyaz peynir üretim prosesi Şekil 2.5'te özetlenmiştir (European Commission, 2006). Kaliteli bir çiğ süte hijyenik koşulların sağlanması, etkin ısı işleminin uygulanması ve etkin bir paketlenme sisteminin yerine getirilmesiyle kaliteli ve standart peynir üretimi sağlanır. Ancak peynir üreten işletmelerde kullanılan çiğ sütün mikrobiyolojik kalitesindeki farklılık, üretim ekipmanlarının standart olmayışı, belirtilen üretim aşamalarının bir veya birden fazlasının uygulanmaması üretilen beyaz peynirlerin kalitelerinde çeşitliliğe neden olmaktadır (İzmirlioğlu, 2001).



Şekil 2.5. Beyaz peynir üretimi (European Commission, 2006)

## 2.4.7 Kaşar peynir üretimi

Kaşar peyniri, beyaz peynirden sonra ülkemizde en çok tüketilen bir peynir çeşididir. Basit yöntemlerle çalışan küçük işletmelerde kaşar peyniri çiğ süttten yapılmakta ve teleme (peynir pıhtısının süzülmesi işleminden sonra elde edilen tuzlanmamış, olgunlaştırılmamış taze, tuzsuz ve yumuşak peynir) sıcak suda haşlanarak el ile yoğrulmaktadır. Kaşar üretim prosesi Şekil 2.6'da özetlenmiştir (European Commission, 2006)

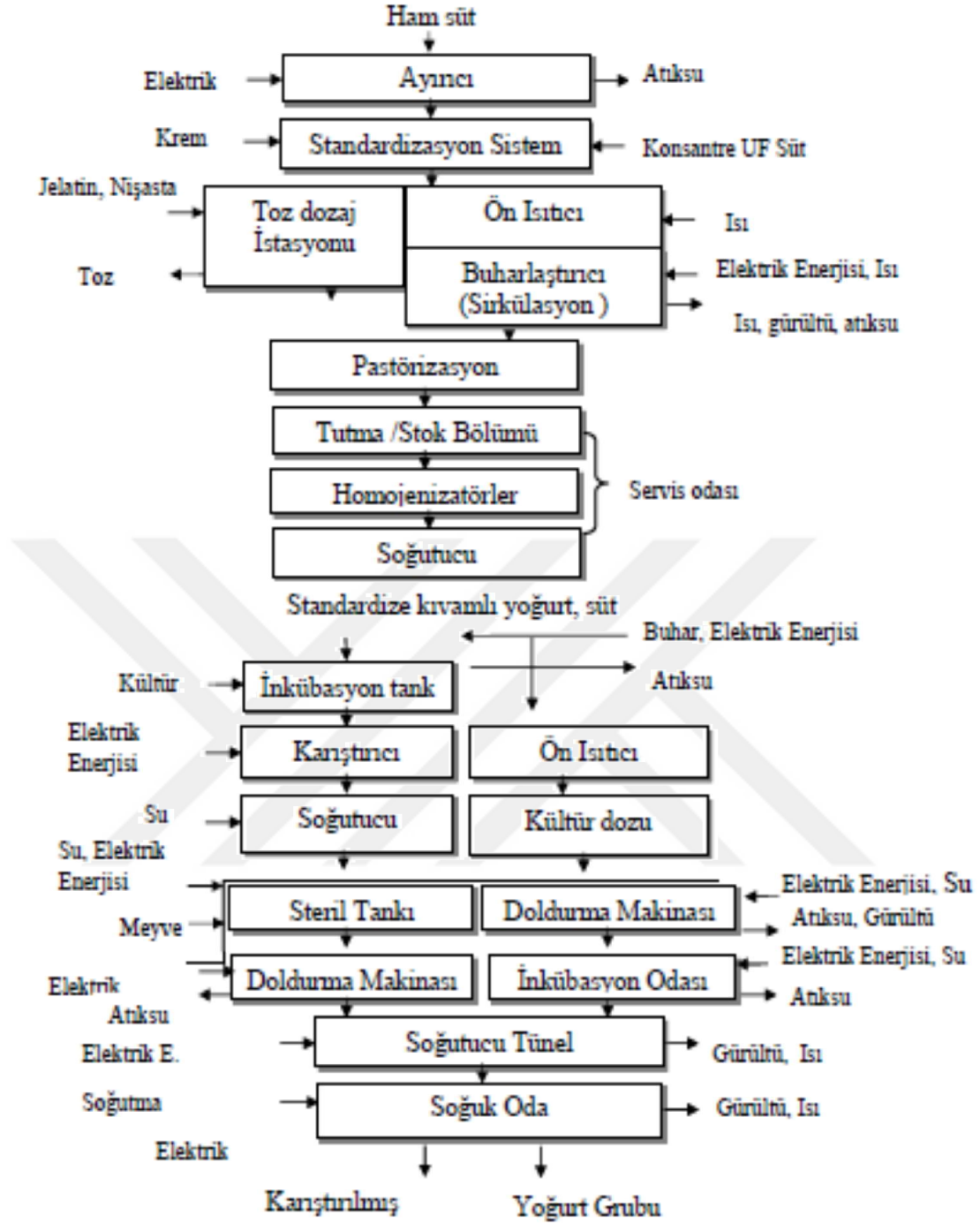


Şekil 2.6. Kaşar peynir üretimi (European Commission, 2006)



#### 2.4.8 Yoğurt üretimi

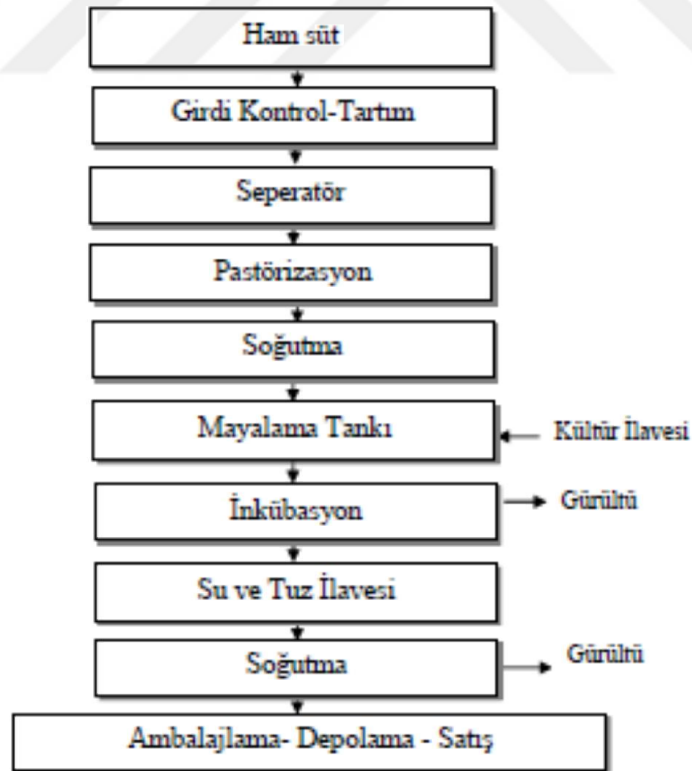
Yoğurt imalatının temel aşamalarına baktığımızda ilk adım tercihe göre sütün yağlı ve yağsız kısmının süt tozu ve stabilizatör eklenerek kıvamı arttırılmaktadır. Süt daha sonra 55°C de sürekli bir ısıl işlem ile homojenize hale getirilmektedir. Ardından 80 ve 90°C için 30 dakika veya 90 ve 95°C için 5 dakika ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu işlemin arkasından ısıyı 40 ile 43°C ye kadar soğutma yaparak iki organizma (*Streptococcus salivarius thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii bulgaricus*) ile 4 saat fermentasyon gerçekleştirilmektedir. Üretimin en son aşamasında ürün 15 ile 20°C ye kadar soğutulmaktadır. Yoğurta ilave olarak meyve ve /veya lezzet maddelerinden eklenebilmektedir. Bu aşamada meyve ve tatlandırıcı maddeler eklenerek 5°C deki soğuk depolarda depolanır. Yoğurt üretimine ilişkin prosesakım şeması Şekil 2.7'de özetlenmiştir (European Commission, 2006).



Şekil 2.7. Yoğurt üretimi (European Commission, 2006)

## 2.4.9 Ayran üretimi

Ayran üretim uygulamasında kullanılan sütün; %8 oranda kuru madde ve %2 oranda yağ içermesi gerekmektedir. Kuru maddesi ayarlanmış ve yağ miktarı standartlaştırılmış süt, yüksek sıcaklıkta (85°C/20-30 dk.) pastörize edilmektedir. Uygulanan ısı işlem aracılığı ile süt proteinleri arasındaki etkileşimler tetiklenerek, ayranın su tutma kapasitesi arttırılmaktadır. Dolayısıyla depolama sırasında serum ayrılması riski minimize edilebilmektedir. Pastörize edilip, soğutulan süt, *Streptococcus lactis* ve *Streptococcus cremoris* gibi laktik asit bakterileri içeren ayran kültürleri kullanılmıştır. 43-45°C'de yaklaşık 5 saat fermente edilmektedir. Mayalanma işlemi tamamlanmış ayran pıhtısına içilebilir kıvama gelecek şekilde (yaklaşık 1:1 oranda) su ve %0,5-1,0 oranda tuz eklenip ve karıştırıcıda karıştırılmaktadır. Daha sonra soğuk hava depolarına alınarak soğumaya bırakılmaktadır. Son kontroller tamamlandıktan sonra ambalajlama işlemine oradanda 3-5°C lik depoda saklanıp ve satışa sunulmaktadır (European Commission, 2006) Ayran üretim prosesi Şekil 2.8'de özetlenmiştir.



Şekil 2.8. Ayran üretimi (European Commission, 2006)

#### 2.4.10 Krema üretimi

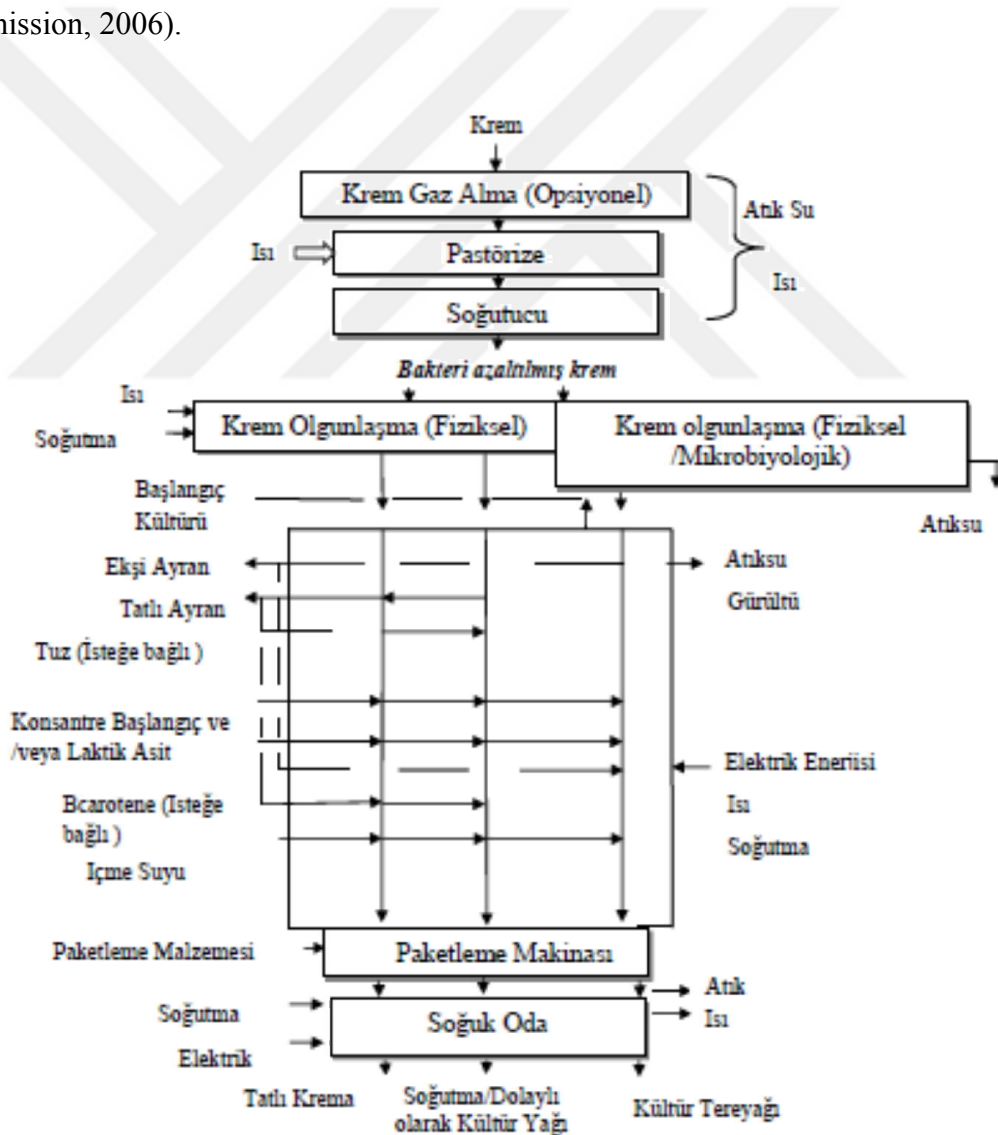
Krema üretiminde kullanılan pastörize edilmiş süt, öncelikle soğutma sistemlerinden geçirilerek sıcaklığı 30-36°C'ye getirilmektedir. Bu aşamada mayalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Mayalama ile sütte oluşan pıhtılaşmaya pıhtı kırım işlemi uygulanarak peyniraltı suyu ayrılmaktadır. Ayrılan peyniraltı suyu krema seperatörüne verilmektedir. Krema üretim akım şeması Şekil 2.9'da özetlenmiştir. Krema ayrıştırıcısından (separatör) ayrılan krema, ambalajlanıp etiketlendikten sonra depolanmaktadır. Son aşamada kontrol işleminden sonra piyasaya sunumu gerçekleştirilmektedir (European Commission, 2006).



Şekil 2.9. Krema üretimi (European Commission, 2006)

## 2.4.11 Yağ üretimi

Yağ, pastörize edilmiş sütüsantrifüjle krem edilmesiyle üretilmektedir. Kremin içeriğinin %35-40'ı süt yağından meydana gelmektedir. Yağ üretim aşaması, temelde kremin su emülsiyonu ile yağ ve tereyağa dönüştürüldüğü bir mekanik olaydır. Sürekli çalkalama ile prosesde yağ içinde su elde edilmektedir. Krem hızlı bir şekilde soğutulduktan sonra belirli süre için bu sıcaklıkta tutulur. Burada bakteri olarak azaltılmış olan krem olgunlaşmış hale gelir. Yağ moleküllerinin daha sıkı birbirine tutunması için suyun fazla olan kısmı çıkar. Alternatif olarak tuzla yıkama işlemi yapılır. Yoğurma işleminin ardından paketlenme yapılır. Son olarak soğutma işlemi için depolara konulur. Yağ üretim prosesi Şekil 2.10'da özetlenmiştir (European Commission, 2006).



Şekil 2.10. Yağ üretimi (European Commission, 2006)

## 2.5 Süt ve Süt Endüstrisinde Atıksu ve Atık Kaynakları

Süt endüstrisi atıksuları yüksek miktarda organik madde içermektedir. Süt ve süt ürünleri üretiminden kaynaklı atık hacmi, kirliliği ve kullanılan su miktarı bakımından ciddi kirlilik yüküne sahip bir endüstridir. Özellikle süt bileşimini meydana getiren karbonhidrat, yağ, laktoz ve protein gibi maddelerin geri kazanımı mümkündür. Örneğin peynir altı suyunun arıtılması oldukça pahalı yöntemdir; ancak günümüzde peynir altı suları kıymetli olup bisküvi ve çikolata sektörü gibi pek çok farklı sektörde değerlendirilmektedir. Organik madde içeriği yüksek olan bu atıksuyun arıtımı ve bertaraf edilmesi önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Ürün atıksuyunun yanısıra; üretim sırasında kullanılan proseslerin temizlenmesinden, yanlış kullanılmasından ve işletme hatalarından kaynaklanan sebeplerinde etkisi olmaktadır. Süt ve süt ürünlerinin üretiminden kaynaklı atıksularının arıtımında fizikokimyasal ve çoğunlukla biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Fakat uygulanan bu geleneksel yöntemlerle çoğu zaman bu yükün üstesinden gelebilmek ekonomik ve tesisin yeterliliği açısından güç olmaktadır. Bu arıtmaların yanısıra süt ve süt ürünlerinden kaynaklı atıksuya membran uygulamaları gibi ileri arıtma tekniği sayesinde kirlilik giderimi ve geri kazanımı sağlanmaktadır.

Genel olarak süt ve süt ürünleri üretiminden çıkan atıklara bakıldığında, atıksu birinci sırada olmak üzere hava kirliliği, katı atık ve gürültü kirliliği sorunları ile karşı karşıya kalınan bir endüstridir. Atıksu, süt sektörünün önemli çevre sorunudur. Atıksuların büyük kaynağı ekipmanların yıkama işlemlerinde kullanılan sudur. Tasfiye hattından ve yüksek sıcaklıktaki pastörizasyon ünitesinden gelen su atıksu için önemli sorun oluşturmaktadır. Atık suda düşük veya yüksek pH sorununda meydana gelmektedir. Süt endüstrisi atıksuları birçok yerde arıtılmadan, kimi zaman uygun olmayan bir alıcı ortama, kimi zaman da şehir kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Bu atıksuların yüksek kirlilik değerleri, alıcı ortam deşarj standartlarına uygun hale getirilmeden, üretildikleri yerden uzaklaştırılmaya çalışılması yasal olmayıp, sürdürülebilir çevre bilincine de aykırı olmaktadır. Tüm bunların yanı sıra günümüzde su kaynaklarının kısıtlı olması, deşarj kriterlerinin giderek daha da sıkılaştırılması nedeni ile oluşan atıksuyun arıtılması yerine bu suyun yeniden kullanımının sağlanması büyük önem kazanmıştır. Süt endüstrisi atıksuları; organik yüklenme açısından kentsel atıksu arıtma

sistemlerinde ciddi problemler oluşturmaktadır (European Commission, 2006). Bu sebeple; süt endüstrisi atıksu deşarj standartlarının sağlanması için bu atıksuların arıtımı önemlidir. Çevre Kanunu ve buna bağlı 31.12.2004 Sayılı Resmi Gazetede 25687 sayılı “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde Gıda Sanayi Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartlarına ait Tablo 5.3’e göre deşarj kriterleri gerekli standart parametreleri sağladıktan sonra deşarj edilebilmektedir.

Çizelge 2.1’de Süt ve süt ürünlerinin deşarj kriterleri verilmiş olup bu standartlar çerçevesinde deşarj sağlanmaktadır.

**Çizelge 2.1.** Süt ve süt ürünleri alıcı ortama deşarj standartları

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	170	160
YAĞ VE GRES	(mg/L)	60	30
Ph		6-9	6-9

Kaynak: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Gıda Sanayi Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Süt ve Süt Ürünleri Tablo:5.3)

Proseslerden gelen kirletici sular hem yeraltı sularını hem de yüzey sularını kirletme potansiyeline sahiptir (European Commission, 2006). Süt endüstrisi kaynaklı atıksuların yönetimi ile ilgili bilgiler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

Sektörün katı atıkları genelde hatalı üretilmiş bozulmuş veya ambalajı ezilmiş ürünlerden oluşur. Bunlar organik madde yönünden zengin olduklarından, bozulup kokuşabilmektedir (İzmirlioğlu, 2001). Ambalaj atıkları, sektörün faaliyeti sonucu çıkan bir atık olarak görünmemesine karşın gerçekte sektörün sebep olduğu bir çevre sorunudur. Sektörün atıkları PVC, PE, PS, PP, alüminyum, cam, teneke ve termoplastik madde içeren karton esaslı kutulardan oluşmaktadır. Bu açıdan sektörde hemen hemen her çeşit ambalaj malzemesinin aktif olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak ürün tüketiciye satıldıktan sonra süt şişeleri ve diğer birkaç ambalaj hariç geri dönüş sağlamak mümkün olmamaktadır. Bu yüzden öncelikle tüketicinin atıklar konusunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Kullanılan ambalajın geri toplanabilme ihtimali düşük olduğundan, insan sağlığı ve çevre açısından sorunlar yaratmaktadır. Bu yüzden, bu tip ambalajlama için sektörde depozito ödeme ve geri toplama zorunluluğu uygulamaya

konulmuştur. Ancak bu zorunluluk belli bir büyüklüğün üzerindeki işletmeler için geçerlidir. Üretimin büyük bir yüzdesini teşkil eden küçük işletmelerin (mandıraların) böyle bir zorunluluğu bulunmamaktadır. Ancak tüm sektörün bu kurala uymasını sağlamak gerekmektedir (İzmirlioğlu, 2001).

Süt endüstrisi kaynaklı hava emülsiyonlarının içinde atık gaz akımları ve koku emülsiyonları vardır. Kaçak hava emülsiyonlarının iyileştirilmesiyle çevresel etkilerinin en aza indirgenmesi sağlanmaktadır. Enerji üretimi için sarfedilen karbondioksit, sülfürdioksit ve nitrojen oksitleri oluşan atık gaz akımlarında önemlidir. Koku emülsiyonu genellikle atık bertarafı veya soğutma sistemlerinde amonyak sızıntılarından gelmektedir. Süt işleme tesisleri ve çevresinde süt ve süt mamüllerinin üretimi sırasında biyolojik ayrışma meydana gelmiyle oluşan atıksu içerisinde organik madde birikiminin yanı sıra koku meydana gelmektedir. Sık koku oluşumu iyi yapılmayan temizlik uygulaması ve atıksu arıtma tesisinin düzgün çalıştırılmamasından kaynaklanmaktadır. Peyniraltı suyu gibi güçlü kirleticilerin uzun süreli depolanması ve bertaraf tesislerindeki istenen veriminde elde edilememesinden kaynaklı koku problemlerininde diğer bir en önemli sebebidir.

Süt endüstrisinde önemli miktarda enerji tüketilir. Tüketilen enerjinin büyük çoğunluğu genellikle buharla ve sıcak suyla temizleme ile birlikte az miktarda da güç makinaları, buzdolabı ve aydınlatma sistemleri tutuyor. En yüksek enerji tüketimini sütün buharlaştırma ve kurutma işlemleri tutar.

Bunlara ek olarak endüstride gürültü problemleri de oluşabilmektedir. Hava sağlayan fanlar, havalandırma, kazanlar, pompalar, soğutma ünitesi gürültü yapan proses üniteleridir. Süt dağıtımı sırasında süt muhafazası için kamyonlara yerleştirilen soğutma kompresörlerinin çıkardığı ses ve özellikle gece geç saatlerde yapılan bu dağıtımın gürültü şeklinde çevreye verdiği rahatsızlık bir sorun oluşturmaktadır. Süt işleme tesislerinde yüksek hava akışı gerektiren nakliye araçlarının transfer sırasında çıkan ses de gürültü kaynakları arasındadır. Bu tip endüstriyel tesislerin bulunduğu alanlarda oluşan gürültünün azaltımı için tedbirler almak gerekmektedir. Alınacak tedbirler içerisinde ses meydana getiren teçhizatın susturucu ile kamuflesi, açık ekipmanlara beton yalıtım yapılması veya uygun yalıtım şekilleri ile gürültüyü engellemek mümkün olabilmektedir (European Commission, 2006).



Süt ve süt ürünleri endüstrisinde atıksu kaynağını oluşturan 3 tür kirletici vardır. Bunlar:

- Peynir altı suyu (PAS)
- Süt endüstrisi proses atık suları
- Soğutma suları

### **2.5.1 Peyniraltı suyu (PAS) ve karakterizasyonu**

Peyniraltı suyunun ana bileşenlerini laktoz, suda çözünen proteinler ve mineraller oluşturmaktadır. Peyniraltı suyunda %60-%73'lük aşırı doymuş laktozca zengin bir çözelti oluşur. Bu çözelti soğutulurken kristalleşme başlar ve kristaller büyür. Kristaller santrifüjle sıvı fazdan çıkarılır. Gerekli gradiyene bağlı olarak, rafine ve saflaştırma ile içerisindeki yabancı maddeler aktif karbon ile muamele edilir ve bu maddeler uzaklaştırılır (European Commission, 2006). PAS'ın iki farklı formu oluşmaktadır. Bunlar asidik PAS ( $\text{pH} < 5$ ) ve tatlı PAS ( $6 < \text{pH} < 7$ ) dır.  $\text{pH} < 5$  olan asidik PAS yüksek kül ve daha az protein içerir ve sınırlı miktarda üretilir. Peyniraltı suyu, süt gibi dayanıksızdır. Çabuk asitleşme göstermektedir. Bu esnada peyniraltı suyunun değerini artıran laktoz, mikroorganizmaların faaliyetine bağlı olarak büyük ölçüde laktik aside dönüşmektedir.

Peyniraltı suyu, içerdiği değerli maddeler nedeniyle beslenme açısından önemlidir. PAS'ın ürün olarak işlenmesi özel bilgileri ve belirli bir teknolojiyi gerektirmektedir. Peyniraltı suyundan aşağıdaki ürünler elde edilmektedir (Altunışık vd., 2002).

- Peyniraltı tozu üretimi
- Demineralize peyniraltı suyu üretimi
- Maya üretimi
- Sirke üretimi
- Limon asidi elde edilmesi
- Hayvan yemlerine katılması
- Alkol üretimi
- Vitamin B12 üretimi
- Çeşitli yiyeceklerin yapımı

Türkiye’de daha önceleri sadece lor peynirlerinin yapımında ve besicilikte çok kısıtlı olarak kullanılan PAS son yıllarda gerekli teknolojik imkanların sağlanmasıyla toz haline dönüştürülüp gıda sektöründe değerlendirilmeye başlanmıştır (Altunışık vd., 2002). Peyniraltı suyunun ticari olarak geri kazanılması ekonomik etkide göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Peyniraltı suyundan önce peyniraltı suyu tozu elde edilmektedir. Toz haline dönüştürülen peyniraltı suyu atığının farklı endüstrilerde değerlendirilmesi çok daha akılcı bir çözüm olmaktadır. Peyniraltı suyu tozu, unlu mamuller, şekerlemeler, bebek mamaları, et ürünleri, çorbalar, soslar, içecekler gibi ürünlerde dolgu malzemesi olarak ve buzağı maması gibi süt yerine geçen yemlerde de kullanılmaktadır (Çelik, 2011).

Peyniraltı suyu, süt kazeininin çökeltilmesiyle oluşan zengin bir yan üründür. Bu yan ürün işlenen sütün hacminin yaklaşık olarak % 85-95’ine sahip olup, süt besinlerinin %50’si kadarını bünyesinde bulduran değerli bir maddedir (Farizoğlu vd., 2004). Peyniraltı suyu; beyaz peynir, kaşar peyniri gibi peynir üretimleri sırasında pıhtının parçalanması ve baskıya alınması süreçlerinden oluşmuştur. Peyniraltı suyu, peynir tankından boşaltıldığında küçük pıhtıları ve az miktarda da süt yağını birlikte götürür. Bu iki madde kolayca ayrılıp yeniden ürüne katılabilir. Peyniraltı suyu yüksek oranda şeker içerdiğinden mikroorganizmalar için uygun bir büyüme ortamı olmaktadır. Eğer peyniraltı suyu, alıcı ortama deşarj edilmeye devam ederse doğal su ortamlarında biyokütle oluşumunu hızlandırır, bu da çözünmüş oksijen miktarının hızla azalmasına neden olup ekolojik denge üzerinde olumsuz etki meydana getirir. Peyniraltı suyunu kirletici olarak görülmediği ve yararlı kullanılabilir ürün olması bakımından neler yapılabileceği ile ilgili, peyniraltı suyunu en iyi temsil eden uygulamalar ve araştırmalar altında irdelenmektedir. Bu doğrultuda; peyniraltı suyu karakterizasyonu hakkında sunlardan bahsedilebilir.

#### Peyniraltı suyu karakterizasyonu

Peyniraltı suyunun uzaklaştırılmasıyla çökeltme sonunda suyun rengi yeşil-sarı renk oluşmaktadır. Suyun renginin sarı olması Ribo flavin vitamininden kaynaklanmaktadır. Çoğunlukla süt laktozu (süt şekeri) 39-60 kgm<sup>-3</sup> civarında peynir suyu kalıntılarında oluşup %90’ını kadar organik yüke sahiptir. Yağ içinde organik kirletici değer aralığı

0,99-10,58 kgm<sup>-3</sup> ve protein içinde organik kirletici değer aralığı 1,4-8 kgm<sup>-3</sup> tür. BOI<sub>5</sub> için değer aralığı 27-60 kgm<sup>-3</sup> ve KOİ için değer aralığı 50-102 kgm<sup>-3</sup> BOI<sub>5</sub>/KOİ oranı çoğunlukla 0,5'ten yüksektir. Bu yüzden biyolojik arıtım prosesi uygundur. Peyniraltı suyunda meydana gelen inorganik kirlilik mineral tuz (0,46-%10) olup bunun başlıcası NaCl, KCl (>%50) ve kalsiyum tuzdur. Yüksek sodyum içeriği probleme neden olur. Bu biyolojik çürütme için bir işletme problemi yaratmaktadır (Prazeres vd., 2012).

Peyniraltı suyunda en önemli kirletici unsur nutrientlerdir. Peynir suyunun %93-94'ü su olup içinde besinler mevcuttur. Sütün içinde laktoz, protein, mineral, laktik asit ve yağlar bulunmaktadır. Buna ek olarak önemli miktarlarda sitrik asit, vitaminler (B grubu vitaminleri), protein olmayan nitrojen bileşikleri (üre ve ürik asit) bunların yanısıra  $\beta$  lactoglobulin,  $\alpha$  lactoglobulin, immunoglobulin, serum albümin ve lactoferrin kompozisyonlarında vardır. Peyniraltı suyunun yüsek miktarda kirlilik oluşturması peynir üretimine bağlıdır. Peynir üretimi, peyniraltı suyu, yağ ve krema organik kirlilik yükü bakımından süt endüstrisinde önemli yer tutmaktadır. Peynir üretiminde 3 ana işlemle kaynaklanan kirlilik söz konusudur.

- CW- Peynir üretiminden kaynaklı ilk peyniraltı suyu püskürtme suyu
- SCW- Diğer değişik faktörlere bağlı üretilen süt ürünleri üretiminden kaynaklı ikinci peyniraltı suyu püskürme suyu
- CWW- Yüksek organik madde ve tuzlu atık içeren peyniraltı suyu atıksuyu

Süt endüstrisinde kirlilik üreten ana üretim aşaması olan peynir üretimidir. Böylece 1 kg peynir için 10 kg süt gerekli, 10 kg peyniraltı suyu çıkar. Dünya çapında  $40,7 \times 10^6$  ton yılda peynir suyu üretiliyor. Bunun yarısını ABD üretmektedir. Süt endüstrisinin içinde bölünmüş birçok üretim kolu mevcuttur. Süt ile ilgili olarak yapılan bu üretimlerden atıksu meydana gelmektedir. Yapılan üretim çeşidine göre atıksu meydana gelen farklı karakterizasyonlar mevcuttur. Süt endüstrisinde yapılan üretimler arasında yoğurt, peynir, yağ, süt, dondurma bulunmaktadır. Dahası atıksu yönetiminde iklim, çalışma koşulları ve yerinde temizleme gibi atıksu ve atık meydana getirecek unsurlar süt varlığının karakterizasyonunu meydana getirmektedir. Süt endüstrisi atığından kaynaklanan nispeten yüksek organik madde, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, 0,1-100 kg/m<sup>-3</sup> aralığında olup BOI<sub>5</sub>/KOİ indeksi 0,4-0,8 aralığındadır. Organik madde içerisinde sırasıyla karbonhidrat protein laktoz, kazein gibi başlıca

içerikler mevcuttur. Bunlara ek olarak yağ içeriği ( $0,1-10,6 \text{ kgm}^{-3}$ ) askıda katı madde ( $0,1-22 \text{ kgm}^{-3}$ ) ve besin (N ve P) maddeleri kirlilik seviyelerini belirlerler. Süt atığının değişik atık miktar ve özelliklerinden dolayı süt atığını işlemek zordur. Bu da genel arıtım işlemlerinin dışında atıksuyun çevreye verilmesi riskini taşımaktadır (Prazeres vd., 2012).

Peyniraltı suyu atığında seyreltme ile alternatif arıtma yöntemleri düşünülmektedir. Peynir atık suyunda daha az atık oluşturacak alternatif yollara başvurulması söz konusu olmuştur. Evsel atıksulara karıştırılarak arıtma tesislerine verilmesi sonucunda biyolojik atıksu arıtma tesislerindeki mikroorganizmaların durumu burada önemlidir. Bu stabil haldeki mikroorganizmalara zarar verebilir. 3 farklı peynir atık yönetimi düşünülebilir:

- Tesis edilmiş, uygulamalı ve değerlendirilmiş teknoloji. Bu teknolojinin hedefi protein ve laktozu geri kazanmaktır. Her litrede peyniraltı suyunda içeriğinde 50kg laktoz ve 10kg protein mevcuttur ve yüksek besin değeri içermektedir.
- Alternatif olan uygulama biyolojik arıttır. Örnek olarak hidroliz laktoz ve protein üretimi laktoz monosakkarit (glukoz ve glaktoz) peptidler ve aminoasit. Fermantasyon prosesinde başlangıç olarak öngörülen üretim laktik asit, bütrik asit, butanol, asetik asit, gliserin aseton, ethanol, hidrojen, tek hücre proteinleri gibi örnek verilebilir.
- Burada ise; fizikokimyasal arıtım, flokülasyon, ozonlama, fenton, termal ve isoelektrik çökelme termokalkik çökelme, asit çökmesi, alkaline çökmesi, kimyasal oksidasyon teknikleri uygulanabilir. CWW kontrolü için gelişmiş uygulamalarda biyolojik proses fizikokimyasal arıtım ile biyolojik ve fizikokimyasal teknolojilerin birlikte kullanımı söz konusudur.

### **2.5.2 Süt ve süt endüstrisi proses atık suları**

Dünyada ve ülkemizde süt endüstrisi atıksularının kirlilik derecesi endüstri tesisinden diğerine ve hatta bazen aynı endüstri tesisinde gün içinde bile üretim türüne göre çok fazla değişiklik göstermektedir. Süt işletmelerinde organik madde içeren süt, işletmeye girdiği andan başlayarak, ürün halinde işletmeyi terk edinceye kadar değişik yerlerde ve değişik teknolojik aşamalarda sulara bulaşarak atıksuyu oluşturur. Süt bileşenlerini

içeren atıksu miktarı işletmeden işletmeye değişmekte olup, 1 litre süt için en az 1-1.5 litre olarak hesaplanabilir.

Süt ve sütendüstrisi üretim proseslerinden kaynaklı ve buüretim hijyenik ortamda sağlanabilmesi için kullanılan suların oluşturduğu atıksu kaynakları aşağıdaki gibi belirtilmektedir (Karakaş, 2013):

- Süt alımı sırasında doğrudan süt dökülmesi, tanklardan taşmalar, işletme esnasında sütün veya süt ürünlerinin dökülmesi, boru hatları, pompalar ve diğer ekipmanlardan gelen atıksular,
- Soğutma sularından kaynaklı atıksular,
- Endüstri tesisinin genel temizliğinden kaynaklı deterjan, diğer bileşikler ve atık olarak uygunluk sağlayan çözeltiler,
- Evsel nitelikli atıksular,
- Bozulan ürünler, geri dönen ürün ve peynir altı suyu gibi yan ürün atıkları,
- İşletme içerisinde yapılan yağ tayini, titrasyon asitliği gibi kalite kontrol tayinleri için kullanılan örneklerden ileri gelen atıklar içerisinde de sütün bileşenlerinin oluşmasıdır.

### Soğutma suları

Pastörize edilen sütün, peynir ve yoğurt elde etmek için mikroorganizmaların faaliyet gösterecekleri sıcaklığa kadar, sütün soğutulması için kullanılan soğutma sularıdır. Bu soğutma suları; proses detayında süt ile teması esas alınarak; temashlı ve temassız soğutma suları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Çelik, 2011). Bu aşama çiğ sütün pastörize olmasından sonra; pastörizasyon sıcaklığından (90 °C) mayalama sıcaklığına (45 °C) getirilmesi için kullanılan soğutma sularıdır.

## **2.6 Süt ve Süt Endüstrisinde Kirlilik Önleme**

Süt ve süt ürünleri endüstrisinin atıksu hacmi ve kirlenici yükü kontrolünde farklı yöntemler kullanılabilir ancak temelde ilk yapılması gereken ek bir ekonomik maliyete gerek duyulmaksızın işletme içi uygulamaları ile elde edilecek atık azaltım faaliyetlerinin değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme temel olarak süt ve süt ürünleri

üreten işletmelerde atıksu arıtımından önce gerekiyorsa atıkların ayrılması, atıkların, yan ürünlerin ve kullanılan fazla suyun tekrar kullanımı gibi önlemlere dayanmaktadır.

Atıksu miktarını ve kirlilik yükünü azaltmak amacıyla süt sanayinde alınacak önlemler şöyle sıralanabilir (Kılıç, 2006):

- Yüksek kirlilik içeren atıkların az kirli atıklardan ayrılması,
- Taşma ve kazalardan kaynaklı hammadde ve ürün kayıplarının minimuma indirilmesi,
- Yıkama sularının toplanması,
- Süt işleme proseslerinde ileri teknolojinin uygulanması,
- Dikkatli, kontrollü, denetimli çalışmadır.

## **2.7 Endüstriyel Atıksu Arıtma Teknikleri ve Genel Özellikleri**

Genelde endüstriyel atıksu arıtımında uygulanan yöntemleri; *fiziksel arıtma*, *kimyasal arıtma*, *biyolojik arıtma* ve *ileri arıtma yöntemleri* şeklinde sıralanabilir.

Toksik olmayan atıklar birincil ve ikincil arıtma sistemlerinde arıtılabilmekte, diğer atıksular ise ancak ön arıtmadan geçirildikten sonra bu sistemlere verilmektedir. Birincil arıtmada atıksu biyolojik arıtıma uygun özelliğe getirilir. Büyük katı parçacıklar tutulur ve kum ayrılır. Dengeleme, atıksuyun debi ve konsantrasyonundaki zamana bağlı değişimleri dengeler. Gerektiğinde dengeleme tankından sonra atıksuyun pH'ı nötralize edilir. Yağ, gres ve askıda katılar, yüzdürme, çöktürme ve filtrasyon ile giderilir. İkincil arıtma, BOİ olarak 50-1000 mg/l aralığındaki çözülmüş organik bileşiklerin biyolojik parçalanmasıdır. Bu işlem aerobik arıtım prosesleri olup genellikle açık ve havalandırılan havuz veya lagünlerde yapılır. Bazı durumlarda (kuvvetli organik atıksularda) atıksu anaerobik reaktörlerde ön arıtmadan geçirilebilir. Biyolojik arıtmadan sonra mikroorganizma ve diğer askıda katıdan oluşan çamur çöktürülür. Bu çamurun bir kısmı prosese geri döndürülür, fazla çamur ise sistemden uzaklaştırılır. Üçüncül arıtma prosesleri, bazı özel bileşenlerin giderilmesi için biyolojik arıtmadan sonra sisteme eklenir.

Örneğin filtrasyon, askıda ve kolloidal katıların gideriminde; granüler aktif karbon organiklerin adsorpsiyonunda; kimyasal oksidasyon da gene organiklerin gideriminde kullanılırlar. Üçüncül arıtma sistemleri büyük hacimlerdeki atıksuları arıtmak durumunda olduklarından dolayı oldukça pahalıdırlar. Kirleticiye özel olmadıkları için bazı durumlarda verimsiz de olabilmektedirler. Örneğin; diklorofenol, ozonlama veya granüle aktif karbon ile giderilebilir, ancak bu prosesler aynı zamanda diğer birçok organikleride giderecektir. Endüstriyel atıksu arıtımında kullanılan yöntemlerin içinde kullanılan teknikler özetle şu şekilde sıralanabilir. ([https://www.isgforum.biz/wp-content/uploads/2013/09/6.cakmakci\\_ipek\\_ozkaya\\_ders\\_notu.pdf](https://www.isgforum.biz/wp-content/uploads/2013/09/6.cakmakci_ipek_ozkaya_ders_notu.pdf))

### **2.7.1 Birincil arıtma**

Atık su içerisinde bulunan kirletici maddelerin fiziksel işlemlerden geçirilerek atığın sudan uzaklaştırılması için kullanılan proseslerdir. Ön arıtım, fiziksel arıtma olarak ifade edilmektedir. Bunlar; ızgaralar, öğütücüler, elekler, kum tutucular, dengeleme, yağ tutma, ön çökeltme havuzları, flotasyon (yüzdürme), nötralizasyon, koagülasyon (pıhtılaştırma) ve flokülasyondur (yumaklaştırma).

### **2.7.2 İkincil arıtma**

Ön ve birincil arıtma metotları ile uzaklaştırılmayan çözünmüş ve kolloidal organik maddelerin uzaklaştırıldığı arıtma tekniğidir. Çözünmüş ve kolloid organik maddeler basit çökeltme yöntemleri ile arıtılamayacağı için, bu maddelerin çökelebilen katılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm çözünmüş kolloidal organik maddelerin mikroorganizmalar (bakteri) ile bir araya gelmesiyle gerçekleşir. Mikroorganizmalar çözünmüş ve kolloid maddeler üzerinde beslenirken büyürler ve çoğalırlar bu arada da çözünmüş ve kolloid maddeleri de çökelebilen katılar haline dönüştürürler. İkincil arıtım yöntemleri bu işlemleri gerçekleştiren biyolojik prosesler ve gerekmesi durumunda kullanılan son çökeltme tanklarını içerirler. İkincil arıtmanın içinde; aktif çamur sistemi, stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtreler, anaerobik arıtma sistemleri yer almaktadır.

### 2.7.3 Üçüncül (İleri) arıtma

Üçüncül arıtma olarak membran prosesler, iyon değiştirme, adsorpsiyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve kum filtrasyonu üniteleri kullanılmaktadır. Bu üniteler endüstriyel proseslerde daha çok atıksuların yeniden kullanılabilirliğinin sağlanması ve istenilen maddelerin kazanılması ve giderimi amacıyla kullanılmaktadır. Membran prosesleri, iyon değiştirici prosesleri, adsorpsiyon prosesleri, ozonlama, UV/ozon/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kombinasyonları, Fenton yöntemi, ultrafiltrasyon, azot ve fosfor giderim yöntemleridir.

### 2.8 Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtılması ve Uygulanan Teknikler

Süt endüstrisinde uygulanan membran sistemle arıtım metoduna geçmeden önce; süt endüstrisi atıksuları için uygulanan diğer giderim yöntemleri hakkında şu tip çalışmalar yapılmıştır. Süt endüstrisi atıksularının, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma uygulamaları gibi geleneksel yöntemler kullanılarak giderimi sağlanmıştır. Yüksek miktarda organik madde içermesi sebebiyle arıtım aşamasında uygulanan teknolojilerin büyük bir kısmında biyolojik arıtma teknikleri kullanılmaktadır. Bu nedenle Türkiye’de süt endüstrisinden kaynaklanan atıksuların aerobik ve anaerobik biyolojik arıtılabilirliğine ilişkinoldukça fazla çalışma yapılmıştır. Fakat; biyolojik sistemlerle arıtılan suyun yeniden kullanımı mümkün olmadığından, atıksuyun yeniden kullanımına yönelik arıtım alternatiflerinin değerlendirilmesine dair yeni çalışmalara geçilmiştir. Bu araştırmalar bu çalışmayı daha cazip hale getirmiştir. Bu nedenle atıksuların geri kullanımına ilişkin şunları söyleyebiliriz:

Nüfusun hızlı artışı, sanayileşmenin gelişmesi, artan kuraklık ve aşırı tüketim ile birlikte tatlı su kaynakları dünya genelinde hızla tükenmektedir. Bu problem özellikle ülkemizin de coğrafyasında bulunduğu Balkanlar ve Ortadoğuda son yıllarda daha da önemli hale gelmektedir. Sahip olunan su kaynakları ülkeler arasındaki stratejik ilişkiler ve pazarlıkların ana unsurlarından biri olmaktadır. Artan talebe karşılık tatlı su kaynaklarının yenileyip miktarını artırmak teknik ve ekonomik açıdan sınırlayıcı olduğu için sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilecek değişik pratik çözümlere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda *‘temiz su kaynaklarını korumanın ilk yolu atıksuları geri kazanma ile başlar’* düşüncesi ile arıtılmış atıksuların geri kazanımı ve birçok değişik amaçlı geri kullanımı için son yıllarda çalışmalar ve uygulamalar artmıştır. Atıksuların geri



kullanımı ile hem tatlı su kaynaklarının tüketimi azaltılmakta hem de deşarj edilen arıtılmış atıksuların çevresel etkileri en aza indirilmektedir.

Atıksuların geri kullanım alanlarının ve miktarlarının artmasıyla birlikte, arıtma teknolojileri de hızlı bir şekilde gelişmektedir. Önceleri arıtılmamış ham atıksuyun kullanıldığı birçok alanda, artık ters osmoz ve ultrafiltrasyon gibi gelişmiş membranprosesleriyle arıtılan atıksular kullanılmaktadır. Böylece, insan sağlığının korunması ve su kalitesi gereksinimlerinin sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca arıtma teknolojilerindeki gelişmeler ve sudaki kirleticilerin kimyasal özelliklerinin daha iyi anlaşılmasıyla atıksuların geri kullanımı ile ilgili mevzuatlar ve yönetmelikler yenilenmekte ve daha sıkı hale gelmektedir. Süt endüstrisine ait atıksular organik içerikli atık içerdiklerinden evsel atıksulara benzer şekilde arıtılabilirler. Kullanılan temel arıtma uygulamaları süt endüstrisi atıksuları için şu şekilde özetlenebilir.

### **2.8.1 Fiziksel yöntemler**

Süt endüstrisi atıksuları, evsel atıksularla birlikte arıtılması durumunda manuel ve otomatik ızgaralardan geçer ve büyük parçaların burada tutulması sağlanır. Izgaradan geçen atıksu, dengeleme havuzuna gelir burada, atıksuda mevcut düzensiz debi ve zaman faktörlerinin dengelenmesi ve atıksuyun homojenize edilmesi ile anlık olarak gelmesi muhtemel toksik maddelerin arıtma tesisine girmesi önlenmiş olur (Çelik, 2011).

### **2.8.2 Kimyasal arıtma yöntemi**

Kimyasal arıtma yöntemi, su ve atıksu ortamında mevcut olan askıda ve kolloidal haldeki maddelerin yumaklar haline getirilmesi için uygulanan bir yöntemdir. Bunlar koagülasyon (hızlı karıştırma), flokülasyon (yavaş karıştırma) ve çöktürme işlemlerinden meydana gelmektedir (Çelik, 2011).

### Koagülasyon (hızlı karıştırma)

Kimyasal arıtma tekniğinin ilk basamağıdır. Kullanılan kimyasal çözeltiler;  $FeCl_3$ ,  $Al(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$  vb. dir. Bu çözeltilerle atıksuyun yük dengesi bozularak pıhtı oluşması sağlanır. Bu çözeltiler havuz içerisindeki dozaj pompalarıyla otomatik olarak ilave edilir (Çelik, 2011).

### Flokülasyon (yavaş karıştırma)

Kimyasal arıtma tekniğinin ikinci basamağıdır. İlk basamakta oluşan pıhtıların bu aşamada polielektrolit kimyasal çözelti dozajıyla yumaklaşması sağlanır. Polielektrolit çözeltisi havuz içerisindeki dozaj pompalarıyla otomatik olarak ilave edilir ve havuz 20 dakika karıştırılır (Çelik, 2011).

### Çöktürme Havuzları

Kimyasal arıtma tekniğinin son basamağıdır. Yavaş karıştırma havuzundan çıkan atıksular çöktürme havuzuna girer. Çöktürme havuzunun işleyişi özgül ağırlığı sudan fazla olan ve flok haline getirilmiş atıksu içerisindeki kirletici maddelerin sudan ayrılması işlemidir. Kimyasal arıtma işlemi tamamlandıktan sonra, çökme işleminin ardından toplanan çamur, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemi için uzaklaştırılır (Çelik, 2011).

### **2.8.3 Biyolojik arıtma yöntemi**

Süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma sistemleri; süt ve süt ürünleri atıksuyun yüksek organik madde içermesinden dolayı anaerobik proseslerle ve aerobik proseslerle ilgili çalışmalar mevcuttur. Biyolojik prosesler arasında; aktif çamur sistemleri, oksidasyon havuzu, damlatmalı filtre, birleşik damlatmalı filtre ve anaerobik arıtma gibi uygulamalar yer almaktadır (Çelik, 2011). Biyolojik arıtma sistemleri aerobik ve anaerobik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

## Aerobik prosesler

Süt atıksularının arıtılmasında özellikle de küçük debili işletmelerde ardışık kesikli aktif çamur tesisleri kullanılmaktadır. Aktif çamur sistemleri, yüksek organik madde gideriminde verim sağladığı için, süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak; yüksek miktarda enerji sarfiyatı, büyük hacim kaplayan havuzlar ve oluşan biyolojik çamur bu sistemin dezavantajı olmuştur. Bu proseslerin içerisine ardışık kesikli aktif çamur sistemi ve klasik aktif çamur sistemi girmektedir (Çelik, 2011).

### *Ardışık kesikli aktif çamur sistemi*

Süt endüstrisinde üretim kaynaklı atıksu karakteristiğine bakıldığında yaygın oranda uygulanan yöntemler arasındadır. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon yöntemleri ile azot bileşiklerini azaltmasından dolayı süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında uygulanabilmektedir. *Klasik aktif çamur sistemi* ise büyük debiye sahip atıksuların arıtılmasında uygulanmaktadır. Bu sistemde proses, havalandırma havuzu ve son çöktürme havuzu olarak tasarlanır (Çelik, 2011).

## Anaerobik prosesler

Süt atıksuyunun KOİ konsantrasyonları önemli derecede değişkenlik gösterir. Süt atık suyunun ılık ve dayanıklı olması, anaerobik arıtma için ideal bir ortam yaratmaktadır. Anaerobik arıtma prosesleri, süt endüstrisi atıksuları ve yüksek organik madde içeren tarım endüstrisi atıksularının arıtımında, aerobik proseslere göre önemli avantajlara sahiptir. Anaerobik arıtma, aerobik proseslerle karşılaştırıldığında, anaerobik arıtmada havalandırma ihtiyacının olmaması, çamurun düşük miktarda oluşması ve alan ihtiyacının az olması gibi sebepler anaerobik arıtmayı avantajlı hale getirmektedir. Süt endüstrisi atıksularından biyogaz üretimi de bu prosesi, aerobik arıtma proseslerine göre çok daha cazip kılmaktadır (Çelik, 2011).

Yapılan bir çalışmada Yunanistan'da bulunan peynir üretim tesisinden çıkan atıksuyun yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörde arıtımını araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucuna göre; 6,2 g KOİ/l gün organik yükleme hızında oldukça verimli çalışıldığı ve

maksimum 7,5 g KOİ/l gün organik yük hızına kadar yüksek giderim verimini sağladığı tespit edilmiştir (Gavala vd., 1999).

Diğer bir çalışmada; ardışık kesikli anaerobik reaktörlerin iki farklı substrat madde ile beslenerek, arıtma performanslarını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada substrat olarak ham peynir suyu ve *Kluyveromyces lactis* ile fermente edilmiş peynir suyu kullanılmıştır. Reaktörlerin her birine 800 ml substrat ve 1400 g anaerobik çamur ilave edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre fermente edilmiş peynir suyunun performansı özellikle metan ve biyogaz üretiminde ham peynir suyuna göre daha iyidir. Bunun iki sebebi vardır. Bunlardan birincisi ham suyun organik bileşimi olan laktozun asidojenik faz boyunca anaerobik fermantasyonlar içinde bozunması ve karbondioksit üretimi sağlarken düşük metan oluşumuna sebep olmasıdır. İkinci sebep ise asidonejik faz boyunca laktozun bozulması sonucu oluşan organik asitler birikmekte, buna bağlı olarak pH değeri ve etanol üretimi azalmıştır (Göblös vd., 2008).

#### **2.8.4 Elektrokoagülasyon**

Elektrokoagülasyon (EK), kimyasal madde kullanmadan atıksulardaki askıda ve çözünmüş katıları gidermede kullanılan bir arıtma yöntemidir. EK prosesi, atıksudan kontrollü olarak elektrik enerjisi geçirilerek partiküllerin destabilize edilmesini sağlar böylece stabil çökelti oluşturulup atıksudan ayrılması sağlanır. Süt endüstrisi atıksuyunda uygulanan elektrokoagülasyon yöntemine dair yapılan bir çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar şöyledir: Atıksuyun karakterizasyonuna bakıldığında KOİ 18300 (mg/l), Yağ ve gres 4570 (mg/l), İletkenlik 1200  $\mu$ S/cm ve pH değeri 6.0-7.5'dir. Sakarya'da süt ve süt ürünleri üreten bu tesisten çıkan günlük 50m<sup>3</sup>'lük atıksuyun yönetmelik gereği deşarj edilmeden önce arıtım için uygulanan elektrokoagülasyon yöntemi ile çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. KOİ, yağ ve gres gideriminde %98-99 oranında giderim sağlanmıştır. Elektrokoagülasyon yöntemin daha az çamur üretimine neden olduğu, daha hızlı ve daha ekonomik bir proses olduğu belirlenmiştir. pH değeri HCl ve NaOH çözeltileri kullanılarak istenilen değere ayarlanmıştır (Şengil ve Özacar, 2006).

Her endüstriyel kuruluşun yaptığı üretim sonucunda çıkan atığın en iyi şekilde bertaraf edilebilmesi, sıvı ve katı atıkların yeniden kazanımı ve kullanımı üretim yapan tesisler

için büyük fayda sağlamaktadır. Bundan dolayıdır ki membran sistemler çıkan atığın yeniden kazanımında önemli bir yer tutmaktadır.

Süt endüstrisinde mevsimsel üretime bağlı olarak süt ve süttten elde edilen diğer yan ürünlerden çıkan atık ve atıksuların hacminde de birkaç kat daha artış olması mümkündür. Proseslerden çıkan atıkların ve atıksu içerisindeki kirleticilerin miktar ve çeşidine göre yapılan arıtma uygulamalarında, atık azaltımının ve geri kazanım için uygulanan metodların atıksu hacminde önemli ölçüde azaltma etkisini göstermektedir. Üretim aşamalarında aralıklı yapılan temizlik ve sterilazyon işlemleri günlük su akışlarında da değişim sağlamıştır. Teknolojinin ilerlemesi ve üretim yapan tesisten çıkan atıksuyun yeniden prosesler içinde kullanımını sağlamak için membran arıtım tekniklerinden faydalanılmaktadır. Aşağıda süt atıksuyun yeniden kazanımına dair uygulanabilecek alternatif bir proses olan membran sistemler ile ilgili bilgi verilmektedir.

## **2.9 Membran Prosesler**

### **2.9.1 Membran proseslerin tarihsel süreci ve gelişimi**

Günümüzde insanlar, nüfus artışı, artan gıda ve su talebi, kaynakların tükenmesi ve iklim koşullarının değişmesi gibi küresel zorluklarla karşı karşıyadır. Bu sebepten sürdürülebilir toplumun gelişimine geçmek zorunda kalmıştır. Birçok potansiyel teknolojinin arasında membran teknolojisi, bu karmaşık ve zor problemlerin çözümünde; en doğrudan etkili, uygulanabilir bir yöntemdir. Membran biliminin ve teknolojisinin tarihsel gelişimi, 1948'lerden önce 1748'e kadar geriye götürülebilir olsa da, membranlar yalnızca laboratuvarlarda veya endüstri bilimlerinde küçük ölçekli uygulamalar için kullanılmıştır. 1960'lı ve 1970'li yıllarda mikrofiltrasyon biyolojik ve ilaç üretimde önem kazanmıştır (Zhang vd., 2012). 1970'lerden beri membran teknolojisi, özellikle deniz suyunu tuzdan arındırma ve su / atıksu arıtımı için birçok farklı alanda büyük ölçekte kullanılmaktadır. Son yirmi yılda membran sistemlerinin enerji tüketimi ve sermaye / işletme maliyetleri kayda değer bir şekilde azalırken, mevcut yeni membranların ve sistemlerin verimliliği ve güvenilirliği önemli ölçüde artmıştır böylelikle membran teknolojisi uygulamalarının dünya çapında üssel olarak büyümesine neden olmuştur. Günümüzde membran teknolojilerinin işlem odağı;

endüstriyel üretimde yüksek kaliteli çıkış sularını elde etmeyi hedeflemiştir. Membran teknolojisi ve bu teknolojinin getirdikleri önemli ölçüde ilerleme kaydetmiştir ve de yüksek kaliteli sıvı ürünlerin oluşumunu sağlamıştır. Membran teknikleri ve uygulamalarının gerçekleşmesi antik çağlara kadar dayanır yeni bir uygulama değildir. Hayatımızın içerisinde her zaman membran tekniklerini basit uygulamalarla aslında gördük. Bunlar aslında ilgili prensipleri bilmeden uygulanan peynir ve yoğurt yapmak için kullanılan tülbent olarak karşımıza çıkmıştır. 17. yüzyıldaki mikroskop icadından sonra insanlar bitki hücresi duvarını gördüler ve hücrenin varlığını keşfettiler (Zhang vd., 2012). Biyolojik membranlar, membran biliminin ve teknolojisinin tarihsel gelişiminin başlangıcı; bir domuz mesanesi yoluyla alkol ve suyu gözlemleyerek ozmotik basıncı tanımlayan Abbe J.A. Nollet (1748) olmuştur.

Membranın Temeller; ozmotik olaylar, membranlardan geçiş ve farklı membran süreçlerinin modellenmesi ile ilgili esaslar, üç ana döneme aittir. İlk dönem, 1855 ile 1930'lar arasındadır; a) Fick (1855), difüzyon teorisi b) Van t'Hoff (1877), seyreltik solüsyonların ozmotik basıncı için termodinamik açıklama c) Nernst (1888) ve Planck akı için (1890) d) Donnan (1911) membran denge teorisi ve elektrotların varlığında membran potansiyeli e) Gibbs (1931), Onsager (1931) mevcut konsantrasyonun veya potansiyel elektron değişiminin akı ve kuvvetler arasındaki durum f) Darcy (1856) ve diğerleri (1937) gözenekli ortam üzerinden akış esaslarını incelemişlerdir (Zhang vd., 2012).

İkinci dönem, 1950'lerden 1990'lara kadar olan zamandır. Bu süre içerisinde farklı membran sistemlerinde ulaşım fenomenlerini içeren taşıma mekanizmaları ve modelleri geliştirilip ve kullanılmıştır. Membranın itici gücü; bu periyodun esasları, mükemmel mekanik ve termal kararlılığa olduğu kadar spesifik taşıma özelliklerine sahip sentetik membranların; polimer kimyası ve endüstriyel kullanımındaki ilerlemelerini sağlamıştır. İlk çalışma, geri dönüşümsüz termodinamiğe dayanan kapsamlı bir teorinin geliştirilmesi ve membran nakil özelliklerini tanımlamak için bir difüzyon çözeltisi membranı modeli geliştirilmesiyle başlamıştır (Staverman 1952; Kedem ve Katchalsky, 1958; Merten, 1966). Bu arada ıslak yüzey mekanizması (Reid ve Breton, 1959), çözelti-difüzyon mekanizması (Lonsdale 1965; Sherwood 1967), elek mekanizması (Banks and Sharples, 1966) dahil olmak üzere RO ve diğer membranlardaki farklı taşıma mekanizmaları önerilmiştir (Zhang vd., 2012). Spiegler (1958), iyon değişim

membranlarının özellikleri ve pratik kullanımı üzerine kapsamlı çalışmalar yapmıştır. Souriraja ve araştırma ekibi, 1960'lı yıllarının sonlarında RO membran ayırıştırması ile ilgili temel kavramları ve modelleri geliştirmiştir. Temiz su ve deniz suyunun yanı sıra basınca dayanıklı ozmos (PRO) karıştırılarak elektrik üretimi kavramları önerilmiştir. O tarihten beri süreçler başkaları tarafından geliştirilmiştir. İkinci dönemde, membrandan geçişi aydınlatmak için modeller ve teoriler önerilmiştir. Genel olarak membran modelleme yaklaşımları a) ulaştırma modelleri ve b) empirik modeller olarak sınıflandırılabilir. Bu modellerin çoğu halen kullanılmaktadır ancak son 20 yılda membranların ve süreçlerin yeni gelişmesi nedeniyle yeni model ve yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Membran taşıma modelleri gözenekli ve gözeneksiz olarak toplanmıştır. Gözeneksiz membranlar için geliştirilen taşıma modelleri NF ve RO bunlara; homojen membran modelleri b) gözenek tabanlı modeller ve c) geri dönüşsüz termodinamik modeller olmak üzere üç tipten oluşur. Gözenekli membranların UF ve MF modelleri; a) Hagen-Poiseulle denklemi ve Kozeny-Carman ilişkisi, b) Knudsen akımı c) sürtünme modeli ve d) konsantrasyon polarizasyonu (CP) modeli temel modellerdir (Zhang vd., 2012).

Bu modeller ayrıca çözünenlerin organik ve inorganik özellikleri açısından dört gruba ayrılmıştır;

- ✓ Ağırlıklı olarak CP ilişkisi, konveksiyon ve difüzyon, Nernst-Plank denklemi, seri direnç ve kek filtrasyon teorisini takip eden yüklenmemiş kolloidler,
- ✓ Konveksiyon ve difüzyon ilişkisi içeren yüklü kolloidler, seride direnç ve kek filtrasyon teorisi,
- ✓ CP ilişkisini izleyen genel organik madde, termodinamik model, difüzivite, seri ve adsorpsiyon tabakalarında direnç ve
- ✓ Nernst-Plank denklemine uyan iyonlar

Membranların veya membran proseslerinin geliştirilmesi, hem akış hem de tür taşıma özelliklerinin doğru bir şekilde öngörülmesi gerekir. Çünkü tasarım analizi için çok kompleksitlerin test edilmesini ve ilgili kaynakları, mevcut kaynakları ve geniş hesaplama gücünü aşan zorlu bir koşul olan her koşulda modellenmesini gerektirir. Bu nedenle, 1990'lı yıllardan beri, membran esasları üzerine yapılan araştırmada esas olan bilgisayar tabanlı optimizasyon yaklaşımını membran modelleme ile birleştirmektir

(Zhang vd., 2012). Üçüncü dönemde yine 1990'ların başında, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile ilgili yaklaşımlar ve membran süreçlerinin modellenmesi; *Nicel yapı-Aktivite İlişkileri*, veri sürürlü bilgisayar simülasyonu, istatistikler ve moleküler dinamik simülasyonları geliştirilmiştir. Membranların veya membran proseslerinin geliştirilmesi, tasarım analizi için hem akış hem de taşıma özelliklerinin doğru bir şekilde öngörülmesini gerektirir. Bu nedenle, çok kompleksitlerin test edilmesini ve ilgili koşulların her bir koşul altında modellenmesini gerektirmiştir.

Buda mevcut kaynakları ve geniş hesaplama gücünü aşan zorlu bir görevdir. Bu nedenle, 1990'lı yıllardan beri, membran esasları üzerine yapılan araştırmalar, membran tabanlı modelleme çabaları ile bilgisayar temelli bir optimizasyon yaklaşımının eşleştirilmesi yönünde hareket etmiştir (Zhang vd., 2012).

Çizelge 2.2'de membranın tarihsel gelişimi verilmiştir.



## Çizelge 2.2. Membranın tarihsel gelişimi (Zhang vd., 2012)

Yıl	Açıklama
1748	Osmoz
1803	Elektroosmoz Reuss 1803, Porret 1816
1804	Bitkilerin su ve minerallere diferansiyel geçirgenliği
1837	Dutrochet (1837) ozmos terimini icat etti.
1855	Fick'in difüzyon teorisi (1855)
1860	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ H<sub>2</sub> geçiş metallerinin geçirgenliği (Deville ve Troost, 1863; Deville 1864)</li><li>✓ Diyaliz ve gaz ayırımı Kauçuk membranlar (Graham, 1866)</li><li>✓ Osmoz sentetik membranlar üzerinde araştırma (Traube, 1867)</li></ul>
1887	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 1887'de Raoult tarafından çözeltilerin kimyasal potansiyali arasında ilk bağlantıyı kurdu</li><li>✓ Osmotik olgu teorisi (Van't Hoff)</li></ul>
1888&1890	Elektrolit taşınımı (Nernst, 1888; Planck, 1890)
1890&1907	Membran potansiyeli (Qstwald, 1890; Henderson, 1907)
1905	Osmotik basınç; Einstein, 1905
1911	Membran denge (Donnan, 1911)
1930	Membrandeki anormallikler Sollner, 1930
1928-1940	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Biyolojik sistemlerde elektrik yüklü membranlar (Michaelis, 1928)</li><li>✓ Teorik olarak yüklü iyonların membranlardan geçirgenliği; Teorell (1935, 1937); Meyer ve Sievers (1936)</li><li>✓ Meyer ve Strauss (1940) Modern elektrodiyalizin temellerini oluşturdular.</li></ul>
1950-1956	Gözenek modeli; Schmid (1950) ve Londale (1956)
1958-1961	Geri dönüşsüz Termodinamik (Kedem ve Katchalsky, 1958, 1961)
1959	Teorik düzeyde elektroiletkenleştirme (EDI) süreci, tasarımı ve çalışma durumu, (Glueckauf, 1959)
1960	Ticari RO membran ile ilgili teori (Leob, 1960)
1963	Konsantrasyon polarizasyonu
1965-1990	Farklı membran taşıma modelleri oluşturuldu.
1990+	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, nicel yapı etkinlik yapı ilişkisi, bilgisayar simülasyonu, moleküler dinamik simülasyonu, membran modellerini geçişlerini modelleme.
2005	Biyometrik membranın taşıması
2006	Gaz ayırma için temeller CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>
2010	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Moleküler tasarım, atomistik simülasyon, membranda akış, taşıma ve membran kirlenmesi.</li><li>✓ Çözünürlük özellikleriyle ilişkili RO yardımıyla membran kristalleşmesinin pratik ve teorik fizibilitesinin analizedilmesi.</li></ul>

### 2.9.2 Membran tanımı ve uygulama alanları

Membranlar çevre, enerji ve endüstriyel alanda önemli bir yer kazanarak geniş bir uygulama alanına sahip bulunmaktadır. Membranlar seçici bir şekilde ayırma ve

taşımanın gerçekleştiği yarı geçirgen bariyer olarak tanımlanabilir. Membran uygulamalarda amaç, membran üzerinde bir çözelti karışımı içerisindeki bazı bileşenlerin geçişine izin verilirken, bazılarının ise tutulmasını sağlamaktır. Ayırma işlemi membranın hem kimyasal hem de fiziksel özelliklerine bağlıdır ve basınç farkı, yoğunlaşma (kimyasal potansiyel) farkı, elektriksel potansiyel farkı ve sıcaklık farkının biri veya bir kaçını ile oluşturulan basınç (sürücü) kuvvetle gerçekleşmektedir. Ayırma işlemi gözeneksiz membranlarda sorpsiyon ve difüzyon modeline göre gözenekli membranlarda ise boyut, şekil ve yük ayırımına göre kontrol edilmektedir. Membran performansı seçicilik ve akı parametreleriyle belirlenir. Membran prosesler giderimi ve /veya ayırma yapılacak bileşenlerin yapı ve durumuna bağlı olarak sınıflandırılabilir. Su arıtımı için önerilen membran prosesler şunlardır; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, hiperfiltrasyon (ters osmos), elektrodializ, mikrobiyal yakıt hücresi, membran distilasyonu gibi sınıflandırılır.

Membranların temel kullanımları endüstriyel gazların ayrılması, su ve atıksuların arıtılmasının yanı sıra, sıvı çözeltilerden, havadan ve endüstriyel baca gazlarından partikül maddelerin ayrılması gibi önemli bir çok uygulamada kullanılmaktadır. Ayrıca elektrokimyasal proseslerde iyon ayırma, kan ve idrarın diyalizi, membran bazlı sensörler, tedavi edici ilaçların kontrollü salgılanması gibi birçok işlemde de kullanım alanı bulunmaktadır. Özetle uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir ( Aslan, 2016):

- Su ve atıksu arıtımı
- Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı
- Tuzlu ve acı sudan içme suyu elde edilmesi
- Biyoenerji üretimi
- Organik maddelerin ayrılması ve giderilmesi
- Endüstriyel proses suyu eldesi
- Sertlik giderimi
- Meyve suyu elde edilmesi ve yoğunlaştırılması ve berraklaştırılması
- Deniz suyundan içme ve kullanma suyu elde edilmesi
- Protein çözeltilerinin yoğunlaştırılması
- Su, atıksu ve sıvı çözeltilerden değerli metallerin geri kazanılması
- Tuzlu ve acı sulardan tuz ve metal giderimi

- Deniz suyunun arıtılmasında ön arıtma işlemlerinde
- Protein, maya ve glikoz gibi bileşenlerin üretiminde filtrasyon besiyeri ve primer hücre geri kazanımında
- Bakteri ayırma ve gideriminde
- Azetropik karışımların ayrılması
- Gaz ayırma işlemleri
- Biogazların üretimi ve ayrılması gibi geniş uygulama alanlarına sahiptirler.

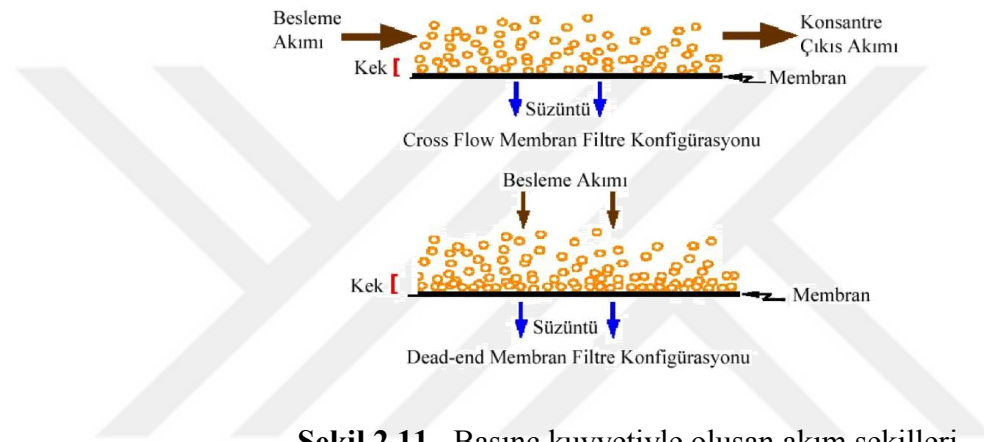
#### Membran proseslerin avantajları (Özay vd., 2015; Aslan, 2016)

- Sürekli işletme halinde olabilmesi, çok az yer ihtiyacının olması,
- Modüler olarak kullanılabilmesi,
- Çok yüksek konsantrasyonlara uygulanabilmesi,
- Taşınabilir olması,
- Herhangibir inşaat gerektirmemesi,
- Maliyetinin gün geçtikçe azalması,
- Az enerji kullanımı,
- Kimyasal katkı ihtiyacının olmaması,
- Belirli bir boyut sınırlandırması olmaması,
- Membran proseslerde nispeten basit ve zararsız malzemeler kullanılabilir, kullanılmaktadır,
- Kimyasal katkı ihtiyacının olmaması (ilave kimyasallara ihtiyaç duymaması),
- Membran prosesler temelde çok basit bir akım şeması sunar. İşletme koşulları karmaşık değildir. Dolayısıyla; basit doğrudan işletme, düşük bakım onarım seçeneği sunmaktadır.

#### **2.9.3 Membranlarda akım şekilleri (filtrasyon)**

Membran filtrasyonu, basınç (sürücü) kuvveti etkisiyle akışkan bileşenin, organik ve inorganik yapıları membrandan geçirilmesi işlemine denir. Dolayısıyla; membran yüzeyi ve gözeneklerindeki akım şekli önemlidir. Uygulanan akışkanın geçmesi için gözenek boyutu ile ters orantılı olarak bir basınç kuvveti uygulanması gerekmektedir. Membran teknolojileri, basıncın etkisiyle iki farklı filtrasyon tekniğine göre çalışmaktadır. Bunlar; normal akımlı (klasik) filtrasyon (dead-end filtrasyon) ve çapraz (teğet) akımlı

(cross-flow) filtrasyondur (Şekil 2.11). Normal (klasik) filtrasyonda membran yüzeyine sıvı akışı dik olarak geçer ve bir çıkış akışı oluşur. Geçemeyen kısım membran yüzeyinde birikir zamanla kek halini alır. Çapraz (teğet) akış filtrasyonda membran yüzeyine paralel olarak gelmektedir. Membran yüzeyinde sürekli bir akım olduğu için membrandan geçemeyen bileşenler sürüklenerek yüzeyden uzaklaşır. Bunlardan başka birde dahili (iç) ve harici (dış) basınç filtrasyonu vardır. İç basınç filtrasyon metodunda membranın iç kısmından dışına doğru basınç uygulanarak arıtılmış veya süzüntü su membranın dışına alınır. Dış basınç filtrasyon metodunda ise basınç membranın dış yüzeyine uygulanır ve süzüntü membranın iç kısmından alınır (Aslan, 2016).



Şekil 2.11. Basınç kuvvetiyle oluşan akım şekilleri

#### 2.9.4 Membran proseslerin tıkanması

Membran yüzeyinde, partiküller, kolloidal maddeler, makromoleküller, tuzlar vb. maddelerin birikmesi sonucu tıkanma oluşur. Membran tıkanması ciddi bir sorun olmakla birlikte membran permeabilitesini (geçirgenlik) sınırlandırmaktadır. Geçirgenliğin azalması da transmembran basıncının etkisiyle membrandan geçen akının, yani birim membran alanı başına arıtılmış su üretiminin azalmasına (Özay vd., 2015); dolayısıyla membranların kirlenmesi ve gözeneklerin tıkanması düşük akıya sebep olmaktadır (Aslan, 2016).

## Tıkanma şekilleri (Özay vd., 2015)

- Partiküler ve kolloidal tıkanma
- Konsantrasyon polarizasyonu
- Çökelme
- Biyolojik Tıkanma (Biofouling) (Atıksuların geri kazanılmasında en büyük problem)  
Biofouling: Membran yüzeyine mikroorganizmaların çökmesi ile balçıklı biofilm oluşumudur.

## Membranların temizlenmesi

Membran gözenek boşluklarında ve yüzeyinde biriken maddeleri uzaklaştırmak için düzenli olarak temizlik işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Membran kirlenme kontrolünde etkili iki yöntem vardır. Bunlar fiziksel yöntem ve kimyasal yöntemdir. Fiziksel yöntemde; geri yıkama, gaz veya hava püskürtme ve su ile yıkama (flashing) dır.

*Geri yıkama:* Bu işlemin uygulanabilmesi için basınç üst sınırı membran malzeme ve şekline bağlıdır. Membran yüzeyine filtrasyonla ters yönde basınçlı su kullanılır.

*Gaz veya hava püskürtme ile yıkama:* Verilen gaz veya hava ile membran içindeki su titreşim ile membran yüzeyindeki maddeleri kaldırır.

*Su ile yıkama:* membran yüzeyindeki yapışmış maddelerin, yüksek hızdaki filtrelenmiş su veya yıkama suyu yüzeyden kaldırılmasıdır.

## **2.9.5 Membran seçiminde etkili faktörler**

### Akı

Birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. Birimi  $m^3/m^2.sn$  veya  $L/m^2.sa$  olarak ifade edilir.

### Sıcaklık

Sıcaklık hem su akımını hem de osmotik basıncı etkiler. Akı, besleme atıksuyu sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Optimal sıcaklıklarda sıcaklık artışı akı artışını da sağlamaktadır.

Organik membran proseslerde ideal sıcaklık aralığı 20°C-40°C olarak verilmektedir. Bu sıcaklık değerlerin üzerinde membran yapısında bozulma ve aşınmalar meydana gelmektedir. İnorganik membranlarda ise sıcaklık 300 °C'ye kadar olmaktadır.

### Kimyasal uygunluk

Membran polimerleri arıtılacak akımdaki kimyasal iyonlara / bileşiklere dayanıklı olmalıdır.

### Basınç veya trans membran basıncı (TMP)

Akışkan bileşenli sıvılarda filtrasyon sağlamak için gerekli olan basınçtır. Membran filtrasyon prosesinin işletilmesinde en önemli durum sabit trans membran basınç uygulamasıdır. Gereğinden fazla basınç membranın yapısını bozar ve verim eldesini düşürür.

### pH

Organik membranın pH aralığı, inorganikmembranlara kıyasla düşüktür. Selüloz asetat membranlar düşük pH'da hidrolize olurlar. Organik membranlar için optimal pH aralığı 4,5-8 olup inorganik membran için ise 3-13 şeklindedir.

## **2.9.6 Membranların yapısı ve sınıflandırılması**

Membranlar yapısal ve fonksiyonel olarak birbirinden farklılık gösterir ve çeşitleri vardır. Uygulanan basınç etkisi, elektrik gücüyle çalışan, kimyasal yapılarına, geometrilerine, morfolojilerine ve ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırılırlar. Membran yüzeylerde genelde uygulanan kuvvetler basınç ve elektriksel potansiyel kuvvetleridir. Bu kuvvetlere ek olarak membran hava sıyırması ve pervaporasyon gibi kuvvetler de mevcuttur. Ancak bu iki kuvvetin ticari anlamda önemli bir yeri yoktur. Fiziksel ve kimyasal yapılarında oldukça fazla değişiklikler meydana gelir. Ancak en temel ve en önemli özelliği, ayırma işleminin uygun bir şekilde gerçekleştiği mekanizmasıdır. Bu esasa bağlı olarak; membranlar yoğunluğa ve gözenek boyutuna göre sınıflandırılabilir.

### **2.9.6.1 Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma**

Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırmada; 3 ayrı tip membran yapısı kullanılmaktadır. Bunlar; eleme, çözünme-difüzyon ve elektrokimyasal etkilerin oluşturduğu poröz (gözenekli), poröz olmayan (gözeneksiz) ve sıvı membranlardır. Ayırma işlemi poröz membranlarda eleme, poröz olmayan membranlarda ise çözünme-difüzyon mekanizması ile gerçekleşmektedir. Poröz ve sıvı membran tipleri çevre uygulamalarının yanısıra su ve atıksu arıtımında, poröz olmayanlar ise gazların saflaştırılmasında kullanılmaktadır. Elektrokimyasal etki isesıvı membranlarda etkili olmaktadır (Hepşen, 2010)

### **2.9.6.2 Geometrilerine göre sınıflandırma**

Membranlar geometrilerine göre ise silindirik ve tabaka yapıda olmak üzere sınıflandırılmıştır. Silindirik membranlar boru ve boşluklu elyaf şeklinde, tabaka membranlar ise spiral sargılı ve plaka-çerçeve şeklinde bulunmaktadırlar. Bir sistemdeki modül konfigürasyonunun (yapılandırma) seçimi; modül düzenlemesi ve mühendislik parametrelerinin doğru seçilmesinin yanında ekonomik koşullarada bağlılık gösterir. Su ve atıksu arıtımında yaygın olarak boşluklu elyaf ve spiral sargılı modüller kullanılmaktadır ( Hepşen, 2010).

#### Plaka ve çerçeve (flat sheet ) membran modülleri

Yapıları oldukça basittir. Besleme suyu, düz bir tabakadan akıp, diğer tabakalar arasında geçiş yaparak akmasıyla oluşan modüle denir. Günümüzde plaka ve çerçeve modüller sadece elektrodializ ve pervaporasyon sistemlerde, yüksek oranda kirlilik ihtiva eden beslemeli ters ozmos ve ultrafiltrasyon uygulamaları ile sınırlı sayıda kullanılmaktadır.

#### Boru tipi (tubular) membran modülleri

Büyük sağlam borular içine; 0,7-2,5 cm çaplarında ve 0,6-6,4 m uzunluklarında, küçük boruların yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Gözenekli tüpün iç tarafı membranla kaplanmıştır. Basıncın uygulanmasıyla, basınçlı besleme suyu, membranın veya

membran film iç tarafından girip gözenekli tüp arasında çıkarak arıtılmış suyun elde edilmesine denir. Vizkozitesi ve askıda katı madde konsatrasyonu yüksek sıvılarda membran tıkanmadan uzun süre kullanılabilir (Hepşen, 2010). Ancak hollow fiber ve spiral sargılı modüllere kıyasla basınç kayıpları yüksektir (Aslan, 2016).

#### Spiral sargılı (spiral wound ) membran modülleri

Spiral sargılı membranlar, plaka ve çerçeve membranların birçok dezavantajını ortadan kaldırmış olup kullanım alanında yaygınlaşmıştır. Bu modüller, gözenekli süzüntü toplama tüpü etrafında yer alan; tabaka membranlar, ara plakalar ve gözenekli tabakalardan meydana gelmektedir. Membranlar, sayıları 2-7 arasında değişen miktarda, membran kabı içerisine tek bir modül oluşturabilecek şekilde yerleştirilmiş olup modellerin yoğunluğu  $300-1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  arasında değişir. Bir membran kullanıldığında geri kazanım %30 iken, modül tasarımı %75'lere kadar artabilmektedir. Spiral sargılı modüller daha çok ters osmoz uygulamalarında kullanılmaktadır. Spiral (rulo) halindeki membran ve delikli yapı; 5, 10, 20, 40 cm'lik standart çap ve 15-150 cm uzunluğunda üretilirler. Membran alanı çapa bağlı olarak  $15\text{cm}^2$  ye kadar çıkmaktadır (Hepşen, 2010).

#### Boşluklu elyaf (hollow fiber) membran modülleri

Besleme suyu dağıtım borusunu saran binlerce elyafın oluşturduğu bir yığın halindedir. Bu tür modüllerin her biri insan saçı kalınlığındaki borucuklardan oluşur. Bu yığılı elyaf tabaka; PVC, paslanmaz çelikten yapılmış basınçlı bir fiberglas kap içine yerleştirilir. Temiz su içteki bölmede toplanır. Bu membranlarda, iç ve dış oranı 2:1'dir. Her bir delikli elyafın çapı 0.19-1.25mm arasında değişmekte olup kalınlığıda 200  $\mu\text{m}$  arasındadır. Modül çapı 10-20cm ve membran alanı  $4.7-7.8\text{m}^2$  arasında değişir. Membrana verilecek suda iri partiküllerin olmaması gerekmektedir. Bu sebepten; 50-100  $\mu\text{m}$  çaplı partiküllerin tutulması için ön arıtmaya ihtiyaç duyulur. Modüller daha yüksek basınç altında çalıştırılabilirler. Bu modülde kullanılan membranların akı değeri spiral sargılı modüldeki membranlara göre daha azdır.



### 2.9.6.3 Morfolojilerine göre sınıflandırma

Membranlar morfolojilerine göre simetrik, asimetrik ve ince filmlili kompozit membranlar şeklinde 3'e ayrılır.

#### Simetrik membranlar

Boşluklu ve boşluksuz olabilirler (Aslan, 2016). Simetrik membranlar çok küçük gözenekli yapıya sahiptir. Yoğunluğu fazladır bu sebeple geçirgenlikleri düşüktür. Ticari kullanım alanları azdır. Tek bir malzemedden üretildikleri için homojen bir yapıya sahiptirler. Simetrik membranların kalınlıkları 10-200 µm arasındadır ( Hepşen, 2010).

#### Asimetrik membranlar

Daha fazla akı özelliğine sahip olan asimetrik membranlar, endüstriyel uygulamalarda kullanılan simetrik membran uygulamaların yerini almıştır. Asimetrik membranlar, hem homojen hemde heterojen bir yapıya sahiptirler. Bu dönemde aşırı ince membranların en iyileri asimetrik yapı sayesinde elde edilmektedir. Bu tür membranlarda 0.1-0.5 µm kalınlığında yoğun bir üst tabaka ile yine kalınlığı 50-100 µm arasında değişen bir alt tabaka yer almaktadır (Hepşen, 2010).

#### Kompozit membranlar

Kompozit membranlar çeşitli malzemelerden üretildiklerinden heterojen bir yapıya sahiptirler. Yoğun bir film tabakasına sahiptir. Bunun sebebi ayırma işleminin basınç, konsantrasyon veya elektriksel potansiyel farkı gibi itici kuvvet altında difüzyonla taşınmasındandır. Asimetrik membranların üst yüzeyine, ince bir tabakanın yerleştirilmesiyle ince filmlili kompozit membranlar (TFC) oluşur. İnce tabaka, toplam membran kalınlığının %1'i kadardır. Mikrofiltrasyon (MF) ve Ultrafiltrasyon (UF) membranları simetrik ve asimetrik olarak tasarlanmıştır. Nanofiltrasyon (NF) ve Ters Osmoz (RO) ise genellikle asimetrik veya kompozit yapıdadır (Hepşen, 2010).

#### **2.9.6.4 Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma**

Membranlar kimyasal yapılarına göre; inorganik (seramik, metal, karbon, zeolit, cam ) ve organik (polimerler) membranlar olarak sınıflandırılmaktadır. Membran proseslerin verimli kullanım için uygun membran malzemesinin seçilmesi gerekmektedir. İnorganik membranlar yüksek sıcaklıklara ve basınca dayanıklıdırlar. Kirlenmeden sonra kolay temizlenebilir ve mikrobiyolojik bozulmalara karşı dayanıklı membranlardır(Aslan, 2016). Organik membranlar iseyaygın olarak; polietersülfan (PES), Polivinildenflorür (PVDF), naylon, polipropilen (PP), polisülfon (PS) ve Politetrafloroetilen (PTFE) gibi polimerlerden yapılabilmektedir. MF ve UF membranların üretiminde sık kullanılan polimerler, polietesülfon (PES), selüloz asetat (CA), polivinilidenflorür (PVDF), propilen (PP), poliakrilonitril (PAN) ve polisülfon (PS)'dir. NF ve RO membranlar ise genellikle selüloz asetat (CA), selüloztriasetat (CTA) veya poliamid (PA) polimerlerinden üretilmektedir (Hepşen, 2010).

#### **2.9.6.5 Basınç kuvvetiyle yürütülen membran prosesler**

Su arıtımında kullanılan etken kuvvet genelde basınçtır. Basınç kuvveti kullanan membran prosesleri şunlardır (Aslan, 2016).

- ✓ Ters osmoz (RO)
- ✓ Nanofiltrasyon (NF)
- ✓ Ultrafiltrasyon (UF)
- ✓ Mikrofiltrasyon (MF)

Ham su, besleme pompasıyla basınçlandırılmıştır. Basınçlı su membran yüzeyinden geçer. Basınçlandırılmış giriş akımının bir kısmı membrandan geçer ve süzüntü (ürün) olarak ortaya çıkar. Kalan kısım ise konsantre sistemden atılır. MF ve UF tipik olarak mikrobiyal içeriklerin ve partiküllerin giderilmesinde kullanılır. Bunlar düşük basınçla çalışan membranlardır. NF ve RO ise içinde organik ve inorganik çözünmüş muhteviyatı olan içme sularındakullanılır. MF ve UF'ye göre basınçları daha yüksektir. Membranın seçici özelliği; membrandan çıkan çıkış suyunun, giriş kısmındaki sudan çok düşük konsantrasyonlarda partikül bulundurması olarak tanımlanmıştır (Kitiş vd., 2009). Membranların genel özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir (Aslan, 2016).

**Çizelge 2.3.** Membranların genel özellikleri (Aslan, 2016)

Parametreler	MF	UF	NF	RO
İşletme Basıncı(bar)	1-4	2-7	10-40	15-100
Gözenek boyutu (µm)	0.1-1.5	0.01-0.05	0.001-0.01	<0.0002
MWCO(µm) aralığı	>300000	300000-100000	200000-20000	<500
Boyut- kesme aralığı(µm)	0,1-20	0,005-0,1	0,001-0,01	<0,001

#### Mikrofiltrasyon (MF)

MF membranlarının üretimi için en çok, polipropilen (PP), politetrafloretillen (PTFE) polikarbonat malzeme kullanılır. Mikrofiltrasyon sıvı ve gazlarda mikron veya daha küçük partikülleri ayırmak için kullanılır. Gözenek boyutları 0.1 ile 1.4 µm aralığındadır. MF 100.000 daltondan daha büyük bir moleküler ağırlık engelleme sınırında (MWCO) yaklaşık olarak 100-400kPa (15-60Psi) aralığında düşük basınç uygulamalı bir membran ayırma prosesidir. Yaklaşık 0.05 ile 2 µm çap aralığındaki makro molekülleri ve askıda katıları ayırmaktadır. MF membranın uygulama alanları: Su ve atıksuların arıtılması, kolloidal silika ve yağ emülsiyonu gibi maddelerin giderimi, metal son işlemleri atık çıkış sularında, boya tesislerinde atık çıkış sularında, NF ve RO membranlar öncesinde ön arıtım prosesi olarak, suda bulunabilen protozoa, alg, virüs yanısıra silt, kum ve benzeri boyutlardaki askıda çökebilen maddelerin giderilmesi, doğal ve sentetik organik maddelerin gideriminde uygulanabilmektedir (Aslan, 2016).

#### Ultrafiltrasyon (UF)

UF membranların üretimi için en çok, selüloz asetat (CA), polisülfan (PS), polietersülfan (PES), polietilen (PE) malzemeler kullanılmaktadır. UF membranlarında, maddelerin tutulma seviyeleri moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) ile ifade edilmektedir. Her bir membran için bu değer üretici firmalarca verilmektedir. Belirli bir MWCO değerinin altındaki maddeler membranda tutulamazlar. UF membranın delik çapı 0.05-1nm arasında değişir (Aslan, 2016). UF membranın uygulama alanları: Makromoleküler, kolloidal parçacıkların giderimi, yağ içeren atıksuların arıtımında,

mikroorganizmaların ve çeşitli virüslerin gideriminde, klorlama sonucu oluşan trihalometanların (THM) giderilmesinde, ilaç ve gıda endüstrisinde, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında, meyve suyu ve süt üretiminde, mikrofiltrasyon yerine, peyniraltı suyunun değerlendirilmesi, peynir üretiminde, kağıt ve boya endüstrisinde, tekstil endüstrisinde yün yıkama sularının geri kazanılmasında, RO prosesi öncesinde ön arıtım olarak ve deniz suyu arıtma tesislerinde, ters osmoz sistemi öncesinde ön arıtma amaçlı kullanılmaktadır (Aslan, 2016).

### Nanofiltrasyon (NF)

NF membranların üretimi için en çok, polisülfan (PS), poliamit (PA), ince film kompozit malzemeler kullanılır. Nanofiltrasyon membran 0.001-0.005 $\mu\text{m}$ 'den küçük çaplı monovalent iyonların geçişine izin verirken, divalent iyonların geçişine izin vermez. 200-300 molekül ağırlık aralığındaki organik bileşiklerin tutulmasını sağlar. NF membranlarının MWCO değeri, 100-300 aralığındadır. UF membranın uygulama alanları: Kısmi tuzdan arındırma, sakkaroz, yumurta albümin vb. gideriminde, kan osmoz, kan arıtımı ve su arıtımı, tuzlu peynir sularının arıtımı, tekstil endüstrisinde renk ve TOK gideriminde, süt endüstri atıksularının arıtılmasında, metal endüstrisinde metal sülfat ve nitratların ayrılmasında, pestisit gideriminde, dezenfeksiyon yan ürünlerinin azaltılması ve giderilmesinde kullanılmaktadır (Aslan, 2016).

### Ters osmoz (RO)

Ters osmoz membran prosesi ayırma işleminde en karmaşık uygulama prosesidir. Ters osmoz işleminde kullanılan membranların gözenek çapları 0.1nm ile 1.5 nm arasında değişir. Membran gözenek boyutları nano ölçekte oldukları için nano boyutundaki su, bazı solvent ve virüsler gibi çok küçük bileşenlerin geçişine izin verirken, düşük molekül ağırlıklı organik ve inorganik bileşenlerin membranlardan geçişine izin vermez. RO membranların üretimi için en çok, selüloz asetat (CA), selüloz tri asetat (CTA), poliamit (PA), polisülfan (PS), polietersülfan (PES) malzemeler kullanılmaktadır. Deniz suyunun tuzsuzlaştırılmasında kullanılan RO, 800-1000psi gibi yüksek bir basınç altında işletilir. Acı ve tuzlu suların arıtılmasında membranlar 200-400psi basınç değerlerinde işletilir. Saf su eldesinde ise membranlar 100-150 psi basınç değerinde işletilmektedir. Ters Osmoz membranın uygulama alanları: Deniz suyunun

arıtılması ve tuzsuzlaştırılmasında, içme ve kulanma suyunun arıtılmasında, metal kaplama ve son işleme endüstrisinde metal geri kazanımında, tarımsal drenaj suyunun tekrar kullanımında, mezbahane atıksularının arıtımı, gıda endüstrisinde, sızıntı suyu arıtımında, kağıt endüstrisinde renk giderimi, tekstil endüstrisinde renk gideriminde, demir-çelik endüstrisi, madencilikte, yağlı emülsiyonlar, lateks ve elektroforetik boya içeren atıkların arıtımı, toksik maddeleri, istenmeyen bileşenleri ve mikroorganizmaları gidermede kullanılmaktadır (Aslan, 2016).

#### **2.9.6.6 Elektrik gücüyle (elektrodiyaliz) çalışan membran prosesler**

Bu membran prostele elektriksel potansiyeli sayesinde, çözülmüş iyonlar suyu geçirmeyen fakat iyonları geçirebilen membranlardan süzülmesi ile arıtım gerçekleştirir. Elektrotlara akım verildiği zaman oluşan etki alanı sebebiyle katyonlar negatif yüklü elektroda doğru hareket ederler. Katyonlar, katyon membranından geçerler fakat anyon membranlarından geçemezler ve membran üzerinde tutunurlar. Sonuç itibariyle ürün olarak elde edilen su, başlangıçta alınan besleme suyundan daha seyreltilmiştir. Konsantre akım ise daha yoğun olarak membran ünitesini terk eder. Elektrodiyaliz membranının uygulama alanları: tuzlu ve acı sulardan içme suyu elde edilmesi, pH kontrolünde, ağır metal geri kazanımında meyve sularının sertliğinin giderilmesi, klor alkali üretim tesislerinde kostik soda üretiminde, metal kaplama endüstrisinde metallerin geri kazanımında kullanılmaktadır (Aslan, 2016).

#### **2.10 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuyu Arıtımında Membran Proseslerin Uygulanmasına Dair Yapılan Çalışmalar**

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuyunun geri kazanımına dair yapılan membran proseslerin kullanımına yönelik literatürde çalışmalar mevcuttur. Yapılan bir çalışmada süt endüstrisi atıksuyunda uygulanan hibrid proses uygulamasına göre koagülasyon, adsorpsiyon ve membran proses ardışık olarak uygulanmıştır. Süt ve süt ürünleri üretimi yapan endüstride kullanılan su hacminin çok fazla oluşu nedeni ile suyun geri kazanılması hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan atıksuyun karakterizasyonuna bakıldığında KOİ 1500-3000(mg/l), TSS 250-600(mg/l), Turbidite NTU 15-30, TDS 800-1200(mg/l), BOİ 350-600(mg/l), pH değeri 5.5-7.5'dir. Çalışmada iki farklı uygulama yapılmıştır. 1. pilot uygulamada atıksu ilk olarak bir ön arıtmadan

geçirildikten sonra dozlama yapılmıştır. Dozlanan ilk koagülant 10mg/l chitosan ardından 1,5mg/l toz aktif karbon (PAC) ve en son uygulanan ters osmoz (RO) yöntemleri ile atıksuyun parametre değerlerinde önemli değişiklikler olmuştur. Arka arkaya uygulanan bu yöntemlerle %96 KOİ giderimi elde edilmiştir. 2. pilot uygulamada ise atıksu ilk olarak ön arıtmadan geçirilmiştir. Dozlamada ilk olarak 10 mg/l chitosan ardından 1,5mg/l toz aktif karbon (PAC) uygulanmış olup bu işlemlerin ardından MF uygulamasıyla ön arıtım yapılmıştır. Bunun ardından RO uygulamasıyla arıtım sonlandırılmıştır ve KOİ giderim verimi %98 olmuştur (Sarkar vd., 2006).

Fransa'da bulunan 11 farklı süt ve süt ürünleri üretim tesislerinde su yönetimi uygulamalarını araştırmışlar ve tesislerde oluşan atıksuların yeniden kullanımı hedeflemişlerdir. RO membran arıtımı sonucunda %90-95'u geri kazanılmıştır. Bu çalışmada yapılan boyutlandırmada 540m<sup>2</sup> RO membranı günlük 100m<sup>3</sup> atıksu için %95 geri kazanım tespit edilmiştir (Vourch vd., 2008).

Yapılan başka bir çalışmada süt ve süt ürünleri üretim tesislerinde uygulanan yerinde yıkama (CIP) ve atıksularının membran proseslerle geri kazanımı araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan atıksular için düşük basınçta NF membran prosesinin uygun olduğu tespit edilmiştir. KOİ önemli ölçüde azalmıştır. CIP uygulaması en iyi verim için optimize edilmelidir, buda membranın performansı, kirletici niteliği doğrudan birbiri ile ilişkilidir. Çalışmada ön arıtım işlemi için kullanılan MF membran sonrasında kullanılan NF membranın performansını kötü etkilemiştir. Dolayısıyla NF membran başarılı olmuştur (Dresch vd., 1999).

Peyniraltı suyu besin değeri yüksek ve güçlü bir organik ve salin içeriğine sahip bir atıktır. Dolayısıyla; peyniraltı suyu atığma, ait yapılan diğer bir çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir; çalışmada işletme değişkenleri, kullanılan reaktifler, mikroorganizmalar gibi mevcut unsurların, nihai atık madde üzerinde kimyasal oksijen ihtiyacı ve protein, laktoz açısından geri kazanımları ve giderimleri tanımlanmıştır. Farklı giderim yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmış bunların potansiyel açıdan hangisinin verimli sonuç verdiği bakılmıştır. Bu incelemede her bir peynir endüstrisinin teknik ve ekonomik potansiyeli dikkate alınarak birden fazla alternatif kombinasyonları oluşturulmuştur. Böylece uygulanan arıtma tekniklerinde %90'a yakın protein geri kazanımı sağlanmıştır. Peyniraltı suyu atığında, yüksek KOİ giderim verimi %74 ile

%98'dir. İkinci sırada protein ve laktoz geri kazanımına bakıldığında %87-100 ve %89-100 değerleri sağlanmıştır. Burada; biyolojik yöntemler, çöktürme, koagülasyon, flokülasyon, elektrokimyasal işlemler ve membran teknolojileri uygulanmıştır (Prazeres vd., 2012).

Süt ve süt endüstrisi atıksularının membran teknolojilerinin kullanılmasıyla yapılan başka bir çalışmada ise farklı UF ve NF membranların performansları değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada iki membran tipi kullanılmıştır. İlk aşamada UF membran ikinci aşamada ise NF membran kullanılmıştır. UF membran ile protein ve yağ tutulmuş olup geri kazanım için tutulan bu ürünlerden biodizel ve biofuel üretimi yapılmıştır. Bu yaklaşım sonucunda süt ürünleri atıksuyundan kullanılabilen su ve bioenerji üretimi için nutrient maddelerin tutulması söz konusudur. Sadece NF prosesinin uygulanmasına nazaran NF, UF proseslerin birlikte kullanılması ile daha yüksek verim elde edilmektedir. İki aşamalı olan NF/UF membranların uygulamasına karar verirken birçok membran denenmiştir. NF membran çeşitlerinden NF270, NF90, Nanomax50, Desal-5DL, Desal 5DK membranlar kullanılmıştır. UF membranda ise; 3 farklı UF membran denenmiştir. Bunlar; UP005P, UH030P, Ultracel PLGC gibi membranlardır. Ultrafiltrasyon membranlarla yapılan çalışmada uygulanan modellerden elde edilen karakteristik sonuçlardaki verilerin herbir membran için farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre UP005P ve Ultracel PLGC membranlarda protein geri kazanımı %100 sağlanmıştır. UH030P membranın kullanılmasıyla protein tutulması %99.46'dır. UP005P membranda laktozun %34.22'si geri kazanılmıştır. Ultracel PLGC membranda laktozun geri kazanımı olmamıştır. Bu çalışmada kullanılan farklı UF membran çeşitlerine göre; Ultracel PLGC (1,08 bar), UH030P (1,29 bar), UP005P (3.43bar) basınçta çalışmıştır. UP005P ve UH030P membranlarla yapılan deneyde membran yüzeyindeki geçirgenlik 4 saat gibi sürede tıkanmaya maruz kalmıştır. Fakat Ultracel PLGC membranla yapılan deney aşamasında ise aynı sürede diğer iki membran tipine göre (UP005P ve UH030P) tıkanma daha az olup geçirgenlik daha sağlıklıdır. Ultracel PLGC membrandan geçen atıksuyun geri kazanımında tıkanma söz konusu olmamıştır; aynı miktar giren atıksuyun aynı miktarda çıkan atıksuya denk olduğu görülmüştür. Diğer iki membranda ise giren atıksuyun membranlarda tıkanmaya sebep olması sonucunda membrandan süzülen atıksuyun miktarları yeterli verimi verememiştir. En iyi verim Ultracel PLGC membrandan elde edilmiştir. UH030P ve UP005P membranlardan süzülen süt endüstrisi atıksuyun

miktarları yeterli miktarda olmamıştır. ikinci aşamada uygulanan NF membran çeşitlerine sırasıyla bakarsak NF270, NF90, Nanomax 50, Desal-5DL, Desal-5DK membranları sırasıyla deney aşamasında kullanılmıştır. Buna göre; NF 270 membrana 4,56 bar basınç uygulanarak laktozun %97,8'i tutulması ve iletkenliğin %62,3'ü sağlanmış oldu. NF90 membran kullanımında uygulanan basınç 5,67 bar olup laktozun %99,3'ü tutulmuş olup iletkenliğin %94,7'i sağlandı. Nanomax50 membranda uygulanan basınç 9,51 bar olup tutulan laktoz %67,6'ı olup iletkenlik %31,5'tür. Desal-5DL uygulanan basınç 12,45 bar olup tutulan laktoz %73,1 olup iletkenlik %53,4 oranında sağlanmıştır. Desal-5DK uygulanan basınç 14,40 bar olup bu membranda laktozun tutulması %96 olup iletkenlik %64,4 oranında verime denk olmuştur. Yapılan deney aşamaları gösteriyor ki uygulanan Nanofiltrasyon membran çeşitleri arasında en iyi sonucu bu aşamada NF270 membran vermektedir. Böylece UF/NF membranların birlikte kullanılmasıyla süt ve süt ürünleri endüstrisinden çıkan atıksuyun geri kazanımında yüksek verim elde edilmiştir. Bu çalışmada yapılan deneylerin gösterdiğine göre; UF/NF membranların birlikte kullanılmasıyla ele edilen atıksuyun geri kazanımı ve nütrientlerden bio enerji üretimi için elde edilen veriler umut verici olmuştur. İlk aşamada kullanılan Ultracel PLGC membranlatutulan değerler protein ve lipidlerdir. Membrandan geçebilenler ise laktoz ve inorganik tuzlardır. 2.aşamada uygulanan membran ise NF 270 membran olup burada amaç süt ve süt ürünleri endüstrisinden çıkan atıksuyun tesis içerisinde yeniden kullanımını sağlamaktır. NF270 membranda laktozun tutulması sağlanmış olup geri kazanımda verim sağlanmıştır. Yüksek geçirgenlik nedeniyle su içerisinde inorganik tuzların tutulması çok az olmuştur. Büyük miktarda inorganik tuz geçmiştir (Luo vd., 2011).

Bu araştırmada, yaklaşık bir yıldır hizmet vermeye başlamış ve kendi kendine yeten bir pilot tesiste; polisülfon ultrafiltrasyon membran teknolojisiyle peyniraltı suyundan protein maddesinin (PR) ayrılması araştırılmıştır. Çalışmada iki peynir suyu sıcaklığının (9°C ve 30°C) protein konsantrasyonu üzerinde etkisi incelenmiştir. Soğuk olan peyniraltı suyundan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. İncelenen membranların moleküler ağırlık kesimi (MWCO) 50-100kDa'dur. Elde edilen sonuçlar 50-100kDa'dan daha düşük molar ağırlıktaki peyniraltı suyu proteinleri nin daha başarılı konsantre edildiğini göstermiştir. Proses verimliliğini etkileyen ve önemli işletme değişkenleri olan; MWCO, TMP, membran tipi, çalışma sıcaklığı, besleme pH'ı gibi verilere dair bir açıklamaya yer verilmemiştir. Yapılan testlerde ters osmoz, nanaofiltrasyon ve



ultrafiltrasyon gibi membran işlemlerinin yanı sıra koagülasyon ve adsorpsiyon uygulamaları kullanılarak araştırılmıştır. Ultrafiltrasyon membran basınç düşüşü 1 bar'dır. CW ultrafiltrasyonda işlem ortalama süre 630 dakika sürmüştür. Sıcak olan peynir suyunun UF testi başlangıçta 6,9 bar olup işlem sonunda 5,8 bar olmuştur. WW ultrafiltrasyonda protein ayrılması 250 dakika sürmüştür (Kukucka ve Kukucka, 2013).

Bu çalışmada süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuyunda mevcut olan protein, laktoz ve mineral maddelerinin giderimi için membran sistemler kullanılarak verim elde edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada deney sürecine göre ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranların süt endüstrisi atıksularının gideriminde kullanılması karşılaştırılmıştır. Deney aşamasında kullanılan atıksu içerisinde %20 oranında protein, %70-80 arasında laktoz ve geri kalanını ise mineraller oluşturmaktadır. Ultrafiltrasyonla yapılan deneyde; seramik UF membran membralox kullanılarak uygulanan 7 adet UF membranla farklı sonuçlar elde edilmiştir. Nanofiltrasyonla yapılan deneyde ise; spiral membran tipi kullanılmıştır. Bu nanofiltrasyon çeşitlerinde ise NTR-7450-S2F (Nitro Denko-Japan) ve Flimtec NF270-2540(Dow, USA) Membranlar kullanılmıştır. Nanofiltrasyon (NTR-7450-S2F) ile %82- 98 lik bir oranla ve (NF270-2540) ile %82-90'lık giderim elde edilmiştir. Ancak heriki membranda tıkanıklık gözlemlenmiştir. Ultrafiltrasyon membranla yapılan deneyde ise laktoz giderimi sadece %1 oranında gerçekleşmiştir. NF membranla yapılan deneylerde 10 adet NTR-7450-S2F (Nitro Dinko, Japan) marka membran ve 4 adet NF270-2450 (Dow, USA) marka membran kullanılmıştır. Deneyler farklı pH, Basınç ve Sıcaklık değerlerinde yapılmıştır. NTR-7450ve NF270-2540 mebranlardan elde edilen klorid, potasyum, sodyum, kalsiyum, laktoz giderimleride farklı olmuştur. Buna göre; NTR-7455-S2F membran için en yüksek giderim verimlerine pH6,1 ve sıcaklık 35°C'de iken ulaşılmıştır. pH'ın ve sıcaklığın düşmesi ile giderim verimleride düşmüştür. NF 270-2540 membranda ise; pH 6 iken pH 5'e göre daha yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Sonuç olarak yapılan bu deney aşamasında NTR-7450-S2F membran ile pH 5-5,7 aralığında K<sup>+</sup> ve Na<sup>+</sup> giderimi %5-38 aralığında gerçekleşmiştir. Aynı koşullar altında kalsiyum giderimi %50 olarak gerçekleşirken laktoz giderimi %95 civarında olmuştur.NF 270 ile aynı giderim koşulları altında ise laktoz giderimi %80-92 arasında gerçekleşmiştir (Hinkova vd., 2012).

Avustralya'da bir süt endüstrisinde, süzme peyniraltı suyunun atığındaki problemin tuzlu ve asidik bir seyreltiye sahip olduğundan çalışmada membran sistemlerin uygulanabilirliği incelenmiştir. Peyniraltı suyu retimi Avustralya'da büyük öneme sahiptir. Üretim zellikle New South Wales'da yıllık 10 milyon litre'dir. Bu sebeple peyniraltı suyunda bulunan ve korozyona sebep olabilecek süt katı atıklarının fazla olmasından dolayı en iyi are süt endüstrisinde ekonomiyi daha verimli hale getirmek için "geri kazanım" metoduna karar verilmiştir. Buna göre; uygulanan membran eşidi Nanofiltrasyon membrandır. Nanofiltrasyon membranın özelliğine göre su molekülleri ve sulu iyonlar gibi aynı zamanda tek değerlikli olan Na, K, Cl, gibi iyonlar su mineralleri ve asitli zelteler NF membran yüzeyinden geçmektedir. Bu araştırma sonunda yapılan raporlamada; uygulanan NF membranla peyniraltı suyunda değerli organik maddeleri geri kazanmak hedeflenmiştir. Süzme peyniraltı suyundaki atık problemi tuzlu ve asidik olması sebebiyle peyniraltı suyunun 4 katı kadar madde içeriği mevcuttur ve bunların dörtte üçünün giderimi (sodyum, potasyum, tuz ve birazda asit) sağlanmıştır (Nguyen vd., 2003).

Balanec vd. (2002) yılında Fransa'da süt ürünlerinin işlenmesi, membran tekniğiyle atık suyun geri kazanımı ve süt bileşenlerinin atık sudaki giderimleri ile ilgili çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Buna göre; süt endüstrisinde, süt ve süt ürünlerinin kanalizasyondaki kayıpları işlenmiş toplam sütün %1-3' kadardır. Bunlar; boru sonunda 0.5-6.6g KOİ/L içermektedir. Bu kirletici yüklerin bir kısmı süt ürünlerinin su ile seyreltildiği ve süt üretim proseslerinden kaynaklı olan yıkama suları, durulama suları veya beyaz sular olarak adlandırılan atıksulardan oluşmaktadır. Bu süt bileşenlerinin atıksuda mevcut olan değerlerine ulaşmada NF ve RO membran düzenekleri kullanılmıştır. Bu çalışmada; deney düzeneği ve elde edilen veriler dead / end ve crossflow sistemlerinin çalıştırılması ile elde edilmiştir. Bu iki sistemde NF ve RO membranlarının çeşitli modelleri kullanılmıştır, Deney aşamasında ilk olarak NF ve RO membranlar dead-end sistemiyle süzme yapılmış, ikinci aşamada ise Crossflow ile NF ve RO membranlar kullanılarak süzme gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak yapılan dead-end deneyi NF ve RO membranları içinde uygulanan deney koşulları şu şekildedir; termostatik kontrollü bir odada 25 °C'de, titreşim sönümleyici bir yüzey üzerinde paslanmaz elik bir silindirik hücrede gerçekleştirilmiştir. Etkin membran alanı 44,2 cm<sup>2</sup> zeltinin hacmi 300ml ve 100rpm ile karıştırma yapılmıştır.

Deneyde azot tankı kullanılmıştır. NF deneylerinde azot gazı  $15 \times 10^5$  Pa ve RO için ise  $25 \times 10^5$  Pa ayarlanmıştır. Atıksu hacminde azaltma faktörü (VRR),  $VRR=3$  oldu. Yani; membran yüzeyi çevresinde türbülans durumu ve ters akım esnasında membran yüzeyinde hızın derecesi atık viskozitesiyle ilişkilidir. VRR, membrana temas eden ilk(giriş) atıksu hacminin (başlangıçtaki besleme hacmi), membran yüzeyinden geçip devam eden hacme oranı (deney sırasındaki besleme hacmi) ve bu orandan kalan atıksu hacmi azaltma faktörünü (VRR) vermektedir. İkinci olarak Crossflow (Çapraz akışlı filtrasyon ) deneylerinde spiral sargılı organik membranlar kullanılmıştır. 25 veya 50 °C deney yürütülmüştür. Çalışma koşulları (TP, çapraz akış hızı ) ayarlanmıştır. NF ve RO membranlarda geçirgenlik akış hızı VRR 1'den 3'e yükselirken akışkanlık azalmıştır. Deney sırasında akış olurken membranların yüzeyinde biriken atığın yüzeyde birikmesi tıkanmaya sebep olmuştur. NF membrandaki geçirgenlik RO membran yüzeyine göre daha yüksektir. KOİ gideriminde NF membran kullanılırken  $173-1095 \text{mgO}_2\text{L}^{-1}$  aralığında, %98,9-99,8 giderim sağlanmıştır. NF TFC S  $1095 \text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ , NF Film Tec  $173 \text{mgO}_2\text{L}^{-1}$  dir. RO membranda ise %99,88-99,96 giderim KOİ sağlanmıştır. ROBW30 % 99,88 KOİ giderimi  $120 \text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ , RO Desal3-SF %99,96 KOİ giderimi  $45 \text{mgO}_2\text{L}^{-1}$  sonuçları elde edilmiştir. NF'de en iyi KOİ giderimi yapan NF membran modeli; Film Tec NF (%99,8), Desal5 DL (%99,7) olmuştur. RO'da en iyi KOİ giderimi yapan RO membran modeli; Desal3 SF (%99,96), TFC HR (%99,95) olmuştur (Balannec vd., 2002).

Çalışmanın ikinci aşaması olan Crossflow (çapraz akış) ile filtrasyon deneyinde yine NF ve RO membranları kullanılmıştır. NF membranda Desal5 DL ve Nanomax 50 spiral sargılı membran kullanılmıştır. NF membran deneyin çalışma koşulları şöyledir:

✓ NF Desal5 DL spiral sargılı Crossflow membranda: 25 °C, TP= $19 \times 10^5$  Pa, akış hızı  $Q_r=1500 \text{L.sa}^{-1}$ , VRR=1-5, KOİ  $125-400 \text{mg O}_2\text{L}^{-1}$  aralığında; KOİ 318  $\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$  giderimi %99,7 dir.

✓ NF Nanomax 50 spiral sargılı Crossflow membranda: 50 °C, TP= $35,5 \times 10^5$  Pa, akış hızı  $Q_r=600 \text{L.sa}^{-1}$ , VRR=1-3, KOİ  $4.3 - 15.0 \text{mg O}_2\text{L}^{-1}$  aralığında; giderimi %90 dir.

RO membranda TFC HR (Koch) ve Nanomax 95 spiral sargılı membran kullanılmıştır.

Deneyin alıştırma koşulları şöyledir:

✓ RO TFC HR (Koch) spiral sargılı Crossflow membranda: 25 °C,TP=15×105 Pa, akış hızı  $Q_r=1000L.sa^{-1}$ ,VRR=1-5, KOİ14 – 60mgO<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>aralığında; giderimi %99.96 dir.

✓ RO Nanomax 95 spiral sargılı Crossflow membranda: 50 °C,TP=35×105 Pa, akış hızı  $Q_r=600L.sa^{-1}$ , VRR=1-6, KOİ 90-330 mg O<sub>2</sub>L<sup>-1</sup>aralığındadır.

Sonuç olarak; NF membranları için; Desal5 DL ve Film Tec RO membranları için; Koch TFC HR ve Desal3SF en iyi giderim sonuçlarını vermiştir. Crossflow deneyinde Desal5 DL ile Koch TFC HR spiral sargılı membranlar ile yapılan süzmede iyi sonuçlar vermiştir. Dead-end sistemiyle elde edilen sonuçlarla uyumlu değerler elde edilmiştir (Balannec vd., 2002).



## BÖLÜM III

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında Niğde ilinde faaliyet gösteren bir süt ve süt ürünleri üreten endüstrideoluşan atıksu ve peyniraltı suyu atıksu kaynakları olarak belirlenmiştir. Endüstriden numuneler 5'er litrelik numune kaplarına alınmıştır. Belirlenen atıksu kaynaklarından tesis yetkilileri ile örneklemeler yapılmıştır. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi'nde numunelerde membran uygulaması, Abdullah Gül Üniversitesi'nde ise ham numuneler ve arıtılmış numunelerde karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında ham atıksu ve peyniraltı suyu (PAS) numunesi buzdolabında +4°C'de muhafaza edilmiştir. Deneysel çalışma iki kademedey tasarlanmıştır. Bunlar ön filtrasyon ve membran filtrasyon deneyleri olup sırasıyla uygulanmıştır. Ön filtrasyon deneyinde; kaba filtreleme, 0,45 µm membran filtre ve 1,2 µm filtre ön işlem olarak uygulanmıştır. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Kimyası laboratuvarında CF Ultrafilic UF 50.000Da, PES UF 20.000Da, PES UF 10.000Da membranları ile kesikli filtrasyon deney sistemi ile membran deneyleri gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1 Deney Çalışmasında Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmadakullanılan malzemeler şöyledir:

- ✓ Kimyasallar
- ✓ Membranlar
- ✓ Cihaz ve araçlar

##### 3.1.1 Kimyasallar

Deneyde analiz edilen parametreler içerisinde KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) deneyi için reaktif olarak Hach LCK 1000-10000 mg/l O<sub>2</sub> KOİ kiti kullanılmıştır.

### 3.1.2 Membranlar

Deneyde 1,2 µm filtre kağıdı, kaba filtre için süzme kağıdı, 0,45 µm membran, CF Ultrafilic UF 50.000Da, PES UF 20.000Da, PES UF 10.000Da kullanıldı.

**Çizelge 3.1.** SEPA CF deney sisteminde kullanılan membranların özellikleri

Membranın Kodu	Membranın Malzemesi	MWCO(Da)	Max Bar	pH aralığı
<b>PW 10000</b>	PES(Polyethersulfone)	10000Da	10	1-11
<b>PW 20000</b>	PES(Polyethersulfone)	20000Da	10	1-11
<b>MW 50000</b>	CF Ultrafilic	50000Da	7	2-9

**PW:** Enzim konsantrasyonu, protein ayırma ve konsantrasyonu, peyniraltı suyu konsantrasyonu, **MW:** Yağ / su ayırımı

### 3.1.3 Cihaz ve araçlar

Deneyisel çalışmalarda analizi yapılan parametreler ve kurulan deney sisteminin işleyişinde kullanılan cihaz ve araçlar aşağıda verilmiştir;

- ✓ pH ve iletkenlik ölçer (WTW 3110)
- ✓ Isıtıcılı manyetik karıştırıcı (WiseStir MSH-20A)
- ✓ Kesikli membran komplekslemeli laboratuvar süzme seti
- ✓ Vakum filtrasyon pompası (Milipore)
- ✓ Hach DR 6000 Spektrofotometre
- ✓ Hach DRB200 Termoreaktör
- ✓ Hach LCK 014 1000-10000mg/l O<sub>2</sub> KOİ kiti
- ✓ Desikatör
- ✓ Etüv
- ✓ Nuçe erleni (500ml), erlen hunisi
- ✓ Mezür, pipet, pens, balonjoje, erlen, deney tüpleri
- ✓ Kronometre

### **3.2 Deneysel Analizler**

Bu çalışmada endüstrinin atıksu arıtma tesisinden alınan ham atıksu ile peyniraltı suyunda, vakum filtrasyon ve kesikli filtrasyon deneylerinden elde edilen süzüntülerinde KOİ (mg/l), pH, iletkenlik (mS/cm), AKM (mg/l), yağ (mg/l) gibi parametrelere bakılmıştır.

#### **3.2.1 pH**

pH ölçümleri, standart yöntemine göre WTW 3110 model pH metre ile yapılmıştır.

#### **3.2.2 İletkenlik**

İletkenlik ölçümleri, standart yöntemine göre WTW 3110 model iletkenlik ölçer cihazı ile yapılmıştır.

#### **3.2.3 Askıda katı madde**

Askıda katı madde tayini Standart Methods 1989 S.2-75, GEMS S.22 yöntemine göre yapılmıştır.

#### **3.2.4 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)**

Kimyasal oksijen ihtiyacı atıksu içerisindeki organik maddelerin redoks reaksiyonlarıyla parçalanması sırasında ihtiyaç duyulan oksijen miktarıdır. KOİ analizi Standart Methods, 5220D yöntemine göre yapılmıştır. Hach DR 6000 Spektrofotometre ve Hach DRB200 Termoreaktör cihazları kullanılmıştır.

#### **3.2.5 Yağ analizi**

Yağ analiz deneyi ASTM D-7066 S-316 (klorotrifloroetilen dimer/ timer) standart metod yöntemine göre 10-15dk gibi sürede yapılmıştır. Buna göre; 10ml hekzan (yağ çözücü madde) içine 1ml yağ numunesi konulup 2dk ultrasonik karıştırıcıda

karıştırılmıştır. Oluşan yağlı fazdan 50 µl alınıp, infrared cihazının yağ okuma kısmında numunenin yağ değerine bakılmıştır.

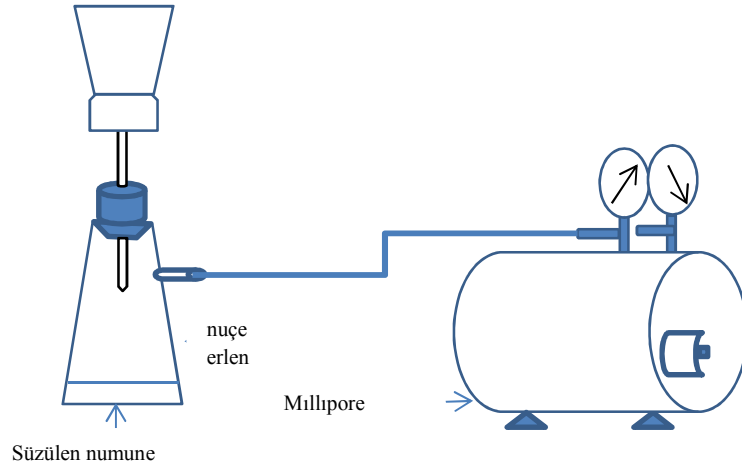
### 3.3 Deney Çalışmasında Uygulanan Metotlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan SEPA CF Ultrafilic UF 50.000Da ve SEPA PES UF (Polyethersulfone) 20.000Da, SEPA PES UF (Polyethersulfone) 10.000Da membranların ayrı ayrı uygulandığı kesikli filtrasyon sistemiyle süt ve süt ürünleri atıksuyu ve peyniraltı suyunun membran prosesleriyle geri kazanımı hedeflenmiştir. Kullanılan membranlar ticari olarak temin edilmiştir. Deneyde kullanılan atıksu ve peyniraltı suyu numuneleri için bakılan parametre (KOİ, yağ, pH, İletkenlik) ölçümleri Abdullah Gül Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir.

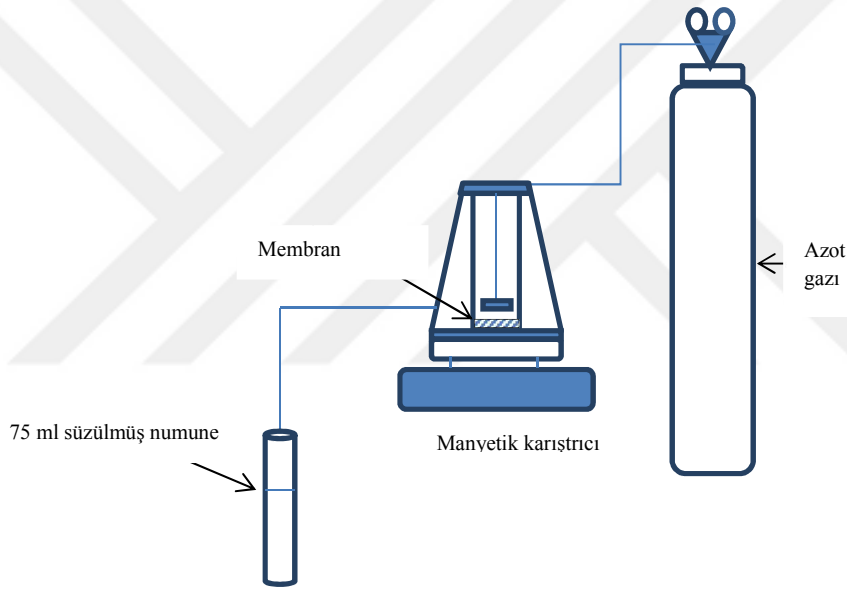
Süt ve süt ürünleri endüstrisinden alınan ham atıksu ve ham peyniraltı suyu (PAS) numunelerinin arıtımında, ön arıtım için, laboratuvar ölçekli vakum ve membran filtrasyonu çalışmaları için kesikli filtrasyon sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Süt endüstrisinden çıkan atıksu ve peyniraltı suyunun organik madde içeriği yüksektir. Bu amaçla membranlardaki tıkanmayı azaltmak için çalışmada ilk aşamada vakum filtrasyon ile ön süzme yapılmasına karar verilmiştir. Her iki ham numune için ayrı ayrı uygulanmıştır. Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında süt ve süt endüstri atıksularının membran prosesleri ile geri kazanımı hedeflenmiş olup, deneyler sırasındaaki değerleri takip edilmiştir.

Çalışmada ön arıtım deneyinde (vakum filtrasyonu); *kaba filtreleme* ve *0,45 µm membran* ardısıra uygulanmasıyla deneyde birinci aşama gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada *kaba filtreleme* ve *1,2 µm filtre* uygulanmasıyla diğer bir ön arıtım gerçekleştirilmiştir. Ön arıtım deneylerinden sonraki aşamada uygulanan kesikli filtrasyon deneyinde kullanılan 50.000Da, 20.000Da, 10.000Da membranların uygulanmasında ham numune içerisindeki organik maddelerin bir kısmının bu aşamada tutulmasıyla giderimi sağlanmıştır. Süzülen numuneler kahverengi şişelere konulup +4 °C’de buzdolabında muhafaza edilmiştir.





**Şekil 3.1.** Vakum filtrasyon sistemi (Ön Arıtım)



**Şekil 3.2.** SEPA CF deney sistemi

Deneysel çalışmalarda; ham peyniraltı suyu için 1. deney, ham atıksu için ise 2. deney olarak uygulamalar sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla; peyniraltı suyu için uygulanan ön arıtım ve kesikli filtrasyon sistemleriyle işlemler tamamlandıktan sonra, ham atıksu numunesi için aynı sistemlerin kullanılmasıyla deney çalışmaları tamamlanmıştır. Numuneler arası geçişte deneylere başlamadan önce tüm cam malzemeler asitle yıkandıktan sonra saf su ile durulanıp ve 105 °C’de etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır.

### 3.4 Deney Tasarımının Periyodik Uygulamaları

Deneyel çalışmalara başlamadan önce, süt endüstrisi işletmesinden alınan ham atıksu ve ham peyniraltı suyunun KOİ, İletkenlik, pH ve AKM parametre değerlerine bakılmıştır. Birinci sırada ham peyniraltı suyu ile 1.deney çalışmasına başlanmıştır. Ardından ham atıksu ile 2.deney çalışması yapıp sonlandırılmıştır. Peyniraltı suyu ve atıksu numuneleri için 2 sistem kullanılarak arıtma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunlar; vakum filtrasyon ve kesikli filtrasyon sistemleridir. 10.000Da ve 50.000Da ve 20.000Da membranlar kesikli filtrasyon sisteminde kullanılmıştır. Kaba filtre kağıdı, 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtre ise ön arıtım uygulaması için vakum filtrasyon sisteminde kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.3 ve 3.4'de deney uygulamalarının akım şemaları verilmiştir.

#### 3.4.1 Peyniraltı suyu numunesine uygulanan 1. deney çalışması

##### Peyniraltı suyu numunesiyle yapılan ön filtrasyon deneyleri

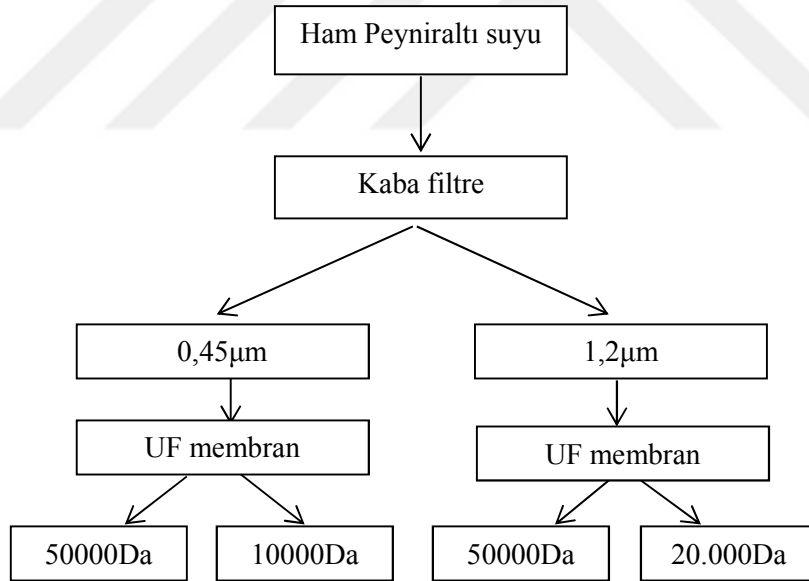
Numune ham halde +4°C lik buzdolabından çıkarılıp deneyden 30 dakika önce oda sıcaklığına gelmesi için bekletilmiştir. Vakum filtrasyonsistemi kullanılarak gerçekleştirilen ön filtrasyon deneylerinde 0.45µm membran filtre ve 1,2 µm filtre kullanılmıştır. Süzme öncesi su örnekleri kaba filtreden geçirilmiştir. Vakum filtrasyon deneyleri oda sıcaklığında 25 °C de ve 25-30 kPa basınç aralığında gerçekleştirilmiştir. Ham peyniraltı suyu filtreden geçirildikçe erlende biriktirilen peyniraltı suyu kahverengi cam şişelerde muhafaza edilmiştir.

Peyniraltı suyu numunesinde kullanılan vakum filtrasyon sisteminde uygulanan işlem sırasında; 1.aşamada kaba filtreleme ve ardından 0,45 µm membran uygulaması; 2.aşamada ise kaba filtreleme ve ardından 1,2 µm filtre ile yapılan ön arıtım işlemlerinin gerçekleştirilmesiyle ham peyniraltı suyu içindeki iri partiküller tutulmuştur. Böylece numunenin yoğunluğu azalmıştır. Ön arıtım işlemlerinden geçen ham peyniraltı suyunun filtre edilmiş hali numune şişelerinde biriktirilmiştir. Toplanan örnekler buzdolabında +4°C'de muhafaza edilmiştir. Yapılan ön arıtım işlemlerinde akı değeri tespiti için 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtrede süre takibi yapılmıştır.

### Peyniraltı suyu numunesiyle yapılan kesikli filtrasyon deneyleri

Peyniraltı suyu kesikli filtrasyon deneyi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesinde 50.000Da, 20.000Da, 10.000Da membranlarlakurulan kesikli SEPA CF deney sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Deneyde 2-3 bar arası basınç uygulanmıştır. Kullanılan UF membranlarının herbirinde süre takibi yapılarak akı değerleri hesaplanmıştır.

UF deneylerinde, 0,45 µm membranve 1,2 µm filtreden süzülen peyniraltı suyuörnekleri kullanılmıştır. Her bir membranda önce saf su sonra ön arıtmadan geçen peyniraltı suyu veen son tekrar saf su olmak üzere sırayla işlemler uygulanmıştır. Süzme setine konulan hacim 80ml-100ml arasında olup süzülmesi gereken hacim değeri 75ml'dir. Deneylerde kullanılan örnek hacmi 80ml'dir. Manyetik karıştırıcı (170rpm) açılmıştır. Membranlar kullanıldıktan sonra saf su ile iyice yıkanıp kilitli poşetlere konulmuştur buzdolabında +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Aşağıda PAS için akım şeması verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Peyniraltı suyu filtrasyon akım şeması

### 3.4.2 Atıksu numunesine uygulanan 2.deney çalışması

#### Atıksu numunesiyle yapılan ön filtrasyon deneyleri

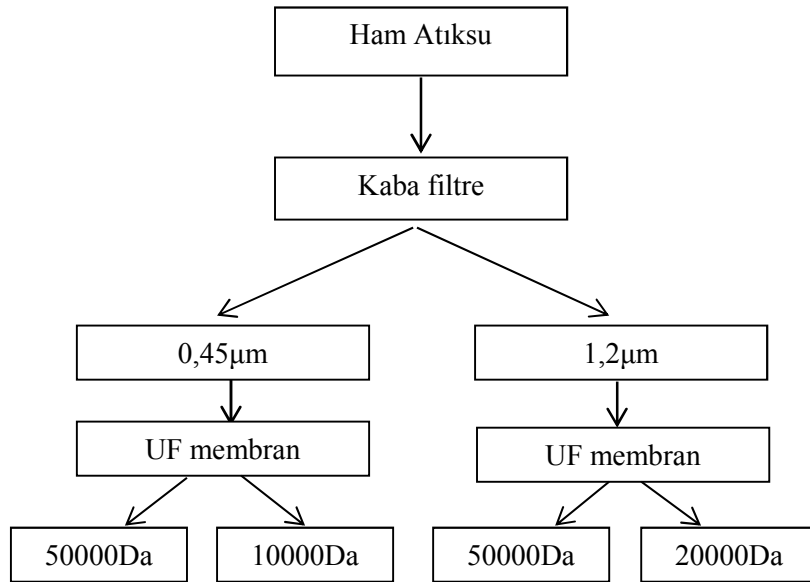
Vakum filtrasyon sistemi kullanılarak gerçekleştirilen ön filtrasyon deneylerinde 0.45 µm membran filtre ve 1,2 µm filtre kullanılmıştır. Süzme öncesi atıksu örnekleri kaba filtreden geçirilmiştir. Vakum filtrasyon deneyleri oda sıcaklığında 25 °C’de ve 25-30 kPa basınç aralığında gerçekleştirilmiştir. Ham atıksu ön arıtmadan geçirildikçe erlende biriktirilen atıksu kahverengi cam şişelerde muhafaza edilmiştir.

Süt endüstrisi proseslerinden çıkan atıksuyun kademeli olarak öncelikle 1. aşamada kaba filtreleme ve ardından 0,45 µm membran uygulaması; 2.aşamada ise kaba filtreleme ve ardından 1,2 µm filtre ile yapılan uygulamalarla ham atıksu için ön arıtım işlemleri gerçekleştirilmiştir. 1.aşamada kaba filtreden süzülen ardından 0,45 µm membran uygulamasıyla ön arıtım işlemi tamamlanan atıksuda, sonra 10.000Da ve 50.000Da membranların kullanılmasıyla kesikli filtrasyon sistemi ile filtrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. 2.aşamayı oluşturan ön işlem uygulamasında kullanılan kaba filtre ve 1,2 µm filtre ile yapılan bu ikinci aşamadan elde edilen atıksu numunesiyle, 20.000Da, 50.000Da membranları kullanılarak kesikli filtrasyon deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Burada 1,2µm filtreden ham atıksu geçirilirken 75 ml’yi ne kadar sürede süzdüğüne bakılmıştır. Ham atıksuyun içerisindeki partikül yoğunluğu peyniraltı suyu yoğunluğuna göre daha az olması sebebiyle; 1,2 µm filtreden 75ml hacimdeki ham atıksu örneğinin tamamının tek filtrede süzülmesi daha kısa sürede olmuştur. Yapılan ön arıtım işlemlerinde akı değeri tespiti için 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtrede süre takibi yapılmıştır. Filtrasyondan süzülen ham atıksu kahverengi şişelerde biriktirilmiş olup buzdolabında +4 °C’de muhafaza edilmiştir.

#### Atıksu numunesiyle yapılan kesikli filtrasyon deneyleri

Atıksu için kesikli filtrasyon deneyi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesinde, 50.000Da, 20.000Da, 10.000Da membranlarla kurulan SEPA CF deney sisteminin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyde 2-3 bar arası basınç kullanılmıştır. Kullanılan UF membranlarının herbirinde süre takibi yapılarak akı değerleri hesaplanmıştır.

Atıksu çalışmasında kullanılacak membranların herbirinde uygulanacak yöntem şu şekildedir; deney başlatılmadan önce membran çapları kesikli filtrasyon sisteminde kullanılması için laboratuvar ölçekli süzme setine uygun şekilde kesilmiştir. 0,45  $\mu\text{m}$  membran ve 1,2  $\mu\text{m}$  filtreler ile ön arıtmadan geçen atıksu, ticari membranlarla filtrasyona başlamadan önce; herbir membrandan önce 75ml saf su geçirilmiştir. Membranlarda sırasıyla; önce saf su sonra atıksu numunesi en son tekrar saf su olmak üzere işlemler gerçekleştirilmiştir. Takip edilen süre akı hesabı için önemlidir. Süzme setine konulan hacim 80 ml-100ml arasında olup süzülmesi gereken hacim değeri 75 ml'dir. Deneyde membranlar süzmeye başlamadan önce sistem çapına göre kesilmiştir. Deney düzeneğinin sıkıca kapatılmış olması gerekmektedir. Manyetik karıştırıcı (170rpm) açılarak, 2-3 bar basınç kuvveti ile beraber kronometre ile süre takibide başlatılmıştır. İlk işlem 75ml'lik saf suyun sistemden süzülüp geçirilmesidir. İkinci işlemde aynı membrana uygulanacaktır. Bunun için; daha önce biriktirilmiş olan 0,45  $\mu\text{m}$  membran ve 1,2  $\mu\text{m}$  filtreden süzülen atıksu 75ml hacimde membrandan geçirilmiştir. Son işlem ise 75ml saf suyun aynı membrandan tekrar geçirilmesidir. 0,45  $\mu\text{m}$  ve 1,2  $\mu\text{m}$  ön arıtmalarında elde edilen numuneler ayrı ayrı temiz membranlardan geçirilerek kesikli filtrasyon deneyi sağlanmıştır. Membranlar kullanıldıktan sonra saf su ile iyice yıkanıp kilitli poşetlere konulmuştur. Buzdolabında +4  $^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir. Aşağıda atıksu için akım şeması verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Atıksu filtrasyon akım şeması

## BÖLÜM IV

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1 Süt ve Süt Ürünleri Üretim Tesisi Peyniraltı Suyu ve Atıksu Karakterizasyonu

Bu tez çalışmasında, süt endüstrisi üretim proseslerinden çıkan ve atıksu arıtma tesisinin giriş hattından sonraki havuz içi kısımdan (dengeleme havuzu) alınan ham atıksu ile işletme içinden alınan peyniraltı suyu numuneleri ile laboratuvar çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada KOİ, AKM, pH iletkenlik, yağ parametrelerine bakılmıştır. İki atık numune üzerine yapılan deneysel çalışmada elde edilen karakterizasyon sonuçları Çizelge 4.1-4.4’de verilmiştir. Kullanılan örneklerde üretilen ürün çeşidinden dolayı organik madde yükü yüksek olup KOİ değeri peyniraltı suyu için daha yüksek çıkmıştır. Aşağıda peyniraltı suyu ve atıksu için karakterizasyon çalışmalarının verileri ve çalışmanın sonuçlarının değerlendirilmesi Bölüm V’te bulunmaktadır.

Giderim verimi için uygulanan KOİ giderim (%) denklemi aşağıda verilmiştir (Karakaş, 2013).

$$\frac{(KOİ)_{a_1} - (KOİ)_{a_2}}{(KOİ)_{a_1}} \times 100 = KOİ \text{ Giderim (\%)} \quad (4.1)$$

$$(KOİ)_{a_1} = \text{Ham örnek}, (KOİ)_{a_2} = \text{Arıtılmış örnek} \quad (4.2)$$

##### 4.1.1 Peyniraltı suyu (PAS) karakterizasyonu

Peyniraltı suyu karakterizasyon çalışması, 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtre ile ön arıtım çalışması sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Peyniraltı suyunun AKM konsantrasyonu, Ham PAS AKM =2,370 mg/l’dir.

Peyniraltı suyu (ön arıtım 0,45 µm ) karakterizasyon çizelgesinde

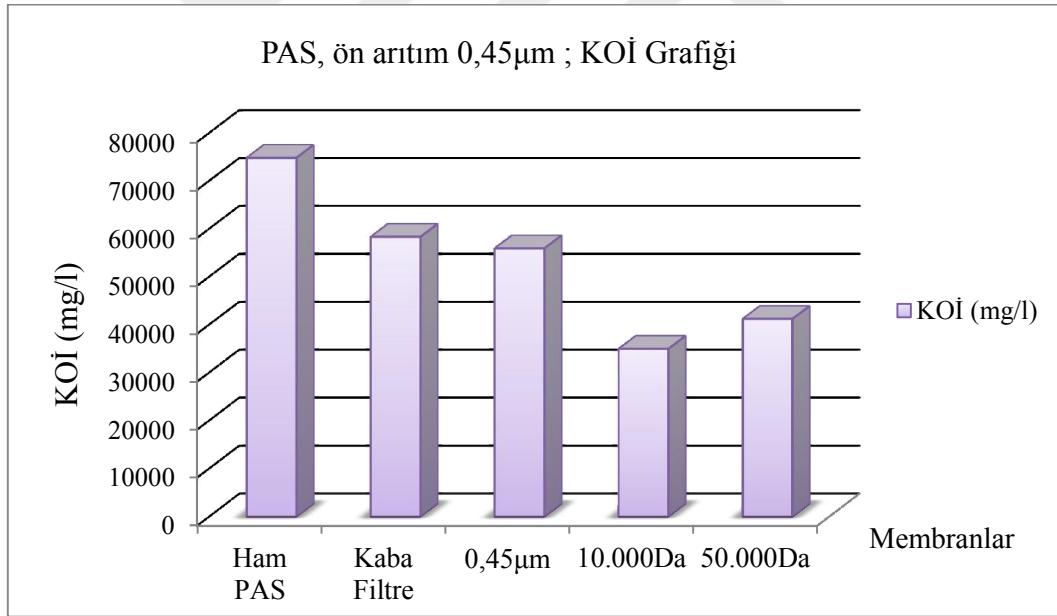
Ham PAS, kaba filtre, 0,45µm, 50.000Da, 10.000Da ile gerçekleştirilen membran filtrasyonda; PAS karakterizasyonuna bakıldığında pH değerinin düştüğü, iletkenliğin

50.000Da ve 10.000Da'da yüksek çıktığı tespit edilmiştir. KOİ değerinin 50.000Da'da 41120 mg/l ve 10.000Da'da 34880 mg/l olduğu görülmektedir. KOİ gideriminin 50.000Da ve 10.000Da için %26 ve %53 oranında olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Peyniraltı suyu karakterizasyonu (ön arıtım 0,45 µm )

Numune (PAS)	pH	İletkenlik (mS/cm)	Yağ (mg/l)	KOİ (mg/l)	Verimlilik (%)
Ham PAS	6,03	5,82	307	74729	-
Kaba Filtre	4,81	6,96	-	58240	%22
0,45 µm	4,74	7,08	-	55840	%25
10.000Da	4,67	7,20	-	34880	%53
50.000Da	4,89	6,66	320	41120	%26

Peyniraltı suyu (ön arıtım 0,45 µm) karakterizasyon çalışmasına göre; KOİ (mg/l) grafiği aşağıda Şekil 4.1'de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Peyniraltı suyu (ön arıtım 0,45µm) için; KOİ Grafiği

Peyniraltı suyu (ön arıtım 1,2 µm ) karakterizasyon çizelgesinde

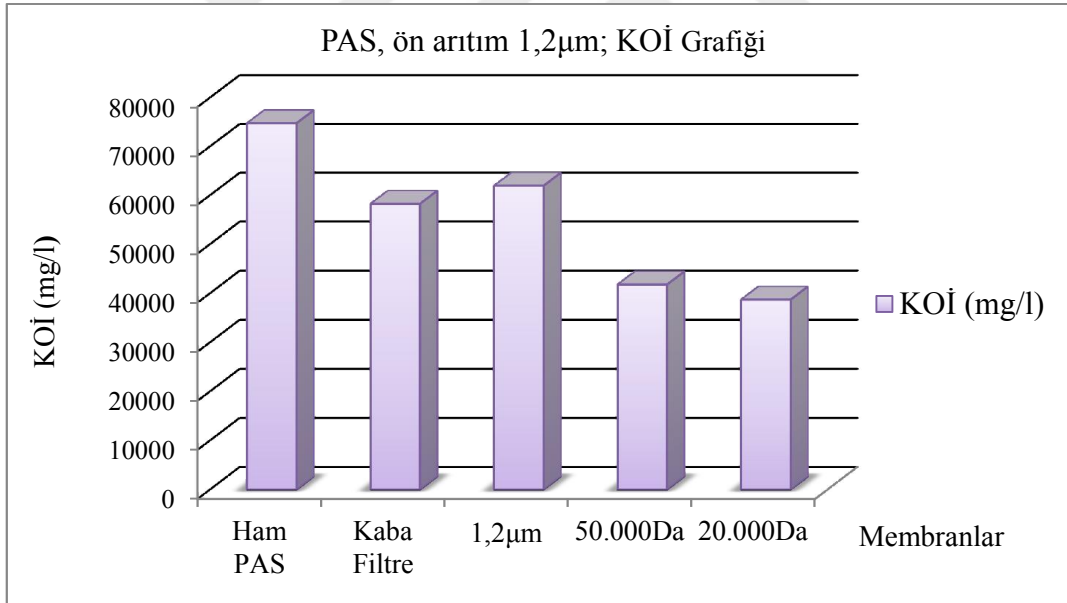
Ham PAS, kaba filtre, 1,2 µm, 50.000Da, 20.000Da ile gerçekleştirilen membran filtrasyonda; PAS karakterizasyonuna bakıldığında pH değerinin 50.000Da düşük ve 20.000Da yüksek çıktığı, iletkenliğin 50.000Da'da yüksek, 20.000Da için düşük çıktığı

tespit edilmiştir. KOİ değerinin 50.000Da'da 41761 mg/l ve 20.000Da'da 38680 mg/l olduğu görülmektedir. KOİ gideriminin 50.000Da ve 10.000Da için %44 ve %48 oranında olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Peyniraltı suyu karakterizasyonu (ön arıtım 1,2 µm)

Numune (PAS)	pH	İletkenlik (mS/cm)	Yağ (mg/l)	KOİ (mg/l)	Verimlilik (%)
Ham PAS	6,03	5,82	307	74729	
Kaba Filtre	4,81	6,96	-	58240	%22
1,2µm	5,45	7,07	276	61920	%17
50.000Da	4,89	6,66	320	41761	%44
20.000Da	6,65	4,81	271	38680	%48

Peyniraltı suyu (ön arıtım 1,2 µm) karakterizasyon çalışmasına göre; KOİ (mg/l) grafiği aşağıda Şekil 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Peyniraltı suyu (ön arıtım 1,2 µm) için; KOİ Grafiği

#### 4.1.2 Atıksu karakterizasyonu

Atıksu karakterizasyon çalışması, 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtre ile ön arıtım çalışması sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir. Atıksuyun AKM konsantrasyonu, Ham Atıksu AKM=595 mg/l'dir.



Atıksu (ön arıtım 0,45 µm ) karakterizasyon çizelgesinde

Ham atıksu, kaba filtre, 0,45 µm, 50.000Da, 10.000Da ile gerçekleştirilen membran filtrasyonda; atıksu karakterizasyonuna bakıldığında pH değerinin 50.000Da'da yüksek, 10.000Da için bir miktar artış olduğu, iletkenliğin 50.000Da'da düşük, 10.000Da için yüksek çıktığı tespit edilmiştir. 0,45 µm membranda 2480mg/l ile %77 KOİ giderimi olduğu, 50.000Da ve 10.000Da UF membranlarda ise KOİ giderimi olmadığı bulunmuştur.

**Çizelge 4.3.** Atıksu Karakterizasyonu (ön arıtım 0,45 µm )

Numune (Atıksu)	pH	İletkenlik (mS/cm)	Yağ (mg/l)	KOİ(mg/l)	Verimlilik (%)
Ham Atıksu	5.68	2,81	344	10934	
Kaba Filtre	5.78	3,10	-	4312	%60
0,45 µm	5.86	3,22	-	2480	%77
10.000Da	5,76	3,09	-	-	-
50.000Da	6,44	2,74	320	-	-

Atıksu (ön arıtım 1,2 µm ) karakterizasyon çizelgesinde

Ham atıksu, kaba filtre, 1,2 µm, 50.000Da, 20.000Da ile gerçekleştirilen membran filtrasyonda; örneğin karakterizasyonuna bakıldığında pH değerinin 50.000Da ve 20.000Da'da yüksek çıktığı, iletkenliğin 50.000Da'da düştüğü 20.000Da ise stabil çıktığı tespit edilmiştir. 50.000Da ve 20.000Da UF membranlarda KOİ giderimi olmadığı bulunmuştur.

**Çizelge 4.4.** Atıksu Karakterizasyonu (ön arıtım 1,2 µm)

Numune (Atıksu)	pH	İletkenlik (mS/cm)	Yağ (mg/l)	KOİ(mg/l)	Verimlilik (%)
Ham Atıksu	5,68	2.81	344	10934	
Kaba Filtre	5,78	3.10	-	4312	%60
1,2 µm	5,36	2,94	261	3880	%64
50.000Da	6,44	2,74	320	-	-
20.000Da	6,21	2,81	279	-	-

Araştırılan diğer çalışmalarda ise şu bulgulara varılmıştır. Süt ve süt ürünleri imalatı yapan endüstri işletmeleri organik madde içeriği yüksek olduğundan kuvvetli karakteristik özellikte atıksu üretmektedir. Organik madde içeriğini genel olarak; süt içerisindeki yağ, protein ve karbonhidratlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla KOİ konsantrasyonu yüksektir. Üretim aşamasında kullanılan alkali ve asit temizleyiciler de atıksu karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Literatür çalışmalarına bakıldığında genellikle aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma sistemlerine daha çok başvurulduğu gözlenmiştir. Aerobik (havalı) arıtma içerisinde; 1) ardışık kesikli aktif çamur sistemi orta ve küçük işletmelerde 2) klasik aktif çamur sistemi ise daha büyük işletmelerde kullanılmaktadır. Anaerobik (havasız) arıtmada oluşan çamur miktarı daha az olup ve kurulacağı yerdeki alan ihtiyacı ise daha küçük olması nedeniyle aerobik arıtmaya göre daha avantajlıdır (Çelik, 2011). Gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği yeniliklerle beraber su ve atıksu arıtımında ihtiyaç duyulan daha az alan, daha az enerji sarfiyatı ve geri kazanımın sağlanmasına dair avantajlar membran teknolojisini geliştirmiştir.

Süt endüstrisi atıksuları üretime bağlı olarak çoğunlukla kesikli üretilmektedir. Çıkış suyu debisi üretim verimine göre değişmektedir. Mevsimsel değişikliklerden kaynaklı atıksu miktarında da yaz ve kış aylarına göre salınımlar farklı olabilmektedir. Bu çalışmamızda bunu göz önünde bulundurup işletmenin tam kapasite üretim yaptığı süre içerisinde atıksu ve peyniraltı suyu numuneleri alınıp deneysel çalışmaya başlanmıştır.

Süt ve süt ürünleri endüstrisinden gelen atıksular genel olarak; ısıtma ve soğutma sistemlerinden gelen sular, tuvaletler, lavabolar ve yemekhaneden rutin operasyonlar sonucu oluşan atıklar, peynir imalatı sırasında arta kalan peynir suyu, pıhtı parçaları, peynir parçaları, borular, tanklar ve diğer ekipmanlarda kalan ürünlerin su ile temizlenmesi (rutin olarak her yeni üründe tekrarlanır), şişe ve kasa yıkayıcıların atıkları, süt paketlenmesi sırasında arızalar sırasında dökülen sütün bir bölümü, üretim sırasında süt mamullerinin temas ettiği alet ve ekipman yüzeylerinde kalan süt atıkları ve bunların temizleme sularıyla atık sulara karışması, işletme içerisinde yapılan yağ tayini, titrasyon asitliği gibi kalite kontrol tayinleri için kullanılan örneklerden ileri gelen atıklar içerisinde de sütün bileşenlerinin oluşması, dökülen süttozu artıkları, temizlik sırasında yıkama suyuna geçmesi, dolaylı olarak işletme içinde yapılan analizlerde, temizlikte ve dezenfeksiyonda kullanılan kimyasal madde kalıntıları

kanallara akmakta ve tüm bunlar süt endüstrisi atıksuyunu oluşturmaktadır (Çelik, 2011). Süt ve süt ürünleri endüstrisi yüksek organik madde yüküne sahip olduğu için güçlü karakterde atıksular üretmektedir. Atıksuların karakterizasyonu üretim prosesine bağlı olarak tesisten tesise önemli değişiklikler göstermektedir. Sadece proseslerinde yoğurt ve ayran üretimi yapan işletmelerin atıksularındaki KOİ değeri, genellikle peynir üretimi yapan işletmelerin atıksuyundaki KOİ değerinden daha düşük seviyededir (Çelik, 2011). Peyniraltı suyu KOİ değeri diğer süt ürünlerinin KOİ değerinden daha yüksek bir sonuç vermektedir. Peyniraltı suyunun, yüksek oranda şeker içermesi mikroorganizmalar için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Deşarj edildiği ortamda çözülmüş oksijen miktarını azaltarak ekolojik dengeyi bozmaktadır. Süt endüstrisinde kullanılan asit ve alkali temizleyiciler ve de yumuşatıcılar atıksu karakteristiğine de etki ederek çok değişken pH değerlerine yol açmaktadır.

Kuvvetli karakteristik özelliğe sahip süt ve süt ürünleri atıksuyu ve peyniraltı suyu arıtımında literatürde uygulanan mevcut diğer çalışmalara bakıldığında ise; KOİ gideriminde kimyasal katkı maddeleri veya konvansiyonel çalışmalarla beraber daha yüksek verim elde edildiği gözlenmiştir. (Çelik, 2011) tarafından yapılan tez çalışmasında zayıf ve güçlü karakterli atıksuyun alınabileceği iki ayrı yerdeki süt ve süt ürünleri endüstrisinden temin edilen numunelerle a) koagülasyon-flokülasyon alternatifleri b) ozonlama ve c) koagülasyon-flokülasyon ve ozonlama konvansiyonel alternatifleri değerlendirilmiştir. Buna göre; zayıf ve kuvvetli karakterdeki atıksularda KOİ giderim veriminde,  $FeCl_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ 'ten daha iyi sonuç vermiştir. Ham atıksuya tek başına uygulanan kimyasal arıtmanın verimi, kimyasal arıtma + ozonlama sonucu elde edilen verime yaklaşmıştır. Zayıf karakterli atıksularda doğrudan uygulanan ozonlama verimi kimyasal arıtmadan sonra uygulanan ozonlama veriminden yüksektir. Kuvvetli karakterli atıksularda ise kimyasal işlemler KOİ değerini düşürdüğü için; kimyasal arıtma sonrası ozonlama işleminde ozon miktarı artmış olup kimyasal arıtma sonrasında KOİ giderim verimi doğrudan ozonlamaya göre yüksek elde edilmiştir.

Süt ve süt ürünlerinin kimyasal arıtma ile arıtılabilirliğine dair yapılan bir başka tez çalışmasında ise şu veriler elde edilmiştir. Deneysel çalışmada  $FeSO_4$ ,  $FeCl_3$  ve alum kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 3 koagülant madde için optimum değerler şöyledir; dozaj miktarı her bir koagülant madde için 200 mg/l'dır, pH değerleri  $FeSO_4$  için 4,5, alum için 5 ve 6,  $FeCl_3$  için 4 bulunmuştur. Alum ile KOİ giderim verimi %40-

%54, FeSO<sub>4</sub> ile KOİ giderim verimi %34-%59 olup FeCl<sub>3</sub> ile yapılan dozajlamada ise KOİ giderim verimi %39-%72 elde edilmiştir. FeCl<sub>3</sub>' den 1000 mg/l ve 500 mg/l'lik dozajlama yapıldığında KOİ giderim verimlerinde sırasıyla %67 ve %62 gibi değerler elde edilmiştir (Ekdal, 2000).

Demir elektrotlarla yapılan tez çalışmasının deneysel çalışmasında şunlar kullanılmıştır; farklı pH değerleri (pH= 4,06- 6,08 ve 10,02), demir elektrot, farklı akım yoğunlukları (10, 15, 20, 25, 30 ve 35 mA/cm<sup>2</sup>), farklı destek elektrolit derişimleri (1, 3, 5, 7 ve 10 Mm Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> derişimleri (4000, 3000, 2000, 1000mg/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ile çalışılmıştır. Bu veriler içerisinde en iyi sonucu 3 Mm Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> destek elektrolit, 15 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğu, 30 dakika boyunca demir elektrotların kullanılmasıyla elektrokoagülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elmas elektrot kullanılarak 75 mA/cm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda 150 dakika boyunca elektrokoagülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal yükseltgeme ile KOİ giderim verimi %92,5 Elektrokoagülasyon sonucu arıtım verimi %70'dir (Karakaş, 2013).

Aynı çalışmada alüminyum elektrotlar kullanılarak ikinci bir deney çalışması yapılmıştır. Deney süresince pH değerleri (pH=4, 6, 8, 10), farklı akım yoğunlukları (10, 15, 20, 25, 30 mA/cm<sup>2</sup>), farklı polielektrolit derişimleri (10,20,30,40 mg/l polialüminyum klorür-PAC ile Kerafloc), farklı destek derişimleri (3, 5, 7 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile 3, 5 ve 7mM NaNO<sub>3</sub>) ile çalışılmıştır. Alüminyum elektrotlarla 30 dakika elektrokoagülasyon ile %69 KOİ giderim verimi ve elmas elektrotlarla 150 dakika elektrokimyasal yükseltgeme sonucunda ise %89 KOİ giderim verimi elde edilmiştir (Karakaş, 2013).

#### **4.2 Deney Çalışmasında Kullanılan Hesaplamalar**

Akı, bir membranın içinden geçen suyun akış oranı olup, membran birim alanının birim zamanda geçirdiği hacim miktarına denir. Akı, membran prosesleri için en önemli tasarım parametresi ve işletme parametrelerinden birisidir. Böylelikle arıtılan suyun kalitesine göre seçilen akı hem ilk yatırım maliyetini hem de işletim maliyetini doğrudan etkilemektedir. Peyniraltı suyu ve atıksu için yapılmış olan akı hesabında; CF Ultrafilic UF 50.000Da, PES UF 20.000Da, PES UF 10.000Da membranların her iki örnekte kullanılmasıyla elde edilecek sulardan akı hesabı yapılmıştır. Aşağıdaki

hesaplamalarda sırasıyla önce PAS numunesi sonra atıksu numunesi için akı hesaplarına bakılmıştır. Akı hesabında tek membrana uygulanan süzme işleminin periyodik sırası; safsu- numune-saf su şeklindedir. Akı hesapları aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$Akı \left( \frac{lt}{m^2sa} \right) = \frac{Hacim (lt)}{\{ \pi \times D^2 \} / 4 (m^2) \times süre(saatt)} \quad (4.3)$$

$$\{ \pi \times D^2 \} / 4 = membran alanı (m^2)$$

$$Süre = numunenin membrandan geçiş süresi(saatt)$$

### 4.3 Peyniraltı Suyu İçin Akı Hesaplamaları

Çalışmada kesikli filtrasyon ile peyniraltı suyu için uygulanan membranlarla deney aşaması 2 kademedeki incelenmiştir. Burada kullanılan membranlar 3 çeşit olup, ön işlem için vakum filtrasyonda kullanılan 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtreler için de akı hesaplarına bakılmıştır.

Elde edilen akı sonuçları Çizelge 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Akı hesaplamaları ise denklem 4.3'e göre yapılmıştır. 50.000Da, 10.000Da ve 20.000Da membranların çapı formülde 0,065 m olarak alınmıştır. Hacimler ml'den lt'ye çevrilmiştir. Kronometre ile tutulan süreler ise saat olarak alınmıştır. 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtre çapı 0,047m olarak formülde kullanılmıştır. Buna göre; peyniraltı suyu için hesaplanan akı değerlerinden sırayla şu veriler elde edilmiştir.

#### Ön arıtım 0,45 µm için

Akı değeri 106,8L/m<sup>2</sup> sa olup devamında uygulanan membranlarda ise 10.000Da için akı değeri 2,8L/m<sup>2</sup> sa ve 50.000Da için akı değeri 205,9L/m<sup>2</sup> sa hesaplanmıştır. 10.000Da ve 50.000Da membranların kendi arasında akı farklarının yüksek olduğu ve 0,45µm'den çıkan akı sonucunun ise 10.000Da'dan yüksek, 50.000Da'dan düşük olduğu bulunmuştur.

**Çizelge 4.5.** Peyniraltı suyu akı sonuçları (ön arıtım 0,45 µm )

Membran	Akı (L/m <sup>2</sup> sa)
0,45 µm	106,8
10.000Da UF	2,8
50.000Da UF	205,9

Ön arıtım 1,2 µm için

Akı değeri 1971,9L/m<sup>2</sup>sa olup devamında uygulanan membranlarda ise 20.000Da için akı değeri 5,2 L/m<sup>2</sup>sa ve 50.000Da için akı değeri 9,3L/m<sup>2</sup>sa bulunmuştur.

**Çizelge 4.6.** Peyniraltı suyu akı sonuçları (ön arıtım 1,2 µm)

Membran	Akı (L/m <sup>2</sup> sa)
1,2 µm	1971,9
20.000Da UF	5,2
50.000Da UF	9,3

**4.4 Atıksu İçin Akı Hesaplamaları**

Çalışmada kesikli filtrasyon ile atıksu için uygulanan membranlarla deney aşaması 2 kademe incelenmiştir. Burada kullanılan membranlar 3 çeşit olup, ön işlem için vakum filtrasyonda kullanılan 0,45 µm membran ve 1,2 µm filtreler için de akı hesaplarına bakılmıştır. Atıksu için akı sonuçları Çizelge 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

Ön arıtım 0,45 µm için

Akı değeri 420,1 L/m<sup>2</sup>sa olup devamında uygulanan membranlarda ise 10.000Da için akı değeri 7,7 L/m<sup>2</sup>sa ve 50.000Da için akı değeri 45,8 L/m<sup>2</sup>sa hesaplanmıştır. 10.000Da ve 50.000Da membranların kendi arasında akı farklarının olduğu fakat; 0,45 µm’den çıkan akı sonucunun ise 10.000Da ve 50.000Da’dan yüksek çıktığı bulunmuştur.

**Çizelge 4.7.** Atıksu akı sonuçları (ön arıtım 0,45 µm )

Membran	Akı (L/m <sup>2</sup> sa)
0,45 µm	420,1
10.000Da UF	7,7
50.000Da UF	45,8

Ön arıtım 1,2 µm için

Akı değeri 536,6 L/m<sup>2</sup>sa olup devamında uygulanan membranlarda ise 20.000Da için akı değeri 11,7 L/m<sup>2</sup> sa ve 50.000Da için akı değeri 337,6 L/m<sup>2</sup> sa hesaplanmıştır. 20.000Da ve 50.000Da membranların kendi arasında akı farklarının çok fazla olduğu ve 1,2µm'den çıkan akı sonucunun her iki membranın akı sonucundan yüksek çıktığı bulunmuştur.

**Çizelge 4.8.** Atıksu akı sonuçları (ön arıtım 1,2 µm)

Membran	Akı (L/m <sup>2</sup> sa)
1,2 µm	536,6
20.000Da UF	11,7
50.000Da UF	337,6

#### 4.5 UF Membranlarda Tıkanma

Çalışmada kullanılan Ultrafilic UF 50.000Da, PES UF 10.000Da ve PES UF 20.000Da membranların peyniraltı suyu ve atıksu numuneleri için akılardaki azalış verileri aşağıdaki gibidir. Akılardaki azalış formülü aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Akılardaki azalış formülü

$\frac{a - b}{a} \times 100$	a=saf su, b=numune, c= safsu
$\frac{c - a}{c} \times 100$	

### PAS için UF membranlarda tıkanma sonuçları (%)

*Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm); 50.000Da ve 10.000Da UF membranların akı ve akı azalış (%) sonuçları Çizelge 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.*

10.000Da UF membranda akı azalış (%); PAS’ın %95 oranda membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalışında membranda tıkanma olmuştur.

**Çizelge 4.10.** Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm )

<b>PES UF 10.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	63,4	95
<b>PAS</b>	2,8	
<b>Saf su</b>	17,6	Tıkanma oldu

50.000Da UF membran’da akı azalış (%); PAS’ın %57 oranında membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalış oranının %0 olduğu bulunmuştur.

**Çizelge 4.11.** Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm )

<b>PES UF 50.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>AkılardakiAzalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	484,3	57
<b>PAS</b>	205,9	
<b>Saf su</b>	459,6	0

*Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm); 50.000Da ve 20.000Da membranların akı ve akı azalış (%) sonuçları Çizelge 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.*

20.000Da UF membran’da akı azalış (%); PAS’ın %99 oranda membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalışında membranda tıkanma olmuştur.



**Çizelge 4.12.** Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm)

<b>PES UF 20.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	695,4	99
<b>PAS</b>	5,2	
<b>Saf su</b>	15,6	Tıkanma oldu

50.000Da UF'da akı azalış (%); PAS'ın %99 oranda membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalışında membranda tıkanma olmuştur.

**Çizelge 4.13.** Peyniraltı suyu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm)

<b>PES UF 50.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	1.379	99
<b>PAS</b>	9,3	
<b>Saf su</b>	78,4	Tıkanma oldu

Atıksu için UF membranlarda tıkanma sonuçları (%)

*Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm); 50.000Da ve 10.000Da membranların akı ve akı azalış sonuçları Çizelge 4.14 ve 4.15'te verilmiştir.*

10.000Da UF membran'da akı azalış (%); Atıksuyun %83 oranında membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalışında membranda tıkanma olmuştur.

**Çizelge 4.14.** Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm )

<b>PES UF 10.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	48	83
<b>ATIKSU</b>	7,7	
<b>Saf su</b>	14,8	Tıkanma oldu

50.000Da UF membran'da akı azalış (%); Atıksuyun %89 oranında membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalışında membranda tıkanma olmuştur.

**Çizelge 4.15.** Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 0,45 µm )

<b>PES UF 50.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	421,5	89
<b>ATIKSU</b>	45,8	
<b>Saf su</b>	396,9	Tıkanma oldu

Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm); 50.000Da ve 20.000Da membranların akı ve akı azalış sonuçları Çizelge 4.16 ve 4.17'de verilmiştir.

20.000Da UF membran'da akı azalış (%); Atıksuyun %91 oranında membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalış oranının %0 olduğu bulunmuştur.

**Çizelge 4.16.** Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm)

<b>PES UF 20.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	144,2	91
<b>ATIKSU</b>	11,7	
<b>Saf su</b>	12,6	0

50.000Da UF membranda akı azalış (%); Atıksuyun %74 oranında membranda akı azalttığı ve membranda oluşan kirlenmenin saf suda bakılan akı azalış oranının %0 olduğu bulunmuştur.

**Çizelge 4.17.** Atıksu akılardaki azalış (ön arıtım 1,2 µm)

<b>PES UF 50.000Da</b>	<b>Akı (L/m<sup>2</sup> sa)</b>	<b>Akılardaki Azalış (%)</b>
<b>Saf su</b>	1.333,8	74
<b>ATIKSU</b>	337,6	
<b>Saf su</b>	508,5	0

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında süt ve süt ürünleri üreten tesisten alınan peyniraltı suyu ve atıksu örnekleri kullanılarak farklı boyutlardaki UF membranların (50.000Da, 20.000Da ve 10.000Da) kesikli filtrasyon deneyinde geri kazanımı hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan ham PAS ve ham atıksu numunelerinden elde edilen, süzüntü numuneleri ve bunların ham halleriyle bakılan parametrelerde KOİ değerinin verileri Çizelge 4.1- 4.4’de gösterilmiştir. Yapılan karakterizasyon çalışmasında; pH, iletkenlik, yağ ve KOİ değerlerine bakılmış olup peyniraltı suyu için ön arıtımda 0,45 µm membran kullanıldığında; CF 50.000Da UF’da KOİ giderimi %26 ve PES 10.000Da UF’da KOİ giderimi %53 olmuştur. Ön arıtımda 1,2 µm filtre kullanıldığında; CF 50.000Da UF’da KOİ giderimi %44 ve PES 20.000Da UF membran için ise KOİ giderimi %48 sağlanmıştır. Atıksu için ön arıtımda 0,45 µm membran kullanıldığında; CF 50.000Da UF ve PES 10.000Da UF membranda KOİ giderim verimi sağlanamamıştır. Ön arıtımda 1,2 µm filtre kullanıldığında; CF 50.000Da UF ve PES 20.000Da UF membranlarda KOİ giderimi olmamıştır. Çalışmada kullanılan polietersülfan (PES) membranlar solvent ve aşırı kimyasallara karşı çok iyi direnç gösterirler. Geniş pH (1-12) aralığında ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Membranların ticari membran olması, kimyasal katkı maddesi kullanılmaması ve sadece UF membranların kesikli filtrasyonda kullanılması nedeniyle giderim verimi yukarıdaki gibi elde edilmiştir. Ultrafiltrasyon membran uygulamasında akı takibi yapılmıştır. Akı ve akı azalış verileriyle elde edilen bulgulardan faydalanılmasıyla aşağıdaki çıkarımlara varılmıştır.

Bölüm IV’ de peyniraltı suyu ve atıksu için excel programıyla  $L/m^2sa$  olarak hesaplanmış akı değerleri verilerine göre şu sonuçlar elde edilmiştir. Peyniraltı suyu (ön arıtım 0,45 µm membran) verilerine göre; 10.000Da UF membranın akısı  $2,8 L/m^2 sa$ , 50.000Da UF membranın akısına  $205,9 L/m^2sa$  göre azalış göstermiştir. Peyniraltı suyu (ön arıtım 1,2 µm) verisine göre; 20.000Da UF membranın akısı  $5,2 L/m^2sa$ , 50.000Da UF membranın akısına  $9,3 L/m^2sa$  göre azalış göstermiştir. Dolayısıyla; membran gözeneklerinde oluşan tıkanma ve gözenek boyutuyla ilgili olarak küçük boyutlu

membran yüzeylerde hızlı bir kirlenme gözlenmiştir. Akı verilerinde 10.000Da UF ve 20.000Da UF membranlarda azalış tespit edilmiştir.

Atıksu akı (ön arıtım 0,45  $\mu\text{m}$  ) verisine göre; 10.000Da UF membranın akısı 7,7 L/m<sup>2</sup>sa, 50.000Da UF membranın akısına 45,8 L/m<sup>2</sup>sa göre azalış göstermiştir. Atıksu akı (ön arıtım 1,2  $\mu\text{m}$ ) verisine göre; 20.000Da UF membranın akısı 11,7 L/m<sup>2</sup>sa, 50.000Da UF membranın akısına 337,6 L/m<sup>2</sup>sa göre azalış göstermiştir. Dolayısıyla; membran gözeneklerinde oluşan tıkanma ve gözenek boyutuyla ilgili olarak küçük boyutlu membran yüzeylerde hızlı bir kirlenme gözlenmiştir. Akı verilerinde 10.000Da UF ve 20.000Da UF membranlarda azalış tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler ışığında; peyniraltı suyu örneği ile yapılmış çalışmadan elde edilen akı verilerinin, atıksu örneği ile yapılmış çalışmadan elde edilen akı verilerine göre daha düşük sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Akının düşük olması membran yüzeyinde oluşan kirlenmenin daha hızlı gerçekleştiğini göstermiştir. Süt ve süt endüstrisi ürünlerinin, peyniraltı suyu ve atıksu karakteristiğinde yüksek KOİ, yoğun yağ tabakası ve düşük pH değerlerinin arıtmada ve geri kazanımında hedeflenmiş olan yüksek verimliliğin sağlanmasında diğer membran alternatiflerinin de değerlendirilmesi önerilmektedir.

Giderme verimi; membranın tutma kapasitesidir. Düşük kirlenme veya tıkanma, hatasız üretim, çalışma ortamıyla ahenkli uyum, yüksek akı geçişi membranın giderim verimini etkiler. Peyniraltı suyu ve atıksu örneklerinin 50.000Da, 10.000Da ve 20.000Da UF membranlarda bakılan akı takibi ve hesaplanan akı sonuçlarına göre elde edilen akılarda azalış (%) sonuçlarından şu çıkarımlara varılmıştır.

PAS'ın UF membranlarda tıkanma sonuçları (1): (ön arıtım 0,45 $\mu\text{m}$ ) için; 10.000Da UF membran'da akı azalış (%); PAS'ın %95 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalışda membranda tıkanma olmuştur. 50.000Da UF membran'da akı azalış (%); PAS'ın %57 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalış oranı ise %0'dır. Peyniraltı suyu UF membranlarda tıkanma sonuçları (2): (ön arıtım 1,2  $\mu\text{m}$ ) için; 20.000Da UF membran'da akı azalış (%); PAS'ın %99 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalışda membranda tıkanma olmuştur. 50.000Da UF

membran'da akı azalış (%); PAS'ın %99 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalışda membranda tıkanma olmuştur.

Atıksuyun UF membranlarda tıkanma sonuçları (1): (ön arıtım 0,45 µm) için; 10.000Da UF membran'da akı azalış (%); Atıksuyun %83 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalışda membranda tıkanma olmuştur. 50.000Da UF membran'da akı azalış (%); atıksuyun %89 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalışda membranda tıkanma olmuştur. Atıksuyun UF membranlarda tıkanma sonuçları (2) (ön arıtım 1,2 µm) için; 20.000Da UF membran'da akı azalış (%); atıksuyun %91 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalış oranı ise %0'dır. 50.000Da UF membran'da akı azalış (%); atıksuyun %74 oranında membranda akı azalttığı ve saf suda bakılan akı azalış oranı ise %0 olduğu bulunmuştur.

Akılarda azalış verilerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında; her iki örneklemede membran deneylerinin membran gözenek yapısında kirlenmeden kaynaklı tıkanmanın gerçekleştiğini ve membranların filtrasyon veriminde azalma olduğu görülmektedir. Akılarda azalış (%)'lerine bakıldığında peyniraltı suyunun akı azalış (%) verileri atıksuyun akı azalış verilerinden daha yüksek çıkmıştır. Sonuç olarak PAS'a bağlı membran kirlenmesinin atıksuya bağlı membran kirlenmesinden yüksek olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlarında ticari boyutta değerlendirilmesinde peyniraltı suyunun UF membranlarla geri kazanımında da katkının göz ardı edilmeyeceği tespit edilmiştir (PAS'dan elde edilen geri kazanım ile gofret, çikolata, bebek mamaları, fast-food ürünleri, protein barları ve diğer gıda endüstrilerinde de kullanılmak üzere bir ticari kazanım hammaddesi olarak işlenmesini sağlamaktadır). Çalışmada kullanılan örneklerin ve buradan elde edilen arıtılmış diğer örneklerin karakterizasyon verileri, akı ve akı azalış sonuçlarına göre; literatür çalışmalarının incelenmesi ve literatür boşluğunun doldurulmasında farklı boyutlardaki 50.000Da, 20.000Da ve 10.000Da UF membranlarla gerçekleştirilen bu tez çalışması sonucunda; süt ve süt ürünleri atıksuyu ve peyniraltı suyunda kuvvetli organik madde yükü olduğu sonucu çıkmaktadır. Endüstri üretiminin tam kapasite çalıştığı göz önünde bulundurulursa, çıkan atıksu ve peyniraltı suyundaki karakterizasyon değerlerinde ultrafiltrasyon membran çalışmasına ek diğer membran alternatiflerinin de değerlendirilmesi çalışmanın daha desteklenebilir ve daha yüksek verim sonuçlarıyla ileriye dönük ekonomik ve atıksuların geri kazanımında kalıcı uygulamalar sağlayacaktır

## KAYNAKLAR

Akpulat, O., Baş, D., Demirer, G. ve Alpas, H., Süt ve süt ürünleri imalatı kaynak verimliliği rehberi, 1<sup>nd</sup> ed., *TC Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, REC Türkiye, ODTÜ*, Ankara, Türkiye, 2016.

Altunışık, İ., İleri, R. ve Artır, R., “Küçük ve orta ölçekli süt endüstrisi atıksularının ön arıtılmasında bentonit ve sepiyolit kullanılabirliği” *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi* 6, 65-76, 2002.

Aslan, M., Membran Teknolojileri ,1<sup>nd</sup> ed., *T.C. Çevre Şehircilik Bakanlığı, TÜÇEV*, Ankara, 2016.

Balanec, B., Gean-Guiziou, G., Chaufer, B., Baudry, M. R., and Daufin, G., “Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration”, *Desalination* 147, 89-94, 2002.

Clark, S., Jung, S. ve Lamsal, B., Food Processing: Principles and Applications, 1<sup>st</sup> ed., *WILEY Blackwell, Iowa State Universty, USA*, 2014.

Çelik, A., Süt endüstrisi atık sularının arıtma alternatifleri, Yüksek Lisans Tezi, *NKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, s. 15-16, 2011.

Demiral, M.F., Süt endüstrisinde optimizasyon imkanları ve bir uygulama, Doktora Tezi, *SDÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Isparta, s. 3, 2012.

Dresch, M., Daufin, G. and Chaufer, B., Membrane processes for the recovery of dairy cleaning- in-place solutions, 2<sup>nd</sup> ed., *Le Lait INRA Editions*, Paris, 1999.

Ekdal, A., Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 15,8-11, 2000.

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)

Farizoğlu, B., Keskinler, B., Yıldız, E. ve Çakıcı, A., “Peyniraltı sularının arıtıldığı jet loop membran biyoreaktörün membran filtrasyonu özelliklerinin araştırılması” **SKKD** 14(2),1-8, 2004.

Gavala, H. N., Kopsinis, H., Skiadas, I. V., Stamatelatos, K. and Lyberatos, G. “Treatment of dairy wastewater using an up flow anaerobic sludge blanket reactor”, **Journal of Agricultural and Engineering Research** 73, 59-63, 1999.

Göblös, Sz., Portöro, P., Bordas, D., Kalman, M. and Kiss, I., “Comparison of the effectivities of two-phase and single-phase anaerobic sequencing batch reactors during dairy wastewater treatment”, **Renewable Energy** 33, 960–965, 2008.

Hepşen, R., Süt endüstrisi atıksularının membran teknolojisi ile geri kazanımı ve deneysel tasarım uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s.16-19, 22-23, 2010.

Hinkova, A., Zidova, P., Pour, V., Bubnik, Z., Henke, S., Salova, A., and Kadlec, P., “Potential of membrane separation processes in cheese whey fractionation and separation ” **Procedia Engineering** 42, 1425-1436, 2012.

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.

Karakaş, A., Model süt endüstrisi atıksuyunun elektrokimyasal yöntemlerle arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, **AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s.5-6, 2013.

Kılıç, A., Süt endüstrisi atıksularının arıtımında ardışık kesikli reaktör (SBR)'de hareketli bioflim uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s.4-8, 2006.

Kitiş, M., Yiğit, N. Ö., Köseoğlu, H. ve Bekaroğlu, Ş., Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı, Çevre Görevlisi Eğitim Ders Notları, *TC Çevre ve Orman Bakanlığı*, 2009.

Kukucka, M. D. and Kukucka, N. M., "Investigation of whey protein concentration by ultrafiltration elements designed for water treatment" *Scientific Paper* 67 (5) 835–842, 2013.

Luo, J., Ding, L., Qi, B., Jaffrin, M.Y. and Wan, Y., "A two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater" *Bioresource Technology* 102, 7437-7442, 2011.

Nguyen, M, Reynolds, N. and Vigneswaran, S., "By-product recovery from cottage cheese production by nanofiltrasyon" *Journal of Cleaner Production* 11, 803-807, 2003.

Önen, O., Süt ve süt ürünleri sektörü, *TKB A.Ş., SA/99-4-10*, Ankara, 1-2, 1999.

Özay, Y. ve Dizge, N., "Membran distilasyon sistemleri ve çevre mühendisliği alınındaki uygulamaları" *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Bursa,Türkiye, s. 10-17, 2015.

Prazeres, A. R., Carvalho, F. and Rivas, J., "Cheese whey management: A review" *Journal of Environmental Management* 110, 48-68 , 2012.

RG-25687, Gıda sanayi atık sularının alıcı ortama deşarj standartları, *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, 2004.



Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A. and Kale, V., “Wastewater treatment in dairy industries - possibility of reuse”, *Desalination* 195, 141–152, 2006.

T.C. MEB “Süt İşletmeye Alma”, Gıda Teknolojisi, 2013.

([http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/S%C3%BCt%C3%BC%20%C4%B0%C5%9Fletmeye%20Alma.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/S%C3%BCt%C3%BC%20%C4%B0%C5%9Fletmeye%20Alma.pdf))

Şengil, A. ve Özacar, M., “Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes”, *Journal of Hazardous Materials* B137, 1197–1205, 2006 .

Vourch M., Balannec B., Chaufer B. and Dorange G., “Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse”, *Desalination* 219, 190–202, 2008.

Zhang, T.C., Surampalli, R.Y., Vigneswaran, S., Tyagi, R.D., Ong, S.L. and Kao, C.M., 2012, *Membrane Technology and Environmental Applications*, ISBN 978-0-7844-1227-5, edited by Tian C Zhang, *ASCE*, United States of America, 2012.

Özkaya, İ., *Endüstriyel Atıksu Yönetimi ve Endüstriyel Atıksu Arıtımı*, ([https://www.isgforum.biz/wpcontent/uploads/2013/09/6.cakmakci\\_ipek\\_ozkaya\\_ders\\_notu.pdf](https://www.isgforum.biz/wpcontent/uploads/2013/09/6.cakmakci_ipek_ozkaya_ders_notu.pdf))

## ÖZ GEÇMİŞ

Tuğba Çelik Niğde’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. Konya Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü bitirdi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamladı.

