

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ
KİMYASAL ARITILABİLİRLİĞİ**

101095

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Alpaslan EKDAL
(501980265011)

101095

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ayşegül TANIK

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Nazik ARTAN

Doç.Dr. Işıl BALCIOĞLU (B.Ü.)

HAZİRAN 2000

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ	4
2.1 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinin Türkiye’deki Durumu	4
2.2 Endüstride Üretilen Ürünler ve Üretim Prosesleri	7
2.2.1 Sütün Kompozisyonu	7
2.2.2 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinde Uygulanan Temel Prosesler	8
2.2.2.1 Isıtma	9
2.2.2.2 Klarifikasyon	9
2.2.2.3 Separasyon	9
2.2.2.4 Hava Giderme	9
2.2.2.5 Pastörizasyon	10
2.2.2.6 Homojenizasyon	11
2.2.2.7 Standardizasyon	11
2.2.2.8 Ultra Yüksek Sıcaklık (UHT) İşlemi	12
2.2.3 Süt Ürünleri	12
2.2.3.1 İçme Sütü	12
2.2.3.2 Peynir	15
2.2.3.3 Fermente Edilmiş Süt Ürünleri	15
2.2.3.4 Yoğurt	15
2.2.3.5 Tereyağ	22
2.2.3.6 Dondurma	24
2.2.3.7 Süt Tozu	24
2.2.3.8 Yoğunlaştırılmış Süt Üretimi	24
2.2.3.9 Yan Ürünler	28
2.2.3.10 Peynir Altı Suyu (PAS)	28

3. SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ KARAKTERİZASYONU	30
3.1 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Alt kategorileri	30
3.2 Atıksu Karakterizasyonu	31
3.2.1 Atıksu Kaynakları ve Miktarları	31
3.2.2 Atıksuların Kirletici Özellikleri	35
4. SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ KİMYASAL ARITILABİLİRLİĞİ	41
4.1 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Arıtma Alternatifleri	41
4.2 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliğine İlişkin Yapılmış Çalışmalar	42
4.3 Koagülasyon ve Flokülasyon	44
4.3.1 Kimyasal Arıtmada Kullanılan Koagülantlar	44
4.3.1.1 Alüminyum	44
4.3.1.2 Demir	45
4.3.2 Koagülant Seçimi	45
4.3.3 Koagülant Yardımcıları	46
4.4 Jar Test Deneyleri	46
5. UYGULAMA ÇALIŞMASI	48
5.1 Pilot Tesisin Tanıtımı	48
5.2 Deneysel Çalışmalar	48
5.2.1 Deney Sonuçları	49
5.2.1.1 Birinci Set Deney Sonuçları	50
5.2.1.2 İkinci Set Deney Sonuçları	52
5.2.1.3 Üçüncü Set Deney Sonuçları	55
5.2.1.4 Dördüncü Set Deney Sonuçları	57
5.3 Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi	60
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	74

ÖNSÖZ

Bu çalışma sırasında her türlü destek ve yardımı sağlayan, bilgilerini bana aktaran, böyle bir çalışma yapmamı sağlayan hocam Doç. Dr. Ayşegül TANIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında bana yardımcı olan ve beni yönlendiren Dr. Esra ATEŞ GENCELİ'ye çok teşekkür ederim.

Çalışma sırasında çeşitli zamanlarda kendisine sorduğum sorulara verdiği cevaplarıyla bana yardımcı olan Prof. Dr. Olcay TUNAY'a teşekkür ederim.

SEK Süt Endüstrisi Kurumu Sanayi ve Tic. A.Ş.'de çalışma fırsatı yaratarak bu çalışmanın oluşumuna katkı sağlayan KOÇ Holding Çevre ve Enerji Koordinatörü sayın Koray ETİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Numunelerin alınması sırasında yardımlarını esirgemeyen SEK Süt Endüstrisi Kurumu Sanayi ve Tic. A.Ş. teknik işler çalışanlarına çok teşekkürler.

Deneysel çalışmalar sırasında, gösterdikleri hoşgörü ve yardımlarından dolayı, İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında bana yardımcı olan sevgili arkadaşlarım Serdar DOĞRUEL ve Gülsüm Emel ZENGİN'e çok çok teşekkürler.

Başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme, bugünlere gelmemde emeği geçen ve ben olmamı sağlayan herkese, kucak dolusu teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2000

Alpaslan EKDAL

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : Türkiye’de Süt Ürünlerine Göre İş Yeri Sayısı, Kurulu Kapasite, Üretim ve Süt Eşdeğerleri (DPT, 2000).....	5
Tablo 2.2 : Türkiye’de Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Üretim Miktarları (DPT, 2000).....	6
Tablo 2.3 : Çeşitli Memelilerin Sütlerinin Kompozisyonu (Widdowson, 1981).....	8
Tablo 2.4 : Çeşitli Memelilerin Sütlerinin Kompozisyonu (Jennes ve Sloan, 1970).....	8
Tablo 2.5 : İnsan ve İnek Sütünün Kompozisyonu (Carić, 1994).....	8
Tablo 3.1 : Çeşitli İşlemlerde Kullanılan Birim Su Hacimleri (Orhon ve Artan, 1984)	32
Tablo 3.2 : Çeşitli Ürünlerin Süt Eşdeğerleri (Orhon ve Artan, 1984).....	32
Tablo 3.3 : Üretim Proseslerinde Atıksu Oluşumu ve Dağılımı (Orhon ve Artan, 1984).....	33
Tablo 3.4 : Çeşitli Proseslerde Oluşan Kirletici Yükler (Orhon ve Artan, 1984).....	35
Tablo 3.5 : Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuları Karakterizasyon Değerleri.....	39
Tablo 3.6 : Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu (Danalewich ve diğ., 1998).....	40
Tablo 5.1 : SEK Süt Endüstrisi Kurumu (İstanbul) Atıksu Karakterizasyonu.	49
Tablo 5.2 : KOI_S/KOI_T , BOI_S/KOI_T , $UAKM/AKM$, $KOI_T/TKN/TP$ Oranları	49
Tablo 5.3 : Basit Çökelme Deneyleri.....	50
Tablo 5.4 : Değişik pH’larda Alümin Arıtma Verimi.....	50
Tablo 5.5 : 100 mg/l $FeCl_3$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	51
Tablo 5.6 : 200 mg/l $FeCl_3$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	51
Tablo 5.7 : Basit Çöktürme Deneyi Sonuçları.....	52
Tablo 5.8 : Emülsiyon Kırma Deney Sonuçları.....	52
Tablo 5.9 : 100 mg/l $FeCl_3$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	53
Tablo 5.10 : 150 mg/l $FeCl_3$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	53
Tablo 5.11 : 200 mg/l $FeCl_3$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	53
Tablo 5.12 : 300 mg/l $FeCl_3$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	53
Tablo 5.13 : 100 mg/l $FeSO_4$ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	54

Tablo 5.14	: 200 mg/l FeSO ₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	54
Tablo 5.15	: 300 mg/l FeSO ₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	54
Tablo 5.16	: Emülsiyon Kırma Deney Sonuçları.....	55
Tablo 5.17	: 200 mg/l FeCl ₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	56
Tablo 5.18	: 200 mg/l FeSO ₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	56
Tablo 5.19	: 200 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	56
Tablo 5.20	: Emülsiyon Kırma Deney Sonuçları.....	57
Tablo 5.21	: 200 mg/l FeCl ₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	57
Tablo 5.22	: 200 mg/l FeSO ₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	58
Tablo 5.23	: 200 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	58
Tablo 5.24	: 500 mg/l FeCl ₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	59
Tablo 5.25	: 1000 mg/l FeCl ₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	59
Tablo 5.26	: 100 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	59
Tablo 5.27	: 300 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri.....	60
Tablo 5.28	: Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuları Karakterizasyonuna İlişkin Değerler.....	62
Tablo 5.29	: Emülsiyon Kırmanın KOİ Giderimine Etkileri.....	64
Tablo 5.30	: FeCl ₃ İlavesi ile Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri.....	65
Tablo 5.31	: Alum İlavesi ile Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri.....	66
Tablo 5.32	: İSKİ Kanal Deşarj Yönetmeliğine Göre Endüstrilerin Kanalizasyona Deşarj Limitleri.....	67
Tablo 5.33	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 5.3 Gıda Sanayi (Süt ve Süt Ürünleri) Alıcı Ortama Deşarj Limitleri.....	67

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Pastörize Süt Üretimi Akım Şeması.....	13
Şekil 2.2 : Sterilize Süt Üretimi Akım Şeması.....	14
Şekil 2.3 : Beyaz Peynir Üretimi Akım Şeması.....	16
Şekil 2.4 : Kaşar Peyniri Üretimi Akım Şeması.....	17
Şekil 2.5 : Tulum Peyniri Üretimi Akım Şeması.....	18
Şekil 2.6 : Eritme Peyniri Üretimi Akım Şeması.....	19
Şekil 2.7 : Yoğurt Üretimi Akım Şeması.....	20
Şekil 2.8 : Ayrım Üretimi Akım Şeması.....	21
Şekil 2.9 : Tereyağ Üretimi Akım Şeması.....	23
Şekil 2.10 : Dondurma Üretimi Akım Şeması.....	25
Şekil 2.11 : Süt Tozu Üretimi Akım Şeması.....	26
Şekil 2.12 : Koyulaştırılmış Süt Üretimi.....	27
Şekil 5.1 : 100 mg/l ve 200 mg/l FeCl ₃ 'ün Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri.....	51
Şekil 5.2 : Farklı FeCl ₃ Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri.....	54
Şekil 5.3 : Farklı FeSO ₄ Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri.....	55
Şekil 5.4 : 200 mg/l FeCl ₃ , FeSO ₄ ve Alum Dozajının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimi.....	56
Şekil 5.5 : 200 mg/l FeCl ₃ , FeSO ₄ ve Alum Dozajının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimi.....	58
Şekil 5.6 : Farklı FeCl ₃ Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri.....	59
Şekil 5.7 : Farklı Alum Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri.....	60
Şekil 5.8 : Emülsiyon Kırma ve Emülsiyon Kırma + 200 mg/l FeCl ₃ Uygulamaları Sonucunda Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri...	64
Şekil 5.9 : 200 mg/l FeCl ₃ Dozajıyla Sağlanan KOİ Giderme Verimlerinin Atıksu Karakterine Göre Değişimi.....	65

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, süt ve süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıksuların kimyasal arıtılabilirliğinin ve kimyasal olarak arıtılan suyun KOİ parametresi açısından “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limiti”ni sağlayıp sağlamadığının incelenmesidir.

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları doğal su ortamlarının kirlenmesine neden olan kaynaklar arasında gösterilmektedir. Bu endüstriden kaynaklanan atıksuların, yüksek miktarda organik madde içermesi nedeniyle, bu atıksuların arıtılması amacıyla daha çok biyolojik esaslı arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Literatürde özellikle son yıllarda süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğine ilişkin çalışmalar yürütüldüğü belirtilmektedir. Bu çalışmada; öncelikle atıksu karakterizasyon çalışması yapılmış, atıksuyun konvansiyonel parametreler kullanılarak değişim aralıkları belirlenmiştir. Kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarında koagülant olarak FeCl_3 , FeSO_4 ve alum kullanılmıştır, ayrıca sadece asit ilavesiyle de jar test deneyleri yürütülmüştür. Karakterizasyon çalışmaları sonunda atıksu karakterinin değişken bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Sadece asit ilavesi ile yürütülen deneylerde % 33 ile % 45 arasında değişen KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Her üç koagülantın optimum dozajı 200 mg/l olarak belirlenmiştir. Optimum dozajda; FeCl_3 ve FeSO_4 'ün optimum pH değerleri 4 ve 4.5, alumun ise 5 ve 6 olarak bulunmuştur. Maksimum giderme verimleri KOİ parametresi bazında FeCl_3 için % 72, FeSO_4 için % 59 ve alum için % 54 olarak elde edilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen KOİ giderme verimleri “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri”nde bu parametre için belirlenen değeri sağlayamamıştır ve kimyasal arıtmanın kanala deşarj için tek başına yetersiz olduğu anlaşılmıştır.

CHEMICAL TREATABILITY OF DAIRY WASTEWATER

SUMMARY

The aim of this study is to investigate the chemical treatability of dairy wastewater and to determine whether the chemically treated wastewater meet the discharge standards proposed by İSKİ for industries, in terms of COD parameter.

Dairy wastewater has been recognized as a contributor to the pollution of natural waterways. Generally biological treatment technologies are used, because of high organic content of wastewater, which originates from this industry. Especially within the last decade, studies have been carried out on the chemical treatability of dairy wastewater, as seen in the literature. In this study, wastewater characterization studies were conducted, to determine the wastewater characteristics, prior to chemical treatability studies. FeCl_3 , FeSO_4 and alum were used as coagulants in the jar test experiments. However, also chemical treatability of wastewater have been performed with just acid addition and pH adjustment. Characterization studies demonstrated that wastewater characteristics vary within a wide range. COD removal efficiencies varied between 33 % and 45 % in the studies which have been performed with pH adjustment. Optimum dosage has been determined as 200 mg/l for all the three coagulants. Optimum pH values have been found to be 4 and 4.5 for FeCl_3 and FeSO_4 , 5 and 6 for alum. Maximum COD removal efficiencies were 72 %, 59 % and 54 % for FeCl_3 , FeSO_4 and alum, respectively.

COD removal efficiencies obtained during experimentation, were found to be inadequate to meet the discharge standards proposed by İSKİ for industries. This condition demonstrated that chemical treatment is insufficient by itself for discharging dairy wastewater to the sewage system.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Süt ve süt ürünleri endüstrisi bütün dünyada gıda endüstrisi içinde önemli bir role sahiptir. Tarım ve hayvancılığın halen büyük öneme sahip olduğu Türkiye’de süt ve süt ürünleri endüstrisinin, gıda endüstrisi içinde % 16’lık bir payı vardır. Mevcut tesislerin bir kısmı en gelişmiş teknolojileri kullanan entegre tesisler iken, bir kısmı da hiçbir hijyenik koşula uymadan, en ilkel yöntemlerle üretim yapmaya çalışan mandıralardır. Ülkede üretilen sütün, en iyimser tahminlerle ancak % 80’i modern tesislerde işlenmektedir. Son yıllarda yabancı sermayenin de bu sektör içinde pay aldığı görülmektedir.

Birçok ülkede süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları, doğal su ortamlarının önemli ölçüde kirlenmesine neden olan kaynaklar arasında gösterilmektedir. Atıksular genel olarak süt veya süt ürünlerinin seyrelmesinden meydana gelmektedir. Ayrıca deterjanlar, dezenfektan maddeler, makine yağları ve temizlikte kullanılan bez lifler atıksu içerisinde yer almaktadır. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları genelde organik karakterdedir, bunun yanında atıksu debisinin saatlik, günlük ve mevsimsel değişiklikler göstermesi nedeniyle arıtma işlemi karmaşık bir hal almaktadır.

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının arıtılması amacıyla dünyanın çeşitli ülkelerinde birbirinden oldukça farklı sistemler geliştirilmiştir. Bunların arasında biyolojik (aerobik, anaerobik, damlatmalı filtre) arıtma, kimyasal arıtma, arazide arıtma ve membran arıtma teknolojileri sıralanabilir.

Türkiye’de süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının biyolojik olarak arıtılmasına ilişkin çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, bu atıksuların kimyasal arıtılabilirliğine ilişkin yürütülmüş bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışma, Türkiye’de bu alanda görülen boşluğun doldurulması için bir başlangıç olacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının deşarj edileceği ortamlara vereceği zararın azaltılması veya önlenmesi amacıyla bu atıksulara mutlaka arıtma uygulanmalıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu atıksuları arıtmak amacıyla farklı teknolojiler kullanılmaktadır.

Arıtma teknolojilerinin seçiminde ilk yatırım ve işletme maliyetleri, işletme için uygun personelin varlığı ve yönetmeliklerin sağlanabilmesi için gerekli arıtma ihtiyacı gibi faktörler dikkate alınmaktadır.

Atıksular, kanala veya alıcı su ortamına deşarj edilebilirler. Yönetmelikler, her iki deşarj alternatifi için belirgin farklılıklar göstermektedir. Eğer atıksular, büyük metropollerde kanalizasyona deşarj edilecekse yetkili kuruluşların (İSKİ, ASKİ, BUSKİ gibi) belirlediği kriterleri sağlayacak teknoloji seçilerek arıtılmalıdırlar. Kanalizasyona sahip olan küçük şehirlerin kendi yönetmelikleri yoksa mevcut yönetmeliklerden birini seçip atıksuların burada belirtilen kriterlere uygun olarak arıtılması istenebilir. Bu tip uygulamalar ön arıtma olarak adlandırılmaktadır ve alıcı ortama deşarj etmeden önce mutlaka ikinci bir arıtma işlemine tabi tutulmaktadır.

Eğer atıksular doğrudan alıcı ortama deşarj edileceklerse yürürlükte olan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirlenmiş, endüstrinin dahil olduğu alt kategoriye ait kriterleri sağlayacak şekilde arıtılmalıdırlar. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının alıcı ortama deşarjı için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 5.3'te belirtilen esaslara uyulması gerekmektedir. Bu endüstriden kaynaklanan atıksuların alıcı ortama deşarj kriterlerini sağlayabilmesi için birkaç kademe arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının, ön arıtma uygulaması olarak, kimyasal arıtılabilirliğini incelemektir. Özellikle son yıllarda dünyanın çeşitli ülkelerinde, özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde bu endüstriden kaynaklanan atıksuların kimyasal arıtılabilirliğine ilişkin çalışmalara literatürde rastlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında seçilen pilot tesisten atıksu numuneleri alınmış 3 ay boyunca (Ocak-Nisan 2000) deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu süre içerisinde 4 farklı zamanda numuneler alınmış ve 4 set deney yapılmıştır. Öncelikle endüstriden kaynaklanan atıksuyu karakterize edecek tüm konvansiyonel parametrelere

bakılmıştır. Kimyasal arıtılabilirlik jar test deneyleriyle incelenmiştir. Koagülant olarak demir klorür (FeCl_3), demir sülfat (FeSO_4) ve alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), koagülant yardımcısı olarak anyonik polielektrolit kullanılmıştır. Her üç koagülant için optimum pH değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için KOİ giderme verimleri esas alınmıştır. Kimyasal arıtmayla elde edilen KOİ giderme veriminin kanala deşarj kriterlerini sağlamak için yeterli olup olmadığı “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri” esas alınarak incelenmiştir.

Bölüm 2’de süt ve süt ürünleri endüstrisinin Türkiye’deki durumu, endüstride uygulanan temel prosesler ve endüstri kapsamında üretilen bazı ürünler hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’te süt ve süt ürünleri endüstrisi altkategorilerinin yanında atıksu kaynakları ve miktarları anlatılmıştır. Ayrıca çeşitli üretim proseslerinde atıksu oluşumu ve dağılımıyla birlikte atıksuların kirletici özellikleri işlenen süt miktarına bağlı olarak tablolar halinde verilmiştir.

Bölüm 4’te süt ve süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıksularının arıtılmasına ilişkin arıtma alternatiflerinden ve atıksuların kimyasal arıtılabilirliği üzerine yürütülmüş çalışmalardan bahsedilmiştir. Kısaca koagülasyon-flokülasyon prosesi, kimyasal arıtmada kullanılan koagülantlar ve koagülant yardımcıları, jar test deneyleri anlatılmıştır.

Bölüm 5’te yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen deneysel veriler anlatılmıştır.

Bölüm 6’da deneysel çalışmalarda elde edilen verilere dayanılarak çıkarılan sonuçlar ve yapılan değerlendirmelere yer verilerek çeşitli öneriler sunulmuştur.

2. SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ

Süt ve süt ürünleri endüstrisi, çiğ süt, içme sütü, yoğurt ve ayran, tereyağ, peynir, dondurma, koyulaştırılmış süt, süt tozu, çocuk maması gibi ürünleri üreten kuruluşları kapsar (Görgün, 1991).

“Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Kategorisi”, ürünleri itibarıyla Birleşmiş Milletler Uluslararası Standart Endüstrisi sınıflandırmasında 3112 ISIC kod numarası ile tanımlanmıştır (Görgün, 1991).

2.1 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinin Türkiye’deki Durumu

Türkiye’de modern şartlarda çalışan işletmeler bulunmakla birlikte, ilkel şartlarda çalışan işletmeler, aile işletmelerine ve mevsimsel çalışan mandıralara sıklıkla rastlanmaktadır.

Tarım ve Köyişleri Bakanlığınca yapılan Gıda Sanayi Envanter Çalışmasına göre süt ve süt ürünleri endüstrisi, gıda endüstrisinin % 16’sını oluşturmaktadır. Türkiye’de 1000 ton/yıl ve üzeri kapasiteye sahip yaklaşık 1300 işletme bulunmaktadır. Bu işletmelerin coğrafi dağılımına bakıldığında; Ege Bölgesi (% 38.8) ve Marmara Bölgesi (% 26.5) tesis sayısı açısından ilk iki sırayı paylaşmaktadır.

Son yıllarda süt ve süt ürünleri endüstrisine bakıldığında; yabancı sermayenin sektör içinde pay aldığı görülmektedir. Tikveşli-Danone, Mis Süt-Nestle bunların en göze çarpan örneklerindendir.

Avrupa Birliği’ne (AB) ihracatta Üçüncü Ülkeler C Grubunda bulunan Türkiye’de, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından AB’ye ihracat yapmak isteyen ve AB komisyonu 92/46/EEC no’lu Temel Süt Direktifi ve eklerinin teknik ve hijyen istemlerini yerine getiren süt ve süt ürünleri tesisleri kontrol edilmekte ve onay numarası verilmektedir. Türkiye’de AB ihracat numarası almış 13 tesis bulunmaktadır.

Türkiye’de süt ve süt ürünleri endüstrisi iş yeri sayısı, kurulu kapasiteleri ve üretimlerinin yıllara göre dağılımları Tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.1 Türkiye’de Süt Ürünlerine Göre İş Yeri Sayısı, Kurulu Kapasite, Üretim ve Süt Eşdeğerleri (DPT, 2000)

Ürün	1994				1996			
	İş Yeri Sayısı (adet)	Kurulu Kapasite (ton/yıl)	Üretim (ton)	Süt Eşdeğeri (ton)	İş Yeri Sayısı (adet)	Kurulu Kapasite (ton/yıl)	Üretim (ton)	Süt Eşdeğeri (ton)
Aromalı Süt	1	2240	2137	2159	1	2240	3214	3247
Tulum Peyniri	30	6110	778	7780	32	7330	829	8290
Ayran	50	47842	15799	8061	64	54960	15348	7831
Pastörize Süt	41	531425	62371	63001	44	495827	96029	96989
Sterilize Süt	7	214642	81589	82413	12	252231	152389	153928
Süt Tozu	2	6480	584	6489	2	6480	2680	29778
Tereyağ	317	30365	9457	-	331	74482	15772	-
Beyaz Peynir	899	916504	147776	1055543	869	1032915	153635	1097393
Kaşar Peyniri	333	289669	25890	258900	387	206744	45730	457300
Yoğurt	759	585160	197102	201125	703	505614	189598	193467
Dondurma	3301	39395	12860	6430	3375	180889	49268	24634
Diğer Peynirler	8	328	49	490	10	181	608	6080
Krema	23	780	470	-	54	1383	1262	-
TOPLAM	-	-	556862	1692391	-	-	726362	2078937

Türk Standartları Enstitüsü tarafından bugüne kadar çiğ süt ve süt ürünlerini ilgilendiren 112 adet standart çıkartılmıştır. Bu standartların 5 adedi zorunlu uygulamada olup, diğerleri ihtiyari olarak uygulanmaktadır, daha önce zorunlu uygulamada olan ve revizyonları Tarım ve Köyişleri Bakanlığına gönderilen ancak mecburi olarak yayınlanmayan standartlar vardır.

Günümüzde iç ve dış pazarda kalıcı ve güvenilir yer edinmek isteyen üretici firmaların gündeminin ilk sırasında kalite yer almaktadır. Milletlerarası Standardizasyon Teşkilatı’nın (ISO) yayımladığı ISO 9000 serisi standartları olarak uygulanmaktadır. Bu standartlara göre süt ve süt ürünleri endüstrisinde 4 firma TS EN ISO 9001 (Tasarım ve Üretim) ve 28 firma TS EN ISO 9002 (Üretim) standartları kapsamında belgelendirilmiştir. Çevre bilincinin geliştiği günümüzde üretici firmaların TS EN ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi Standartlarına göre de belgelendirilmesi için firma bazında gerekli girişimlerin ve çalışmaların yapılması önemlidir.

Süt ve süt ürünleri endüstrisi üretim miktarları yıllara göre incelendiğinde, pastörize süt, sterilize süt, dondurma, yoğurt, ayran ve diğer peynirlere ait üretimlerde artışlar gözlenmiştir. Türkiye’de süt ve süt ürünleri endüstrisi üretim miktarları Tablo 2.2’de verilmektedir.

Tablo 2.2 Türkiye’de Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Üretim Miktarları (ton/yıl)
(DPT, 2000)

Sıra	Ana Mallar	Sektör	Yıllar			
			1995	1996	1997	1998
1	Pastörize Süt	Devlet	47069	17965	17019	13227
		Özel	65352	118144	144343	147132
		Toplam	113557	137484	162991	161979
2	Sterilize Süt	Devlet	3267	-	2325	6811
		Özel	91909	115442	125436	122983
		Toplam	96137	116608	129051	131105
3	Süt Tozu	Devlet	780	-	-	-
		Özel	4322	-	-	-
		Toplam	56688	-	-	-
4	Beyaz Peynir	Devlet	2359	446	1625	763
		Özel	18663	18863	22312	17724
		Toplam	150157	137921	170979	132050
5	Kaşar Peyniri	Devlet	660	-	19	26
		Özel	4342	4946	6462	7535
		Toplam	50020	49460	64810	75610
6	Diğer Peynirler	Devlet	221	12	58	100
		Özel	747	2333	4125	10471
		Toplam	9680	23450	41830	105710
7	Tereyağ	Devlet	951	117	127	127
		Özel	5485	6292	6142	7369
		Toplam	6436	6409	6269	7496
8	Dondurma	Devlet	325	319	334	350
		Özel	17444	18081	27015	36948
		Toplam	8834	9200	13674	18649
9	Yoğurt	Devlet	21074	2817	2380	2190
		Özel	62965	99680	142122	115929
		Toplam	85754	104588	147451	120529
10	Ayran	Devlet	1465	488	659	646
		Özel	19868	30998	44067	43717
		Toplam	10884	16064	22819	22634
Süt Eşdeğeri Toplamı			588147	601184	759874	775762

Süt ve süt ürünleri konusunda Türkiye’nin ithalatına bakıldığında, 1998 yılında, kaşar peyniri hariç, süt-krema, tereyağ, beyaz peynir, diğer peynir çeşitlerinde, yoğurt ve ayran da miktar olarak bakıldığında bir artış görülmektedir.

Ülkelere göre ithalat değerlendirilecek olursa, AB ülkeleri önde gelmektedir. AB ülkeleri arasında ise diğerlerine oranla Almanya ve Fransa'dan yapılan ithalat önemlidir. Ürün yelpazesinde süt tozu ağırlık taşımaktadır. Diğer ürünler tereyağ ve peynir olarak sıralanabilir.

Süt ve süt ürünleri ihracatı da ithalatı gibi düşük düzeydedir. İthalatta olduğu gibi ihracatta da AB önem taşımaktadır. Ancak özellikle beyaz peynir ve tulum peyniri ihracatının tamamına yakını Suudi Arabistan'a yapılmaktadır. Bu durum özellikle damak zevkinin benzer olduğu, diğer Ortadoğu ülkelerinin de gelecekte iyi bir pazar olacağını düşündürmektedir. Ancak, AB pazarlarına girebilmek ve ihracatın arttırabilmesi için özellikle, çiğ sütte hijyen ve kalite standartlarının yükseltilmesi gerekmektedir (DPT, 2000).

2.2 Endüstride Üretilen Ürünler ve Üretim Prosesleri

2.2.1 Sütün Kompozisyonu

Süt, içinde 100'den fazla kimyasal bileşik bulunan kompleks bir sıvıdır. İçinde ağırlıklı olarak bulunan bileşikler su, yağ, laktoz kazein, peynir altı suyu (PAS) proteinleri ve minerallerdir, bu bileşenlerin süt içinde bulunma oranları sütü veren memelinin metabolik prosesine bağlı olarak önemli şekilde değişebilir. Ayrıca sütün kompozisyonu aynı tür içinde bile genetik ve çevresel etkilere bağlı olarak değişebilir.

Aynı bileşik sınıfı içinde bile kimyasal kompozisyon değişiklik gösterebilir. Farklı sütlerde, trigliseridlerde bulunan yağ asitlerinin benzerliği, proteinlerdeki amino asit dizilişi veya envanteri farklı olabilir.

Sütün gerçek solüsyonu laktoz, vitaminler, asitler, enzimler ve bazı inorganik tuzları içerir. Kolloidal faz kazein, kalsiyum fosfat ve protein zerreciklerinden oluşur. Yağ, süt içinde yağ emülsiyonu formunda, çapı 0.1 ile 22 µm arasında değişen yağ zerrecikleri halinde bulunur. Tablo 2.3 ve 2.4 çeşitli memelilerin kompozisyonu ile ilgili literatürde yer alan değerleri, Tablo 2.5 ise insan ve inek sütlerinin kompozisyonunun kıyaslanmasını içermektedir.

Tablo 2.3 Çeşitli Memelilerin Sütlerinin Kompozisyonu (100 g taze süt için)
(Widdowson, 1981)

	Protein, g	Yağ, g	Karbonhidrat,* g	Enerji,** Kcal
İnek	3.2	3.7	4.6	66
Keçi	2.9	3.8	4.7	67
Koyun	5.0	7.1	4.9	127
İnsan	1.1	4.2	7.0	72

*Analizlerin her zaman laktoz için spesifik olmamasına rağmen laktoz cinsinden ifade edilmiştir.

**Enerji değeri şu faktörler dikkate alınarak hesaplanmıştır: protein 4.1 Kcal/g, karbonhidrat 4.1 Kcal/g ve yağ 9.1 Kcal/g.

Tablo 2.4 Çeşitli Memelilerin Sütlerinin Kompozisyonu (Jennes ve Sloan, 1970)

	Protein, %	Yağ, %	Laktoz, %	Toplam Katılar, %
İnek	3.4	3.7	4.8	12.7
Keçi	2.9	4.5	4.1	13.2
Koyun	5.5	7.4	4.8	19.3
İnsan	1.0	3.8	7.0	12.4

Tablo 2.5 İnsan ve İnek Sütünün Kompozisyonu (Carić, 1994)

Bileşen, %	İnsan Sütü	İnek Sütü
Su	87.43	86.61
Yağ	3.75	4.14
Protein	1.63	3.58
Laktoz	6.98	4.96
Mineral	0.21	0.71
Yağ Olmayan Katılar	8.82	9.25
Toplam Katılar	12.57	13.39

Bir gıda bileşeni ya da tek başına tüketilmesi halinde süt, insanın beslenmesinde mükemmel bir besin profili sağlar. Beslenme uzmanları sütü tek başına bütün bir gıda olarak kabul ederler; çünkü beslenme için gerekli olan protein, yağ, karbonhidratlar, mineraller ve birkaç vitamini önemli miktarda içerir. Düşük yağlı ve yağsız sütler, yağı azaltılmış veya yağsız gıda formülasyonlarında artan bir ilgiye sahiptir (Rosenthal, 1991; Chandan, 1997).

2.2.2 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisinde Uygulanan Temel Prosesler

Süt ve süt ürünleri endüstrisi kapsamında bazı işlemler hemen hemen bütün üretimlerde uygulanmaktadır. Bu işlemler şu şekilde sıralanabilir: Isıtma, klarifikasyon, separasyon, hava giderme, pastörizasyon, homojenizasyon ve standardizasyon. Buzdolabına konulmadan aylarca saklanabilen dayanıklı süt üretimi için Ultra Yüksek Sıcaklık (UHT) işlemi uygulanmaktadır. Bu bölümde bu işlemde de söz edilecektir.

2.2.2.1 Isıtma

Isıtmanın amacı, çiğ sütün 8°C'den daha düşük sıcaklıklarda saklanma kalitesinin, ılık bir sıcaklıkta işlenip soğutularak iyileştirilmesidir. Bu işlem çiğ süte 60-65°C sıcaklıkta ve 10-20 saniye boyunca ısı değiştiricilerde uygulanır. Bu uygulama sonucunda sütü bozulmadan uzun süre depolamak mümkün olmaktadır (Rosenthal, 1991).

2.2.2.2 Klarifikasyon

Klarifikasyonda amaç, prosese girmeden önce sütün içindeki katı safsızlıkların giderilmesidir. Bu filtrasyonla veya sürekli süt temizleyicisinde santrifüjle ayırma metoduyla daha verimli bir şekilde yapılabilir. Bu yöntemle geniş bir yelpazedeki yabancı maddeler giderilebilir; bunlar: toz ve kir, ölü epitel hücreler, akyuvarlar, eritrositler ve yüksek konsantrasyonda bakteri, mikroorganizma grupları içeren protein gruplarıdır (Rosenthal, 1991).

2.2.2.3 Separasyon

Separatörün kullanılmasıyla süt (yağsız, düşük yağlı) ve krema olarak iki ayrı madde elde edilir. Yağ zerrecikleri çevresini saran su fazından daha hafiftirler (yoğunluğu daha az) ve süt kendi haline bırakıldığında yüzeyde toplanırlar.

Genelde kendi kendine temizlenen separatörler ve soğuk süt separatörleri kullanılır. Separatör, operatörün yağ içeriğini önceden belirlemesine yardımcı olur.

Eğer sıvı süte vitamin ve mineral eklenecekse, bu noktada eklenirler. A ve D vitaminleri yağsız ve düşük yağlı sütlere eklenmelidir, yağlı süt için isteğe bağlıdır (Chandan, 1997).

2.2.2.4 Hava Giderme

Süt her zaman sıvı içerisinde çözünmüş veya disperse halde gazlar içerir. Gazın toplam miktarı karıştırma ve pompalama sırasında süt tarafından emilen hava miktarına bağlıdır. Sütte çözünen hava miktarı sıcaklıkla ters orantılıdır.

Yüksek miktarda gaz bulunması proses hattında sorunlar yaratabilir. Bunlar; ölçüm cihazlarının doğru ölçmemesi, yağ separatörlerinde verimin düşmesi, ısı değiştiricilerin fazla ısınması veya kabuklanması ve kültür katılmış ürünlerde peynir altı suyunun ayrılma eğiliminin artmasıdır.

Vakumlamanın temel amacı, süte yemlerden gelen kokulu uçucu maddelerin giderilmesidir (Rosenthal, 1991).

2.2.2.5 Pastörizasyon

Çiğ süütün pastörizasyonunda esas amaç, insanlarda hastalık yapan patojen mikroorganizmaların ısıyla öldürülmesidir. Endüstriyel pastörizasyon, süütün fiziksel ve kimyasal özelliklerini minimal derecede değiştirmesi ve bu amaca ulaşmak için gerekli teknik adımlar arasındaki en uygun bileşkedir. İlk bakteriyolojik çalışmalarda süütün 60°C’de 20 dakika ısıtılmasının bütün patojenleri öldürmek için yeterli olduğu anlaşılmış ve bu koşullar pastörizasyon için gerekli minimum koşullar olarak belirlenmiştir. Daha sonraki yıllarda daha geniş bir güvenlik aralığı sağlamak için bu şartlar 62.8°C ve 30 dakika olarak değiştirilmiş, bu sisteme de “düşük sıcaklık uzun süre” (LTLT) adı verilmiştir. Bu yöntem küçük ölçekli fabrikalarda ve hobi olarak bu işle ilgilenenler tarafından uygulanan temel bir proses olmuştur. Ancak sürekli ve büyük ölçekli sistemler için mali açıdan tatmin edici sonuçlar sağlamamıştır.

Farklı zaman ve sıcaklık kombinasyonlarıyla da patojen bakteriler aynı etkiyle yok edilebilirler. Çok daha kısa sürede ve daha yüksek sıcaklıkta güvenli süt elde etmek mümkündür. Örneğin “yüksek sıcaklık düşük süre” (HTST) prosesinde minimum yasal standart 71.7°C ve en az 15 saniye olarak belirlenmiştir. Bu yöntem sürekli akış prosesidir ve ısı değiştiricilerdeki teknolojik gelişmeler sayesinde oluşmuş, süt pastörizasyonunda tercih edilir hale gelmiştir. HTST pastörizasyonunun en önemli avantajı, sütü ısıyla hızlı ve yeterli bir şekilde işleyip, çok sıkı bir bakteriyolojik ve kalite kontrolü sağlama kapasitesidir.

Daha yüksek katı madde içeriği bulunan süt ürünlerinde HTST pastörizasyonu için daha yüksek sıcaklık ve daha uzun süre kombinasyonları tavsiye edilmektedir. Bu nedenle % 18 yağ içeren pastörize krema için 75°C ve 15 saniye, % 35 yağ içeren krema için 80°C ve 15 saniye kriterleri verilirken pastörize konsantre süt için 80°C ve 25 saniye kriterleri verilmektedir.

Süütün sıcaklıkla işlenmesinin esas amacının insanlarda hastalık yapabilecek mikroorganizmaların öldürülmesi olmasına rağmen pastörizasyonun iki ek yararı daha vardır, bunlar; çiğ sütte bulunan bazı spoilage mikroorganizmaların büyük kısmının yok edilmesi ve üretilen ürünlerin kalitesi üzerinde olumsuz etkide bulunabilecek lipaz gibi doğal süt enzimlerinin aktivitesinin durdurulmasıdır.

Pastörize süt steril değildir. Daha yoğun bir şekilde ısının uygulanması pastörizasyona göre daha verimli anti bakteriyel sonuçlar verecektir. Diğer yandan süt ısıya karşı atıl değildir; fazla ısıtma sütün görünüşünü, tadını, besin ve teknolojik değerini olumsuz yönde etkiler (Chandan, 1997).

2.2.2.6 Homojenizasyon

Süt yağı, süt içinde ebatı 0.1 ve 22 µm arasında değişen yağ zerrecikleri olarak bulunur. Ortalama çapları 3.5 µm civarındadır. Zerreciklerin miktarı; 1.5-5 milyar zerrecik/ml süt aralığında değişmektedir.

Homojenizasyonun amacı, depolanan sütte krema oluşmasını önlemek amacıyla zerreciklerin boyutunu ≤ 1 µm olacak şekilde azaltmaktır.

İyi homojenize edilmiş bir süt, 7°C'de hareketsiz bir şekilde saklanan ve üst fazın % 10'unun içerdiği yağ miktarıyla geri kalan kısmın içerdiği yağ miktarının farkı % 10'dan fazla olmayandır.

Homojenizasyonun verimi türündeki yağın fiziksel durumuna ve konsantrasyonuna bağlıdır (Rosenthal, 1991; Chandan, 1997).

İşlemin en etkili olduğu durum yağ fazının sıvı olduğu zamandır. Örneğin pastörizatördeki ön ısıtma adımından sonra ulaşılan 55-60°C bu durum için uygun bir sıcaklıktır. Isıtılmış sütün homojenize edilmesinin önemli fakat ikincil yararı ise homojenizasyondaki mekanik türbülans nedeniyle aktif olacak doğal lipazların aktivitesinin azaltılmasıdır. Homojenizasyonun bir diğer etkisi ise yüzey alanındaki artışa bağlı olarak daha zengin bir tat sağlamasıdır. Sütün homojenizasyonu, süt proteinlerindeki fiziksel değişimleri de içerir, bunun sonucu daha az kesmik gerilimi ve midedeki daha hızlı koagülasyona bağlı olarak sindirilebilme olasılığının artmasıdır. Homojenizasyon krema ve dondurmanın viskozitesini artırır. Homojenizasyon ve pastörizasyon herhangi biri önce gelmek kaydıyla arka arkaya uygulanmalıdır.

2.2.2.7 Standardizasyon

Yağ konsantrasyonu çiğ sütte en fazla değişkenlik gösteren parametredir. Yağ içeriğinin istenen bir seviyeye getirilmesi işlemine standardizasyon adı verilir. Kesikli standardizasyonda süt daha düşük ve yüksek yağ içeriği elde etmek amacıyla

yağı alınmış süt veya kremayla karıştırılır. Proses, pastörize edilmemiş ham maddelerle veya pastörize edilmiş ürünlerle yürütülebilir (Rosenthal, 1991).

2.2.2.8 Ultra Yüksek Sıcaklık (UHT) İşlemi

Süt ve süt ürünleri endüstrisinde işleme ve paketleme alanındaki gelişmeler, süt ve diğer süt ürünlerini oda sıcaklığında 6 aya kadar saklayabilme olanağını mümkün kılmaktadır. Sütü HTST sistemi için tavsiye edilenden daha yüksek sıcaklıklarda ısıtmak bakteriyel topluluğa daha fazla zarar vermektedir. Aslında, doğru bir teknolojiyle daha yüksek sıcaklıklarda sütün kalitesine gelebilecek zararları sınırlamak amacıyla temas süresi daha kısa tutulabilir. UHT işleminin tanımı, sütün sürekli bir akım şeklinde 130-150°C’de 2-8 saniye ısıttıktan sonra aseptik koşullarda paketlenmesini şart koşar. Bu şekilde işlenen süt hemen hemen sterildir ve kapalı kaplarda buzdolabına konmadan birkaç ay saklanabilir. Bu proses bütün vejetatif bakteri hücrelerini yok edebilir fakat bazı sporlar yaşamaya devam ederler. UHT ürünleri 30°C’de 15 günlük inkübasyondan sonra mikrobiyolojik olarak dengede kalmalı ve bakteriyel gelişme göstermemelidir.

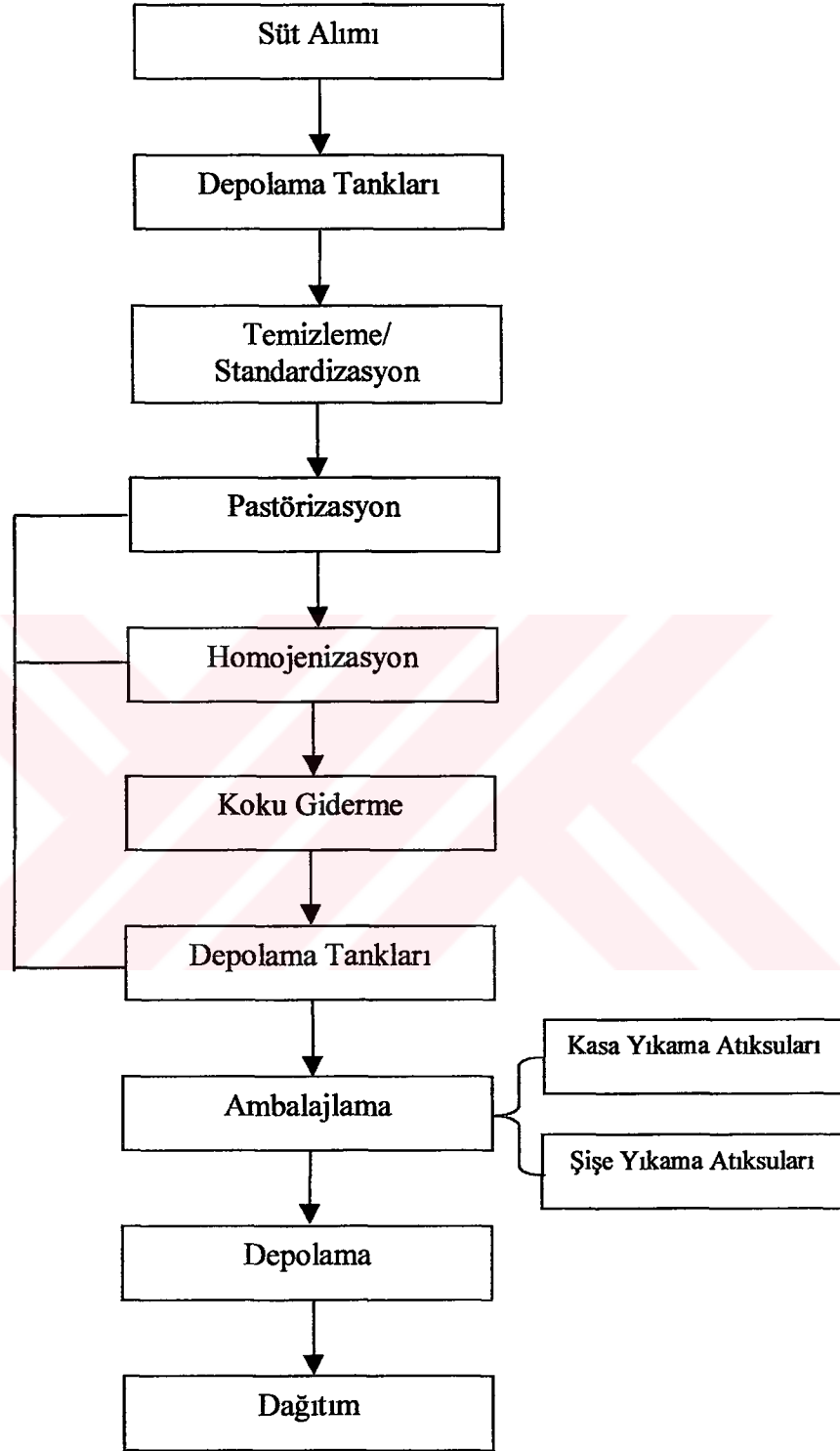
Pratik amaçlar için, UHT işlemiyle üretilen sütün besin değeri pastörize edilerek üretilenle benzerdir. UHT işlemi üzerinde uygulanan dikkatli kontrollerle ve uygun paketlemeyle, sütün besin değeri protein, yağ, karbonhidrat, yağda çözünen vitaminler, suda çözünen vitaminlerin çoğu ve mineraller bakımından korunur (McBean ve Speckmann, 1988).

2.2.3 Süt Ürünleri

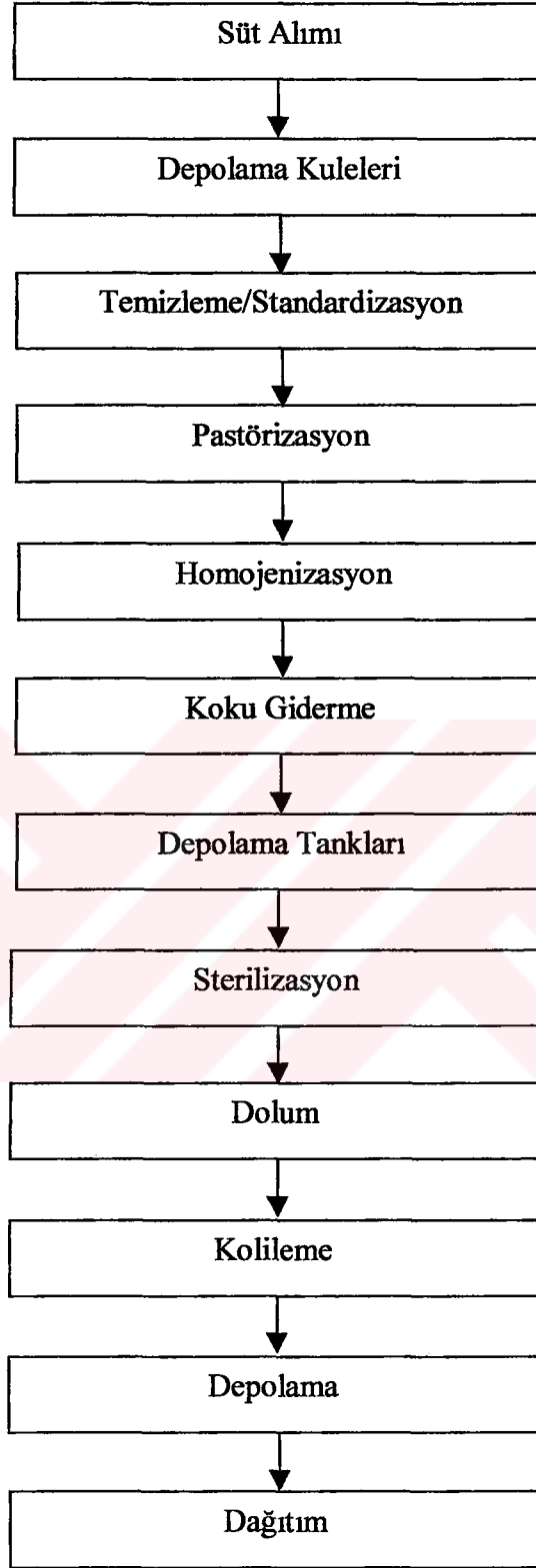
Bu bölümde, endüstride üretilen bazı ürünlerden bahsedilecektir; ayrıca bazı ürünlerin, Orhon ve Artan (1984) tarafından verilen Türkiye’de çoğunlukla uygulanan, proses akım şemaları Şekil 2.1-2.12’de görülmektedir.

2.2.3.1 İçme Sütü

İçme sütü veya “beyaz süt” veya “piyasa sütü” süt ve süt ürünleri endüstrisindeki ana üründür. İçme sütleri tam yağlıdan yağı alınmışa kadar farklı yağ içeriğine sahip sütlerin yanında aromalı ve fermente edilmiş sütleri de kapsar. İçme sütü temizleme, ayırma, standardizasyon, pastörizasyon, vakumla tat giderme ve homojenizasyon işlemlerinden geçirilerek üretilir. İçme sütü isteğe bağlı olarak vitaminler ve minerallerle zenginleştirilir (Rosenthal, 1991).



Şekil 2.1 Pastörize Süt Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.2 Sterilize Süt Üretimi Akım Şeması

2.2.3.2 Peynir

Peynir değişen miktarlarda pıhtılaşmış süt proteinleri, yağ, süt ve tuzlardan meydana gelmiş taze veya olgunlaştırılmış olarak tüketilen bir üründür. Farklı bölgesel orijinlere, tüketim alışkanlıklarına, kimyasal kompozisyona, dokuya, tada, aroma ve raf ömrüne sahip çok çeşitli peynir türü vardır (Rosenthal, 1991).

En çok uygulanan peynir üretimi prosesi, sütün özel peynir mayası veya diğer proteolitik enzimler ve mikroorganizmalarla pıhtılaştırılması prosesidir. Peynir retiminde süt, öncelikle ısıtılır ve yağ konsantrasyonu standardize edilir. Daha sonra mayalama amacıyla başlangıç kültürü eklenir. Enzimler, sütün pıhtılaşmasını sağlarlar, bu jelimsi katı pıhtı koagulum olarak adlandırılır. Koagulum, zel kesim aletleriyle, istenilen boyutlarda kesilerek kalıplara konulur. Kalıp genellikle mekanik olarak karıştırılır ve peynir altı suyu kalıptan uzaklaştırılır. Daha sonra peynir sıkıştırılır ve peynir altı suyunun miktarı da artar. Sıkıştırılmış peynir, tuzlu suya veya kuru tuza yatırılır. Peynirin sıcaklığı ve rutubeti sürekli kontrol edilir ve daha sonra paketleme ünitesine gönderilir (Görgün, 1991).

2.2.3.3 Fermente Edilmiş Süt rnleri

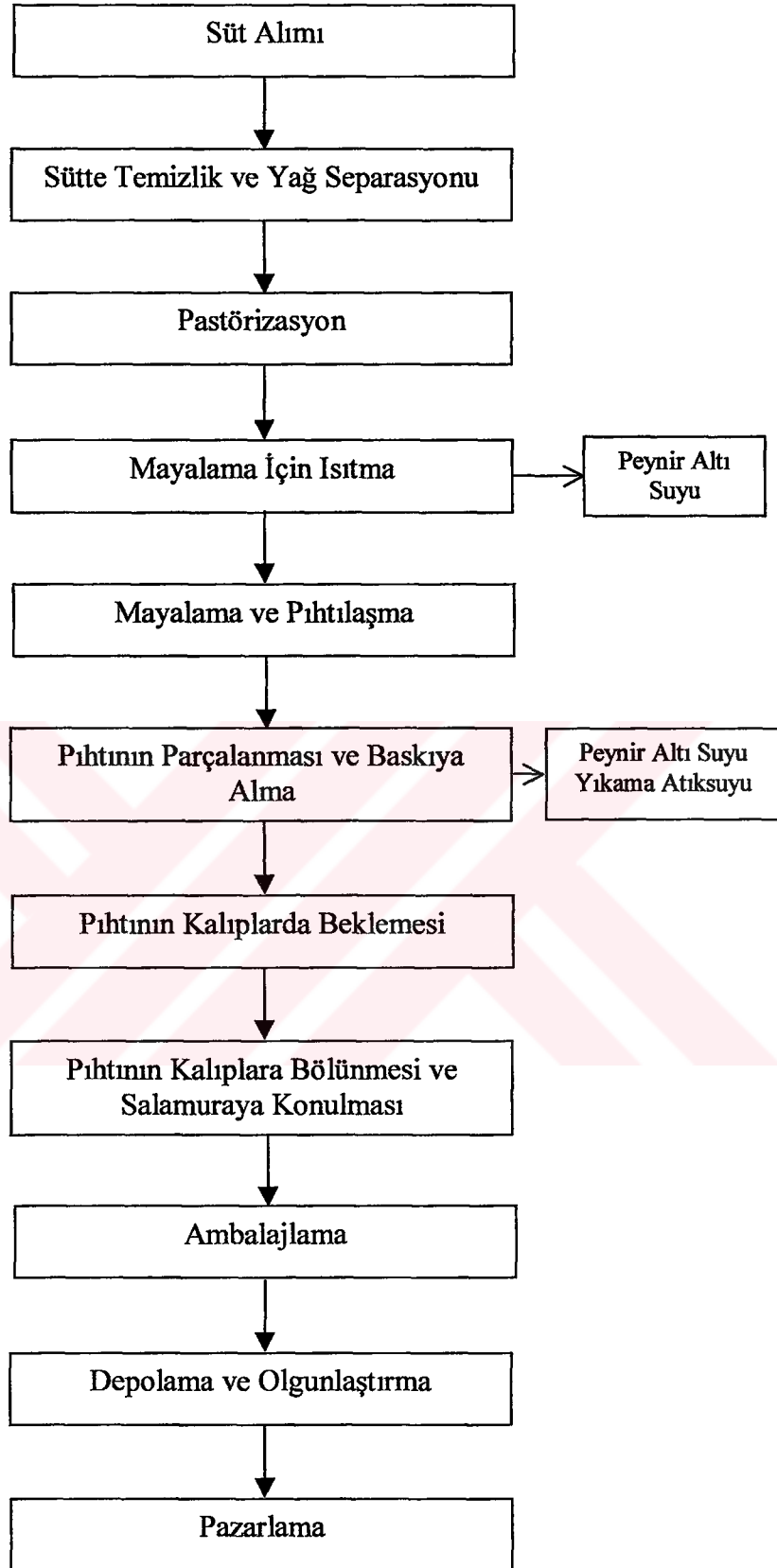
Fermente edilmiş veya kültür katılmış süt ürünleri, yağ ve yağ olmayan katıları ayarlanmış ve inkübasyon ile süt kültürleri tarafından modifiye edilmiş stlerdir. Peynir yapımında peynir altı suyunun (PAS) giderilmesi peynirler ve fermente edilmiş ürünler arasındaki sınırı çizmektedir (Rosenthal, 1991).

2.2.3.4 Yoğurt

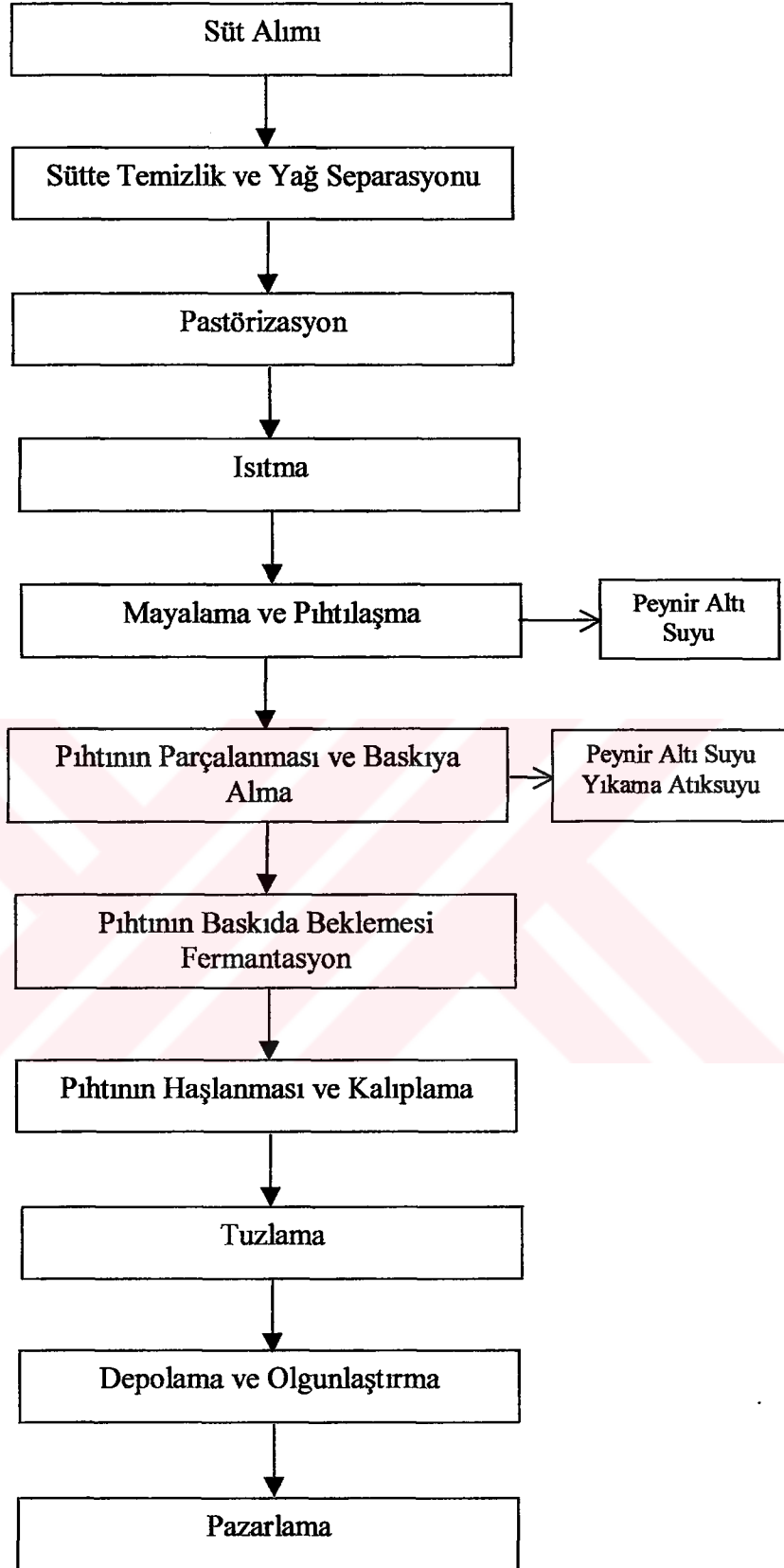
Yoğurt, yağsız kuru süt katısı veya yağsız süt konsantresi eklenmiş, tamamen veya kısmen yağı giderilmiş süte, kültür ilave edilerek üretilen fermente edilmiş bir süt ürünüdür.

Yoğurt % 5'e kadar yağ ve % 8.5 ile % 15 arasında yağ olmayan katı içerebilir. Yoğurdun tipik tadı laktik asit, karbonil bileşikleri, uçucu olmayan asitler, uçucu asitler ile protein, yağ ve laktozun bozulmasıyla oluşan ürünlerin karışımından meydana gelir.

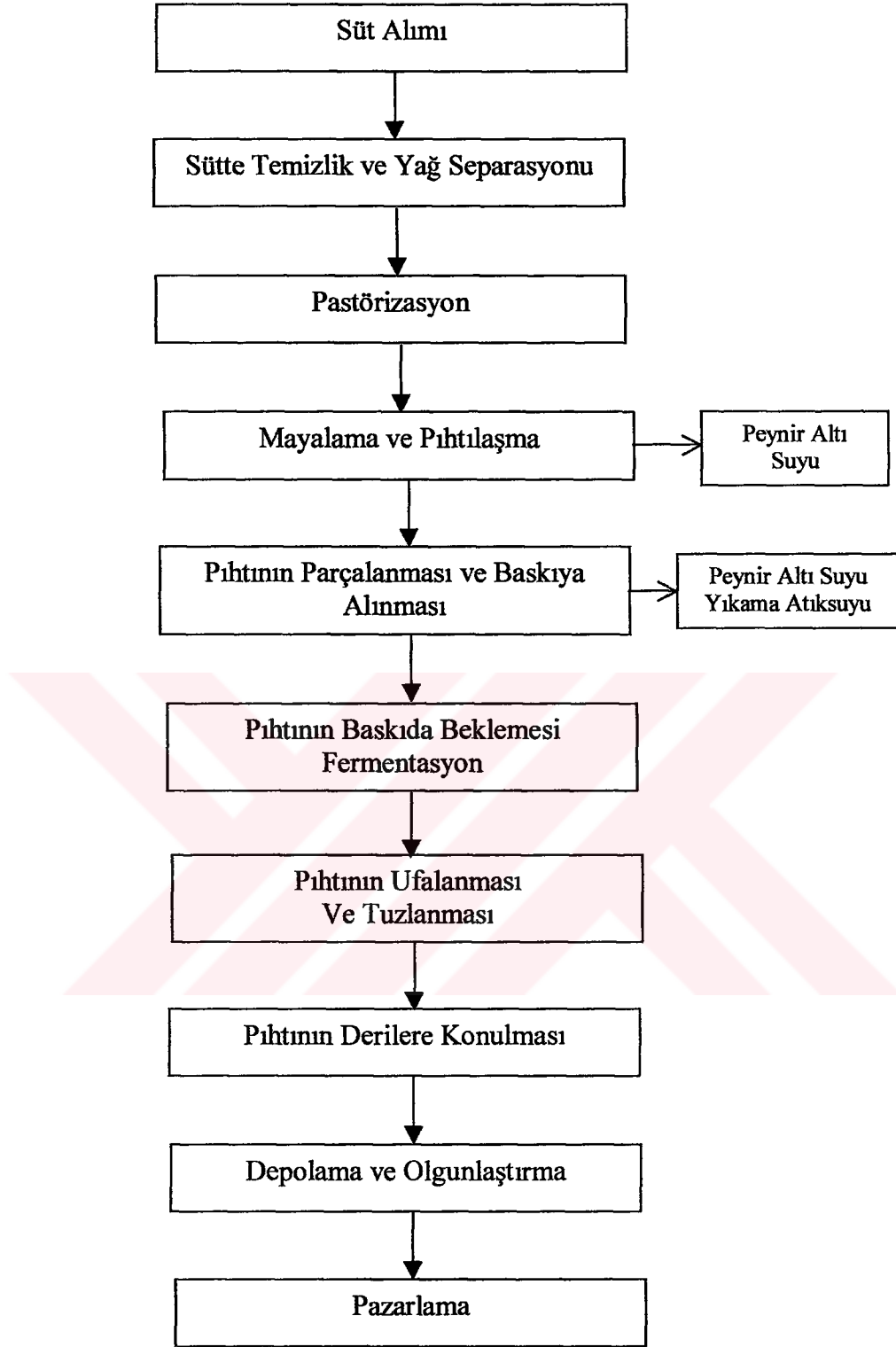
Yoğurt sade veya aromalı olarak ve iki farklı yoğunlukta (set ve karıştırılmış) retilir. şeker (% 10'a kadar), meyve konsantreleri (genellikle % 15) veya



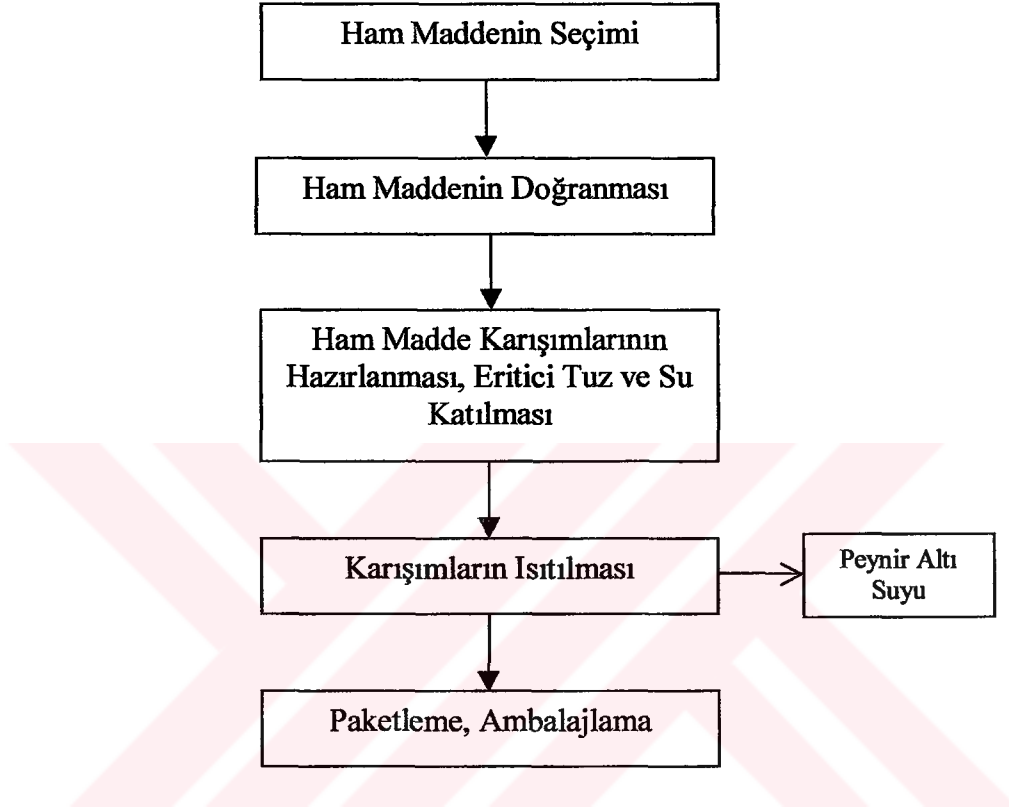
Şekil 2.3 Beyaz Peynir Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.4 Kaşar Peyniri Üretimi Akım Şeması



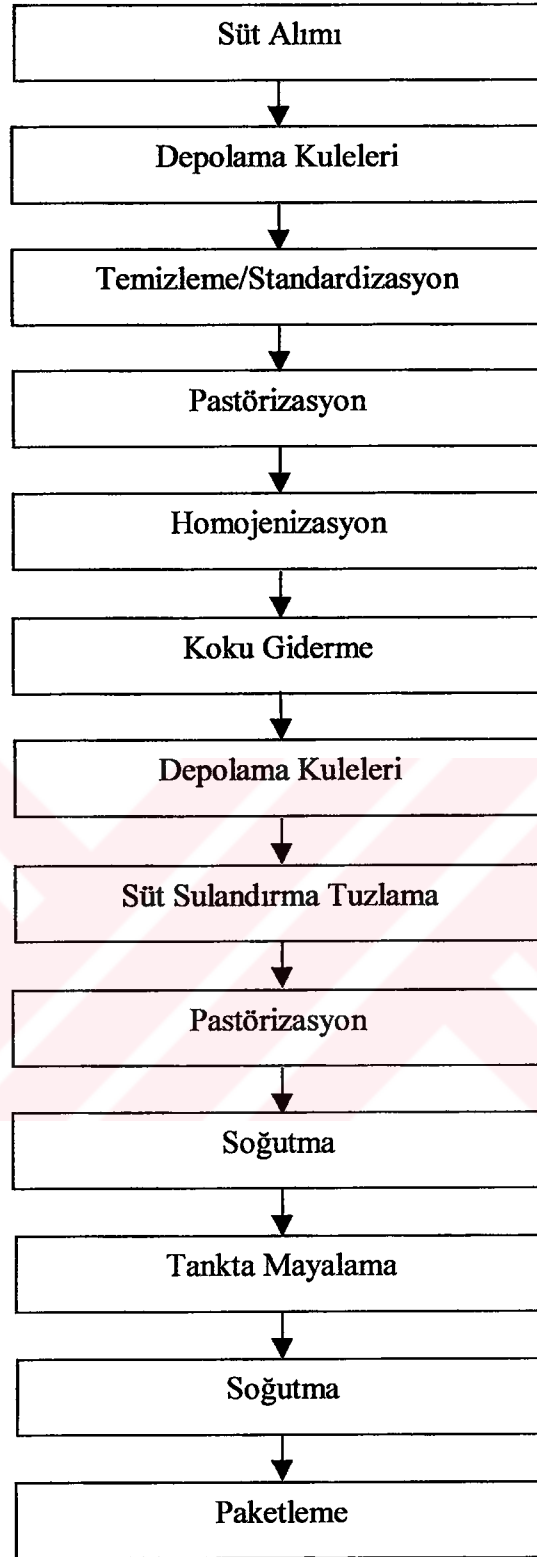
Şekil 2.5 Tulum Peyniri Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.6 Eritme Peyniri Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.7 Yoğurt Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.8 Ayran Üretimi Akım Şeması

vanilya, renk vericiler aromalı yoğurtta kullanılabilir. Doğal veya aromalı yoğurtların pH'ı 3.7 ile 4.3 arasında değişmektedir.

Türk yoğurdu, kültüre eklenen laktozu fermente eden mayasıyla diğerlerinden ayrılır.

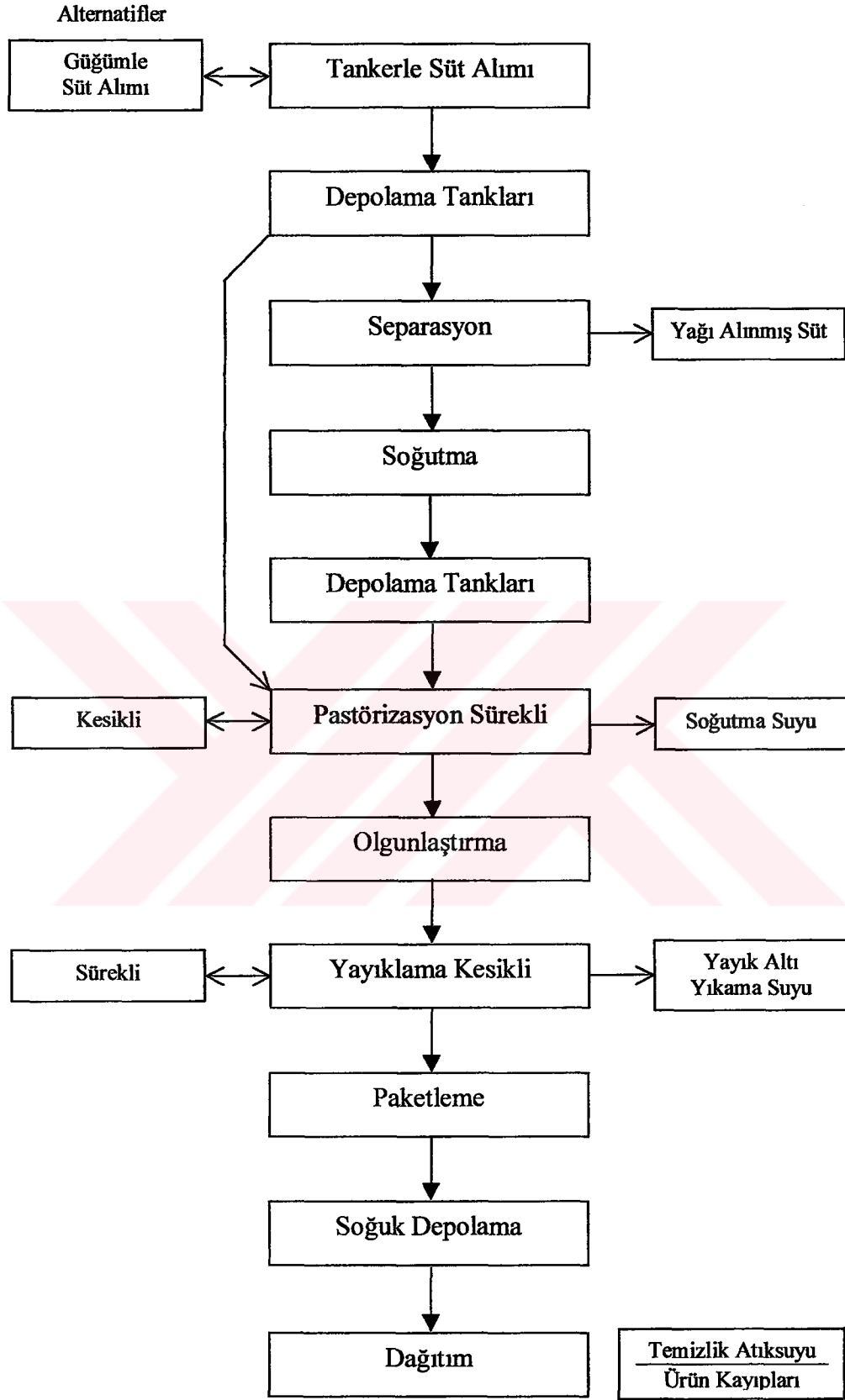
Yoğurt insanların beslenmelerinde özellikle laktoza karşı hassasiyetleri olan kişiler için sütün yerine tavsiye edilmektedir. Gerçekte sütün fermantasyonu laktoz içeriğini % 20-30 kadar azaltır. Sütün süt tozu ile zenginleştirilmesi gerekirken yoğurttaki laktoz miktarının süttekine göre önemli miktarda az olması gerekir (Bassette ve Acosta, 1988; Rosenthal, 1991).

2.2.3.5 Tereyağ

Genelde tereyağ, yağ zerreciklerinin yumuşak bir katı madde oluşturması amacıyla tatlı kremanın yayıklanması ile üretilir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO)/Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartlarında göre tereyağın kompozisyonu ortalama olarak en az % 80 süt yağı, % 16 su, % 1.2 süt proteinleri ve isteğe bağlı olarak % 2 veya daha az tuzdan oluşmalıdır. Yağ miktarı isteğe göre değişebilir. Esas kompozisyon overrun faktörü tarafından karakterize edilir. Bu faktör belli bir miktar tereyağ içindeki yağ olmayan bileşikler ve yağ arasındaki oranı % cinsinden ifade etmektedir. Tüketicilerin isteklerini karşılamak amacıyla tereyağ “tatlı” (pH 6) veya olgunlaştırılmış (pH 4.4-5.6) olarak üretilmektedir. İkinci tip ürün tereyağ kültürü ile aşılanmış kremadan yapılmaktadır. Kültür eklenmiş tereyağ daha aromatik ve istenmeyen mikroorganizmaların yaratacağı enfeksiyonlara daha dayanıklıdır, diğer yandan oksidasyona eğilimi daha fazladır.

Tereyağ üretim prosesi birkaç adımdan oluşmaktadır, bunların arasında kremanın tereyağına dönüştüğü yayıklama anahtar adımdır. Yayıklama, serumdaki yağ emülsiyonunu kıran ve yağ zerreciklerinin gruplaşmasını sağlayan mekanik bir karıştırma prosesidir. Yayıklama sırasında yağ zerreciklerini koruyan membran madde bozulur ve sıvı yağ dağılarak aralarında bir yapıştırıcı gibi davranır. Bunun sonucu olarak başlangıçta “su içinde yağ” şeklindeki krema emülsiyonu “yağ içerisinde su” şeklindeki emülsiyona çevrilir. Bu emülsiyon, çok iyi yayılmış damlacıklar olarak bozulmamış yağ zerrecikleri (toplam yağın % 2-46) ve sudan (% 16) oluşan sürekli bir yağ fazından meydana gelmektedir.

Yağ tamamen katı veya sıvı olduğunda yağ zerreciklerinin birleşmesi düzgün olarak gerçekleşmez. Bu nedenle süt yağı kompozisyonunun mevsimsel değişikliklere bağlı



Şekil 2.9 Tereyağ Üretimi Akım Şeması

olarak doğru bir katı-sıvı yağ oranının sağlanması için, yayıklama sırasında sıcaklık (8-14°C) dikkatli bir şekilde kontrol edilir (Bassette ve Acosta, 1988; Rosenthal, 1991).

2.2.3.6 Dondurma

Dondurma; süt, krema ve yağsız süt gibi süt ürünleriyle şeker, aroma, meyve ve fındık gibi maddelerin karışımıyla oluşan dondurulmuş gıda maddesidir.

Dondurma, hızlı dondurma ve aynı anda yaklaşık olarak aynı hacimdeki havanın hazırlanmış karışıma verilmesiyle üretilir. Dondurma karışımı, çikolata, meyve veya fındık gibi maddelerin eklenmediği durumlarda min % 10 süt yağı ve % 20 toplam süt katısı içermelidir. Süt katılarına ilave olarak dondurma karışımı, % 10-15 şeker, % 5-7 mısır tatlandırıcı, % 0.2-0.3 düzenleyici gum, % ≤ 0.1 emülsüfiye edici ve az miktarda doğal veya yapay renklendirici aroma içerir (Bassette ve Acosta, 1988).

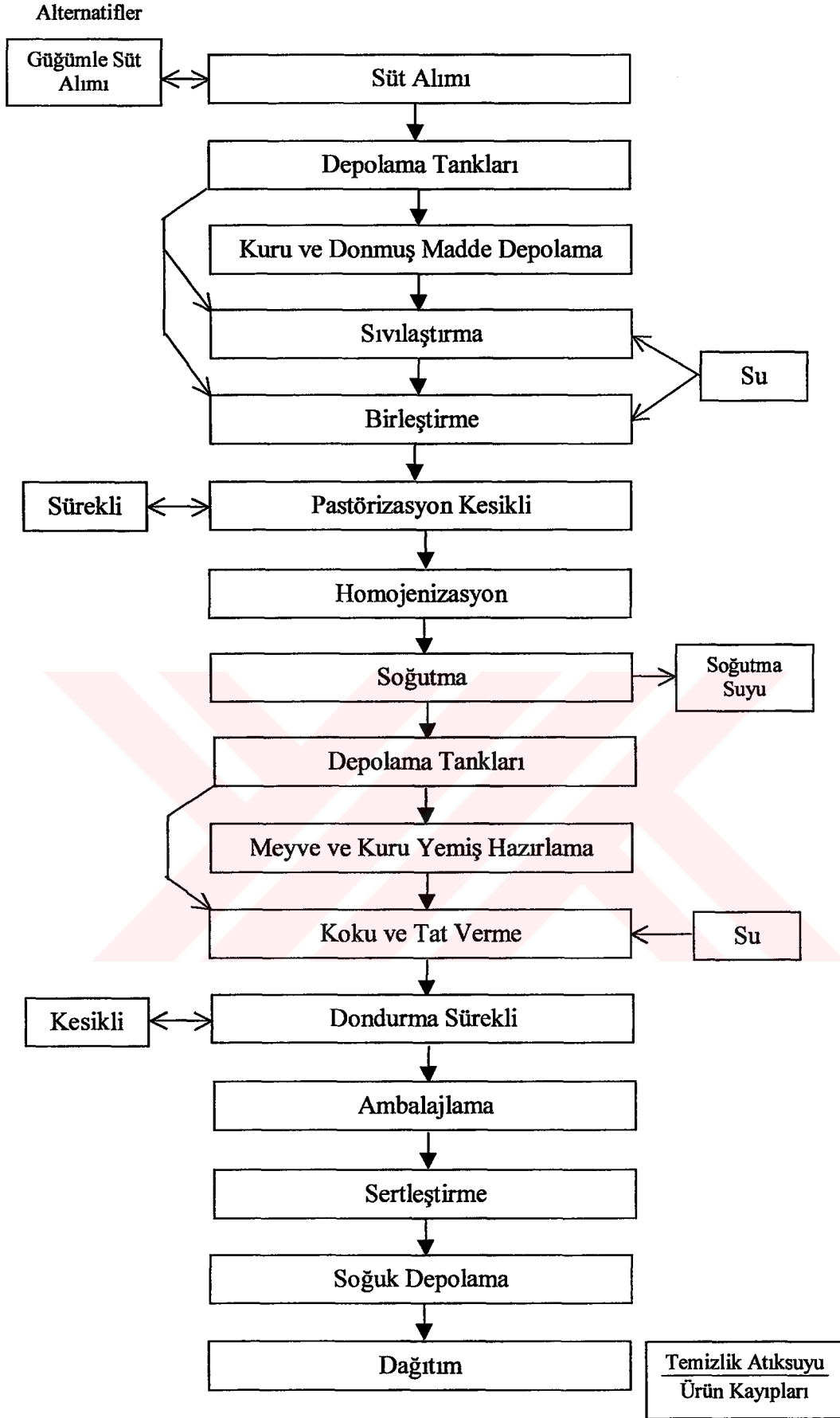
2.2.3.7 Süt Tozu

Sütü korumanın en iyi yolu, içindeki suyu gidermek ve % 2.5-5.0 oranında neme sahip bir toz üretmektir. Bu amaçla temizlenmiş ve standardize edilmiş süt, evaporasyon ve kurutma işlemine tabi tutulur. Kurutma işlemi, genellikle püskürtme yöntemiyle gerçekleştirilir. Konsantre süte püskürtülen sıcak hava, sütü atomize eder ve su süttten ayrılır.

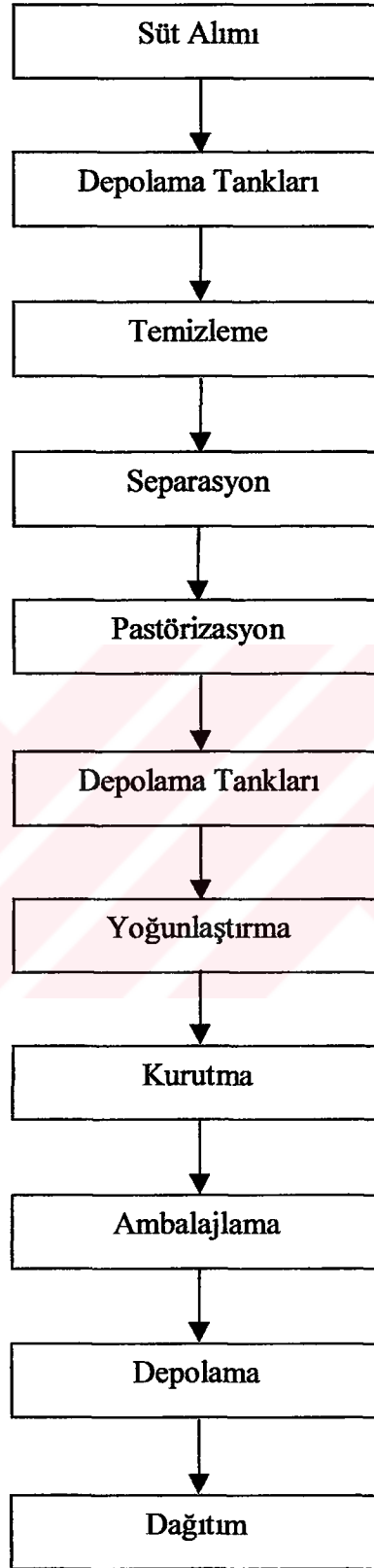
Kurutma işlemi için bir diğer yöntem de silindir yöntemidir. Bu yöntemde karşılıklı birbirine ters olarak dönen iki silindir mevcuttur. Bu silindirler, 150°C civarında kızgın buharla ısıtılır. Konsantre süt bu silindirlere alınır. Dönen silindirlerin cidarlarında, bir film tabakası oluşturan süt, özel çelik bıçaklarla sıyrıldıktan sonra paketleme ünitesine gönderilir (Görgün, 1991).

2.2.3.8 Yoğunlaştırılmış Süt Üretimi

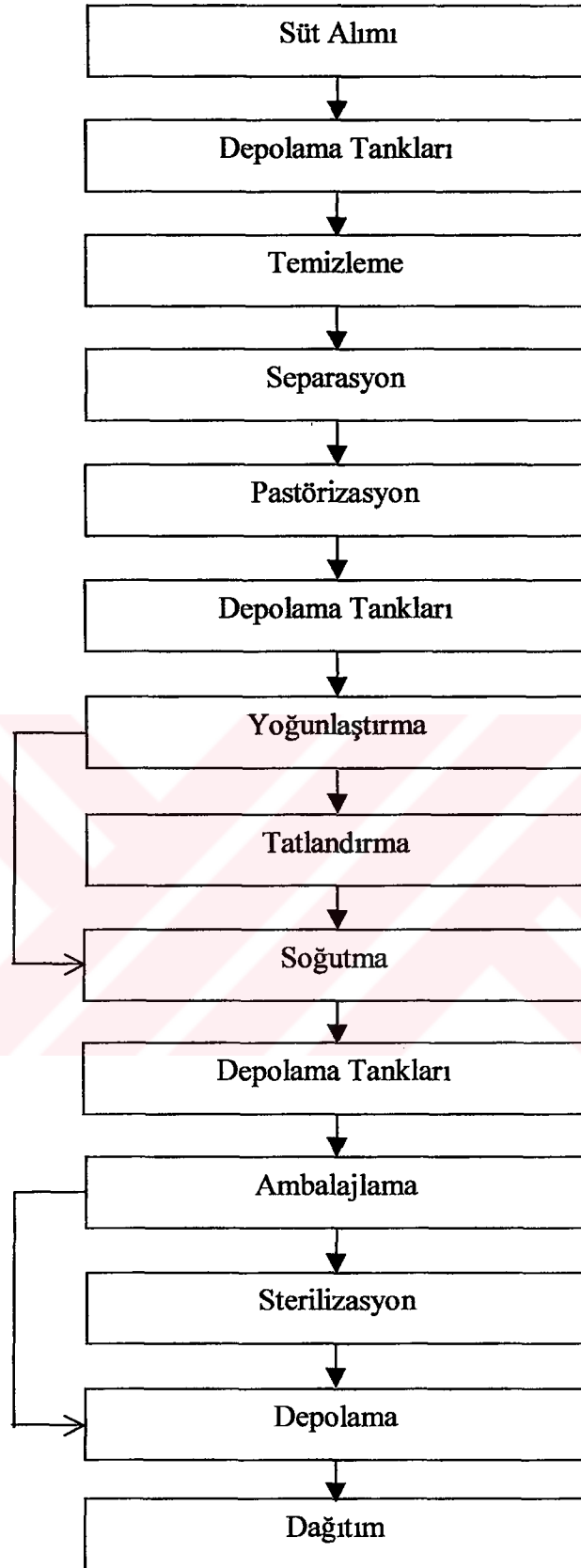
Pastörize süt ön ısıtmadan geçirilir ve % 20-40 katı madde kalacak şekilde konsantrasyonu ayarlanır. Bu işlem vakum altında ısıtma ile gerçekleştirilir. Vakumun amacı, kaynama noktasını düşürmek ve bu sayede ürüne termal zararların verilmesini önlemektir (Görgün, 1991).



Şekil 2.10 Dondurma Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.11 Süt Tozu Üretimi Akım Şeması



Şekil 2.12 Koyulaştırılmış Süt Üretimi Akım Şeması

2.2.3.9 Yan Ürünler

Peynir işletmelerinde peynir suyundan ve kısmen yayık altından lor, laktoz, albumin, kurutulmuş peynir suyu gibi yan ürünler elde edilir.

Kaşar peynirinin haşlama suyundan elde edilen yağ ve lor, insan gıdası olarak kullanılan birer yan ürün olup üreticilerce genellikle değerlendirilmektedir. Yağsız sütte elde edilen kazein, tarım ilaçları ve petrokimya endüstrisinde tarak, düğme ve kumaş üretiminde kullanılır.

Kremadan yararlanmak suretiyle yapılan tereyağ üretiminde de “yayık altı” maddesi olarak bir yan ürün sorunu daha mevcuttur. Bu maddenin de insan gıdası veya hayvan yemi şeklinde değerlendirilmesi mümkündür (Orhon ve Artan, 1984).

2.2.3.10 Peynir Altı Suyu (PAS)

Peynir üretimindeki artışla birlikte, atıkların uzaklaştırılmasıyla ilgili daha sıkı kontrollerin uygulanması sonucu süt ve süt ürünleri endüstrisi PAS'ın kullanımıyla ilgili sorunlarla karşı karşıyadır. PAS, peynir yapımı sırasında kazeinin koagülasyonundan sonra sütte ayrılan sıvı çözelti veya serumdur. Sütteki tuzların çoğunu, laktoz ve suda çözünen proteinleri içermektedir. Kompozisyonu; geldiği peynir türüne, uygulanan ısı işleme, işleme şekline ve diğer faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Çoğunlukla rastlanılan tipi olgunlaştırılmış peynir üretiminde oluşan “tatlı PAS”dır. Bu adı almasının sebebi pH'ının taze süte göre çok az düşük olmasıdır. Öte yandan “asit PAS” yaklaşık 4.7 gibi bir pH'a sahiptir, kompozisyonu tatlı PAS'ye benzer, ancak % 20'lik bir kısmı laktozdan laktik asite dönüşerek farklılık gösterir. Asit PAS, ekonomik olarak ileri işlemler (konsantre hale getirme, kurutma) uygulanması için yeterli hacime sahip değildir. PAS peynir küvetinden boşaltıldığında küçük pıhtıları ve düşük miktarda süt yağını da birlikte götürür. Bunlar kolayca ayrılıp yeniden ürüne katılabilir. Yüksek şeker içeriğinden dolayı PAS mikroorganizmalar için uygun bir büyüme ortamıdır. Eğer PAS kanalizasyonda mevcutsa ve deşarj edilmeye devam ederse doğal su ortamlarında biyokütle oluşumunu hızlandırır, bu da çözülmüş oksijen miktarının hızla azalmasına neden olarak ekolojik denge üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Ekolojik olarak PAS yüksek BOİ'ye sahip olarak kabul edilir. Asit PAS'nin uzaklaştırılmasıyla ilgili diğer bir sorun ise yüksek asitliliğin uygulanacak diğer işlemlere girişim yapmasıdır. Tatlı PAS bu gibi sınırlamalarla kısıtlanmamaktadır.

PAS içerisinde değerli bileşikler çözünmüşlerdir, bunlar arasında proteinler besin değerleriyle dikkat çekmektedirler. Bu maddelerin ayrı olarak geri kazanılması ekonomik açıdan dikkate alınmalıdır. Örneğin, sıvı PAS'nin alkolü ve alkolüz içeceklerde kullanılmak üzere ticari değeri olmasına karşı, çoğu ülkede bunlar halen çok az miktarda uygulanmaktadır. PAS'nin çoğu insan gıdalarında veya hayvan yemlerinde kullanılmak üzere PAS katılarına dönüştürölür veya tatlandırılmış, yoğunlaştırılmış PAS üretiminde kullanılır.

1980 yılında ABD'de üretilen PAS ve PAS ürünlerinin yaklaşık % 60'ı insanların tükettiği gıda ürünlerinde kullanılmıştır ve bunun % 80'den fazlası kuru PAS formundadır. Hayvan yemi olarak kullanılan PAS'nin % 65'ten fazlası kurutulmuş PAS ürünüdür. İnsanların tükettiği gıda ürünlerinde PAS ürünlerini kullananlar temelde sütlü ürünler üretenler ve fırınlardır. PAS'den elde edilen laktoz çoğunlukla bebek mamalarında ve tıbbi ilaçlarda kullanılmaktadır (Bassette ve Acosta, 1988; Rosenthal, 1991).



3. SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ KARAKTERİZASYONU

3.1 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Altkategori

1. Süt Teslimi

Sütün tanker ve güğümlemlerle teslim alınarak düşük sıcaklıkta depolandığı tesislerdir. Bunlar çoğu kez süt işleme tesislerinin ilk bölümünü oluşturmaktadır.

2. Süt ve Krema Teslimi

Pastörize ve uzun ömürlü süt (sade ya da meyveli, kakaolu, v.b.) ile krema üretimini kapsar.

3. Yoğurt ve Ayran Üretimi

Yoğurt, ayran ve ekşi krema üretimini kapsar.

4. Tereyağ Üretimi

Tereyağ üretimini kapsar.

5. Peynir Üretimi

Her türlü peynir üretimini kapsar.

6. Dondurma Üretimi

Dondurma, frigo ve diğer dondurulmuş sütü besinler üretimini kapsar.

7. Koyulaştırılmış Süt

Sade veya tatlandırılmış sütlerdir.

8. Süt Tozu Üretimi

Sütten ya da peynir altı suyundan (peynir suyu-whey) süt tozu üretimini kapsar.

9. Peynir Suyu Yoğunlaştırılması

Peynir suyu, süt endüstrisinde yarattığı çevre sorunları bakımından önemli bir yer tutar. Bu altkategori peynir suyunun yoğunlaştırılması için kullanılan işlemleri kapsamaktadır.

10. Peynir Suyu Kurutulması

Peynir suyunun kurutulması için gerekli işlemleri kapsar.

3.2 Atıksu Karakterizasyonu

3.2.1 Atıksu Kaynakları ve Miktarları

Süt ve süt ürünleri endüstrisinde başlıca ham madde olarak süt kullanılmaktadır. Ancak üretimde hijyeni sağlamak amacıyla bütün proseslerde su kullanılması gerekmektedir. Hijyen sağlamak amacıyla kullanılan bu sular daha sonra atıksu olarak çıkmaktadır. Başlıca atıksu kaynakları aşağıda belirtilmektedir:

- Süt alımı sırasında doğrudan süt dökülmesi, tanklardan taşmalar, işletme esnasında sütün veya süt ürünlerinin dökülmesi, boru hatları, pompalar ve proses ünitelerinde sızıntılardan meydana gelen atıksular,
- Süt taşıyan tankerlerin yıkanması, şişe temizlenmesi, süt güğümlerinin yıkanması, bir işlem sonunda tanklarda kalan süt ve süt ürünleri kalıntılarından kaynaklanan atıksular,
- Proses ekipmanlarının yıkanmasından doğan atıksular,
- Peynir ve tereyağın yıkanmasından doğan atıksular,
- Buharlaştırıcılarda sürüklenmeden kaynaklanan proses kayıpları,
- İşletme esnasında arızalar dolayısıyla ve kırılan şişeler veya parçalanmış ambalajlar yüzünden oluşan atıklar,
- Soğutma suları dolayısıyla oluşan atıksular,
- İstenmeyen yan ürünlerin deşarjı,
- Mekanik ekipmanlardan kaynaklanan yağlar,
- Fabrikanın genel temizliği,
- Evsel nitelikli atıksular.

Tesislerde oluşan atıksu debilerini, işlenen süt tonajına ya da üretilen ürün miktarına bağlı olarak verebilmek büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tablo 3.1’de çeşitli işlemlerde kullanılan birim su miktarları görülmektedir (Orhon ve Artan, 1984).

Tablo 3.1 Çeşitli İşlemlerde Kullanılan Birim Su Hacimleri (Orhon ve Artan, 1984)

İşlem	Su Kullanımı (m ³ /ton işlenen süt)
Süt Kaplarının Yıkaması	0.001
Süt Tankerlerinin Yıkaması	0.07
Depoda Sütün Soğutulması	0.2
Pastörizasyon	0.35
Şişe Yıkama	0.5
Kazanlar + Evaporatörler	0.25
Temizleme	0.23
Püskürtme ile Tankların Temizlenmesi	
Ön Çalkalama	0.005
Temizleme	0.01
Son Çalkalama	0.005
Sağlıklı Koşula Getirme	0.005
Boruların Temizlenmesi	
Ön Çalkalama	0.0005
Temizleme	0.001
Son Çalkalama	0.0005
Sağlıklı Koşula Getirme	0.0025
Buharlaştırma	9.0
Yoğunlaştırma	12.0
Soğutma	
Teslim alma, Şişeleme, Dondurma Krem Peynir	1.2

Gerek atıksu hacimlerinin gerekse kirletici özelliklerin birim yüklere indirgenmesinde çoğunlukla işlenen süt miktarı (/ton işlenen süt) esas alınmaktadır. Ancak bazı hallerde ürün miktarı da aynı amaçla kullanılmakta ve literatürde bu türden ifade edilmiş değerlere rastlanmaktadır. Bu sonuçları standart olarak yorumlayabilmek için “Süt eşdeğeri” kavramı kullanılmaktadır. Süt eşdeğeri 1 kg ürün elde etmek için kullanılan süt miktarıdır (kg). Tablo 3.2 çeşitli ürünlerin süt eşdeğerlerini vermektedir (Orhon ve Artan, 1984).

Tablo 3.2 Çeşitli Ürünlerin Süt Eşdeğerleri (Orhon ve Artan, 1984)

Ürün	Süt Eşdeğerleri (kg süt/kg ürün)
Tereyağ	21.3
Normal Peynir	9.9
Lor Peyniri	6.3
Dondurma	2.7
Koyulaştırılmış Süt	2.4
Tam Yağlı Süt Tozu	7.4
Az Yağlı Süt Tozu	11.0

Tablo 3.3 çeşitli üretim proseslerinde birim süt başına oluşan atıksu miktarlarını göstermektedir.

Tablo 3.3 Çeşitli Üretim Proseslerinde Atıksu Oluşumu ve Dağılımı
(Orhon ve Artan, 1984)

Süt Alımı		
İşlem	Atıksu Miktarı (m ³ /ton süt)	
	Normal İşlem	Düzenli İşlem
Tanker Boşaltma	0.125	0.10
Berraklaştırma,Standartlaştırma, Harmanlama	0.015	0.015
Depolama	0.10	0.08
TOPLAM	0.240	0.195
Sıvı Süt Üretimi		
HTST Pastörizasyonu, Homojenizasyon, Otomatik Yan Ürün Formülasyonu	0.5	0.2
Depolama	0.1	0.08
Doldurma (Karton + Plastik)	0.05	0.05
Taşıma	0.02	0.02
Soğuk Depolama	0.01	0.01
Dağıtım	0.1	0
TOPLAM	0.78	0.36
Krema ve Özel Katkılı Süt Üretimi		
İşlem	Atıksu Miktarı (m ³ /ton süt)	
Depolama Tanklarından Süt Alımı	0.125	
Krema Ayırımı	0.015	
Krema	0.10	
Yağsız Süt	0.10	
Özel Sütler	0.10	
Vat Pastörizasyonu	0.30	
Özel Sütlerin Depolanması	0.10	
Doldurma, Taşıma	0.05	
Soğuk Depolama	0.01	
Dağıtım	0.10	
TOPLAM	1.26	
Yoğurt, Ayran ve Ekşi Krema Üretimi		
Depodan Yağı Alınmış Süt Alımı	0.10	
Depodan Krema Alımı	0.10	
İkisinin İstenen Tada Göre Harmanlanması	0.05	
HTST ya da Vat Pastörizasyonu, Homojenizasyon	0.50	
Homojenizasyon	0.50	
Maya Üretimi	0.10	
Ayran Üretimi	0.05	
Ekşi Krema Üretimi	0.10	
Yoğurt Üretimi (Meyveli)	0.10	
Doldurma	0.05	
Depolama ve Dağıtım	0.01	
TOPLAM	1.66	

Tablo 3.3 Çeşitli Üretim Proseslerinde Atıksu Oluşumu ve Dağılımı (devamı)

Tereyağ Üretimi	
İşlem	Atıksu Miktarı (m ³ /ton süt)
Süt Alımı	0.125
Yağ Ayırma	0.015
Köpük Depolama	0.10
Krema Depolama	0.10
HTST Pastörizasyonu, Faz İnversiyonu, Yağ Depolama	0.5
Standardizasyon	0.01
Yağ Ayırma	0.10
Sürekli	0.05
Yayıkta	0.05
Ambalajlama + Baskı	0.10
Depolama + Dağıtım	0.01
TOPLAM	1.11
Çedar Tipi Peynir Üretimi	
Süt Alımı	0.125
Süt Depolama ve Standardizasyon	0.10
Krema Depolama	0.10
Maya Hazırlama	0.10
Sütün Kesilmesi, Pişirilmesi	0.10
Kesik Sütün Yıkanması, İşlenmesi, Tuzlanması	0.20
Dinlendirme, Olgunlaştırma	0.05
TOPLAM	0.730
Dondurma Üretimi	
Süt Alımı	0.125
Standardizasyon	0.015
HTST Pastörizasyonu	0.5
Soğutma ve Depolama	0.10
Dondurma	0.35
Doldurma ve Taşıma	0.05
Sertleştirme + Dağıtım	0.01
TOPLAM	1.15
Koyulaştırılmış Süt Üretimi	
Süt Alımı	0.125
Depolama, Standartlaştırma	0.015
HTST Pastörizasyonu, Homojenizasyon	0.50
Vakum Evaporasyonu	9
Depolama	0.125
Kaplara Doldurma, Taşıma	0.10
Piştirme, Sterilizasyon	0.30
Kasalama	0.05
Dağıtım (Sıvı)	0.15
TOPLAM	11.5

Tablo 3.3 Çeşitli Üretim Proseslerinde Atıksu Oluşumu ve Dağılımı (devamı)

Süt Tozu Üretimi	
İşlem	Atıksu Miktarı (m ³ /ton süt)
Depodan Koyulaştırılmış Süt Alımı	0.125
Yayma ile Kurutma	0.05
Elekten Geçirme + Harmanlama	0.05
İstantlama	0.20
Paketleme	0.05
Depolama	0.01
TOPLAM	0.44

3.2.2 Atıksuların Kirletici Özellikleri

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları genel olarak süt veya süt ürünlerinin seyrelmesinden meydana gelmektedir. Bu endüstriden kaynaklanan atıksular yüksek organik madde içeriğine sahiptir ve organik yükün büyük miktarı bu maddelerden meydana gelmektedir.

Bu endüstriden kaynaklanan atıksuların oldukça değişken bir karaktere sahip olduğu daha önce belirtilmişti. Farklı tesislerde üretilen aynı ürün proseslerinde bile oluşan atıksuyun farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların daha iyi yorumlanabilmesi için BOİ₅ temel parametre seçilerek altkategorizasyon bazında oluşan birim kirlenme yükleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4 Çeşitli Proseslerde Oluşan Kirletici Yükler (Orhon ve Artan, 1984)

Süt Alımı	
İşlem	BOİ ₅ (kg/ton süt)
Tanker Boşaltma	0.2
Berraklaştırma, Standartlaştırma, Harmanlama	0.08
Depolama	0.2
TOPLAM	0.48
Sıvı Süt Üretimi	
HTST Pastörizasyonu, Homojenizasyon, Otomatik Yan Ürün Formülasyonu	0.8
Depolama	0.2
Doldurma (Karton + Plastik)	0.3
Taşıma	0.1
Soğuk Depolama	0.1
Dağıtım	0.5
TOPLAM	2.0

Tablo 3.4 Çeşitli Proseslerde Oluşan Kirletici Yükler (devamı)

Krema ve Özel Katkılı Süt Üretimi	
İşlem	BOI₅ (kg/ton süt)
Tanklardan Süt Alımı	0.20
Krema Ayırımı	0.08
Krema	0.30
Yağsız Süt	0.15
Özel Sütler	0.20
Vat Pastörizasyonu	0.50
Özel Sütlerin Depolanması	0.20
Doldurma, Taşıma	0.30
Soğuk Depolama ve Dağıtım	0.20
TOPLAM	2.15
Yoğurt ve Ayran Üretimi	
Depodan Yağı Alınmış Süt Alımı	0.15
Depodan Krema Alımı	0.30
İkisinin İstenen Tada Göre Harmanlanması	0.05
HTST ya da Vat Pastörizasyonu, Homojenizasyon	0.80
Maya Üretimi	0.30
Ayran Üretimi	0.30
Ekşi Krema Üretimi	0.40
Yoğurt Üretimi	0.35
Doldurma	0.15
Depolama	0.10
TOPLAM	
Ayran	1.85
Yoğurt	1.89
Ekşi Krema	2.00
Tereyağ Üretimi	
Yağ Ayırımı	0.08
Köpük Depolama	0.15
Süt Alımı	0.20
Yağ Ayırımı	0.08
Köpük Depolama	0.15
Krema Depolama	0.30
HTST Pastörizasyonu + Yağ Depolama	0.80
Standardizasyon	0.08
Yağ Ayırma	0.20
Baskı + Ambalaj	0.10
Depolama + Dağıtım	0.05
TOPLAM	1.96

Tablo 3.4 Çeşitli Proseslerde Oluşan Kirletici Yükler (devamı)

Çedar Peyniri	
İşlem	BOİ ₅ (kg/ton süt)
Süt Alımı	0.20
Süt Depolama ve Standardizasyon	0.28
Krema Depolama	0.30
Maya Hazırlama	0.25
Sütün Kesilmesi, Pişirilmesi (Peynir Suyu Hariç)	0.20
Kesik asitin Yıkanması, İşlenmesi, Tuzlanması	0.60
Dinlendirme, Olgunlaştırma	0.35
Nakliyat	0.05
TOPLAM	2.95
Dondurma Üretimi	
Süt Alımı	0.10
Standardizasyon	0.08
HTST Pastörizasyonu	0.91
Soğutma + Depolama	0.20
Dondurma	0.60
Doldurma ve Taşıma	0.10
Sertleştirme + Dağıtım	0.10
TOPLAM	2.09
Koyulaştırılmış Süt Üretimi	
Süt Alımı	0.20
Depolama + Standardizasyon	0.18
HTST Pastörizasyonu ve Homojenizasyon	0.80
Vakum Evaporasyonu	0.25
Depolama	0.30
Kaplara Doldurma + Taşıma	0.10
Piştirme + Sterilizasyon	0.05
Dağıtım	0.30
TOPLAM	1.88
Süt Tozu Üretimi	
Depodan Koyulaştırılmış Süt Alımı	0.30
Yayma ile Kurutma	0.20
Elekten Geçirme + Harmanlama	0.10
İstantlama	0.10
Paketleme	0.20
Depolama	0.05
TOPLAM	1.25

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları genellikle oldukça yüksek organik madde içeriğine sahiptirler. Koagüle edilmiş süt, peynir pıhtıları veya meyve, fındık gibi tatlandırıcı maddeler bu atıksularda askıda katı madde olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu askıda katı madde kaynaklarının doğası gereği organik içerik fazladır. Bu yüksek UAKM/AKM değerleriyle doğrulanmaktadır (Danalewich ve

diğ., 1998). Tablo 3.5’te süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularıyla ilgili yürütülen literatür çalışması sonucu elde edilen değerler gösterilmiştir.



Tablo 3.5 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuları Karakterizasyon Değerleri

KOI mg/l	BOI ₅ mg/l	BOI ₇ mg/l	AKM mg/l	Yağ ve Gres mg/l	PO ₄ -P mg/l	Toplam P mg/l	TKN mg/l	Toplam N mg/l	pH	Kaynak
80-95000 (2300)	40-48000 (2300)	-	24-4500 (820)	35-500 (209)	9-210 (48)	-	1-180 (64)	-	4.5-9.4 (7.2)	Marshall ve Harper, 1984
560-1530 (1085)	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4-11.8 (10)	Rusten ve diğ., 1990
12926	7421	-	870	-	-	-	-	-	7	Blanc ve Navia, 1990
1070-4730	-	1670-2200	220-3000	270-1900	-	1-26.4	-	33-46	-	Rusten ve diğ., 1993
950-2400	500-1300	-	90-450	110-260	4-15	-	70-85	-	5-9.5	Öztürk ve diğ., 1993
2000-6000	1200-4000	-	350-1000	-	20-50	-	50-60	-	8-11	Kasapgil ve diğ., 1994
1160-2690	-	-	290-500	300-920	-	11.5-27.4	-	38-53	-	Selmer-Olsen ve diğ., 1996
1541	-	-	850	-	20	-	-	-	7.9	Hamoda ve Al-Awadi, 1996
710-6320 (2740)	-	-	290-1830 (900)	-	-	10-48 (29)	-	-	-	Rusten ve diğ., 1996

Danalewich ve diğ. (1998) yaptıkları çalışma kapsamında seçilen tesislerin atıksularının karakterizasyonunu incelemişlerdir, Tablo 3.6'da elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.6 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu
(Danalewich ve diğ., 1998)

Tesis	BOİ ₅ (mg/l)	KOİ (mg/l)	BOİ ₅ /KOİ	AKM (mg/l)	UAKM (mg/l)	pH	Alkalinite (mg CaCO ₃ /l)
1	1843	2447	0.75	586	419	10.7	375
2	5722	7619	0.75	1533	1477	6.2	225
3	1298	2032	0.64	389	225	11.3	500
4	826	2309	0.36	696	567	6.7	500
5	2738	3556	0.77	730	663	6.9	400
6	568	785	0.72	470	307	6.8	525
7	1466	2909	0.50	1910	1010	9.4	1550
8	565	2290	0.25	3560	1935	7.9	1525
9	3269	4895	0.67	885	680	10.3	775
10	1003	1644	0.61	371	327	7.0	625
11	2406	3093	0.78	757	699	6.9	500
12	1887	2817	0.67	853	767	7.5	650
13	2108	3232	0.65	923	890	10.8	614
14	1175	1570	0.75	326	284	9.8	450
15	959	1625	0.59	655	298	7.6	400

4. SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ KİMYASAL ARITILABİLİRLİĞİ

4.1 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Arıtma Alternatifleri

Modern toplumlarda uygun atıksu yönetimi bir seçenek değil, bir gerekliliktir. Atıksuların deşarjına ilişkin yönetmeliklerde belirlenen değerlere ulaşmak amacıyla atıksular gerekli miktarda arıtılmalıdır. Bu gelişme, birçok endüstriye belirlenen bu değerleri sağlaması için endüstrinin tipine bağlı olarak “En Uygun Teknoloji” ile arıtma uygulama zorunluluğu getirmiştir (Hamoda ve Al-Awadi, 1995).

Birçok ülkede süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları doğal su ortamlarının önemli ölçüde kirlenmesine neden olan kaynaklar arasında gösterilmektedir. Bu atıksuların olumsuz etkilerinin azaltılması için günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır (Marshall ve Harper, 1984). Süt ve süt ürünleri atıksularının arıtılması amacıyla çok farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Atıksuyun karakteri, maliyet, sermaye, işletme için uygun personelin varlığı ve yönetmeliklerin sağlanması için gerekli arıtma ihtiyacı gibi faktörler sistemin seçiminde dikkate alınmaktadır. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının yüksek miktarda organik madde içermesi nedeniyle uygulanan teknolojilerin büyük bir kısmı biyolojik arıtma esasına dayanmaktadır. Aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma sistemleri en sık kullanılan teknolojiler olarak görülmektedirler. Bu sistemler tek başına kullanıldığı gibi her iki arıtmanın birlikte kullanılması gereken durumlara da rastlanmaktadır. Türkiye’de bu endüstriden kaynaklanan atıksuların aerobik ve anaerobik biyolojik arıtılabilirliğine ilişkin çalışmalar yapılmıştır (Orhon ve diğ., 1993; Öztürk ve diğ., 1993; İnce, 1998). Anaerobik arıtma sistemlerinin dünyanın çok çeşitli noktalarında uygulandığı görülmektedir.

Biyolojik arıtma dışında; arazide arıtma, membran teknolojileri ve kimyasal arıtma uygulamalarına da rastlanmaktadır. Arazide arıtmayla ilgili Yeni Zelanda’da çalışmalar yapıldığı görülmektedir (Tanner ve Sukias, 1995). Yunanistan’da ise membran arıtma teknolojileri ön arıtma olarak kullanılmıştır, burada çıkan sular

evsel atıksularla birlikte konvansiyonel biyolojik arıtmaya tabi tutulmuştur (Papachristou ve Lafazanis, 1997). Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğine ilişkin çalışmalar 1990'lı yıllardan itibaren özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde görülmektedir. Atıksu miktarı ve karakterinde görülen büyük değişiklikler, bu endüstriden kaynaklanan atıksuların biyolojik olarak arıtılmasını zorlaştırmaktadır. Bu faktörlerin düşük sıcaklık ile birleşmesi kararlı bir biyolojik arıtma uygulanmasında zorluklara neden olmaktadır (Danalewich ve diğ., 1998). Kimyasal arıtma uygulamasının bir diğer yararı ise atıksu içerisinde mevcut olan besin değeri yüksek maddelerin geri kazanılarak hayvan yemi katkı maddesi veya diğer gıda maddeleri üretiminde kullanılabilmesidir. Bunun dışında kimyasal arıtma daha çok ön arıtma şeklinde kanalizasyona deşarjdan önce uygulanmaktadır, böylece hem kanalizasyon sistemi korunmuş hem de yüksek miktarda katılım payının ödenmesi önlenmiş olmaktadır.

4.2 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliğine İlişkin Yapılmış Çalışmalar

Süt ve süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıksuların kimyasal arıtılabilirliği üzerine yapılmış olan çalışma sayısının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Kimyasal arıtma çok farklı amaçlarla uygulanmaktadır. Bu çalışmalar, ya geri kazanma amacıyla ya da şehir kanalizasyonuna deşarj öncesi ön arıtma amacıyla yürütülmüştür. Amaçlara bağlı olarak deneylerde farklı koagülantlar kullanılmaktadır.

Rusten ve diğ. (1990) geri kazanma amacı olmadan sadece ön arıtma amacıyla yürüttükleri çalışmalarında koagülant olarak FeCl_3 ve alum kullanmışlardır, ayrıca koagülant kullanmadan sadece pH ayarı ile denemeler yapmışlardır. Çalışmalar sonunda atıksuyun karakterine bağlı olarak oldukça farklı KOİ giderme verimleri elde etmişlerdir. En yüksek KOİ giderme veriminin, en düşük Çözünmüş KOİ (KOİ_s)/Toplam KOİ (KOİ_T) oranında elde edildiğini belirtmişlerdir.

Blanc ve Navia (1990) kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarını ön arıtma olarak uygulanabilirliği açısından incelemişlerdir. Koagülant olarak FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ve alum kullanmışlardır. Çalışma, sütün belli bir oranda seyreltilmesiyle elde edilen sentetik numuneyle yürütülmüştür. Çalışmalar sonucunda FeCl_3 ve $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ile % 70'in üzerinde, alum ile % 65'in üzerinde KOİ giderme verimi elde edilmiştir.

Rusten ve diğ. (1993) geleneksel koagülantlar dışında farklı koagülantlar kullanarak kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yapmışlardır. Burada amaç, kullanılan yeni koagülantlarla oluşan çamurdaki yağ ve proteinin geri kazanılarak hayvan yemlerinde katkı maddesi olarak kullanılabilme olasılığının incelenmesi olarak belirtilmiştir. Lignosülfonik asit (LSA), karboksi metil selüloz (CMC), demir klorür sülfat solüsyonu (JKL) gibi koagülantlar pH ayarı için H_2SO_4 ile birlikte kullanılarak çalışmalar yürütülmüştür. Teorik olarak H_2SO_4 yerine alternatif asitlerin de kullanılabileceği düşünülmüş, alternatif asit olarak laktik asit kullanılmıştır. Yem katkı maddesi olarak kullanılabilmesi açısından organik bir asidin daha yararlı olabileceği ifade edilmiştir. Deneyler sonucunda maksimum % 60 KOİ giderme verimi sağlandığı, ancak atıksu karakterinin çok değişken olması nedeniyle elde edilen bu maksimum giderme veriminin her zaman sağlanamayacağı ifade edilmiştir.

Selmer-Olsen ve diğ. (1996) CMC prosesine alternatif olarak chitosan kullanarak süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğini incelemişlerdir. Chitosan karides kabuklarından elde edilen toksik olmayan bir polimerdir. Bu arada Norveç karides endüstrisinde bu kabukların uzaklaştırılmalarıyla ilgili sorunlar yaşanmaktadır; chitosan kullanılmasıyla bu sorunun aşılabileceğinden söz edilmiştir. Deneylerde yaklaşık olarak maksimum % 60 oranında KOİ giderme verimi elde edilmiştir, ancak bu çalışmada da atıksuyun karakterine bağlı olarak KOİ giderme verimlerinde değişkenlik olduğu belirtilmiştir.

Hamoda ve Al-Awadi (1996) süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtma sonrası sulama amacıyla kullanılmasına ilişkin bir çalışma yürütmüşlerdir. Tatlı su kaynakları kısıtlı olan kurak ve yarı kurak bölgelerde arıtılmış atıksuların sulamada kullanımının giderek önem kazanmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla alum kullanarak atıksuları kimyasal olarak arıtmış ve bu arıtılmış suyla yapılan sulamanın bitkiler üzerinde etkisini incelemişlerdir. Optimum koagülant dozajında % 50'inin üzerinde KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Kimyasal olarak arıtılmış su, sulama için gerekli olan su kalite kriterlerini sağlamıştır, ancak yüksek tuz oranı tarımsal arazilerdeki kullanımı kısıtlamıştır. Toprak ve sulanan bitkilerde olumsuzluklarla karşılaşmamak amacıyla arada bir taze su ile sulama yapılması tavsiye edilmiştir.

4.3 Koagülasyon ve Flokülasyon

Su içerisindeki safsızlıkların büyüklüğü, birkaç Angströmlük çözünmüş maddelerden birkaç yüz mikronluk askıdaki maddelere kadar çeşitlilik gösterir. Su ve atıksu içindeki bu safsızlıkların büyük bölümü çöktürme ile giderilir. Bununla birlikte, bu safsızlıkların birçoğunun tek başına gravitasyonel olarak etkili bir şekilde giderilebilmeleri için daha kolay çökebilen büyük partiküller oluşturmak üzere birleştirilmelidirler. Bu birleştirme işlemine koagülasyon adı verilir. Koagülasyonda, suya pozitif iyon ilave edilerek yüzey yükü, kolloidlerin birbirlerini itmedikleri noktaya gelecek şekilde azaltılır. Koagülant, koagülasyonu gerçekleştirmek amacıyla suya ilave edilen kimyasal maddedir.

Flokülasyonun amacı, partiküllerin birbiriyle temasını sağlayarak birleştirmek böylece daha rahat çökelebilecekleri bir boyuta getirmektir. Flok, partiküllerin birbiriyle temasıyla oluşur ve çöktürme tankında sudan kolayca ayrılır (Weber, 1972; Davis ve Cornwell, 1991).

4.3.1 Kimyasal Arıtmada Kullanılan Koagülantlar

4.3.1.1 Alüminyum

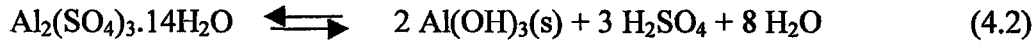
Alüminyum kuru veya sıvı alum [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$] olarak satın alınabilir. Ticari alumun ortalama molekül ağırlığı 594'tür. Sıvı alum yaklaşık % 48.8 alum (% 8.3 Al_2O_3) ve % 51.2 su içeriğine sahip olarak satılmaktadır. Eğer daha konsantre bir solüsyon olarak satılırsa taşıma ve depolama esnasında alumun kristalleşmesi problemiyle karşılaşılabilir. % 48.8 alum içeren solüsyonun kristalleşme noktası -15.6°C 'dir, % 50.7 alum içeren solüsyon $+18.3^\circ\text{C}$ 'de kristalleşebilmektedir. Kuru alum eşdeğer miktardaki sıvı alumina göre daha pahalıdır, bu nedenle çok az miktarda alum kullananlar kuru alumu tercih etmektedirler.

Alum alkalinite içeren bir suya ilave edildiği zaman aşağıdaki reaksiyon meydana gelmektedir.



Eklenen bir mol alum, altı mol alkalinite harcar ve altı mol CO_2 üretir. Yukarıda yer alan reaksiyon karbonat dengesini değiştirir ve pH'ı düşürür. Ancak, yeterli alkalinite mevcutsa ve $\text{CO}_2(\text{g})$ 'nin evolve olmasına izin verilirse büyük miktarda pH düşüşü

görülmez ve genellikle bir işletme sorunu olmaz. Alkalinite mevcut değilse sülfürik asit oluşabilmekte ve büyük bir pH düşüşü olabilmektedir.

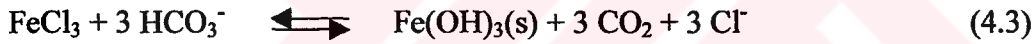


Eğer ikinci reaksiyon meydana gelirse, asidi nötralize etmek için kireç veya sodyum karbonat eklenebilir.

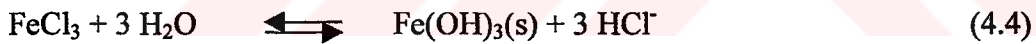
Koagülant ilavesinde iki önemli etken pH ve dozdur. Alum için optimum pH aralığı 5.5-6.5'tur. bazı durumlarda yeterli koagülasyon meydana gelirse optimum pH aralığı 5-8 olabilmektedir (Davis ve Cornwell, 1991).

4.3.1.2 Demir

Demir sülfat tuzu ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) veya klorür tuzu ($\text{FeCl}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) olarak satın alınabilmektedir. Çeşitli formlarda bulunabilir, bu nedenle kullanıcı ürünün özellikleri hakkında çok iyi bir şekilde bilgilendirilmelidir. Kuru ve sıvı formlar mevcuttur. Demirin özellikleri; büyük kompleksler oluşturması, doz ve pH eğrileri açısından alumun özelliklerine benzerlik göstermesidir. Alkalinitenin mevcut olduğu durumda FeCl_3 'ün vereceği reaksiyon:



Alkalinite mevcut değilse;



Hidroklorik asit oluşur ve pH düşer.

Demir tuzları etkili koagülasyon için alum tuzlarına göre daha geniş pH aralığına sahiptir, bu aralık 4-9 arasındadır (Davis ve Cornwell, 1991).

4.3.2 Koagülant Seçimi

Herhangi bir su veya atıksu için optimum koagülant tipi ve dozajı deney yapmadan seçilemez. Koagülant seçiminde dikkat edilmesi gereken, aşağıda açıklanan üç özelliğe sahip olmasıdır:

- (1) Üç yüklü katyon: Kolloidler negatif yüke sahip olduğu için yükü nötralize etmek için katyona ihtiyaç vardır. Üç yüklü bir katyon en verimli katyon olacaktır.
- (2) Zehirli olmamalı. Güvenli bir suyun üretimi için bu şartın sağlanmasının gerekliliği açık bir şekilde görülmektedir.

(3) Nötr pH aralığında çözünür olmamalı. Eklenen iyon solüsyon içerisinde ayrılmalı ve su içerisinde kalmamalıdır. Bu tip bir ayrılma kolloid giderme prosesine önemli bir şekilde yardımcı olmaktadır.

4.3.3 Koagülant Yardımcıları

Kullanılan 4 temel koagülant yardımcısı; pH ayarlayıcıları, aktif silika, kil ve polimerlerdir. Asitler ve alkaliler, koagülasyon için optimum pH aralığını ayarlamak amacıyla kullanılırlar. pH'ı düşürmek için en sık kullanılan asit, sülfürik asittir. Kireç (Ca(OH)_2) veya soda (Na_2CO_3) pH'ı yükseltmek için kullanılmaktadır.

Aktif silika pozitif yüklü alüminyum veya demir floklarıyla birleşebilmekte, böylece daha hızlı çökelen ve yumakta tutulma özelliği gelişmiş daha büyük ve yoğun bir flok oluşmaktadır. Aktif silikanın ilavesi yüksek renge ve düşük bulanıklığa sahip sular için yararlıdır, çünkü flokun ağırlığını arttırmaktadır.

Killer, sahip oldukları düşük negatif yükleri ve flokları ağırlaştırma özellikleriyle aktif silika gibi davranırlar. Killer, renkli ve düşük bulanıklığa sahip sularda oldukça yararlıdır.

Polimerler; negatif yüklü (anyonik), pozitif yüklü (katyonik), pozitif ve negatif yüklü (poliamfotik) veya yüksüz (non iyonik olabilirler). Polimerler, birçok aktif köşelere sahip yüksek moleküler ağırlıklı uzun zincirli karbon bileşikleridir. Aktif köşeler yumaklara yapışır ve onları birleştirir, böylece daha büyük floklar oluşarak daha iyi çökeltme sağlanır (Davis ve Cornwell, 1991).

4.4 Jar Test Deneyleri

Koagülasyon prosesinin tasarımında, partikül destabilizasyonu ve partikül taşınımı ile ilgili bilgiler dikkate alınmalıdır. Destabilizasyon daha çok jar test kullanılarak değerlendirilir, bu tip deneylerde elde edilen sonuçların ışığında uygun koagülant tipi ve dozajı belirlenir.

Geleneksel olarak literatürde açıklandığı şekliyle jar test, genel olarak belirli atıksuların koagülasyon- flokülasyon prosesiyle arıtılıp-arıtılamayacağını, arıtılıyorsa yüksek miktarda askıda maddeyi gidermek için sağlanması gerekli koagülant/flokülant tipi ve konsantrasyonu, iyonik ortam ve pH değerlerinin,

saptanmasına yardımcı olur. Bunun ötesinde jar test, proses veriminin kontrolü ve ayarlanması için uygun rutin bir analizdir.

Jar-testte, koagülasyon ve flokülasyon silindirik reaktörlerde kesikli şartlarda gerçekleştirilir. Koagülant dozlama ve karıştırma (destabilizasyon) bunu takiben çöktürme (faz ayırımı) aynı reaksiyon odasında meydana gelir. Büyük ölçekli bir koagülasyon ve flokülasyon tesisinde prosesin her adımı için spesifik bir reaktör veya reaktörün bir kısmı tahsis edilir, örneğin; karıştırma odası, flokülasyon odası ve çöktürme tankı. Reaktörler sürekli akım şartlarında işletilirler. Jar test çalışmalarının sonuçlarının büyük ölçekli tesislerin boyutlandırılması ve işletilmesine uygulanmasında önemli proses değişkenlerinin karşılaştırılabileceği ve miktarı ölçülemeyenlerin ihmal edilebileceği kabul edilmektedir (Hahn ve diğ., 1978).



5. UYGULAMA ÇALIŞMASI

5.1 Pilot Tesisin Tanıtımı

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliğini incelemek amacıyla SEK Süt Endüstrisi Kurumu Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İstanbul) pilot tesis olarak seçilmiştir. SEK pastörize süt, UHT süt, tereyağ, yoğurt, ayran ve peynir başta olmak üzere 20'den fazla ürün çeşidini üretmektedir. Tesiste 32'si mühendis, 44'ü teknisyen, 43'ü usta, 69'u işçi ve 90'ı idari personel olmak üzere toplam 278 kişi çalışmaktadır. Fabrikada 360 iş günü 3 vardiya halinde çalışılmaktadır. Çalışma saatleri 07:00-15:00, 15:00-23:00, 23:00-07:00 şeklinde uygulanmaktadır. Tesiste günlük işlenen süt miktarı 350 ton/gün'dür. Fabrikada mevsimsel değişimlere bağlı olarak, bazı ünitelerde kapasitenin tamamı bazı ünitelerde ise % 75'i kullanılmaktadır. Tesiste, 25 m³'ü evsel nitelikli, 50 m³'ü yardımcı tesislerden kaynaklanan toplam 850 m³ atıksu oluşmaktadır.

5.2 Deneysel Çalışmalar

Kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları, 3 ve/veya 4 haftalık aralıklarla 4 kez alınan ve az miktarda peynir altı suyunun da dahil olduğu genel deşarj atıksuları ile yapılmıştır. Numuneler saatte bir olmak üzere 10 saat boyunca eşit miktarda anlık numune şeklinde alınmış ve daha sonra karıştırılarak kompozit numuneler oluşturulmuştur. Öncelikle atıksuyun karakterizasyonu yapılmış, daha sonra kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yürütülmüştür.

Kimyasal arıtılabilirlik, jar test deneyleri uygulanarak araştırılmıştır. Bu deneyler kapsamında çeşitli koagülantlar kullanılarak optimum koagülant dozajı ve pH aralığı belirlenmiştir. Deneyler sırasında 100 rpm'de 5 dakika hızlı karıştırma, 20 rpm'de 15 dakika yavaş karıştırma ve 30 dakika çöktürme işlemleri uygulanmıştır. Koagülant yardımcısı olarak anyonik polielektrolit kullanılmıştır. pH ayarı için 1 N H₂SO₄ veya 1 N NaOH kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca deneyler sonucunda oluşan çamur miktarları kaydedilmiştir.

Arıtma verimi, KOİ parametresi dikkate alınarak belirlenmiştir. Arıtma sonucu elde edilen değerler yürürlükte olan “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri”yle karşılaştırılarak arıtma veriminin yeterli olup olmadığına karar verilmiştir. Çözünmüş KOİ değerinin belirlenebilmesi için numune öncelikle AP 40, daha sonra 0.45 µm’lik membran filtreden süzölmüştür.

Deneyler, Standart Metotlarda (APHA, 1998) belirlenen esaslara göre yapılmıştır.

5.2.1 Deney Sonuçları

4 set deney sonucunda ortaya çıkan atıksu karakterizasyonu Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 SEK Süt Endüstrisi Kurumu (İstanbul) Atıksu Karakterizasyonu

Numune Sayısı	pH	KOİ _T mg/l	KOİ _S mg/l	BOİ _S mg/l	AKM mg/l	UAKM mg/l	Yağ Gres mg/l	TKN mg/l	TP mg/l	Cl ⁻ mg/l
1	9.1	2148	1089	1034	645	535	345	58	9.7	200
2	10.25	3017	1856	2246	370	370	221	72	17	222
3	7.16	5134	3292	3203	770	750	354	115	28	205
4	10	3128	1648	1751	564	544	136	89	12	110
Minimum	7.16	2148	1089	1034	370	370	136	58	9.7	110
Maksimum	10.25	5134	3292	3203	770	750	354	115	28	222
Ortalama	9.13	3357	1971	2059	587	550	264	84	16.7	184

Tablo 5.1’de görölen KOİ_T ve pH değerleri karakterizasyon çalışmalarıda tespit edilen değerlerdir. Süt ve süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıksular kolayca fermente olabilmektedirler. Numuneler alındıktan iki veya üç gün sonra, buzdolabında saklanmalarına rağmen, fermentasyon sonucu oluşun uçucu asitler numunelerin pH değerinin düşmesine sebep olmuşlardır. Bu nedenle kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yürütölürken hergün numunelerin pH değeri ölçölmüş, ayrıca fermentasyon nedeniyle KOİ’nin değışip değışmediğini incelemek amacıyla KOİ deneyi yapılmıştır. Elde edilen bu değerler deney sonuçlarının verildiğı tablolarda başlangıç değerleri olarak ifade edilmişlerdir.

Tablo 5.1’deki değerler kullanılarak KOİ_S/KOİ_T, BOİ_S/KOİ_T, UAKM/AKM, KOİ_T/TKN/TP oranları hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 5.2’de özetlenmektedir.

Tablo 5.2 KOİ_S/KOİ_T, BOİ_S/KOİ_T, UAKM/AKM, KOİ_T/TKN/TP Oranları

Numune Sayısı	KOİ _S /KOİ _T	BOİ _S /KOİ _T	UAKM/AKM	KOİ _T /TKN/TP
1	0.51	0.48	0.83	221/6/1
2	0.62	0.74	1	177/4.2/1
3	0.64	0.62	0.97	183/4.1/1
4	0.53	0.56	0.96	261/7.42/1

Tablo 5.2’de $KOİ_5/KOİ_T$ oranının 0.51 ile 0.64 arasında değiştiği görülmektedir. Bu oran kimyasal arıtılabilirlik açısından önemlidir, çünkü bu oran ne kadar düşük olursa $KOİ$ giderme verimi o kadar yüksek olmaktadır. $BOİ_5/KOİ_T$ oranına bakarak atıksuyun biyolojik arıtılabilirliği hakkında fikir edinilebilmektedir. Bu oranın yüksek olduğu miktarda biyolojik arıtılabilme olasılığı artmaktadır. UAKM/AKM oranlarının yüksek olması sudaki katı maddelerin büyük bölümünün organik karakterde olduğunu göstermektedir. $KOİ_T/TKN/TP$ oranı ise biyolojik arıtma uygulanması durumunda sisteme azot ve fosfor ilavesine gerek olup olmayacağı hakkında karar verilmesine yardımcı olmaktadır.

5.2.1.1 Birinci Set Deney Sonuçları

Birinci sette Tablo 5.1’de görülen atıksu karakterizasyonu ile birlikte atıksuyun basit çökelme özelliği de incelenmiştir. Basit çökelme sonuçları Tablo 5.3’te görülmektedir.

Tablo 5.3 Basit Çökelme Deneyi Sonuçları

Zaman (saat)	0.5	2	6
Çöken Hacim, ml/l	1	1.5	1.75

Tablo 5.3’te verilen sonuçlar suyun basit çökelme özelliğinin iyi olmadığını göstermiştir. Ön çöktürme uygulanması halinde atıksuyun arıtılabilirliği üzerinde önemli miktarda olumlu etkisinin olmayacağı anlaşılmıştır.

Kimyasal arıtılabilirlik (Jar test) deneylerinde öncelikle koagülant olarak $FeCl_3$ ve alum kullanılmıştır. Değişik pH’larda alumun arıtma verimi incelenmiş ve $FeCl_3$ ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda $FeCl_3$, aluma göre daha iyi sonuç vermiştir. Alumun optimum pH değerinin $FeCl_3$ ’e göre 0.5 birim daha büyük olduğu görülmüştür. Bu deneylere ilişkin sonuçlar Tablo 5.4’te verilmektedir.

Tablo 5.4 Değişik pH’larda Alumun Arıtma Verimi

Parametre	Başlangıç	200 mg/l $FeCl_3$	200 mg/l Alum		
pH	6	4	4	4.5	5
$KOİ_T^*$, mg/l	-	625	685	659	664
Çamur Hacmi, ml/l	-	100	100	100	100

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir

$FeCl_3$ ’ün arıtma verimini incelemek amacıyla, 100 mg/l ve 200 mg/l $FeCl_3$ dozajlarında 4 farklı pH değerinde jar test deneyi yapılmıştır. Bu deneyi takiben

sağlanan KOİ giderme verimleri hesaplanmıştır. Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve Şekil 5.1 bu değerleri özetlemektedir.

Tablo 5.5 100 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	100 mg/l FeCl ₃			
pH	6.1	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2059	683	691	633	638
KOİ Giderme Verimi, %	-	67	66	70	69
Çamur Hacmi, ml/l	-	80	50	50	50

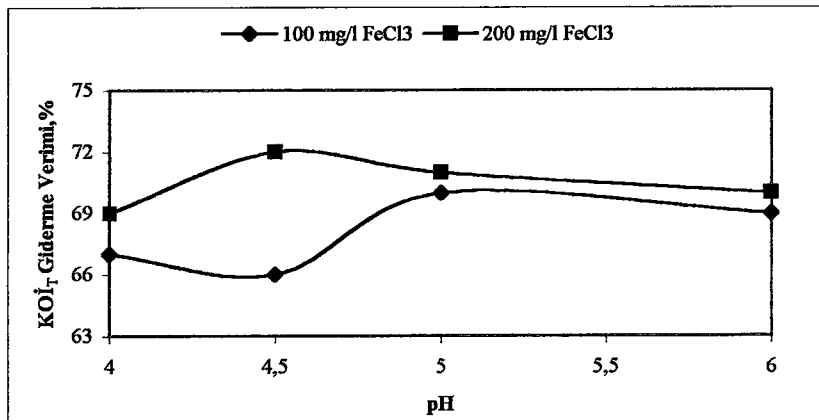
100 mg/l FeCl₃ dozajında elde edilen en yüksek KOİ giderme veriminin % 70 olduğu ve optimum pH değerlerinin 5 ile 6 olduğu görülmüştür. En fazla çamur oluşumu pH 4'te gözlenmiştir.

Tablo 5.6 200 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeCl ₃			
pH	6.1	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2059	636	587	594	611
KOİ Giderme Verimi, %	-	69	72	71	70
Çamur Hacmi, ml/l	-	75	90	90	100

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir

200 mg/l FeCl₃ dozajı uygulandığında giderme verimlerinin bütün pH değerlerinde birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. En yüksek giderme verimi % 72 ile pH 4.5'ta elde edilmiştir. En fazla çamur pH 6'da oluşmuştur.



Şekil 5.1 100 mg/l ve 200 mg/l FeCl₃'ün Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimi

5.2.1.2 İkinci Set Deney Sonuçları

2. sette Tablo 5.1’de görülen atıksu karakterizasyonu ile birlikte atıksuyun basit çökelme özelliği bir kez daha incelenmiştir. Basit çöktürme sonrası elde edilen sonuçlar Tablo 5.7’de görülmektedir.

Tablo 5.7 Basit Çöktürme Deneyi Sonuçları

Zaman (saat)	0.5	2	6
Çöken Hacim, ml/l	0.25	0.35	0.35

Bu zaman dilimleri sonunda numuneler alınarak KOİ giderme verimleri incelenmiştir. KOİ deneyleri sonucunda, basit çöktürmenin KOİ giderme veriminde etkili olmadığı görülmüş ve kimyasal arıtma öncesi böyle bir uygulamanın gerekli olmadığına karar verilmiştir.

Literatürde süt ve süt ürünleri atıksuyu üzerinde emülsiyon kırmanın etkisinden bahsedilmektedir. Bu etkiyi görebilmek için emülsiyon kırma deneyleri yapılmıştır. Emülsiyon kırma deneylerinde kimyasal madde olarak 1 N H₂SO₄ kullanılmış, işlem pH 4 değerinde gerçekleştirilmiştir. Emülsiyon kırma sonrası iki farklı uygulamada bulunulmuştur. Bunların birincisinde emülsiyon kırma sonrası duru faz dekante edilmiş ve bu suyun üzerine 200 mg/l FeCl₃ ilave edilmiş, ikincisinde ise duru faz dekante edilmeden emülsiyon kırma uygulanan suyun üzerine 200 mg/l FeCl₃ ilave edilmiştir. Deneyler sonunda KOİ giderme verimleri hesaplanmıştır. Hesaplar sonucunda bu uygulama ardından kimyasal arıtma yapılması halinde KOİ giderme verimi üzerinde çok önemli katkıların sağlanmadığı ve dekante edilen ile dekante edilmeyen reaktörlerdeki KOİ giderme verimlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Tablo 5.8’de bu sonuçlar özetlenmektedir.

Tablo 5.8 Emülsiyon Kırma Deney Sonuçları

Parametre	Başlangıç	Emülsiyon Kırma	Dekante Edilmeyen + 200 mg/l FeCl ₃	Dekante Edilen + 200 mg/l FeCl ₃
KOİ _T *, mg/l	2762	1583	1301	1283
KOİ Giderme Verimi, %	-	43	53	54
Çamur Hacmi, ml/l	-	90	97	95

Farklı dozajlarda FeCl₃’ün arıtma verimini görebilmek amacıyla, 100 mg/l, 150 mg/l, 200 mg/l ve 300 mg/l FeCl₃ dozajlarında 4 farklı pH için jar test deneyleri yapılmış ve KOİ giderme verimleri hesaplanmıştır. Ancak 100 mg/l ve 150 mg/l dozajları denendiğinde pH 6’da duru faz oluşmadığı ve çökelme olmadığı için numune alınamamış ve KOİ giderme verimi hesaplanamamıştır. Deneyler sonucunda

optimum koagülant dozajı 200 mg/l ve bu dozajdaki optimum pH 4.5 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.9, Tablo 5.10, Tablo 5.11 ve Tablo 5.12 ile Şekil 5.2’de özetlenmektedir.

Tablo 5.9 100 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	100 mg/l FeCl ₃			
pH	10	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2754	1395	1436	1449	-
KOİ Giderme Verimi, %	-	49	48	47	-
Çamur Hacmi, ml/l	-	75	95	50	-

Tablo 5.10 150 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	150 mg/l FeCl ₃			
pH	10	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2754	1360	1368	1414	-
KOİ Giderme Verimi, %	-	51	50	49	-
Çamur Hacmi, ml/l	-	90	100	70	-

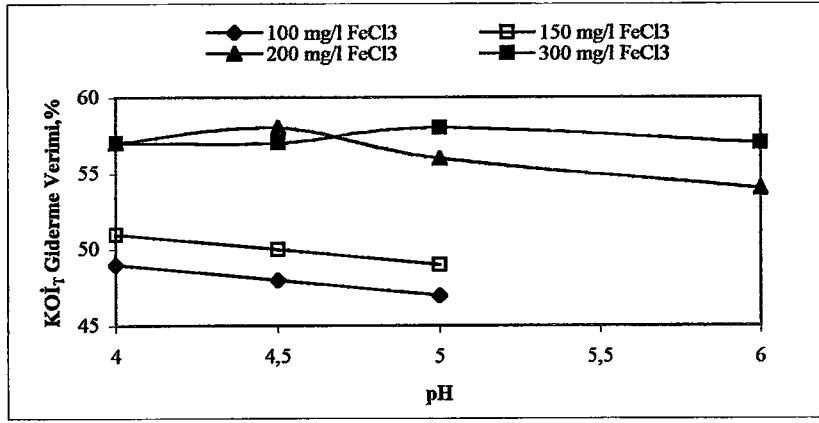
Tablo 5.11 200 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeCl ₃			
pH	7.7	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2850	1219	1207	1249	1307
KOİ Giderme Verimi, %	-	57	58	56	54
Çamur Hacmi, ml/l	-	50	80	75	90

Tablo 5.12 300 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	300 mg/l FeCl ₃			
pH	6.8	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2770	1204	1203	1174	1192
KOİ Giderme Verimi, %	-	57	57	58	57
Çamur Hacmi, ml/l	-	98	100	98	100

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir



Şekil 5.2 Farklı FeCl₃ Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri

Bir başka koagülant olarak FeSO₄'ün 100 mg/l, 200 mg/l ve 300 mg/l dozajları ve 4 farklı pH değeri için aynı işlemler tekrarlanmıştır. FeSO₄'ün optimum dozajı 200 mg/l ve optimum pH değeri 4.5 olarak saptanmıştır. Ayrıca FeSO₄'ün FeCl₃'e göre daha az çamur oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.13, Tablo 5.14 ve Tablo 5.15 ile Şekil 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.13 100 mg/l FeSO₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	100 mg/l FeSO ₄			
pH	5.8	4	4.5	5	6
KOI _T *, mg/l	2667	1687	1456	1577	2216
KOI Giderme Verimi, %	-	37	45	41	17
Çamur Hacmi, ml/l	-	40	50	40	30

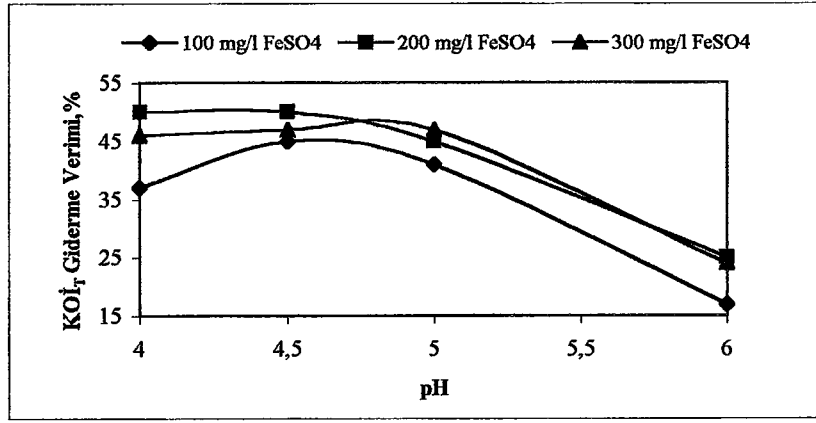
Tablo 5.14 200 mg/l FeSO₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeSO ₄			
pH	5.8	4	4.5	5	6
KOI _T *, mg/l	2667	1376	1325	1459	1987
KOI Giderme Verimi, %	-	48	50	45	25
Çamur Hacmi, ml/l	-	40	50	40	30

Tablo 5.15 300 mg/l FeSO₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	300 mg/l FeSO ₄			
pH	6.2	4	4.5	5	6
KOI _T *, mg/l	2727	1466	1435	1455	2067
KOI Giderme Verimi, %	-	46	47	47	24
Çamur Hacmi, ml/l	-	50	40	40	30

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir



Şekil 5.3 Farklı FeSO₄ Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri

5.2.1.3 Üçüncü Set Deney Sonuçları

Üçüncü set deneylerde atıksu karakterizasyonu sonrası emülsiyon kırma ile arıtılabilirlik çalışması yapılmıştır. İkinci sette izlenen yol burada tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ikinci sette elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Tablo 5.16'da bu sonuçlar özetlenmektedir.

Tablo 5.16 Emülsiyon Kırma Deney Sonuçları

Parametre	Başlangıç	Emülsiyon Kırma	Dekante Edilmeyen + 200 mg/l FeCl ₃	Dekante Edilen + 200 mg/l FeCl ₃
KOI _T *, mg/l	5390	3625	2968	2803
KOI Giderme Verimi, %	-	33	45	48
Çamur Hacmi, ml/l	-	75	200	100

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir

Üç farklı koagülantın arıtma verimlerinin birbiri ile kıyaslanabilmesi için optimum dozaj olarak belirlenen 200 mg/l için FeCl₃, FeSO₄ ve alum ile 4 farklı pH'ta kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yürütülmüş ve KOİ giderme verimleri incelenmiştir. Optimum pH değerlerinde çözünmüş KOİ ve BOİ₅ deneyleri de yapılmıştır. En yüksek giderme verimleri FeCl₃ ve alum ile elde edilmiştir. FeCl₃ 4 pH değeri için de benzer KOİ giderme verimleri sağlarken, alum pH 4 değerinde diğerlerine göre daha düşük KOİ giderme verimi sağlamıştır. Tablo 5.17, Tablo 5.18 ve Tablo 5.19 ile Şekil 5.4'te elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.

Tablo 5.17 200 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeCl ₃			
pH	5.1	4	4.5	5	6
KOI _T *, mg/l	5190	3124	3173	3163	3242
KOI _S *, mg/l	-	2207	2312	-	-
KOI _T *Giderme Verimi, %	-	40	39	39	38
BOİ ₅ *, mg/l	-	1949	2119	-	-
Çamur Hacmi, ml/l	-	90	100	75	80

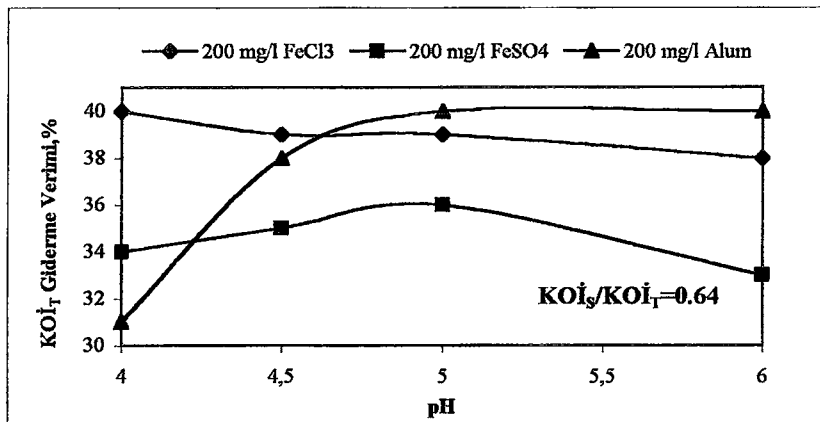
Tablo 5.18 200 mg/l FeSO₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeSO ₄			
pH	4.3	4	4.5	5	6
KOI _T *, mg/l	5154	3379	3322	3315	3435
KOI _S *, mg/l	-	2727	2681	-	-
KOI _T *Giderme Verimi, %	-	34	35	36	33
BOİ ₅ *, mg/l	-	2716	2328	-	-
Çamur Hacmi, ml	-	20	30	30	40

Tablo 5.19 200 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l Alum			
pH	4.25	4	4.5	5	6
KOI _T *, mg/l	5480	3795	3401	3300	3276
KOI _S *, mg/l	-	-	2765	2643	-
KOI _T *Giderme Verimi, %	-	31	38	40	40
BOİ ₅ *, mg/l	-	-	2221	2197	-
Çamur Hacmi, ml	-	50	75	90	110

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir



Şekil 5.4 200 mg/l FeCl₃, FeSO₄ ve Alum Dozajının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimi

Aynı koagülantlarla aynı dozaj ve pH değerlerinde bir deneme daha yapılmış ancak pH ayarı için NaOH yerine kireç kullanılmıştır. Kireç kullanılmasının amacı aynı

verimi daha yüksek pH değerlerinde elde edebilmektedir. Ancak arıtma verimi üzerinde olumlu bir etkisi görülmemiştir.

5.2.1.4 Dördüncü Set Deney Sonuçları

Dördüncü set deneylerde atıksu karakterizasyonu sonrası emülsiyon kırma ile arıtılabilirlik çalışması yapıldı. İkinci ve üçüncü sette izlenen yol burada tekrarlanmıştır, elde edilen sonuçlar diğer iki setteki sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Tablo 5.20’de bu sonuçlar özetlenmektedir.

Tablo 5.20 Emülsiyon Kırma Deney Sonuçları

Parametre	Başlangıç	Emülsiyon Kırma	Dekante Edilmeyen + 200 mg/l FeCl ₃	Dekante Edilen + 200 mg/l FeCl ₃
KOİ _T *, mg/l	2820	1546	1342	1325
KOİ Giderme Verimi, %	-	45	52	53
Çamur Hacmi, ml/l	-	90	110	50

Üç farklı koagülantın arıtma verimlerinin birbiri ile bir kez daha kıyaslanabilmesi amacıyla optimum dozaj olarak belirlenen 200 mg/l için FeCl₃, FeSO₄ ve alum ile 4 farklı pH’ta kimyasal arıtılabilirlik çalışması yürütülmüş ve KOİ giderme verimleri incelenmiştir. Optimum pH değerlerinde çözünmüş KOİ ve BOİ₅ deneyleri de yapılmıştır. FeCl₃ ve FeSO₄, alum’a göre daha iyi KOİ giderme verimi sağlamışlardır. FeCl₃ ve alum her 4 pH değeri için birbirine yakın KOİ giderme verimi sağlarken, FeSO₄ pH 4 ve 4.5 değerlerinde daha iyi KOİ giderme verimi sağlamıştır. Tablo 5.21, Tablo 5.22 ve Tablo 5.23 ile Şekil 5.5’te bu deneylere ilişkin sonuçlar özetlenmektedir.

Tablo 5.21 200 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeCl ₃				
pH	6	4	4.5	5	6	
KOİ _T *, mg/l	2906	1223	1236	1280	1336	
KOİ _S *, mg/l	-	1046	1062	-	-	
KOİ _T *Giderme Verimi, %	-	58	57	56	54	
BOİ ₅ *, mg/l	-	968	938	-	-	
Çamur Hacmi, ml/l	-	95	95	110	110	

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir

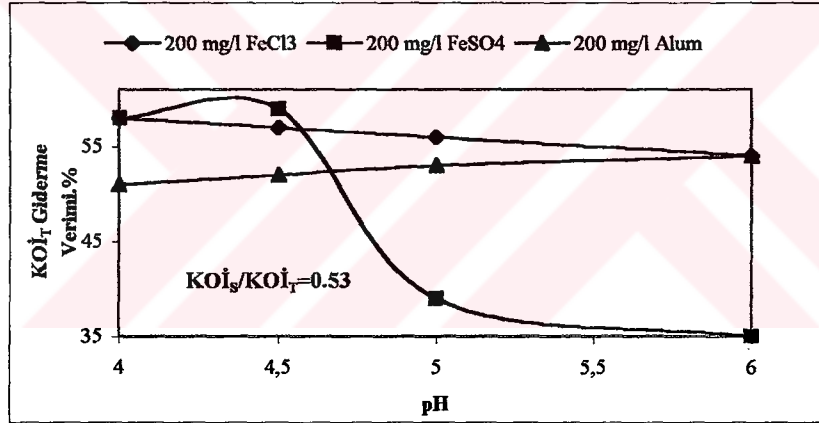
Tablo 5.22 200 mg/l FeSO₄ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l FeSO ₄			
pH	6	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	3121	1315	1270	1919	2045
KOİ _S *, mg/l	-	1056	1087	-	-
KOİ _T *Giderme Verimi, %	-	58	59	39	35
BOİ ₅ *, mg/l	-	1022	1011	-	-
Çamur Hacmi, ml/l	-	50	50	50	30

Tablo 5.23 Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	200 mg/l Alum			
pH	6.1	4	4.5	5	6
KOİ _T *, mg/l	2552	1253	1219	1202	1164
KOİ _S *, mg/l	-	-	1010	998	-
KOİ _T *Giderme Verimi, %	-	51	52	53	54
BOİ ₅ *, mg/l	-	-	950	914	-
Çamur Hacmi, ml/l	-	90	100	90	100

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir



Şekil 5.5 200 mg/l FeCl₃, FeSO₄ ve Alum Dozajının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimi

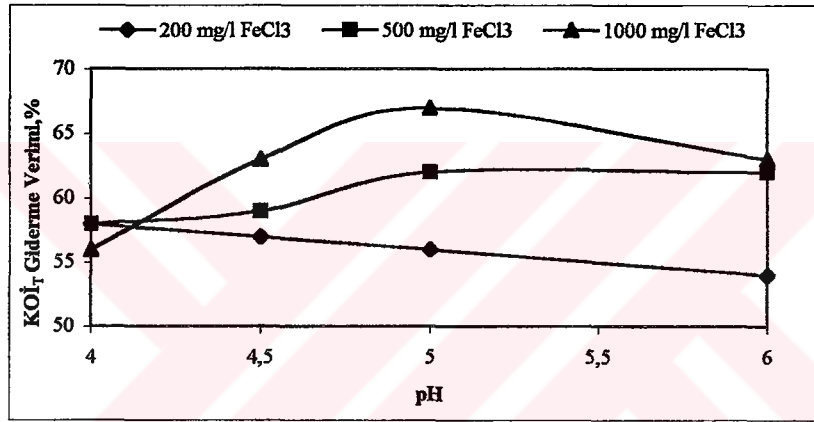
Yüksek FeCl₃ dozajları uygulanması halinde arıtma verimi üzerinde ne gibi değişiklikler olacağını incelemek üzere 500 mg/l ve 1000 mg/l FeCl₃ dozajlarında 4 farklı pH değeri için jar test deneyleri yapılmıştır. 500 mg/l dozajında maksimum % 62, 1000 mg/l dozajında ise maksimum %67 KOİ giderme verimi elde edilmiştir. 500 mg/l için optimum pH değerleri 5 ve 6, 1000 mg/l için ise 5 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca oluşan çamur miktarının bir hayli arttığı görülmüştür. Tablo 5.24, Tablo 5.25 ve Şekil 5.6 bu deneylere ait sonuçları özetlemektedir.

Tablo 5.24 500 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	500 mg/l FeCl ₃			
pH	5.8	4	4.5	5	6
KOİ*, mg/l	2928	1236	1188	1106	1114
KOİ Giderme Verimi, %	-	58	59	62	62
Çamur Hacmi, ml/l	-	100	150	175	190

Tablo 5.25 1000 mg/l FeCl₃ Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	1000 mg/l FeCl ₃			
pH	6.0	4	4.5	5	6
KOİ*, mg/l	2938	1287	1086	965	1089
KOİ Giderme Verimi, %	-	56	63	67	63
Çamur Hacmi, ml/l	-	100	200	250	275



Şekil 5.6 Farklı FeCl₃ Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri

Alumun 100 mg/l ve 300 mg/l dozajlarının farklı pH'larda arıtma veriminin ne şekilde değiştiğini görebilmek amacıyla jar test deneyleri yapılmış ve daha sonra KOİ giderme verimleri incelenmiştir. 100 mg/l ve 300 mg/l dozajlarında benzer KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Ancak 100 mg/l dozajında pH 6 değerinde elde edilen KOİ giderme veriminin diğerlerine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 5.26, Tablo 5.27 ve Şekil 5.7'de özetlenmektedir.

Tablo 5.26 100 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

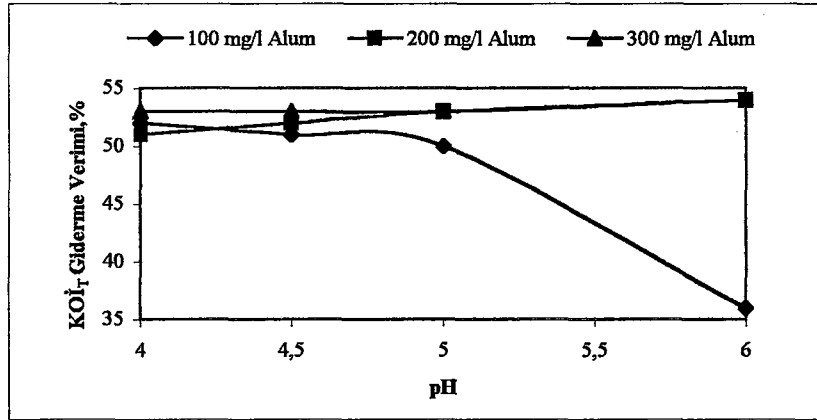
Parametre	Başlangıç	100 mg/l Alum			
pH	6.5	4	4.5	5	6
KOİ*, mg/l	2457	1174	1210	1229	1577
KOİ Giderme Verimi, %	-	52	51	50	36
Çamur Hacmi, ml/l	-	75	75	95	50

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir

Tablo 5.27 300 mg/l Alum Dozajında Elde Edilen Arıtma Verimleri ve Oluşan Çamur Hacimleri

Parametre	Başlangıç	300 mg/l Alum			
pH	6.7	4	4.5	5	6
KOİ*, mg/l	2548	1200	1195	1208	1166
KOİ Giderme Verimi, %	-	53	53	53	54
Çamur Hacmi, ml/l	-	90	95	100	100

*ile gösterilen değerler ortalama değerlerdir



Şekil 5.7 Farklı Alum Dozajlarının Farklı pH'larda KOİ Giderme Verimleri

5.3 Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

Süt ve süt ürünleri endüstrisi, Türkiye’de gıda endüstrisi içinde yaklaşık % 16’lık bir paya sahiptir. Bu endüstri kapsamında çok çeşitli ürünler üretilmektedir. Bazı üretim prosesleri bütün ürünler için ortak olmasına rağmen, her ürüne özel olarak uygulanan üretim prosesleri de mevcuttur. Üretim proseslerinin çeşitlilik göstermesi nedeniyle oluşan birim atıksu miktarı ve kirletici madde konsantrasyonları değişkenlik göstermektedir. Atıksu miktarı ve karakterinin değişkenlik göstermesinin bir başka nedeni ise mevsimlere bağlı olarak üretim çeşitlerinde ve üretim kapasitelerinde meydana gelen değişikliklerdir. Entegre üretim yapan tesislerde genellikle yaz aylarında yoğurt ve ayran üretimi artarken, pastörize süt üretimi azalmaktadır. Diğer aylarda ise tam tersi bir durum söz konusudur, yani pastörize süt üretimi artarken, yoğurt ve ayran üretimi azalmaktadır. Atıksu miktarı ve karakterinde gözlenen belirgin değişkenlik nedeniyle yürütülen kirlenme kontrolü çalışmaları zaman içerisinde yayılmalı ve oldukça detaylı bir şekilde yapılmalıdır. Ancak bu şekilde atıksuyun gerçek karakterini temsil eden değerler elde edilebilir.

Bu çalışma kapsamında SEK Süt Endüstrisi Kurumu ve Sanayi Ticaret A.Ş. İstanbul tesisi pilot tesis olarak seçilmiştir. 3 ay boyunca periyodik olarak 4 kez atıksu

numunesi alınmış ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar sırasında öncelikle atıksuyun karakterizasyonu, daha sonra jar test deneyleri uygulanarak atıksuyun kimyasal arıtılabilirliği incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda atıksu karakterinin oldukça değişken olduğu tespit edilmiştir. $KOİ_T$ konsantrasyonu 2148 mg/l ile 5134 mg/l, $KOİ_5$ konsantrasyonu 1089 mg/l ile 3292 mg/l, $BOİ_5$ konsantrasyonu 1034 mg/l ile 3203 mg/l, AKM konsantrasyonu 370 mg/l ile 770 mg/l, UAKM konsantrasyonu 370 mg/l ile 750 mg/l, Yağ ve Gres konsantrasyonu 136 mg/l ile 354 mg/l, TKN konsantrasyonu 58 mg/l ile 115 mg/l, TP konsantrasyonu 9.7 mg/l ile 28 mg/l, Cl⁻ konsantrasyonu 110 mg/l ile 222 mg/l, pH değeri 7.16 ile 10.25, arasında değişmektedir. Numunelerin aynı mevsim içinde alınması ve üretilen ürünler ile üretim kapasitesinde bir değişiklik olmamasına rağmen, atıksu karakterinin salınım göstermesi arıtılabilirlik çalışmalarında farklı sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır.

Tablo 5.28’de süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının karakterizasyonu ile ilgili literatürde yayınlanmış olan değerler ve bu çalışmada elde edilmiş olanlar verilmiştir. Tablo 5.28 incelendiğinde atıksu karakterizasyonunda elde edilen değerlerin oldukça geniş bir aralığa yayıldığı görülmektedir.

Tablo 5.28 Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Atıksuları Karakterizasyonuna İlişkin Değerler

KOI mg/l	BOI ₅ mg/l	BOI ₇ mg/l	AKM mg/l	Yağ ve Gres mg/l	PO ₄ -P mg/l	Toplam P mg/l	TKN mg/l	Toplam N mg/l	pH	Kaynak
80-95000 (2300)	40-48000 (2300)	-	24-4500 (820)	35-500 (209)	9-210 (48)	-	1-180 (64)	-	4,5-9,4 (7,2)	Marshall ve Harper, 1984
560-1530 (1085)	-	-	-	-	-	-	-	-	6,4-11,8 (10)	Rusten ve diğ., 1990
12926	7421	-	870	-	-	-	-	-	7	Blanc ve Navia, 1990
1070-4730	-	1670-2200	220-3000	270-1900	-	1-26,4	-	33-46	-	Rusten ve diğ., 1993
950-2400	500-1300	-	90-450	110-260	4-15	-	70-85	-	5-9,5	Öztürk ve diğ., 1993•
2000-6000	1200-4000	-	350-1000	-	20-50	-	50-60	-	8-11	Kasapgil ve diğ., 1994
1160-2690	-	-	290-500	300-920	-	11,5-27,4	-	38-53	-	Selmer-Olsen ve diğ., 1996
1541	-	-	850	-	20	-	-	-	7,9	Hamoda ve Al-Awadi, 1996
710-6320 (2740)	-	-	290-1830 (900)	-	-	10-48 (29)	-	-	-	Rusten ve diğ., 1996
2148-5134	1034-3203	-	370-770	136-354	-	9,7-28	58-115	-	7,16-10,25	Bu Çalışma•

•çalışmalar aynı tesiste farklı yıllarda yürütülmüştür.

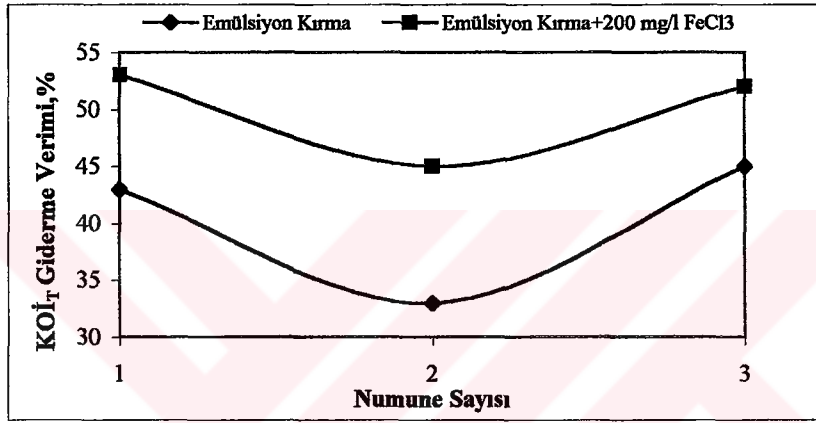
Bu çalışmada atıksu karakterizasyonu amacıyla yapılmış deneylerin sonucunda elde edilen değerlerin, literatürde yayınlanan değerlerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Atıksu karakterleri arasında, aynı pilot tesiste şehir kanalizasyonuna deşarj öncesi ön arıtma amaçlı anaerobik biyolojik arıtılabilirlik çalışması yürüten Öztürk ve diğ. (1993) ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar (2000) karşılaştırıldığında, tesisin bu 7 yıllık süre içerisinde özelleştirilmesine rağmen, benzerlikler olduğu ve çok büyük bir değişikliğin meydana gelmediği görülmektedir. Öztürk ve diğ. (1993) genel deşarj atıksularına peynir altı suyu dahil olması halinde KOİ konsantrasyonunun 2300 mg/l ile 6500 mg/l arasında değiştiğini belirtmişlerdir ve bu çalışmada elde edilen sonuçların bu bulgularla uyum içinde olduğu görülmektedir.

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları üzerinde farklı amaçlarla, bulunduğu bölgenin özelliğine bağlı olarak, kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yürütülmüştür. Bunların bir kısmı bu endüstriden kaynaklanan atıksuları kimyasal arıtma sonrası sulama amacıyla, bir kısmı besin değeri yüksek maddelerin geri kazanılarak hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanma amacıyla, bir kısmı şehir kanalizasyonuna deşarj etmeden önce kanalizasyona verilebilecek zararları önlemek için ön arıtma amacıyla, kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yürütmüşlerdir. Amaca bağlı olarak kullanılan koagülantlar değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları, şehir kanalizasyonuna deşarj öncesi ön arıtma olasılığının incelenmesi şeklinde yürütülmüştür. Kimyasal arıtılabilirlik deneylerinde koagülant olarak demir klorür (FeCl_3), demir sülfat (FeSO_4) ve alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), koagülant yardımcısı olarak anyonik polielektrolit kullanılmıştır. Optimum koagülant dozajlarının ve optimum pH değerlerinin belirlenebilmesi için KOİ parametresi bazında giderme verimleri esas alınmıştır. Ayrıca emülsiyon kırma uygulaması sonucu elde edilen KOİ giderme verimleri incelenmiştir. Kimyasal arıtma sonrası atıksuyun “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri”ni sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Tablo 5.32’de “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri”, Tablo 5.33’te ise “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Süt ve Süt Ürünleri Endüstrisi Alıcı Ortama Deşarj Kriterleri” verilmiştir.

Kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarına başlamadan önce basit çökelme deneyleri yapılmıştır. Basit çökelme deneyleri sonucu, süt ve süt ürünleri endüstrisi

atıksularının çökebilme özelliğinin yok denecek kadar az olduğu ve atıksuyun arıtılabilirliği üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Emülsiyon kırma uygulaması sonucunda % 33 ile % 45 arasında değişen $KOİ_T$ giderme verimleri elde edilmiştir. Emülsiyon kırma ile arıtılan suyun üzerine 200 mg/l $FeCl_3$ eklenmiş ve $KOİ_T$ giderme verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu uygulama sonucunda $KOİ_T$ giderme verimi bir miktar artmış ve % 48 ile % 54 arasında değişen giderme verimleri elde edilmiştir, bu deneylerde elde edilen sonuçlar Şekil 5.8’de verilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler literatürde benzer bir çalışmada elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Tablo 5.29’da her iki çalışmada bulunan sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.8 Emülsiyon Kırma ve Emülsiyon Kırma + 200 mg/l $FeCl_3$ Uygulamaları Sonucunda Elde Edilen $KOİ$ Giderme Verimleri

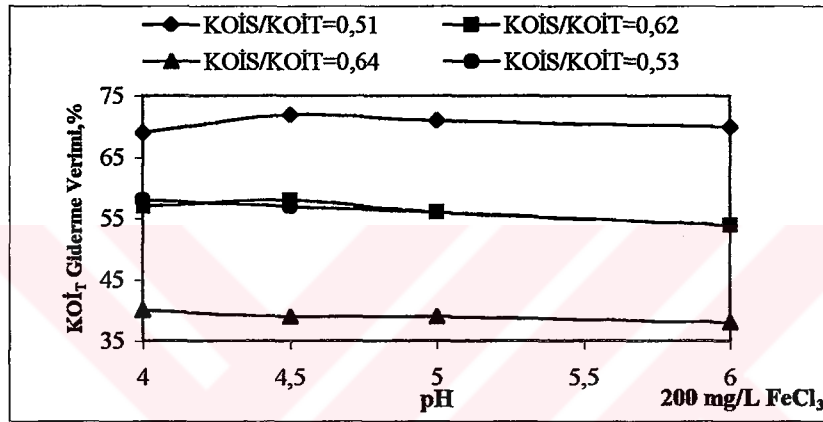
Tablo 5.29 Emülsiyon Kırmanın $KOİ$ Giderme Verimine Etkileri

pH	$KOİ_T$ Giderme	$KOİ_S$ Giderme	Kaynak
4-4.3	% 40-67	% 38-45	Rusten ve diğ., 1990
4	% 33-45	-	Bu Çalışma

Tablo 5.29 incelendiğinde Rusten ve diğ. (1990) yaptıkları çalışmada % 40 ile % 67 arasında değişen $KOİ_T$ giderme verimleri elde etmişlerdir. Rusten ve diğ. (1990) ile kıyaslandığında bu çalışmada elde edilen % 45’lik $KOİ_T$ giderme verimi bu aralıkta olmasına rağmen % 67’ye göre oldukça azdır. Bunun en büyük nedeni atıksuyun $KOİ$ değeridir, Rusten ve diğ. (1990) $KOİ_T$ ’si 560 mg/l ile 1530 mg/l arasında değişen atıksularla çalışmışlardır.

$FeCl_3$ ile yürütülen kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları değerlendirildiğinde, optimum koagülant dozajı 200 mg/l olarak belirlenmiştir. Daha yüksek dozajlar (500 mg/l ve 1000 mg/l) uygulandığında arıtma verimi üzerinde bir miktar artış görülmüş, fakat

kanala deşarj kriterleri sağlanamamıştır. Yüksek dozaj uygulaması sonucunda oluşan çamur hacmi önemli miktarda artmaktadır, bu da çamur probleminin çıkmasına neden olacaktır. Optimum dozajda optimum pH değerlerinin 4 ve 4.5 olduğu saptanmıştır. Yüksek dozajlarda optimum pH değerlerinin 5 ve 6 olduğu görülmüştür. Optimum dozajda ve optimum pH değerlerinde KOİ giderme verimi atıksuyun karakterine bağlı olarak % 39 ve % 72 arasında değişmiştir, 4 set deney sonucunda 200 mg/l FeCl₃ dozajında elde edilen giderme verimleri Şekil 5.9'da verilmiştir. FeCl₃ deneyleri sonucunda elde edilen KOİ_T giderme verimleri literatürde benzer çalışmalarda elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Tablo 5.30'da bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.9 200 mg/l FeCl₃ Dozajıyla Sağlanan KOİ Giderme Verimlerinin Atıksu Karakterine Göre Değişimi

Tablo 5.30 FeCl₃ İlavesi ile Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

Optimum pH	KOİ _T Giderme	KOİ _S Giderme	Kaynak
4-5	% 52-73	% 22-62	Rusten ve diğ., 1990
4.1	% 72.90	-	Blanc ve Navia., 1990
4-4.5	% 39-72	-	Bu Çalışma

Tablo 5.30'dan görüldüğü gibi her üç çalışmada da optimum pH'lar birbirine oldukça yakın aralıklardadır. Çalışmalar sonucunda elde edilen maksimum KOİ_T giderme verimleri % 70 civarındadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçların literatürde elde edilenlerle uyum içinde olduğu söylenebilir.

Alumla yürütülen kimyasal arıtılabilirlik deneyleri sonucunda elde edilen veriler yardımıyla optimum koagülant dozajı 200 mg/l olarak saptanmıştır. Alum, deneylerde kullanılan her dört pH değerinde de birbirine oldukça yakın KOİ giderme verimleri sağlamıştır, ancak pH 5 ve 6 değerleri optimum pH olarak kabul edilmiştir. Optimum koagülant dozajı ve optimum pH değerlerinde atıksuyun karakterine bağlı

olarak % 40 ile % 54 arasında değişen KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Alumla yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler, literatürde benzer çalışmalarda elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalara ilişkin sonuçlar Tablo 5.31’de verilmiştir.

Tablo 5.31 Alum İlavesi ile Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

Optimum pH	KOİ _T Giderme	KOİ _S Giderme	Kaynak
4,5-6	% 48-68	% 36-62	Rusten ve diğ., 1990
-	% 55	-	Hamoda ve Al-Awadi, 1996
5-6	% 40-54	-	Bu Çalışma

Rusten ve diğ. (1990) % 68 ile en yüksek KOİ_T giderme verimini elde etmişlerdir. Optimum pH değerleri hemen hemen aynı aralık içerisinde bulunmuştur. Tabloda verilen değerlerin hem pH hem de KOİ_T giderme verimi açısından uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

FeSO₄ ile yürütülen kimyasal arıtılabilirlik deneyleri sonucunda 200 mg/l optimum dozaj olarak belirlenmiştir. Optimum dozajdaki optimum pH değerleri 4 ve 4.5 olarak tespit edilmiştir. Optimum dozaj ve optimum pH değerlerinde KOİ giderme verimleri atıksuyun karakterine bağlı olarak % 34 ile % 59 arasında değişmiştir. FeSO₄ ile yürütülen deneylerde oluşan çamur miktarının FeCl₃ ve alum ile yürütülen deneylerde oluşan çamur miktarına oranla daha az olduğu görülmüştür. Ancak FeSO₄’ün KOİ giderme veriminin FeCl₃ ve alumla elde edilen KOİ giderme verimlerine oranla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Literatürde Fe₂(SO₄)₃ ile yürütülmüş deneylere rastlanmıştır, % 70’in üzerinde KOİ_T ve BOİ₅ giderimi, % 95’in üzerinde AKM giderme verimi sağlandığı görülmüştür (Blanc ve Navia, 1990).

Tablo 5.32 İSKİ Kanal Deşarj Yönetmeliğine Göre Endüstrilerin Kanalizasyona Deşarj Limitleri (1999)

PARAMETRE	İki Saatlik Kompozit Atıksu Örneğinde İzin Verilebilir Değer (mg/l)
KOİ	800
AKM	350
TN	100
TP	10
Yağ/Gres	100
Anyonik Yüzey Aktif Maddeler	*Biyolojik olarak parçalanması TSE'ye göre uygun olmayanların boşaltılması yasaktır
As	10
Sb	3
Sn	5
B	3
Cd	2
T Cr	5
Cu	5
Pb	3
Ni	5
Zn	10
Hg	0.2
Ag	5
T CN	10
Fenol	10
Toplam Sülfür	2
Balık biyodeneyi 48 Saatlik tolerans değeri (TL) ₅₀	% 100
Sülfat	1700

Tablo 5.33 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 5.3 Gıda Sanayi (Süt ve Süt Ürünleri) Alıcı Ortama Deşarj Kriterleri

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
BOİ ₅	mg/l	50	40
KOİ	mg/l	170	160
Yağ ve Gres	mg/l	60	30
pH		6-9	6-9

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’de süt ve süt ürünleri endüstrisi gıda endüstrisi içerisinde % 16’lık bir paya sahip olmasına rağmen modern tesislerde üretim yapan firma sayısı oldukça azdır. Diğer yandan bu endüstriden kaynaklanan atıksular, doğal ortamların kirlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Atıksular yüksek miktarda organik madde içeriğine sahiptir. Ayrıca besin değeri bulunan ve geri kazanılması halinde başka alanlarda değerlendirilmesi mümkün olan bazı maddeler bu atıksularla birlikte uzaklaştırılmaktadırlar. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının arıtılması amacıyla farklı teknolojiler kullanılmaktadır ve bu teknolojilerin, atıksuyun yüksek organik madde içeriği nedeniyle, daha çok biyolojik arıtma (aerobik, anaerobik, damlatmalı filtre) esasına dayanan teknolojiler olduğu görülmektedir. Bunların dışında arazide arıtma, membran teknolojileri ve özellikle 1990’lı yıllardan itibaren bu endüstriden kaynaklanan atıksularla yürütülen kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarına rastlanmaktadır.

Bu çalışmada, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliği incelenmiştir. Pilot tesisten üç ay boyunca periyodik olarak 4 kez numune alınmış ve deneyler yürütülmüştür. Çalışmada koagülant olarak FeCl_3 , FeSO_4 ve alum kullanılmıştır. Deneyler sonucunda optimum koagülant dozajları, optimum pH değerleri ve elde edilen KOİ giderme verimleri belirlenmiştir. Optimum koagülant dozajının tespiti için 100 mg/l, 150 mg/l, 200 mg/l ve 300 mg/l FeCl_3 ve 100 mg/l, 200 mg/l ve 300 mg/l FeSO_4 ve alum dozajlarında, 4, 4.5, 5 ve 6 pH değerlerinde kimyasal arıtılabilirlik deneyleri yürütülmüştür. Kimyasal arıtılabilirlik deneyleri sonucunda optimum dozaj üç koagülant için de 200 mg/l olarak tespit edilmiştir. Optimum pH değeri FeCl_3 ve FeSO_4 için 4 ve 4.5, alum için 5 ve 6 olarak bulunmuştur. Optimum dozajda ve optimum pH değerinde FeCl_3 ile % 39 ve % 72, FeSO_4 ile % 34 ve % 59, alum ile % 40 ve % 54 arasında değişen KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. 500 mg/l ve 1000 mg/l FeCl_3 dozajları uygulanarak kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yürütülmüş ve bu deneylerde sırasıyla % 62 ve % 67 KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Optimum pH değerleri 500 mg/l için 5

ve 6 1000 mg/l için 5 olarak belirlenmiştir. Emülsiyon kırma uygulamasıyla % 33 ile % 45 arasında değişen KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Emülsiyon kırma uygulanan suyun üzerine $FeCl_3$ ilavesiyle yürütülen deneylerde KOİ giderme verimi artmış ve % 48 ile % 54 arasında değişen KOİ giderme verimleri sağlanmıştır. Deneyler sonucunda KOİ giderme verimini etkileyen en önemli faktörün atıksuyun karakteri olduğu açık bir şekilde görülmüştür. KOİ giderme verimlerinin “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri”nde belirlenen KOİ değerini sağlamak için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Deneyler sırasında yapılan atıksu karakterizasyon çalışmaları sonuçları değerlendirildiğinde, aynı üretim mevsimi içinde olunmasına rağmen, atıksu karakterinin oldukça değişken bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarında elde edilen KOİ giderme verimleri de değişkenlik göstermiştir. Atıksu karakterinin belirlenebilmesine yönelik daha detaylı bir çalışma yapılması ve bu çalışmanın yıl içerisinde yayılması gerekmektedir. Böylece mevsimsel olarak ürün çeşitlerinde ve üretim kapasitelerinde meydana gelen değişikliklerin atıksu karakteri üzerinde etkisi olup olmadığı belirlenebilir. Bu çalışmaların mümkünse kaynak bazında yürütülmesi ve kaynakların toplam atıksu debisindeki paylarının belirlenmesi, her kaynağın atıksuyun kirliliği üzerindeki etkisinin belirlenmesine yardımcı olacaktır.

İlk set deneyler dışında hiçbir sette “İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği Endüstrilerin Kanala Deşarj Limitleri” çerçevesinde belirlenen KOİ değerinin sağlanması mümkün olmamıştır. Buna bağlı olarak kimyasal arıtmanın tek başına yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Kimyasal arıtmayı takiben aerobik biyolojik arıtma uygulanması halinde belirlenen KOİ limitinin sağlanması mümkün olabilecektir. Ön arıtma olarak anaerobik biyolojik arıtma da uygulanabilir. Eğer alıcı ortama deşarj yapılacaksa ön arıtmayı takiben mutlaka bir aerobik biyolojik arıtma yapılmalıdır.

Daha önce de belirtildiği üzere peynir altı suyu gibi besin değeri yüksek maddeler atıksuya karıştırılmadan ayrı toplanmalı ve geri kazanılmalıdır. Bu maddelerin, geri kazanıldığı takdirde, gıda endüstrisinin diğer dallarında kullanılabilme imkanı vardır ve böylece ekonomik getirisi olan bir madde değerlendirilmiş olacaktır.

Son yıllarda Kuzey Avrupa ülkelerinde araştırılmaya başlanan, karboksi metil seluloz (CMC), ligno sülfonik asit (LSA) ve chitosan gibi maddelerle uygulanan

kimyasal arıtma sonucu oluşan çamurun hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılabilmesine yönelik çalışmaların Türkiye’de de yapılarak incelenmesi yararlı olacaktır. Sözü edilen bu maddelerin, Türkiye’de ekonomik olarak uygulanabilirlikleri araştırılmalıdır. Olumlu sonuçlar elde edilmesi halinde kimyasal arıtma sonucu oluşan çamur hayvan besiciliğinde kullanılabilecek ve çamur işleme ve uzaklaştırma sorunu da ortadan kalkacaktır.

Tesislerin bulunduğu bölgelerde tarımsal arazileri sulamak amacıyla su sıkıntısı mevcutsa, endüstriden kaynaklanan ve kirlilik konsantrasyonu fazla yüksek olmayan atıksular, kimyasal arıtmaya tabi tutulduktan sonra sulama amacıyla kullanılabilir. Ancak sulanacak arazinin toprak kalitesi, geçirimliliği dikkate alınarak toprağın sodyum tutma oranı (SAR) belirlenmeli ve ona göre gerekiyorsa dönüşümlü olarak arazi sulanabilir.



KAYNAKLAR

- APHA, 1998. Standard methods for examination of water and wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Washington D.C.
- Bassette, R. and Acosta, J. S., 1988. Composition of milk products, in *Fundamentals of Dairy Chemistry*, pp. 39-78, Ed. Wong, N. P., VNR, New York.
- Blanc, F. and Navia, R., 1990. Treatment of dairy wastewater by chemical coagulation, *Proceedings of the 45th Industrial Waste Conference*, Purdue University, USA, 1990, 681-689.
- Carić, M., 1994. Concentrated and dairy products, VCH Publishers Inc.
- Chandan, R., 1997. Dairy-Based ingredients, Eagan Press, Minnesota.
- Davis, M. L. and Cornwell, D. A., 1991. Introduction to environmental engineering, PWS Publishers, Boston.
- Danalewich, J. R., Papagiannis, T.G., Belyea, R. L., Tumbleson, M. E. and Raskin, L., 1998. Characterization of dairy waste streams, current treatment practices, and potential for biological nutrient removal, *Wat. Res.*, **32** (12), 3555-3568.
- DPT, 2000. VIII. Beş yıllık kalkınma planı süt ve süt mamülleri özel ihtisas komisyonu taslak raporu (yayınlanmamıştır).
- Görgün, E., 1991. Süt endüstrisinde atıksu-peynir altı suyu karışımlarının biyolojik arıtılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hahn, H. H., Eppler, B. and Klute, R., 1978. Comparison of wastewater flocculation in jar test experiments, continuous-flow reactors and large scale plants, in *Chemistry of Wastewater Technology*, pp. 245-261, Ed. Rubin, A. J., Ann Arbor Sci. Pub.
- Hamoda, M. F. and Al-Awadi, S. M., 1995. Wastewater management in a dairy farm, *Wat. Sci. Tech.*, **32** (11), 1-11.
- Hamoda, M. F. and Al-Awadi, S. M., 1996. Improvement of effluent quality for reuse in a farm, *Wat. Sci. Tech.*, **33** (10-11), 79-85.
- İnce, O., 1998. Performance of a two-phase anaerobic digestion system when treating dairy wastewater, *Wat. Res.*, **32** (9), 2707-2713.

- Jenness, R. and Sloan, R. E., 1970.** The composition of milks of various species: A review, *Dairy Sci. Abstr.*, **32**, 599-607.
- Kasapgil, B., Anderson, G. K. and İnce, O., 1994.** An investigation into the pre-treatment of dairy wastewater prior to aerobic biological treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **29** (9), 205-212.
- Marshall, K. R. and Harper, W. J., 1984.** The treatment of wastes from the dairy industry, in *Food and Allied Industries*, pp. 296-376, Eds. Barnes, D., Forster, C. F. and Hruddy, S. E., Pitman Publishing, London.
- McBean, L. O. and Speckmann E. W., 1988.** Nutritive value of dairy foods, in *Fundamentals of Dairy Chemistry*, pp. 343-407, Ed. Wong, N. P., VNR, New York.
- Orhon, D., ve Artan, N., 1984.** Endüstriyel atıksuların kontrol ve kısıtlama esasları projesi-Süt ve süt ürünleri endüstrisi, İ.T.Ü. Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi.
- Orhon, D., Görgün, E., Germirli, F. and Artan, N., 1993.** Biological treatability of dairy wastewaters, *Wat. Res.*, **27** (4), 625-633.
- Öztürk, İ., Eroğlu, V., Ubay, G. and Demir, İ., 1993.** Hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor (HUASBR) treatment of dairy effluents, *Wat. Sci. Tech.*, **28** (22), 77-85.
- Papachristou, E. and Lafazanis, C. T., 1997.** Application of membrane technology in the pretreatment of cheese dairies wastes and co-treatment in a municipal conventional biological unit, *Wat. Sci. Tech.*, **36** (2-3), 361-367
- Rosenthal, I., 1991.** Milk and dairy products, Balaban Publishers.
- Rusten, B., Eikebrokk, B. and Thorvaldsen, G., 1990.** Coagulation as pretreatment of food industry wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **22** (9), 1-8.
- Rusten, B., Lundar, A., Eide, O. and Ødegaard, H., 1993.** Chemical pretreatment of dairy wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **28** (2), 67-76.
- Rusten, B., Siljudalen, J. G. and Strand, H., 1996.** Upgrading of a biological-chemical treatment plant for cheese factory wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **34** (11), 41-49.
- Selmer-Olsen, E., Ratnaweera, H. C. and Pehrson, R., 1996.** A novel treatment process for dairy wastewater with chitosan produced from shrimp-shell waste, *Wat. Sci. Tech.*, **34** (11), 33-40.
- Tanner, C. C. and Sukias, J. P., 1995.** Accumulation of organic solids in gravel-bed constructed wetlands, *Wat. Sci. Tech.*, **32** (3), 229-239

Weber, W. J., 1972. Physicochemical processes for water quality control, Wiley-Interscience, New York.

Widdowson, E. M., 1981. Feeding the new born mammal, Caroline Biology Readers, Burlington, NC.

