ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIMINDA ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖR (SBR)'DE HAREKETLİ BİOFİLM UYGULAMASI

Arzu Kılıç
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bilgehan NAS
2006

Jüri: Doç.Dr. M. Faik SEVİMLİ
Yrd. Doç. Dr. Bilgehan NAS
Yrd. Doç. Dr. Ali TOR

Ardışık Kesikli Reaktörler de (AKR), doldur- boşalt sistemine göre çalışan, havalandırma ve çöktürme işleminin aynı tankta gerçekleştiği bir aktif çamur modifikasyonudur. Aktif çamur sisteminde rastlanan en önemli problemlerden birisi sistemin zamanla artan organik ve hidrolik yüklemeleri dengeleyememesidir. Bu da sistem veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu problemin çözümü için ise son zamanlarda ek inşaat maliyeti gerektirmeksizin sistem verimini artırabilecek olan sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılmaya başlamıştır.

Bu çalışmada; süt endüstrisi atıksularının arıtımı amacıyla laboratuar ölçekli 3 adet AKR kullanılmıştır. Reaktörlerin 2 tanesi farklı sentetik taşıyıcı malzemeler ile doldurulmuştur. 3.'sü ise klasik AKR olarak çalıştırılmış ve sistem performansları karşılaştırılmıştır.

Kullanılan atıksu ise bir süt endüstrisinin üretim proseslerinden alınan atıksuların belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen kompozit numunedir.

Çalışmada reaktörler içerisinde pH, sıcaklık, Ç.O. ölçümleri, kompozit atıksu ve çıkış atıksu numunelerinde ise KOİ, filtrelenmiş KOİ, NO_3-N, NH_4-N, PO_4, TN, AKM, UAKM analizleri yapılmıştır. Hidrolik bekleme süresi (HRT) 8 gün, çamur yaşı (Θ_c) 5 gün olacak şekilde her 3 reaktörde de aynı HRT, SRT ve organik yüklemelerde çalışılmıştır. Kullanılan süt endüstrisi atıksuyunun KOİ değeri ortalama olarak 17750 mg/L'dir. Klasik AKR'de KOİ giderim verimi %66, kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de %75, linpor taşıyıcı malzemeli AKR'de %56 olduğu gözlenmiştir. AKR, kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR ve linpor taşıyıcı malzemeli AKR'de TP giderimi ise sırasıyla %88, 94 ve 86 olmuştur.

Kladnes taşıyıcı malzemeli AKR'nin klasik AKR'ye göre organik madde gideriminde ve malzeme üzerinde biokütle oluşumunda daha başarılı olduğu gözlendi. Linpor taşıyıcı malzemeli AKR'de ise Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'ye göre malzeme üzerinde biokütle oluşumu daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bunun birçok nedeni olmakla birlikte en önemli nedeni sentetik taşıyıcı malzemelerin porozitelerinin ve yüzey özelliklerinin farklı olması denilebilir.

Anahtar Kelimeler: atıksu arıtımı, ardışık kesikli reaktör, biofilm, süt endüstrisi.

ABSTRACT
M.Sc.Thesis

THE USE OF HYBRID MEDIA IN SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)

FOR THE TREATMENT OF DAIRY WASTEWATER

Arzu KILIÇ
Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering
Supervisor: Asist. Prof. Bilgehan NAS
2006

Jurry: Assoc. Prof. M. Faik SEVİMLİ
Asist. Prof. Bilgehan NAS
Asist. Prof. Ali TOR

Sequencing Batch Reactors (SBR) is a modification of activated sludge process in a which aeration and sedimentation are carried out in a same tank. One of the most imported problems in activated sludge system is that it can't balance rising organic and hydraulic loadings. Owing to this, there is lach of productivity. To solve this problems, lately hybrid media which can increase the productivity of system without additional construction cost started being used.

In this research 3 laboratory scale SBR was used so that we treat the wastewater of dairy industry. The two of reactors are filled with different hybrid media. The third one is run as classical SBR and all the system performances are compared.

The wastewater that was used is a composed sample obtained from a mixture with certain proportions of wastewaters taken from Aygın Süt A.Ş. dairy industry's production processes.

In the research pH, temperature, D.O. measures, composed wastewater analyses was maden in reactors. COD, sCOD, NO_3-N, NH_4-N, PO_4, TN, MLSS, MLVSS analyses was maden in sample of effulent wastewaters. It was studied on all the reactors with the same hydraulic retention time (HRT), solid retention time (SRT) and organic loadings as HRT was 8 days, SRT was 5 days. The COD of dairy wastewater is 17741 mg/L on an average. The COD removal effulent wastewater in classical SBR is %66, in Kaldnes SBR is % 75, in Linpor SBR is % 56. The PO_4 removal of SBR, Kaldnes SBR and Lİnpor SBR is % 88, 94, 86 in respectively.

It is observed that MLSS increase in SBR with Kaldnes hybrid media is more successful than classical SBR. The MLSS existence on the hybrid media in SBR with Linpor has stayed at lower levels. The reason of this is porozite and the surface properties of both two hybrid medias are being different.

Key words: wastewater treatment, sequencing batch reactors, biofilm, dairy industry.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Dünya'da ve Türkiye'de hızla gelişen endüstriyel faaliyetler ve bunların oluşturduğu kirlilik, ekolojik dengenin ve çevrenin korunmasını, bu amaçla da atıksuların arıtımını gerekli kılmaktadır. Kullanılabilir su kaynakları gün geçtikçe artan bir seviyede bilinçsizce kirletilmektedir. Bu kirlenme ile yüzeysel ve yeraltı su kaynakları kullanılamaz hale gelmektedir. Bu sebeple atıksuların arıtımı konusu gündeme gelmekte ve bu konuda ciddi çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Ülkemizde endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımında en yaygın kullanılan yöntem Aktif Çamur prosesi ve modifikasyonlarıdır. Aktif Çamur prosesi karbonlu ve azotlu maddelerin giderimi için oldukça cazip bir sistemdir.

Karbonlu maddelerin giderimi için gerekli oksijen ihtiyacı genellikle Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) ile hesaplanır. Endüstriyel atıksularda oksijen ihtiyacının belirlenmesi için ise daha çok Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) kullanılır. Atıksudaki $BOİ_5$ giderim hızı, BOİ'nin çözünmüş, kolloidal ve askıdaki fraksiyonlarına bağlıdır. Evsel bir atıksu genellikle % 30–40 oranında çökelebilir $BOİ_5$, aynı oranlarda kolloidal $BOİ_5$, % 20–30 oranında ise çözünmüş $BOİ_5$ içerir. Endüstriyel atıksularda ise bu değerler endüstrinin çeşidine göre değişir. İyi bir çıkış kalitesi elde etmek için çıkış suyunda AKM konsantrasyonlarının 15 -20 mg/L değerlerinde olması istenir. Çıkış suyundaki biyokütle $BOİ_5$ konsantrasyonunu da artırır. Bu da özellikle aktif çamurda son çökeltimi zorunlu kılar.

Aktif çamur sisteminde atıksuyun arıtımı için gerekli oksijenin belirli bir kısmı amonyağın nitrata yükseltgenmesinde kullanılır. Burada nitrifikasyon bakterileri olan Nitrosomonas ve Nitrobacter kullanılır. Nitrifikasyon bakterileri gerekli olan enerjilerini amonyağın önce nitrite ve nitritinde nitrata yükseltgenmesi sonucunda elde ederler. Nitrifikasyon ve denitrifikasyonun gerçekleşmesine Sıcaklık, pH, Çamur yaşı (Θ_c), AKM, toksik maddeler gibi birçok faktör etki etmektedir.

Organik ve hidrolik yüklemelerin artması sebebiyle aktif çamur prosesi istenilen verimde çalışmayabilmekte ve azot giderimi için de ek inşaat maliyeti gerekebilmektedir. Bu gibi durumlarda ek bir havuz inşa etmek yerine aktif çamur havuzlarına sentetik taşıyıcı malzemeler ilave edilerek bağlı büyümenin gerçekleşeceği ortamlar oluşturulmakta ve daha ekonomik çözümler elde edilebilmektedir. Ayrıca endüstriyel atıksuların aerobik ve anaerobik olarak arıtımında da sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; bir süt endüstrisinden alınmış atıksuyun ardışık kesikli reaktörlerde (AKR) laboratuar ölçekli arıtılabilirliği ve sentetik taşıyıcı malzemelerin arıtma verimine etkisi araştırılmıştır. Kullanılan atıksu, endüstrinin farklı proseslerinden, her bir prosesten çıkan atıksuya orantılı olarak alınmış ve bir araya getirilerek endüstrinin atıksu karakterizasyonunu temsil edecek değerlerde kompozit hazırlanmasıyla oluşturulmuştur. Çevre Mühendisliği Bölümü Atıksu Analizi ve Araştırma Laboratuarı'nda üç adet AKR düzeneği kurulmuştur. 1. reaktör klasik AKR olarak çalışırken diğer iki reaktöre belirlenen oranlarda sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilmiş, 2. reaktörde KALDNES taşıyıcı malzemesi, 3. reaktörde ise LINPOR taşıyıcı malzemesi kullanılmıştır. Klasik AKR, farklı sentetik taşıyıcı malzemeler ilave edilerek oluşturulan AKR modifikasyonlarının süt endüstrisi atıksularının arıtımındaki performans farklılıkları incelenmiştir. 3 AKR'de de aynı hidrolik bekletme süresi (HRT) ve çamur yaşı (Θ_c) değerlerinde çalışılmış ve sıcaklık, Ç.O, pH değerleri izlenmiştir. Reaktörlerden alınan arıtılmış suda KOİ, filtrelenmiş KOİ, NH_4-N, NO_3-N, PO_4-P, TN değerleri ölçülmüş, reaktörlerde sıcaklık, Ç.O, pH, AKM, UAKM değişimleri gözlemlenmiştir. Elde edilen verilerle her üç AKR'de arıtma verimleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.

1.2. Çalışmanın Önemi

Süt endüstrisi birçok farklı prosese sahip olabilen bir endüstridir. Endüstrinin uyguladığı prosese göre atıksu karakterizasyonu değişmektedir. Bu nedenle ülkemizde ve tüm dünyada süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu çok çeşitlidir. Bu da birçok arıtma alternatiflerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ülkemizde ve Konya'da çok sayıda süt endüstrisi faaliyet göstermektedir.

Süt endüstrisi atıksularının arıtımında klasik aerobik ve anaerobik arıtma metodlarının yanında bu metodların modifikasyonları son yıllarda çok sayıda araştırmada laboratuar ölçekli olarak incelenmektedir. Özellikle bu çalışmalar kapsamında sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanımı hızla artmaktadır. Sentetik malzemelerin kullanıldığı bu sistemler ile daha yüksek organik ve hidrolik yüklemelerde çalışılabilmekte, azot giderimi için ek inşaat gerektirmemekte ve azot giderimi verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte sistem şok ve toksik yüklemeler karşısında oluşabilecek problemleri minimize edebilmektedir.(Sriwiriyarat, 1999)

Kullanılan bu sentetik taşıyıcı malzemeler polietilen olabildiği gibi süngerimsi yapıda olanları da vardır. Yine bu süngerimsi malzemelerin (Linpor) kullanıldığı tam ölçekli sistemlerde bulunmaktadır. Bu tür çalışmalara örnek olarak Batı Virginia'daki Moundsville (Golla ve ark. 1993), Wyr atıksu arıtma tesisi (Morper ve ark.1989) ve Amerika'daki Cox Creek atıksu arıtma tesisi (Sen ve Randall, 1994) Texas Borger'da PHILLIPS petrol şirketinin kullandığı Kaldnes taşıyıcı malzemeli MBBR sistemi, USA New Mexico'da LEPRINO FOOD şirketinin kullandığı Kaldnes taşıyıcı malzemeli MBBR sisteminden bahsedilebilir.

Süt endüstrisi atıksularının üretim prosesine ve üretim çeşitliliğine bağlı olarak karakterizasyonlarının çok farklılık ve salınım göstermesi ve yüksek organik kirlilikler içermesi, bu gibi durumlarda avantaj sağlayabilecek sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktöre ilave edilmesi uygulamasını ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizin en yaygın endüstrilerinden ve kirletici özellikleri açısından da en önemli endüstrilerinden olan süt endüstrisi atıksularının klasik ardışık kesikli reaktör ve hareketli biofilm ardışık kesikli reaktörlerde arıtılabilirliği araştırılacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde çalışmada kullanılan, aktif çamur prosesinin, ardışık kesikli reaktörlerin, sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak işletimi bu proseslerin kullanımı, uygulaması ile ilgili çalışmalar, sistemin avantaj ve dezavantajları üzerine yapılan araştırmalar yer almaktadır.

2.1. Süt Endüstrisi

2.1.1 Genel özellikleri

Süt endüstrisi, ham sütü işleyerek içme sütü ve diğer yan ürünleri üreten bir gıda endüstrisi koludur. Üretilen ürünler çok çeşitlidir. Bunlar;

- İçme sütü,
- Peynir,
- Tereyağı,
- Süt tozu,
- Krema,
- Dondurma,
- Yoğurt,
- Ayran' dır.

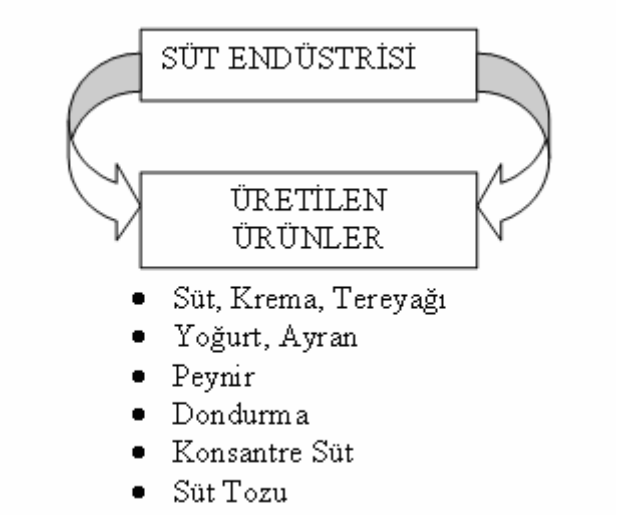
Endüstrinin hammaddesi ham süttür. Ham madde kaynağı, besiciliğin yapıldığı, sabit verime sahip süt üretim tesisleridir. Bu nedenle Türkiye'de besiciliğin yaygın olduğu bölgelerde süt endüstrileri de yaygınlaşmıştır.

Endüstri süt alımı ve süt üretimi olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Süt alımı ünitesini takiben süt işleme ünitesi gelir.

Süt işleme üniteleri;

- Şişeleme ünitesi,
- Hazır süt, -Krema- Tereyağı üretimi,
- Yoğurt – Ayran üretimi,
- Peynir üretimi,
- Dondurma üretimi,
- Konsantre süt üretimi,
- Süt tozu üretimi,
- Peynir suyu yoğunlaştırılması,
- Peynir suyu kurutulması, ünitelerinden oluşur.

Aşağıdaki şekilde bir süt endüstrisinin üretilen ürün çeşitleri verilmektedir.



Şekil 2.1. Bir süt endüstrisinde üretilen ürünler.

Süt endüstrisinde atıksular hem üretim proseslerinden hem de süt alımı ve şişeleme ünitelerinden oluşur.

Süt Alım Prosesinde; üreticilerden ham süt toplanır. Süt tartım fıçılarına boşaltılır, numuneler alınarak fabrikalara gönderilir. Süt güğümleri, depolama tankları, yerlerin yıkanmasından ve soğutma sistemlerinden gelen sulardan atıksular oluşur.

Şişeleme ünitesinde**;** ham süt tartılır, saflaştırılır ve filtrelenir. Pastörize edilip soğutulur ve ambalajlanır. Şişe, güğüm, tank ve benzeri yerlerin temizlenmesi sırasında atıksu oluşur.

Krema üretim ünitesinde**;** kremalı süt, ekşi / tatlı kremadan tereyağı üretilir. Kremayı sütten ayırmak için süt santrifüjlenir. Kremasız süt ihtiyaç duyulan proseslere gönderilirken, krema karıştırılarak tereyağı üretilir. Yerlerin yıkanması, aletlerin temizliği sırasında atıksu oluşur.

Peynir üretim ünitesinde**;** kremalı / kremasız süt ve krema peynir kalıplarına doldurulur ve mayalanır. Ayrıca asit ve ekşitici maddeler ilave edilerek kazeinin kaymak halinde ayrılması sağlanır. Kalıplardaki peynir şekillendirilerek ambalajlanır.

Ünitede bulunan en önemli atıksu kaynağı peynir altı suyudur. Ancak peynir altı suyu kurutularak tekrar kullanılabilmektedir. Bu nedenle atıksu olarak verilmekten ziyade hazır gıda üretiminde (bisküvi, çikolata vb.) tekrar kullanılmaktadır.

Dondurma üretim ünitesinde; kremalı ve kremasız süt, katkı maddeleri, şeker ve kıvam artırıcılar karıştırılır. Pastörize edilip soğutulduktan sonra aromalar eklenerek ambalajlanır. Ünitede, temizlik ve dezenfeksiyon sırasında deterjan ve dezenfektan içerikli atıksular oluşur.

Koyulaştırılmış süt üretimi; kremalı ya da kremasız süt buharlaştırılarak konsantre süt elde edilir. Bu teknikle; ısıtılmış yağlı süt buharlaştırılıp homojenize edilerek şekersiz süt elde edilir. Tatlı (kondense) süt de bu yöntemle elde edilir.

Süt tozu üretiminde; süte vakum uygulayarak ya da püskürterek kurutup süt tozu elde edilir. Yağsız süt de bu tekniklerle elde edilir.

2.1.2. Atıksu kaynakları

Dünyada ve ülkemizde süt endüstrisi atıksularının kirlilik derecesi çok fazla değişiklik göstermektedir. Üretim prosesine göre süt endüstrisi atıksularının karakteristiği de değişir.

Çizelge 2.1'de Turan (2000) tarafından yapılan bir araştırmada süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu verilmiştir.

Çizelge 2.1. Süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu (Turan, 2000).

Parametre	**Atıksu Giriş Değerleri**	**Atıksu Çıkış Değerleri**
KOİ, (mg/L)	2,000–10,000	55–500
$BOİ_5$, (mg/L)	1,300–1,500	45
TSS, (mg/L)	8000–1,000	85
Toplam P, (mg/L)	-	4,1
Toplam N, (mg/L)	40–65	20
Yağ ve Gres, (mg/L)	-	35
İletkenlik, µS/cm	1,800–2,000	1,750
Bulanıklık, NTU	120–300	1,5

İşletmelerden çıkan atıksularının hacminin % 60-90'ı soğutma suyu kaynaklıdır. Kalan kısım yıkama suları ve diğer proseslerden kaynaklanan atıksulardır. Bunlar;

- Süt alım tesislerinde, yıkama ve çalkalama işlemleri,
- Dikkatsizce yapılan hammadde dökülmeleri,
- Dezenfeksiyon işlemleri ve bu sırada kullanılan dezenfektan maddeler,
- Aletler ve tanklardan dökülen tortular,
- Proses yıkamaları,
- Kazein tesisi atıkları,

- Buharlaştırıcıdan gelen kondensat,
- Yoğunlaştırıcılardan gelen soğutma suları.

İşletmelerde üretim esnasında kullanılan suyun bir kısmı veya tamamı işlevini tamamladıktan sonra atıksu olarak deşarj edilmektedir. Süt endüstrisi atıksuları prosese göre değişmekle birlikte genellikle çok yüksek $BOİ_5$ değerine sahip sulardır. Endüstrilerde ana su kirleticileri; süt ve yağ atıklarıdır. Dezenfeksiyondan gelen deterjan, soda gibi kimyasal maddelerde yan kirleticilerdir.

2.1.3. Süt endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılan yöntemler

Süt ve süt ürünleri üreten işletmelerde atıksu arıtımından önce katı atıkların ayrılması, atıkların, yan ürünlerin ve kullanılan fazla suyun tekrar kullanımı gibi önlemler alınabilir. Atıksu miktarını ve kirlilik yükünü azaltmak üzere süt sanayinde alınacak önlemler şöyle sıralanabilir;

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

Süt endüstrisi atıksuları çok büyük oranda organik nütrient çözeltilerinden oluşmuştur. Bu nedenle aerobik proseslerle arıtılmaları oldukça kolaydır. Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri, havalandırmalı lagünler, damlatmalı filtreler en sık rastlanan arıtma teknolojileridir. Bununla birlikte son yıllarda gelişen teknoloji ve yapılan çalışmalarda ki artışla birlikte süt endüstrisi atıksularının arıtımında anaerobik sistemlere de çokça rastlanmaktadır.

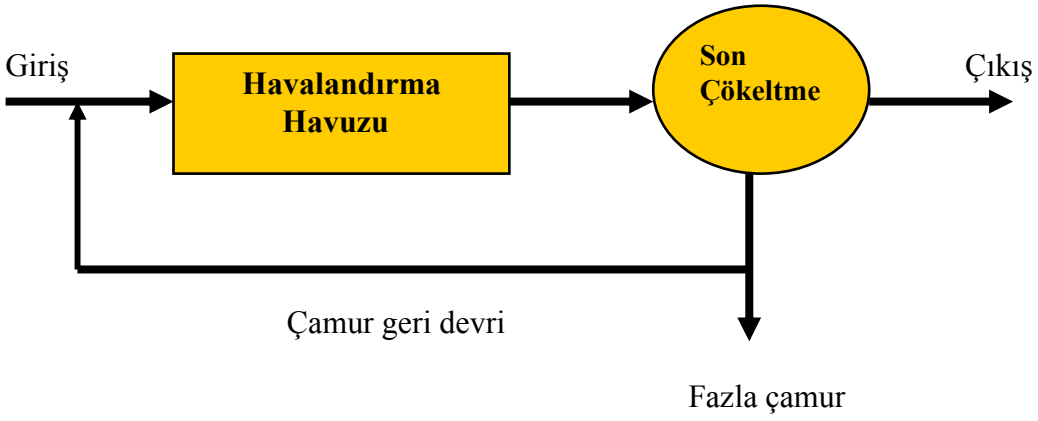
2.2. Aktif Çamur Süreci

2.2.1. Proses tanımı

Aktif çamur, organik ve inorganik maddeler içeren atıksu ile hem canlı hem de ölü mikroorganizmaların karışımıdır. Aktif çamur süreci, mikroorganizmaların organik maddeyi oksijen kullanarak ayrıştırmaları esasından yararlanılarak geliştirilen bir aerobik biyolojik arıtma sistemidir**.**

Arıtma, ayrışma için oksijene ihtiyaç duyan maddelerin mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ile son ürünlere dönüştürülmesi ve yüksek kalitede çıkış suyunun elde edilmesine yöneliktir.

Aktif Çamur süreçleri ikincil arıtımda yer alır ve genellikle kendisinden önce yer alan bir ön çökeltme havuzuna sahiptir. Şekil 2.2.'de tipik bir aktif çamur prosesi görülmektedir.



Şekil 2.2. Klasik aktif çamur prosesi akış diyagramı.

Aktif Çamur prosesinde hücre büyümesi için gerekli olan karbon kaynağı organik madde, son ürünlere dönüştürülür. Havalandırma havuzu içerisindeki karışık sıvı askıdaki katı madde konsantrasyonu (AKM) olarak tanımlanır. Katı madde, biyokütleden, giriş atıksuyundan gelen ve iç solunumda üretilen biyolojik olarak

parçalanamayan uçucu organik maddeden ve giriş atıksuyundan kaynaklanan inert organik toplam katı maddeden oluşur.

Mikroorganizmaların % 70-90'ı organik, geri kalan kısmı ise inorganik yapıdadır. Hücrelerin tipi, atıksuyun kimyasal bileşimine ve biyolojik kütledeki organizmaların özelliklerine bağlıdır (Ertuğrul, 2004).

Arıtma sonrası arıtılmış su içerisindeki askıdaki katı maddenin (AKM) uzaklaştırılması için en yaygın olarak kullanılan yöntem çökeltme yöntemidir. Çıkış suyu kalitesinin iyi olması için son çökeltme havuzunun iyi tasarlanması gerekir. Arıtılmış su içerisindeki $BOİ_5$ değerini oluşturan en önemli bileşen sistemden kaçan AKM'dir. Bu nedenle son çökeltme havuzu aktif çamur süreci ile ele alınması gereken önemli bir ünitedir (Toprak, 1999).

Aktif çamur prosesleri genellikle karbonlu organik maddelerin ayrıştırılmasında kullanılır. Bunun yanı sıra sistem azot ve fosfor giderimi için de kullanılmaktadır.

Sürecin tasarımında çamur yaşı (Θ_c), mikroorganizma oranı (F/M), hidrolik bekletme süresi (HRT) ve askıda katı madde konsantrasyonu (AKM) kullanılır.

Aktif çamur sistemleri çamur yaşı esas alınarak farklı işletme şartlarında çalıştırılabilirler. Çamur yaşı sistemdeki mikroorganizma birim kütlesi başına, bir günde verilen organik yükün ifadesidir. İşletme ve tasarım parametresi olarak geniş bir şekilde kullanılan çamur yaşı, biokütlenin sistemdeki bekleme süresidir. Farklı işletme şartlarında çamur yaşı da değişkenlik göstermektedir:

- Yüksek Hızlı Aktif çamur sistemi F/M değerinin en yüksek değerinde çalışır. Çamur yaşı 0,4–1,5 gündür.
- Klasik Aktif çamur sistemi en fazla kullanılan tiptir. Çamur yaşı 5–15 gündür. İyi kalitede çıkış suyu verdiği gibi şok yüklemelere de dayanıklıdır.
- Uzun havalandırma A.Ç. sistemleri en kararlı ve en az yükte çalışan sistemdir. Çamur yaşı 20-30 günün üzerindedir (Metcalf&Eddy, 2003).

Süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında en çok kullanılan yöntem aktif çamur prosesidir. Deneyimler 15–40 saat gibi uzun hidrolik bekletme sürelerinin en başarılı sonuçları verdiğini göstermiştir. İşletilmesi zor olmasına karşın, yüksek BOİ giderim verimleri vardır.

Kesikli doldur-boşalt aktif çamur sistemleri de süt endüstrisi atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu proseslerde de akım ve yük dağılımlarını kontrol etmek için uzun bekletme süreleri uygulanır. Aktif çamur sistemlerinin dezavantajı süt endüstrisi atıksularının arıtımından kaynaklanan çamurun uzaklaştırılma sorunudur. Bir diğer problem ise çamur kabarmasıdır. Bu durumda ÇHİ 100–300 değerine kadar yükselebilir. Yetersiz havalandırma ya da çok yüksek veya çok düşük AKM değerleri buna neden olabilir.

2.2.2. Aktif çamur prosesinde mikroorganizma gelişimi

Aktif çamur sistemlerinde genellikle mikroorganizmalar, %70-90 oranında organik, %10-30 oranında ise inorganik maddelerden meydana gelmişlerdir. Aslında aktif çamur; bakteri, protozoa, rotifer ve bazı solucan, bakteri ve mantarları içeren karışık bir kültürdür. Mikroorganizmaların özellikleri beslenildiği atıksuyun kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Aktif çamur sistemlerinde baskın olarak görülen mikroorganizma türleri şunlardır:

Bakteriler: Tek hücreli olup aktif çamur prosesinde faaliyet gösteren ana mikroorganizmalardır. Hücreler üç şekilden birine sahiptir:

- kokkus- yuvarlak veya elips,
- basillus-silindirik veya çubuk,
- sprillum- spiral veya tirbuşon şeklindedirler.

Atıksuda en önemli bakterilerden biri E.koli bakterileridir ve bu bakteriler insanların ve sıcakkanlı hayvanların bağırsaklarında bulunur. Her insandan günde yaklaşık 200 milyar E.coli çıkmaktadır.

Uzun Flamentler: Aktif çamur havuzunda Uzun Flamentlerin birçok türü bulunabilmektedir. Genellikle çamur floklarında az miktarda bulunurlar. Bu flamentler flok partiküllerinin bir arada tutulmasına yardımcı olurlar. Çamur kabarması, gerekli flament türlerinin gerekli miktardan fazla olması halinde oluşur.

Protozoalar: İndikatör organizmalar olarak isimlendirilebilirler. Bunların varlığı veya yokluğu aktif çamurdaki bakteri miktarını ve arıtma derecesini göstermektedir. Aktif çamurda en fazla rastlanan türleri;

- **Amipler:** Birçok aktif çamur sisteminde düşük miktardadırlar. Amipler, tesisis ilk işletmeye alma döneminde sistemin alt üst olduğu zamandan iyileşme görülmeye başladığı zamana kadar ve sistemin yüksek F/M'de çalıştığı durumlarda görülür.
- **Mastigofora:** Bu küçük mikroorganizmalar yüksek F/M oranında baskın hale geçerler. Mastigofora'nın varlığı karışmış süspansiyonda havalandırma bölgesinde Ç.O'nin düşüklüğünü göstermektedir. Bu tür mikroorganizmaların varlığı yüksek F/M ve düşük çamur yaşını göstermektedir.
- **Serbest yüzen silliler:** Aktif çamurda yüksek miktarda bakteri olması halinde baskın hale geçerler. Bunların varlığı prosesin stabil hale yaklaştığını göstermektedir.
- **Saplı silliler:** Çamur yaşının artması ile diğer organizmalara ev sahipliği yapan kolonilerde tek sap ile çoğalırlar. Saplı sililerin varlığı düşük bulanıklı çıkış suyunun oluşumunu sağlayan kararlı hali göstermektedir.
- **Suctoria:** Bu mikroorganizmalar çoğunlukla uzun havalandırmalı sistemlerde ve yüksek çamur yaşında eski çamurun varlığını göstermektedir.

Rotiferler: Yüksek miktarda bakteri tüketirler ve flok parçaları gibi katı partiküller ile beslenirler. Aktif çamurdaki en yaygın rotiferlerin boyutu 400-600 mikron arasında değişmektedir. Rotiferler bulanık çıkış suyu ile yüksek çamur yaşında eski aktif çamurun bir göstergesidir.

Solucanlar: Aktif çamurdaki solucanlar hakkında fazla bilgi yoktur. Solucanlar aerob bakteriler tarafından kısıtlayıcıdırlar ve diğer mikroorganizmalar tarafından metabolize olmayan organik maddeleri metabolize edebilirler. Genellikle uzun havalandırma tesislerinden gelen çamurda görülürler (Topacık, 2000).

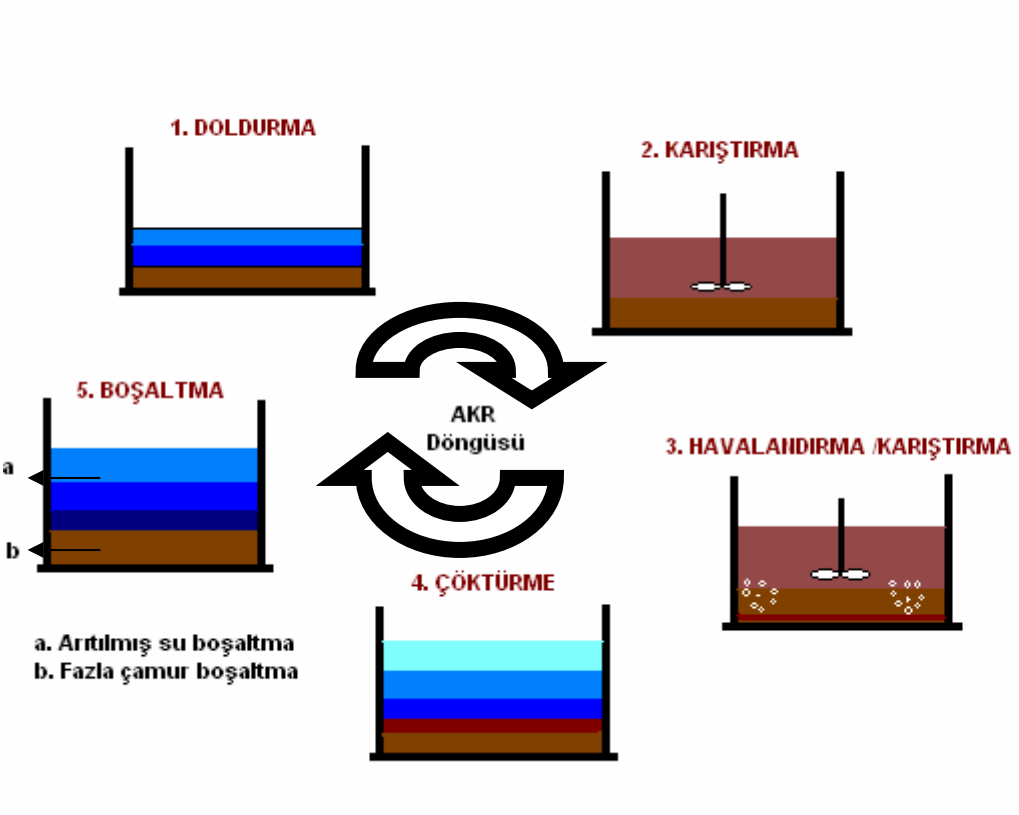
2.3. Ardışık Kesikli Reaktörler

Aktif çamur prosesinin bir modifikasyonudur. Tam karışımlı, doldur-boşalt tipte reaktörlerdir. Havalandırma ve çökeltim aynı tankta gerçekleşir.

Tipik bir AKR döngüsü 5 aşamadan oluşur.

1. Doldurma,
2. Reaksiyon (Karıştırma veya karıştırma + havalandırma),
3. Çökelme,
4. Atıksu Boşalma,
5. Çamur Boşalma.

Şekil 2.3.'de AKR döngüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.3. AKR'de döngü.

1. Safha Doldurma: Bu safhada AKR tankı atıksu ile doldurulur. Uygun bir F/M oranı ile atıksu tanka kontrollü ve yeterli hızda verilir.

2. Safha:

- **Karıştırma:** Bu safhada anoksik ortamın oluşturulması için sadece karıştırma işlemi yapılır ve daha çok denitrifikasyon amaçlıdır. Sistemde amaçlanan giderime göre uygulanmayabilir**.**
- **Havalandırma/Karıştırma:** Bu safhada havalandırma ve karıştırma etkisiyle atıksuyun tank içerisindeki mikroorganizmalarla teması sağlanır. Organik madde mikroorganizmalar yardımıyla oksitlenirken, mevcut NH_4-N ise daha az toksik olan NO_3-N ve NO_2-N formuna dönüşür. Bu safhada havalandırma periyodunun uzunluğu ve AKM değeri, arıtma verimini belirler.

3. Safha Çöktürme: Bu aşama boyunca havalandırma ve karıştırma durdurulur ve çamur çökelir. Çamur tabakası üzerinde arıtılmış su kalır. Çamur çökelme süresi günde uygulana döngü süresine bağlı olarak 45–60 dk arasında değişir.

4. Safha Boşaltma: Bu safhada çöktürme sonrası arıtılmış su çökelen çamur ile karıştırılmadan tank içerisinden uzaklaştırılır.

5. Safha Çamur Boşaltma: Sistemde oluşan fazla çamur operasyon boyunca periyodik olarak çamur yaşı sağlanacak şekilde çekilir.

AKR sisteminin işletimde bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları olarak;

- Basit ve güvenilirdir.
- Geniş debi salınımları için idealdir.
- Yüksek çıkış suyu kalitesi elde edilir.
- Azot giderimi için işletme esnekliği sağlar.
- Ön çökeltim ve son çökeltim havuzu gerektirmez.
- Klasik biyolojik atıksu arıtma yöntemlerinden daha düşük maliyet gerektirir.
- Daha az arazi ihtiyacı vardır.
- Geniş aralıkta hidrolik ve organik yükleme imkânı verir.
- Kullanılan ekipmanın az olmasından dolayı daha az bakım ihtiyacı gerektirir.
- Fiberglas veya betonarme olarak inşa edilebilir.
- Günlük veya mevsimsel atıksu yüküne bağlı olarak gerekli sayıda reaktör ilave edilebilir veya devreden çıkarılabilir.
- Karbonlu madde giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon yüksek bir verimle tek bir tankta yürütülebilir.
- Çamur geri devri söz konusu değildir. Bu nedenle pompa ihtiyacı yoktur.
- Uzaktan kontrol edilebilir ve operasyon değişiklikleri kolayca gerçekleştirilebilir.

Dezavantajları olarak ise;

- Döngü sürelerinin, küçük yerleşim birimleri için ayarlanması zordur.
- Çamur sık sık uzaklaştırılmalıdır.
- Enerji tüketimi yüksektir (Ertuğrul, 2004).

2.3.1. AKR'lerin tasarım kriterleri

AKR kullanımında çoğunlukla önceden boyutlandırılmış paket AKR tesisleri kullanılmakla birlikte, gerekli ekipmanların sağlanması ve boyutlandırma yapılması ile de AKR'ler tasarlanmaktadır. Henüz AKR'ler için standart bir yöntem geliştirilmemiş olmakla beraber, kullanılan dizayn kriterleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir. Ancak litaratürde, yapılan çalışmalarda tabloda verilen F/M değerlerinin dışında farlı değerlerde de çalışmalar yapılmıştır ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.2. AKR sistemi için genel dizayn kriterleri (EPA, 2000).

Parametre	**Aralık**
Toplam Tank Hacmi	Günlük toplam debiyi 0,5–2 kez arıtacak hacim
Tank sayısı	Tipik olarak 2 ya da daha fazla
F/M (kg $BOİ_5$ /kg UAKM. gün)	0.04–0,2
SRT (Solid retention time) (gün)	20–40
Döngü süresi (saat)	4–12 (tipik olarak)
Havalandırma şekli	Difüzör, yüzeysel havalandırıcılar… vb.

AKR'de proses dizaynında aşağıdaki aşamalar sırayla uygulanabilir;

- Atıksu karakterizasyon verileri, çıkış suyu konsantrasyonları ve emniyet faktörü belirlenir.
- AKR tank sayısı belirlenir.
- Reaksiyon/havalandırma, çökeltim ve boşaltım süreleri belirlenir. Doldurma süresi ve toplam döngü süresi hesaplanır, günde yapılacak döngü sayısı belirlenir.
- Gündeki toplam döngü sayısından, her döngüdeki dolu hacim belirlenir.

- AKM konsantrasyonu seçilir ve toplam tank hacmine göre doldurma hacimleri belirlenir. Boşaltım derinliğine karar verilir, bu derinliğe göre AKR tank hacmi belirlenir.
- Çamur yaşına karar verilir.
- Nitrifiye olacak olan TKN konsantrasyonu hesaplanır.
- Biokütle konsantrasyonu hesaplanır ve havalandırma süresi seçilir.
- Dizaynı ayarlamak için gerekirse iterasyonlar yapılabilir.
- Boşaltım pompalama hızı belirlenir.
- Gerekli oksijen ve transfer hızı belirlenir.
- Çamur üretim miktarı belirlenir.
- F/M ve BOİ yüklemesi hesaplanır.
- Gerekli olan alkalinite belirlenir.

2.4. Aktif Çamur Sürecinde Bağlı Büyüme İçin Sentetik Taşıyıcı Malzemelerin Kullanıldığı Prosesler

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte aktif çamur sistemlerin de istenen verimliliğin sağlanamamasından dolayı performans artırımına yönelik çalışmalar sürmektedir. Bu çalışmalardan biri de aktif çamurda havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesidir. Burada amaç askıda büyümenin yanında bağlı büyümenin de gerçekleştirilerek mikroorganizma konsantrasyonunu artırmak arıtma verimini en iyi hale getirmektir.

Sıkça kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerden bazıları şunlardır.

- LINPOR,
- KALDNES,
- CAPTOR,
- FLOCOR –RPM,
- RINGLACE.

Sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri Çizelge 2.3.'te verilmektedir.

Çizelge 2.3. Sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri. [1, 2]

Sentetik Taşıyıcı Malzemenin Adı	Cinsi	Spesifik Yüzey Alanı (m^2/m^3)	Yoğunluk (kg/m^3)	Boyutları (mm)	Doluluk Oranı (%)
Kaldnes K1	Polietilen	500	960	h/d = 7/9	30-70
Flocor-rpm	Polietilen	160	960	h /d = 30/15	30-70
Linpor	Poliüretan	*	950	10 x 10 x 10	10-30
Captor	Poliüretan	*	950	30 x 25 x 25	20-30
Ringlace	PVC	120-500	*	d = 5	25-35

* veri yok

Bu bölümde çalışmada kullanılan LINPOR ve KALDNES sentetik taşıyıcı malzemeleri hakkında detaylı bilgi verilecektir.

2.4.1. LINPOR®

LINPOR prosesi 1970'lerin ortalarında Linde AG tarafından geliştirilmiş, 1980'lerden bu yana da Avrupa'da kullanılmaktadır. Sistem pilot ölçekli tesislerde ve tam ölçekli tesislerde atıksu arıtımında arıtım kapasitesini artırma amaçlı kullanılmaktadır. Sistem özellikle biomas artışında ve çıkış suyu kalitesinin artırılmasında etkilidir.

2.4.1.1. LINPOR® teknolojisinin ana karakteristikleri

LINPOR® teknolojisinde, yüksek poroziteye sahip yüzücü maddeler, klasik aktif çamur prosesine bağlı büyüme mikroorganizmaları için taşıyıcı olarak ilave edilirler. LINPOR® küpleri aktif çamur proseslerinin havalandırma havuzlarının %10 ile 30'u civarında yer kaplar. Kullanılan sentetik taşıyıcı malzeme LINPOR®'un boyutları ise 1x1x1 cm'dir. Yoğunluğu 950 kg/m^3'dür (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Sentetik taşıyıcı malzeme (LINPOR®).

Küpler üzerindeki bağlı biyokütle ile tanktaki toplam biyokütleyi önceki değerinin iki katına çıkarabilirler. Aynı zamanda sistem daha yüksek toplam çamur yaşını ve daha düşük çamur yüklemelerini dengeler. Tanktan LINPOR küplerinin ayrılması (kaçması) elek ile önlenir. Böylece arıtma tesisinin bundan sonraki bölümünde özel bir önlem almaya gerek kalmaz. Şekil 2.5.'de bir aktif çamur havalandırma havuzunda ki LINPOR® küpleri görülmektedir.



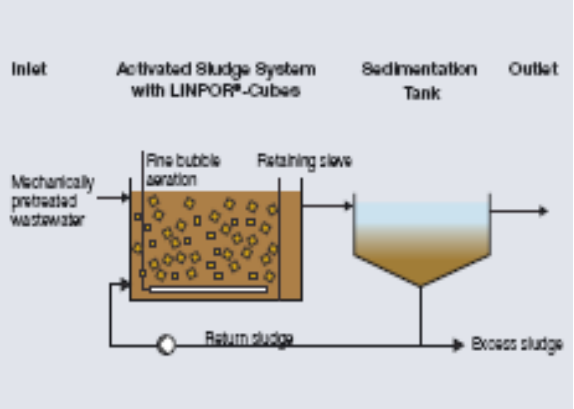
Şekil 2.5. Aktif çamur havalandırma havuzunda LINPOR® küpleri, Almanya.

Klasik aktif çamur proseslerinin tank ve mekanik ekipmanları LINPOR sistemlerinde de kullanıldığından dolayı bu teknolojinin, ilave bir inşaat çalışması gerektirmeksizin tesislerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılabildikleri gibi yeni arıtma tesislerine uygulanmaları da mümkündür.

2.4.1.2. Çeşitli LINPOR® uygulamaları

- LINPOR®- C;

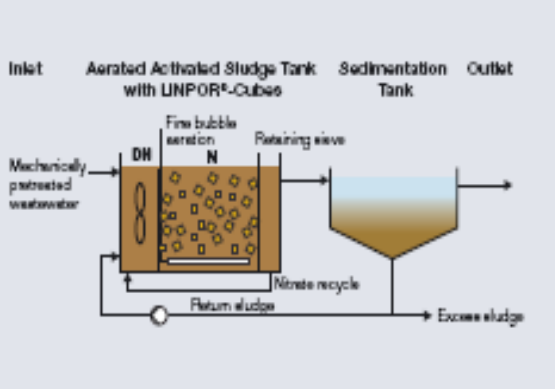
Biyolojik arıtım uygulayan endüstrilerde arıtımla ilgili sorunların çözümünde avantaj sağlar (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. LINPOR®- C uygulamaları.

- LINPOR®- CN;

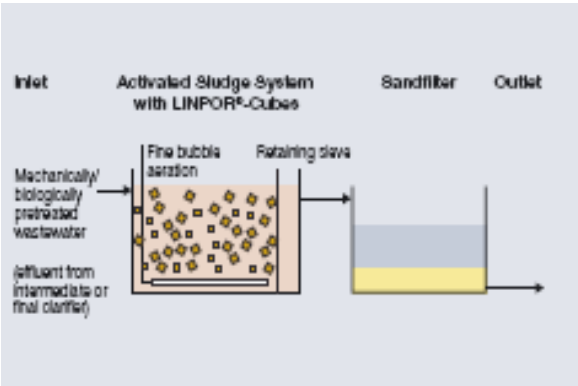
Özellikle evsel atıksuların arıtımında caziptir. Karbon gideriminin yanında azot giderimi de verimli bir şekilde gerçekleştirilir. Sistemde nitrifikasyon ve denitirifikasyon adımları, yeni tank inşasına gerek kalmadan planlanabilir. Buna ek olarak, tesiste geçici çözümler hızlı bir şekilde ekonomik olarak planlanabilir (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. LINPOR®- CN uygulaması.

• LINPOR®- N;

Bu prosesler sadece bağlı biyokütle ile çalışır ve bu üniteyi takip eden ne çökeltme tankı ne de geri dönüş çamur sistemi gerektirmez. Bu prosesler biyolojik olarak zor parçalanabilen maddelerin yüksek verimde giderimi ile nitrifikasyon için kullanılır. Atıksu kum filtresi arasından geçerken su ile katı maddelerin tamamen ayrılması sağlanır (Şekil 2.8.). Buna ek olarak, çıkıştaki fosfor konsantrasyonu kimyasal çökelme ile azaltılabilir (Metcalf & Eddy, 2003).



Şekil 2.8. LINPOR®- N uygulaması.

LINPOR Prosesinin kullanıldığı sistem için birçok avantajları vardır.

Avantajları;

- Tank kapasitesini artırarak çıkış suyu kalitesini iyileştirir.
- Yer ihtiyacını minimuma indirir**.**
- Birçok tesise uygulanabilir.
- Nitrifikasyon bakterilerinin yıkanmasını önler.
- Son çökeltim havuzu ihtiyacını ortadan kaldırır.

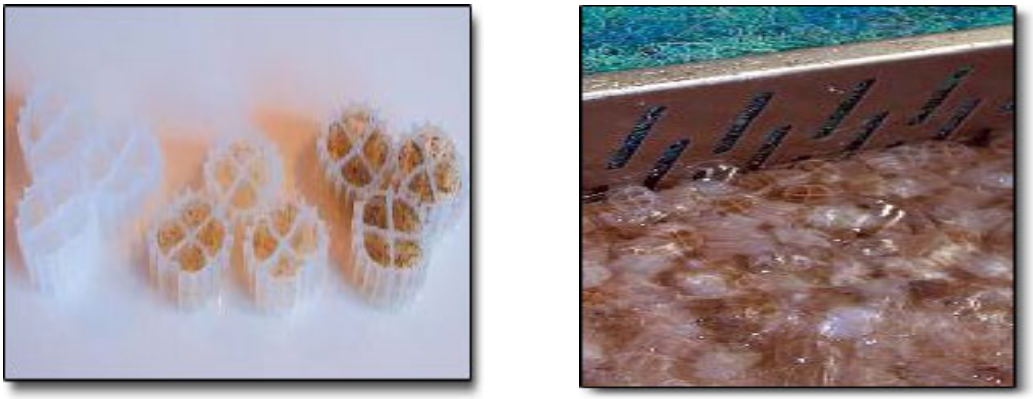
Dezavantajları ise;

- Dünyadaki tüm uygulamalar için kullanılabilir yeterli veriler yoktur.

2.4.2. KALDNES®

Proses ilk olarak bir Norveç firması tarafından hareketli yatak biofilm reaktöründe (MBBR) geliştirilmiştir. Proses, biofilm büyümesini desteklemek için havalandırılmış veya havalandırılmamış tankta küçük silindirik şekilli polyethylene taşıyıcı elementleri içermektedir. Bu küçük silindirler yaklaşık olarak 10 mm çapında ve 7 mm yüksekliğindedir. Dolgu malzemesinin iç spesifik yüzey alanı 500 m^2/m^3'dir (Şekil 2.9.). Dolgu malzemesinin sürekli olarak sirküle edebilmek için hava karıştırması veya mikserler kullanılır. Dolgu malzemesi, tank hacminin %30-70'ini doldurur.

MBRR'de aktif çamur geri döngüsüne gerek yoktur. Son çökeltim sadece çamuru çökeltmek için kullanılır. MBRR prosesi mevcut durumda çökeltme havuzları üzerine olan katı yüklemesini azalttığından dolayı avantaj sağlar. Dolgu malzemesinin varlığı ile daha küçük kabarcıklı havalandırma ekipmanı kullanma gereksinimi azalır.



Şekil 2.9. KALDNES® taşıyıcı malzeme.

Süt endüstrisi atıksularının aerobik biyolojik arıtımı ile ilgili çalışmalara sıkça rastlanmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde son zamanlarda sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanımında bir artış olduğu görülebilir.

Anaerobik-aerobik biyolojik atıksu arıtma sistemi kullanarak peynir altı suyunun arıtılabilirliğini çalışan Lo ve ark. (1987), ise çalışmalarında anaerobik biyolojik kontakt disk ve aerobik ardışık kesikli reaktörler kullanmışlardır. Bu iki sistemin kombinasyonu ile oldukça yüksek KOİ giderme verimi ile metan gazı elde etmişlerdir.

Carta ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada sentetik süt atıksuyu ile aerobik biyolojik arıtım çalışması yapmışlardır. Reaktör hacmi 80 L'dir ve sıcaklık 30 ^{o}C'de sabit tutulmuştur. Bakteri kültürü, süt karışımı ve su reaktör içerisine verilmiştir. Adaptasyon sağlandıktan sonra sistem işletilmeye başlanmıştır. Farklı debilerde (8, 10, 12,6 L/gün) farklı Hidrolik bekletme süreleri (6, 8, 10 gün) ile çalışılmıştır. Çalışma sonunda % 92–98 KOİ verimi elde edilmiştir. Reaktörün optimum performansı yaklaşık olarak 20 günden sonra elde edilmiştir. Çıkış suyunda amonyum, nitrat ve nitrojen değerleri düşük değerlerdedir.

Son yıllarda geliştirilen ve kullanımı yaygınlaşan sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı bir çalışmada Cannon ve ark. (2000), tarafından yapılmıştır. Çalışmada süt endüstrisi atıksularının arıtımı amacıyla pilot ölçekli bir bioreaktör geliştirilmiştir. Geliştirilen bu 2 adet reaktör seri veya paralel çalıştırılabilmektedir. Fiberglass malzemeden üretilen reaktörün çapı 0,5 m, yüksekliği 2,4 m ve hacmi 400

L'dir. Reaktör yukarı akışlı olarak tasarlanmış ve işletilmiştir. Reaktördeki paket yatak 1,2 m yüksekliğindedir ve difüzörlerin 40 cm'e üzerine yerleştirilmiştir.

Paket yatakta 5 cm çapında ve 100 m^2/m^3 yüzey alanına sahip Pall Rings (PVC veya PP malzeme) ve 2 cm çapında, 230 m^2/m^3 yüzey alanına sahip Flocor RS (PVC malzeme) malzemeleri kullanılmıştır. Çalışmada organik yüklemenin 0,7 kg $BOİ_5/m^3$.gün' den aşağı, HRT'nin de 4 gün seviyelerinde tutulmasının nitrifikasyonun gerçekleşmesi için uygun olacağı bildirilmiştir.

Turan ve ark. (2000), ise Nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) membranları kullanarak süt endüstrisi atıksularının arıtılması ve geri kazanımı için çalışmışlardır. Pilot tesis çalışması, 2 m^2 yüzey alanı olan film kompozit tip NF (TFC-S) ve RO (TFC-HR) membranları ile yürütülmüş, sistem akışölçer, basınç sensörleri, kartuş filtre ve pompalar ile donatılmıştır. Her bir membranın besleme girişi ve süzüntü çıkışında bulanıklık, iletkenlik, KOİ, AKM ve toplam sertlik değerleri ölçülmüştür.

NF'deki KOİ giderimi % 95–98 ve RO'daki KOİ giderimi % 97–99 değerlerinde yüksek mertebededir. AKM giderimi, NF için % 99–100 arasında iken RO için %100 giderme sağlanmıştır. Membran proseslerinin süt endüstrisinde gerek arıtma tesisi öncesi gerekse çıkış suyunda uygulanabilirliği gösterilmiş ve üretilen suyun tekrar kullanılabilme potansiyelinin bulunduğu ortaya konmuştur.

Membran ardışık kesikli reaktörlerin kullanıldığı bir başka çalışmada ise Tae-Hyun ve ark. (2003), süt endüstrisi atıksularının arıtımını 60 L hacmindeki membran ardışık kesikli reaktör (MAKR)'de çalışmışlardır. Bir AKR reaktörünün içine yüzey alanı 1,0 m^2 olan, 0,1 μm polysulphoneden yapılmış membran modülü yerleştirilmiştir. Membran modülün hemen altına yerleştirilen difüzör sistemi ile reaktör havalandırılmış ve bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Kullanılan atıksuyun $BOİ_5$ değeri 2500 mg/L'dir. Reaktör 0,22 F/M oranında çalıştırılmıştır. Reaktör 110 gün çalıştırılmış ve % 97- 98 BOİ, % 96 TN ve % 80 fosfor giderme verimi elde edilmiştir.

AKR sisteminin kullanıldığı bir başka çalışma da Arrojo (2004), süt endüstrisi atıksularını pilot ölçekli iki AKR sistemi kurarak arıtma çalışmaları yapmıştır. Deneyler boyunca her iki reaktörde benzer koşullarda çalıştırılmıştır. Organik yükleme ve N yüklemesi her iki sistemde de > 7 g KOİ /L.gün ve 0,7 gN/L.gün'dür. Azot giderim verimi aerobik koşullar altında her iki reaktörde de % 70

değerlerindedir. Her iki AKR (R_1 ve R_2)'de toplam hacim 2,5 L'dir ve bu hacmin 1,5 L'si kullanılmıştır. Reaktörler 465 mm yüksekliğinde ve iç çapı 85 mm'dir. Yükseklik/ çap oranı 5,5'dir. Reaktörler oda sıcaklığında (15–20 C^o) işletilmiştir. Reaktörlere verilen oksijen 0–8 mg O_2 / L ve pH 7,4–8,5 arasındadır. Her iki AKR'de çalışmalar süresinde iki farklı besleme yapılmıştır. Sentetik atıksu ve endüstriyel süt atıksuyu ile çalışılmıştır. Sentetik atıksuyun KOİ'si 500 mg/L, endüstriyel süt atıksuyunun KOİ'si 500- 3000 mg/L arasında değişmektedir. İlk olarak R_1 reaktörü işletmeye alınmış ve 27 gün boyunca sentetik atıksu ile beslenmiştir. 27 gün sonunda KOİ değeri sentetiğe yakın değerde olan endüstriyel atıksu 48 gün sonunda ise sadece endüstriyel atıksu verilmiştir. 50. günde R_2 reaktörüde işletmeye alınmıştır ve yalnızca endüstriyel atıksu verilmiştir.

Bu çalışmada % 70 oranında KOİ giderimi ve % 80 oranında N giderimi elde edilmiştir. Her iki AKR sistemde endüstriyel süt atıksuyunun arıtılmasında başarılı olmuştur.

Yine sentetik atıksu kullanılarak yapılan bir başka çalışmada ise Carta- Escobar ve ark. (2004), 30 C^o iki farklı reaktör sistemi kurarak arıtma çalışmaları yapmışlardır. Hazırlanan sentetik atıksuyun özellikleri; 4000 mg/L KOİ, KOİ / TKN oranı 4 ve pH 11,5'dir. İlk sistem 80 L hacminde tek bir reaktörden oluşmaktadır. İkinci sistem 30 L hacminde 3 aşamadan oluşan reaktörlerden oluşmaktadır. Her iki sistem ile de yüksek organik madde giderimi (>% 96,8) başarıyla yapılabilmiştir. Bununla birlikte sistem performansı biomas artışında, köpük oluşumunda, atıksu karakteristiğinin değişimiyle ve işletme şartlarıyla çok değişken özellikler gösterebilmektedir. Sistem I, 80 L hacminde dikdörtgen bir reaktörden, termostat, besleme tankı, komprösör ve peristaltik pompadan oluşmaktadır. Sistem Π'de ise esnek tüplerden oluşan borasilikat üç reaktörün birbirine seri bağlanmasıyla oluşur. Her bir reaktör 10 L hacmindedir. Reaktör içerisinde seramik hava difüzörleri bulunmaktadır ve bunlar hava blowerlarına bağlanmıştır. Çok iyi karışımın sağlandığı reaktörler birer CSTR tank gibi çalışmaktadırlar. Çalışma boyunca Sistem I'e yüksek organik yükleme (0,741 kg/ m^3) yapılmıştır. Bununla birlikte sistemin arıtma verimi % 96,8'lere varmaktadır. Sistem Π'de TKOİ ve sKOİ değerleri birinci sisteme göre % 50–70 daha azaltılmıştır ve arıtma verimi % 98,5'den büyük olmuştur.

AKR'lerde taşıyıcı malzemenin kullanıldığı bir çalışmada Sirianuntapiboon ve ark. (2005), tarafından pilot ölçekli olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada AKR reaktörü, bağlı büyümeyi gerçekleştiren plastik dolgu malzemeleri ile desteklenerek bir süt endüstrisinden alınan atıksularının arıtımı çalışılmıştır. MAKR ve AKR reaktörün her ikisi de 25 L hacmindedir. Reaktör iç çapı 0,29 m yükseklik 0,35 m ve çalışma hacmi 20 L'dir. MAKR sistem reaktörün alt kısmına 2,7 m^2 alan kaplayacak şekilde plastik malzemenin yerleştirilmesi ve burada mikroorganizmaların büyümesi esasına göre kurulmuştur. KOİ, $BOİ_5$, TKN ve yağ-gres verimi izlenmiştir. Arıtılan süt atıksuyunun KOİ'si 11000 mg/L'dir. HRT 3, 4, 6, 8 gün değerlerinde çalışılmıştır. MAKR'de HRT 3'de 1340 g $BOİ_5/m^3$.gün'lük organik yüklemede %89,3 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. AKR'de ise HRT 3 gün'de 1340 g $BOİ_5/m^3$.gün'lik organik yüklemede %87 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Çalışma sonunda MAKR'de yüksek organik madde ve N giderimi sağlanmış olup sistemin süt endüstrisi atıksularının arıtımında başarıyla kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Süt endüstrisi atıksularının arıtımında aerobik sistemlerin kullanımının yanı sıra anaerobik sistemlerin kullanımı da artmıştır. Süt endüstrisinin anaerobik arıtımı ile ilgili çok sayıda laboratuar ölçekli çalışmalara rastlanmaktadır.

Yine %90 değerlerinde arıtma veriminin elde edildiği bir başka anaerobik arıtma çalışması ise Lebrato ve ark. (1990), tarafından gerçekleştirilmiştir. Yarı sürekli bir anaerobik arıtma sistemi ile laboratuarda yaptıkları çalışmada, % 80 yıkama suyu ile %20 peynir altı suyu ihtiva eden bir atıksu ile çalışmışlardır. Sıcaklık 36 C^o de sabit tutulmuştur. Atıksuyun KOİ konsantrasyonu 17120 mg/L, pH değeri ise 4,1'dir. 10, 15, 25 ve 27 günlük bekletme sürelerinde sırasıyla %78, 85, 89, 90 ve 94 KOİ giderme verimi; maksimum bekletme sürelerinde ise %90 KOİ giderme verimi elde edilmiştir.

Öztürk ve ark. (1992), yukarı akışlı anaerobik çamur blanket reaktörü ile yaptıkları çalışma da 8,5 kg KOİ/ m^3.gün'lük organik yükleme hızı ile % 87 KOİ giderme verim elde etmişlerdir. Sistem 17 kg KOİ/ m^3.gün'lük organik yükleme hızını iki hafta boyunca % 75 KOİ giderimi ile tolere etmiştir. Hidrolik bekletme süresi ise 0,21 ile 0,96 gün arasında değiştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan atıksuyun KOİ'si 2000 ile 6000 mg/L arasında değişmiş, çamur ayırımı için lamelli

sepatatör kullanılarak biyokütle geri dönüşü yapılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Pala ve Sponza (1994), tarafından yapılan anaerobik arıtım çalışmalarında ise kirlilik konsantrasyonu çok yüksek olan peynir altı sularının laboratuar denemeleri ile kimyasal ve biyolojik olarak (kesikli anaerobik) arıtılabilirliği incelenmiştir. Ham peynir altı suyunun çözünmüş KOİ konsantrasyonunun toplam KOİ konsantrasyonuna oranı yüksek olduğundan (0,75) kimyasal arıtma ile maksimum %30 KOİ giderme verimi; hacimsel olarak 1/1 oranında seyreltme yapıldığında ise maksimum % 60 KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Anaerobik arıtma çalışmalarında ise %90 arıtma verimi elde edilmiştir. Anaerobik kesikli reaktör çalışmaları 500 mL'lik erlenler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anaerobik şartlardaki tavuk gübresi önce peynir altı atık suyuna 15 günlük bir periyotta aklime edilerek adaptasyon sağlanmıştır. Sekiz adet erlen kullanılarak yapılan çalışmada 10 ve 15 günlük bekleme süreleri göz önüne alınarak 35–40 C^o'deki su banyolu bir çalkalayıcıda arıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir erlende farklı organik yüklemeler ile çalışılmıştır. Çalışma sonunda yükleme hızı azaldıkça KOİ giderme veriminin arttığı gözlenmiştir.

Biyolojik arıtma yöntemleri içerisinde anaerobik arıtım oldukça fazla kullanılmaktadır. Önceki çalışmalar göstermiştir ki, bağlı büyüme dolgu malzemeleri, bu malzemelerin fiziksel karakteristiği ve yüzey alanı anaerobik filtrenin performansını çok büyük ölçüde etkilemektedir.

Vartak ve ark. (1997)'nın yaptıkları bu çalışmada da bağlı büyüme dolgu malzemelerinin, anaerobik filtrenin performansına etkisi incelenmiştir. Kullanılan her bir reaktörün iç çapı 15,2 cm, yüksekliği 30,5 cm ve hacmi 5 L'dir. Dolgu malzemenin tutulması amacıyla reaktör tabanından 5 cm yüksekliğe ve malzemenin üzerine 0,6 cm'lik PVC'den yapılmış ızgara levha konulmuştur. Bu levhaların üzerinde yaklaşık 1,3 cm çapında 42 adet delik bulunmaktadır. Reaktörlerde sıcaklık 10 – 37 C^o arasında değişmektedir. Reaktörlerde sıcaklık başlangıçta 37 C^o dir. Daha sonra sıcaklık yavaş yavaş azaltılmakta (her iki günde 1 C^o) ve 10 C^o'ye getirilmektedir. Bu şekilde işletilen reaktörlerde 5 hafta sonra stabilizasyon sağlanmıştır. Reaktörlerdeki bu çalışma sistemi 37 C^o'de 1 yıl sürmüştür. Sistemde

kullanılan plastik dolgu malzemelerinin spesifik yüzey alanları ve yüksek poroziteye sahip olmaları mikroorganizma populasyonunun artışında önemli rol oynamaktadır. Analizler 10 C^o'de 37 C^o'de ki ile kıyaslandığında % UAKM ve % KOİ değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığını göstermiştir.

Gavala ve ark. (1998)'nın yaptıkları çalışmada süt endüstrisi atıksuları UASB reaktör ile arıtımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan UASB reaktörün hacmi 10 L'dir. Arıtım çalışmalarında değişik organik yüklemelerde, performans verimi, pH kontrolü, KOİ giderimi, biogaz konsantrasyonu üzerine çalışılmıştır.Organik yükleme 6,2 g KOİ/L.gün yapılmıştır ve emniyetli bir şekilde maximum 7,5 g KOİ/L.gün'e kadar yükseltilmiştir. Kullanılan atıksuyun karakterizasyonu KOİ 60 g/L, TKN 830 mg/L ve pH 4-7'dir. Sistem 10L UASB reaktör içerisine plexiglass malzeme eklenerek yapılmıştır. Önce seyreltilmiş süt atıksuyu (2500 mg KOİ/L) verilmiş, sonra KOİ konsantrasyonu yavaş yavaş yükseltilmiştir. İki reaktör mezofilik şartlarda (35C^o) tam periyotlu olarak çalıştırılmıştır. HRT 6 günde ve 37 g/L KOİ'de % 98 KOİ giderme verimi gerçekleştirilmiştir. KOİ 42 g/L'ye çıkarıldığında ise giderme verimi %85–90 olmuştur ve çıkış KOİ konsantrasyonu 5 g/L'ye düşürülmüştür.

Yine AKR sisteminin anaerobik şartlarda kullanıldığı bir başka çalışmada ise Dugba ve Zang (1999), süt endüstrisi atıksularının arıtımında iki kademeli termofilik (55C^o) – mezofilik (35 C^o) ve mezofilik – mezofilik anaerobik ardışık kesikli reaktörün (AAKR) HRT, sıcaklık ve uçucu katılar ile olan ilişkilerini araştırmışlardır. Kurulan 3 paralel reaktör 2 kademeli olarak toplamda 15 L hacmindedir. Sistemde HRT 3 ve 6 gün olarak çalışılmıştır. İki kademeli AAKR sistemleri kısa HRT'lerde süt endüstrisi atıksularının arıtımı için uygun olduğu belirlenmiştir.

Ramasamy ve ark. (2000)'nın yaptıkları bir çalışmada ise CSTR (tam karışımlı reaktör) reaktörünün performansını artırmak amacıyla BSS (biofilm support sistem) kullanılmıştır ve anaerobik koşullarda çalışılmıştır. BSS'de biofilm içinde mikroorganizma faaliyetini artırmak için 2 cm çapında ve 5 cm uzunluğunda küçük silindirik, plastik malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemeler 0,9 cm^3 hacminde ve 0,87 g/cm^3 yoğunluğundadır. Yüzey alanı reaktörün 0,30 cm^2/cm^3'ünü kaplamaktadır. Önce HRT 15 günde çalışılmış daha sonra HRT 10 güne indirilirken,

atıksu konsantrasyonu değiştirilmiştir. Çalışma sonunda HRT 10 gün değerinde % 99 değerinde giderim verimi elde edilmiştir. Çalışmada BSS sistemin CSTR'de başarıyla uygulanabileceği görülmüştür.

Omil ve arkadaşları (2003), ham sütün kalitesinin ölçüldüğü laboratuarlardan kaynaklanan ve analiz öncesi sütü korumak amacıyla eklenen sodyum azide ve chlorampherical gibi kimyasallar içeren atıksuların arıtımını 12 m^3 hacminde anaerobik filtre (AF) ve 28 m^3 hacminde AKR ile tam ölçekli reaktörde çalışmışlardır. AF'ye 36,5 kg/ m^3 yoğunluklu PVC malzeme eklenmiştir. 2 yıl süren çalışmada kullanılan atıksuların anaerobik arıtımda başarı elde edilmiş ve 5–6 g KOİ / m^3.gün organik yükleme ile % 90 üzerinde KOİ giderimi sağlanmıştır. AF'den çıkan su AKR'ye verilmiş ve KOİ 200 mg/L'nin TN ise 10 mg/L'nin altına indirilmiştir.

Luostarinen ve Rintala (2004), Finlandiya'daki bir çiftlikten süt sağma makinalarının pH= 12 olan alkali deterjan ve pH= 1,5 olan asidik deterjan ile yıkanmasıyla açığa çıkan atıksuların düşük sıcaklıklarda (10–20 C^o) iki kademeli yukarı akışlı anaerobik çamur yatakta arıtımını laboratuar ölçekli reaktörlerde çalışmışlardır. İki kademeli UASB reaktöründen birincisi 70 cm yüksekliğinde, 15 cm çapında PVC malzemeden yapılmıştır ve 44 mm çapında Flootek RF 438 sentetik taşıyıcı malzeme ile doldurulmuştur. İkinciside 50 cm yüksekliğinde, 9 cm çapında acrylic plastik malzemeden yapılmıştır. Reaktörler 398 gün süre ile çalıştırılmışlardır. Bütün sıcaklıklarda % 80'ın üzerinde KOİ giderim verimi ve % 90 TSS giderim verimi elde edilmiştir.

Moir ve ark. (2005) ise laboratuar ölçekli bir tesis tasarlayarak tarım atıklarının arıtımı ile ilgili sistemler ve bunların geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Süt endüstrisi ve çiftliklerden kaynaklanan atık sularda N, BOİ, nitrat ve nitrit yüksek değerlerdedir. Laboratuar çalışmaları sonucunda bir çiftliğe tam ölçekli süt arıtım sistemi kurulmuştur. Sistemde 5,5 m^3 hacminde, havalandırmalı, her biri 1700 L olan iki AKR ile arıtım yapılmaktadır. Arıtma sonunda çıkış suyu pH 7–6 arasında ve BOİ ortalama 34–65 mg/L'dir.

Nadais ve ark. (2005), süt endüstrisi atıksularının laboratur ölçekli mezofilik UASB reaktörde kesikli işletme ile KOİ giderim verimini araştırmışlardır. Çalışmada 24–144 saat aralığında 5 farklı döngüde ve 2,5–29 g KOİ/L/gün aralığındaki organik

yüklerde çalışılmıştır. Kesikli reaktörlerde 22 g KOİ/L/gün yüklemeler yapılabilirken, sürekli reaktörlerde 3–6 g KOİ/L/gün yüklemesinin yapılabileceği vurgulanmıştır.

İnce (1993), ise yaptığı bir çalışmada anaerobik kontakt arıtma sistemlerinde çökelme havuzu yerine dik akışlı ultra filtrasyon ünitesi kullanarak yapılan çamur ayırımı ile geri dönüş yapılabileceğini ve ayrıca KOİ değeri 55000 mg/L olan peynir altı atık sularında % 92'lere varan bir arıtma sağlanabileceğini belirtmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Aygın Süt A.Ş

Aygın Süt A.Ş. 1980 yılında süt mamülleri üretimine başlamıştır. 5900 m^2 kapalı alanda 1996 yılından bu yana üretime devam etmektedir.

Tesisin kuruluş kapasitesi günlük 80–85 ton süt/gün'dür. Kullanılan kapasite ise 45–50 ton süt/gün arasında değişmektedir. Tesiste beyaz peynir, lor peyniri, süzme yoğurt gibi ürünler üretilmektedir. Beyaz peynir 20–25 ton/gün, lor peyniri 12–15 ton/gün, süzme yoğurt 5–7,5 ton/gün üretilmektedir. Günlük 20–25 tekne beyaz peynir üretimi yapılmaktadır ve her bir teknede 700 L atıksu oluşmaktadır. Lor üretiminde ise günde 2 parti üretim yapılmaktadır ve parti başına 5000 L atıksu oluşmaktadır.

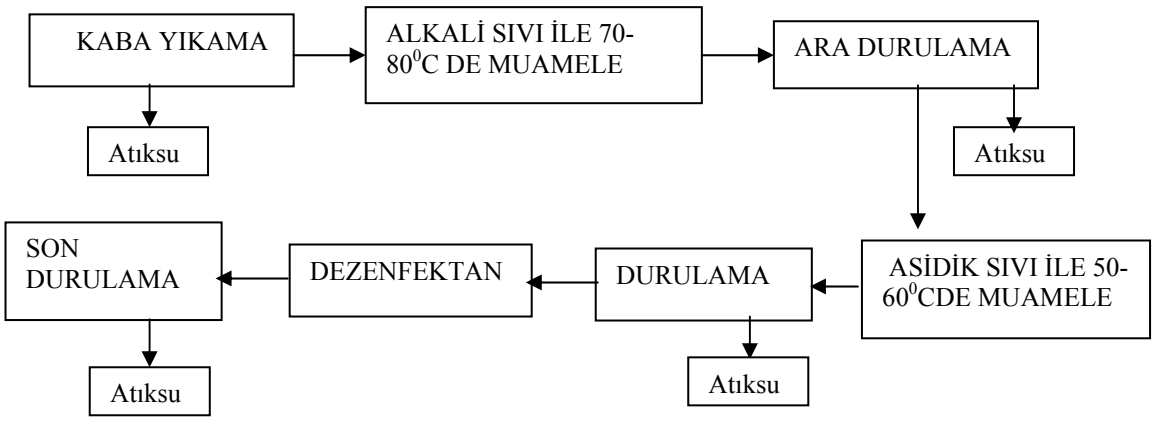
Tesisin 2005 yılı yıllık üretim verileri; çiğ süt işleme miktarı 22032 ton/yıldır. Ham sütten 1634 ton/yıl beyaz peynir, 408 ton/yıl kaşar peyniri, 168.48 ton/yıl tereyağı, 535.5 ton/yıl süzme yoğurt, 408 ton/yıl kase yoğurt, 745.2 ton/yıl ayran üretimi yapılmaktadır.

Günlük 16 adet araba ile dağıtım yapılmaktadır ve gün sonunda arabalar yıkanmaktadır. Her bir arabanın yıkanmasında ise yaklaşık olarak 100 L su kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra günlük olarak tesis içi asit ve baz çözeltileri ile 4 kez temizlenmektedir. Her temizlemede ortalama 500 L su kullanılmaktadır. Her bir ürünün hazırlandığı proseslerde oluşan atıksu miktarları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.Aygın Süt A.Ş.'de proseslerde oluşan atıksu miktarları.

İşlem	Oluşan Atıksu Miktarı (m^3/gün)
Süt alımı	3
Pastörizasyon Ünitesinin Temizlenmesi	4
Beyaz Peynir İmalatı	10
Kaşar Peynir İmalatı	10
Tereyağı İmalatı	3
Ayran İmalatı	3
Pastörize Süt İmalatı	3
Yoğurt İmalatı (Kase+Süzme)	10
Diğer Aygıtların Yıkanmasından Oluşan Atıksu Miktarı	32
TOPLAM	76

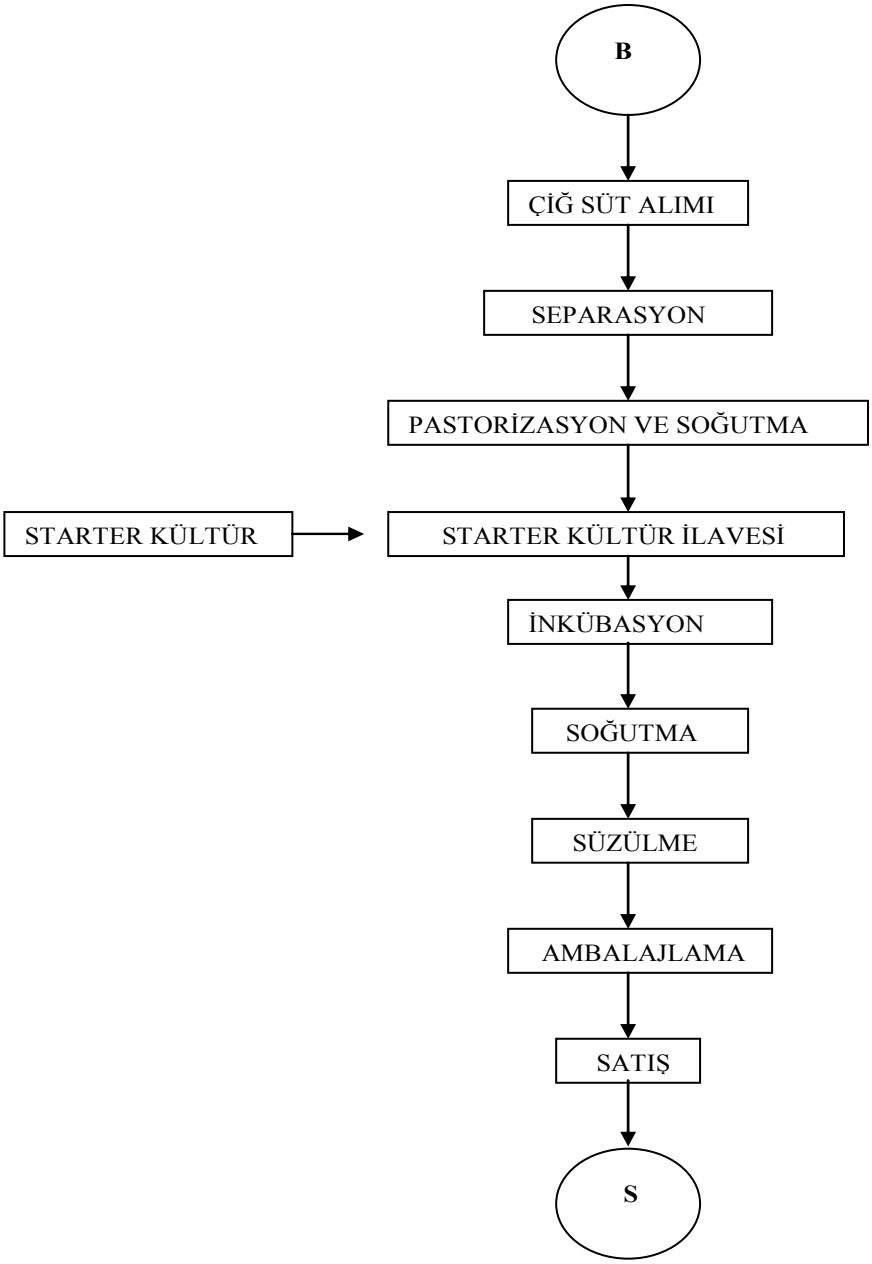
Tesis de üretim proseslerinde kullanılan makinelerin temizliği Şekil 3.1.'deki oluşum şemasına göre yapılmaktadır.



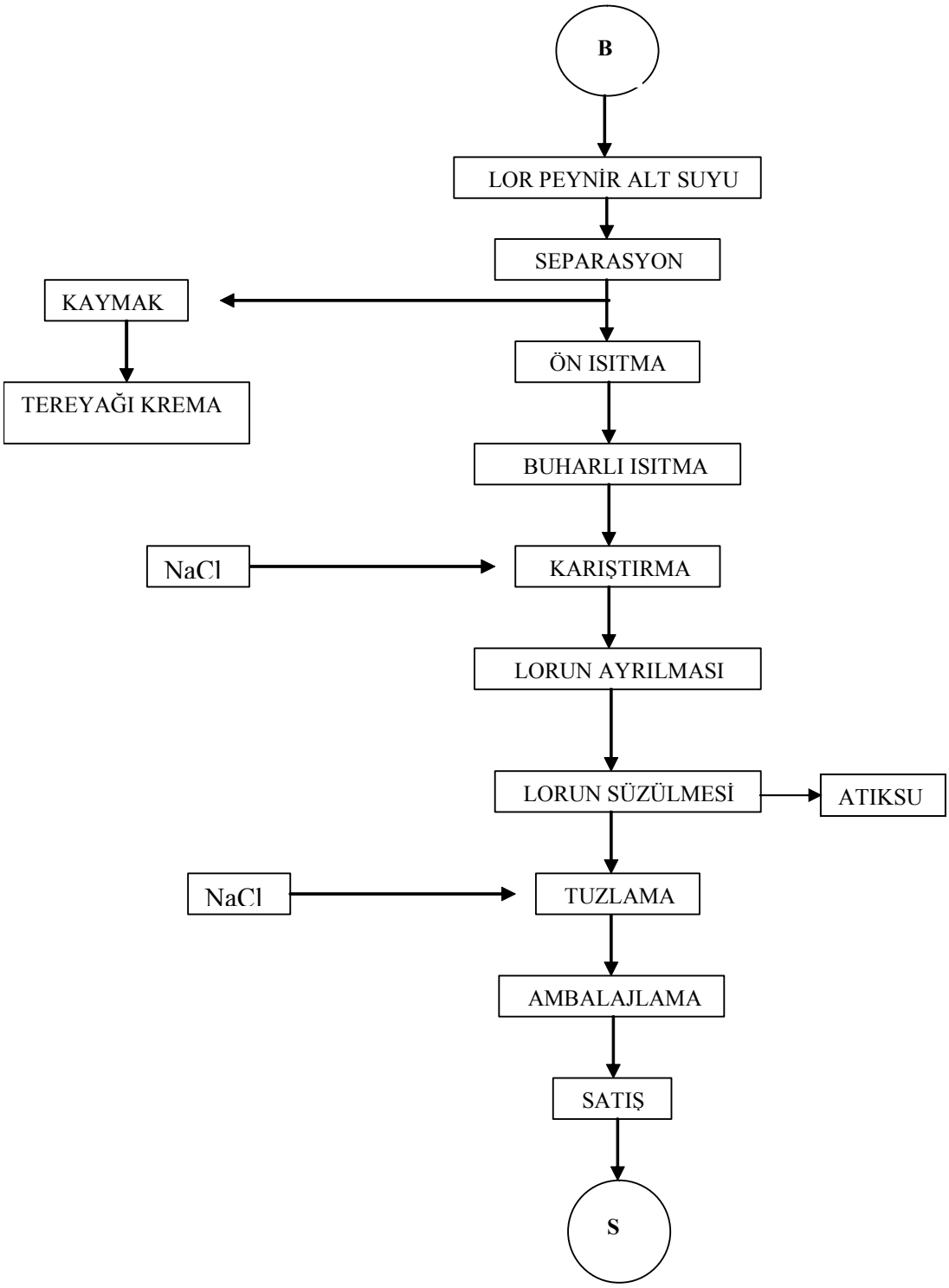
Şekil 3.1. Süt endüstrisinde üretimde kullanılan makinelerin temizliği.

Tesisde üretilen süt ürünlerinin proses akım şemaları Şekil 3.1.2.-3.1.5.'de verilmiştir. Burada temel olarak yukarıda da bahsedildiği gibi beyaz peynir, kaşar peyniri, süzme yoğurt, tereyağı gibi ürünler üretilmektedir. Tesisin üretim birimleri aşağıda verildiği gibidir:

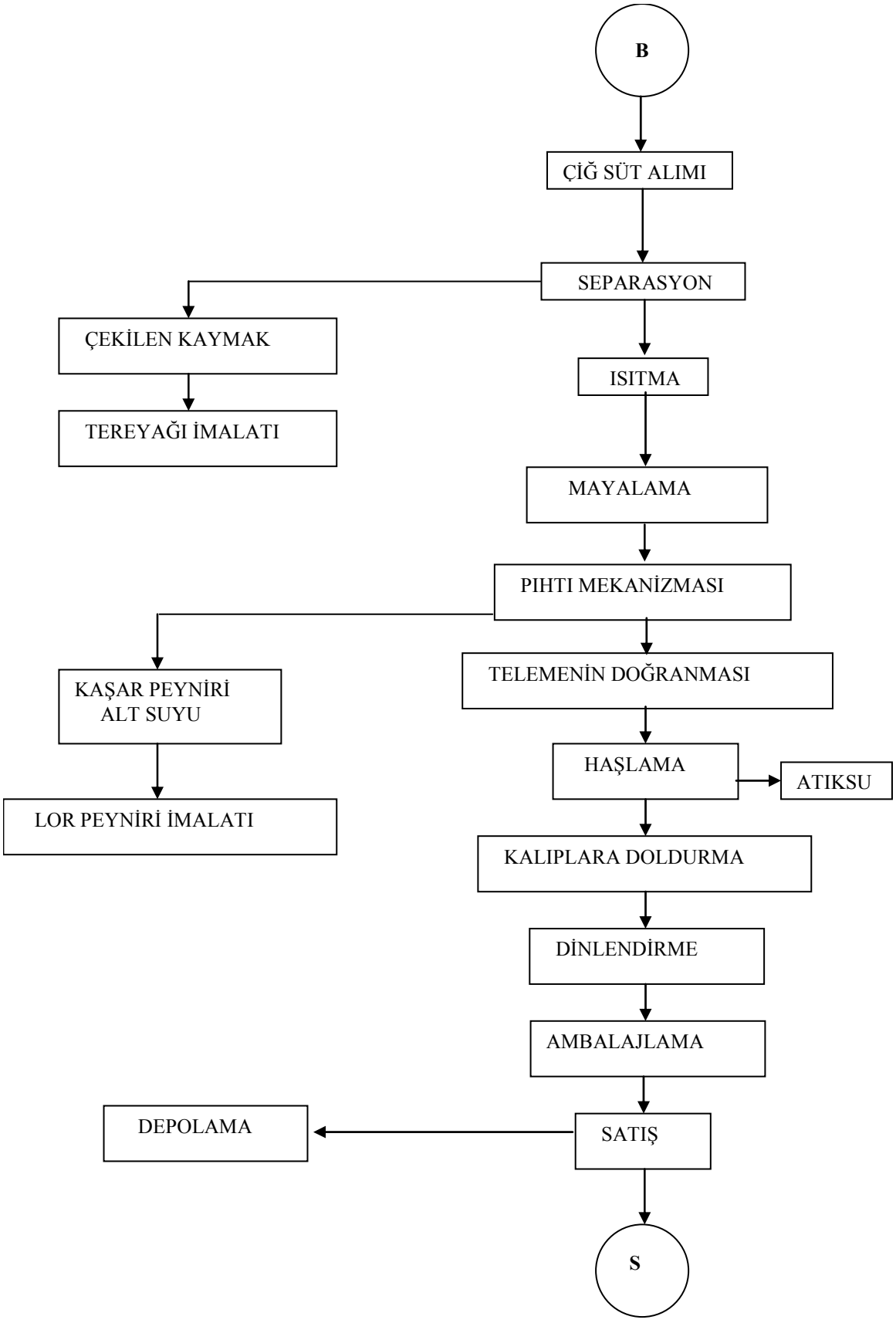
1. Hammadde Kabul İşlemleri,
2. Beyaz Peynir Üretimi,
3. Kaşar Peynir Üretimi,
4. Süzme Yoğurt Üretimi,
5. Kâse Yoğurt Üretimi,
6. Ayran Üretimi,
7. Tereyağı Üretimi,
8. Krema Üretimi,
9. Lor Peynir Üretimi.



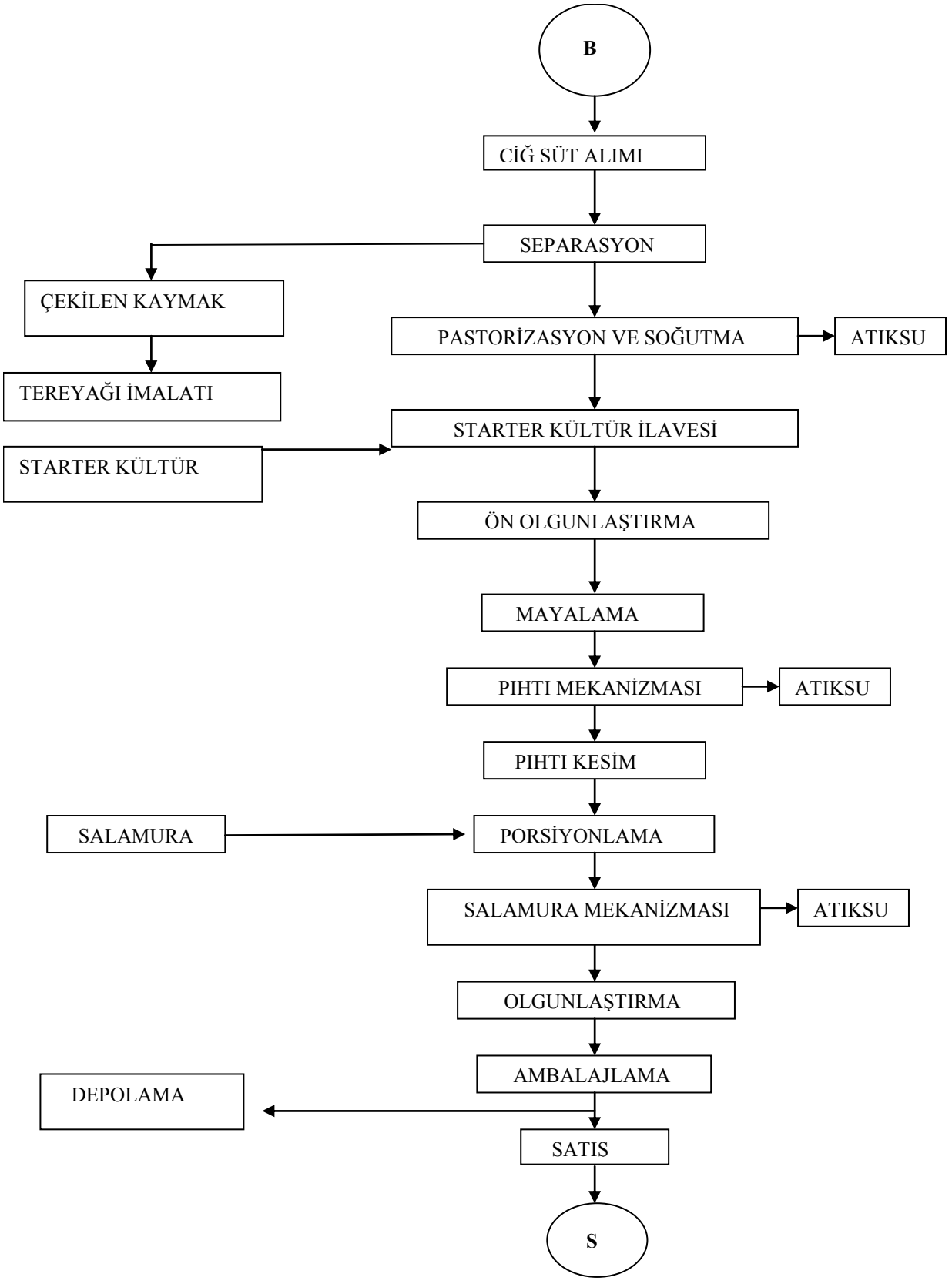
Şekil 3.2. Süzme yoğurt imalat akış şeması



Şekil 3.3. Lor peyniri imalat akış şeması



Şekil 3.4. Kaşar peyniri imalat akış şeması



Şekil 3.5. Beyaz peynir imalat akış şeması

3.2. Atıksu Kompozisyonu

Çalışmada atıksu olarak Konya'da faaliyet gösteren Aygın Süt A.Ş'nin üretim proseslerinin tümünden belirli hacimlerde alınarak hazırlanan atıksu kompozisyonu kullanılmıştır. Hazırlanan kompozit atıksuyun bileşenleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kompozit atıksu bileşenleri.

Proses	**Kullanılan miktar (mL)**
Lor peyniri üretimi	650
Peynir altı suyu	300
Süzme yoğurt üretimi	250
Süt teslim aracı yıkama atıksuyu	1200
Kostikli yıkama atıksuyu	1200
Asitli yıkama atıksuyu	1200
Toplam	4800

Çizelgede verilen miktarlar kullanılarak oluşturulan kompozit atıksu 4 C^o de buzdolabında saklanarak, 7 gün boyunca kullanılmıştır. Yukarıdaki değerler kompozit atıksu KOİ değerinin yaklaşık 17000 mg/L olması sağlanacak şekilde seçilmiştir. 7 gün sonunda numune alımı yenilenmiş ve yeni kompozit atıksu hazırlanmıştır.

Endüstrinin her bir proses atıksuyu farklı kirlilik değerlerine sahiptir. Bu nedenle gelen proses atıksu numunelerinde ve hazırlanan kompozit atıksuda KOİ, BOİ, pH, PO_4-P, TN parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır ve kompozit atıksu buna göre hazırlanmıştır.

Proses atıksularının parametreleri Çizelge 3.3.'de Kompozit atıksuyun ölçülen parametreleri ise Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. 14.07.2005 tarihli proses atıksularının karakterizasyonu.

Atıksu	**Parametre**						
	KOİ (mg/L)	**$BOİ_5$ (mg/L)**	**TN (mg/L)**	**PO_4-P (mg/L)**	**Ç.O**	**pH**	**Sıcaklık (C^o)**
Lor peyniri üretimi	66739	18000	436,5	350	3,84	4,40	30,9
Peynir altı suyu	51955	17000	352,5	291	3,44	5,98	28,8
Süzme yoğurt üretimi	44774	15500	320,5	298	1,11	3,82	25,8
Süt teslim aracı yık. atıksuyu	1248	440	19,5	23,25	0,27	7,10	25,4
Kostikli yık. atıksuyu	178	-	0,190	3,71	4,25	7,41	31,4
Asitli yıkama atıksuyu	17	-	0	2,74	3,88	7,31	32,8

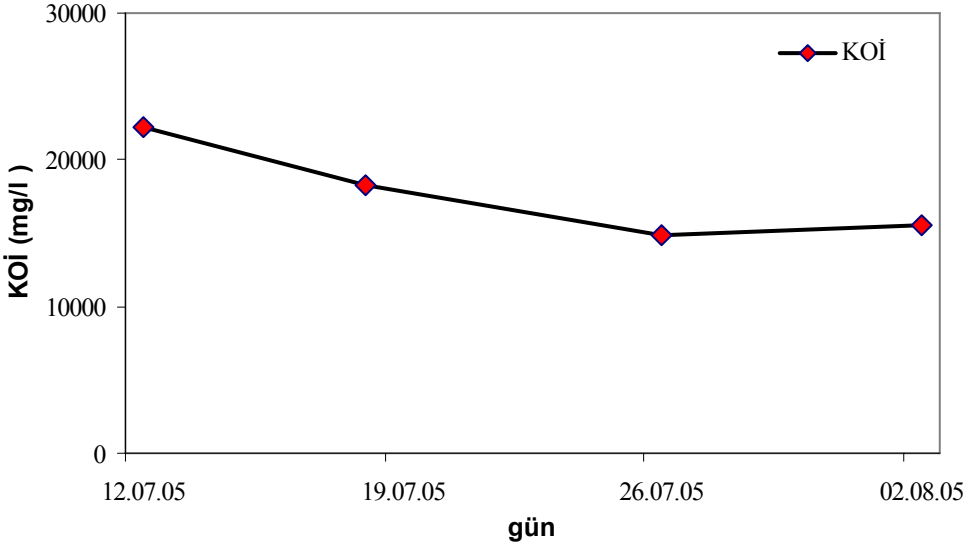
.

Çizelge 3.4. Hazırlanan kompozit atıksuların karakterizasyonuları.

Parametre	**Aralık**	**Ort**
KOİ (mg/L)	14800–22272	17750
BOİ (mg/L)	9000–12500	10833
PO_4-P (mg/L)	325–356,5	345,8
TN (mg/L)	207–290,5	240,8
pH	4,64–5,27	4,94

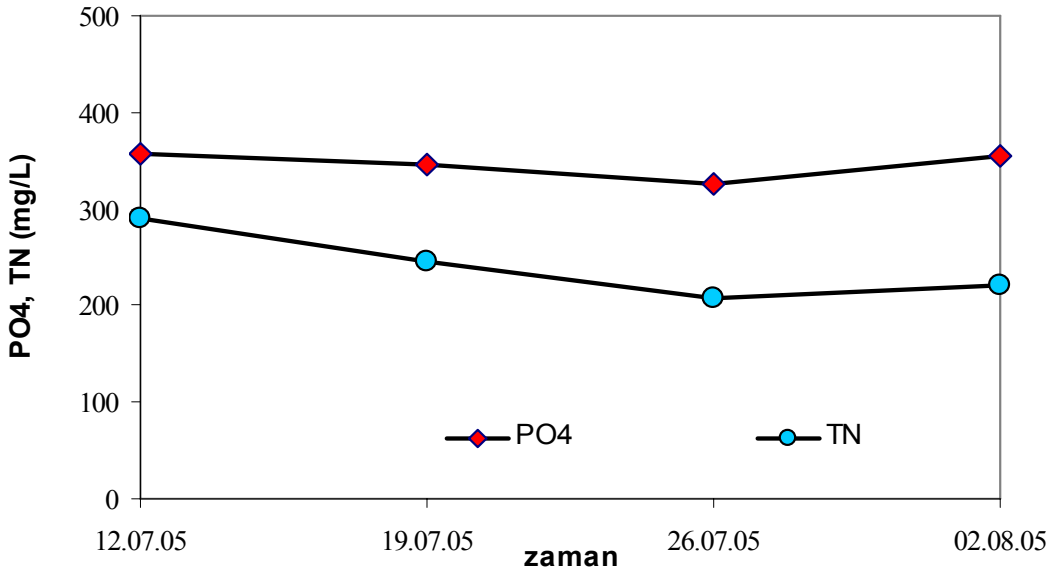
Deneysel çalışmalar süresince süt endüstrisinden 7 günlük periyotlarla alınan atıksular ile hazırlanan kompozit atıksuyun KOİ değerlerinde farklılıklar gözlenmiştir. İlk alınan atıksular ile hazırlanan kompozit atıksu KOİ konsantrasyonu diğerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi ise araba yıkamadan alınan atıksuyun arabanın ilk yıkama atıksuyu olması ve KOİ değerinin diğerlerine göre

yüksek olmasıdır. Daha sonra hazırlanan kompozit atıksu KOİ değerleri birbirlerine yakın değerlerde çıkmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Reaktörlere beslenen kompozit atıksuyun KOİ değerleri

Kompozit atıksuda deneysel çalışmalar boyunca KOİ değerinin yanı sıra PO_4-P ve TN değerleri de ölçülmüştür. Şekil 3.7.'de kompozit atıksu PO_4-P değerleri görülmektedir. Süt endüstrisi atıksularının fosfor içeriği oldukça yüksek değerlerdedir. Bu nedenle fosfor giderilmesi gereken bir parametredir. Evsel nitelikli atıksuların ortalama toplam fosfor miktarı 8-10 mg/L arasında değişir. Bu değer toplam $BOİ_5$'in 1:20'si kadardır. Aktif çamur süreçleri, toplam fosforun biyolojik olarak sadece 1–3 mg/L'lik kısmını giderebilir (Toprak, 1999). Endüstriyel nitelikli atıksularda fosfor miktarı ise endüstriye göre değişir. Süt endüstrisi atıksuları fosfor içeriği bakımından zengin atıksulardır. Süt endüstrisi atıksularında fosfor miktarı yaklaşık olarak 0,2–48 mg/L değerlerindedir (Andreottola, 2002). Ancak bu değerler endüstrinin üretim prosesine göre ciddi farklılıklar gösterebilmektedir. Çalışmada kullanılan atıksuda PO_4-P değeri 300–350 mg/L değerlerindedir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Reaktörlere beslenen kompozit atıksuyun PO_4-P ve TN değerleri

Evsel atıksular 20–30 mg/L mertebesinde amonyak azotu içerir. 1 mg amonyak azotunun giderimi için 4,3–4,6 mg O_2 / mg NO_3 'lik oksijen gereksinimi vardır. Bu da tam bir nitrifikasyon oluşumu için gerekli oksijen miktarının ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir.

Toplam azot ise endüstriyel atıksularda endüstrinin çeşidine göre değişir. Süt endüstrisi atıksularında bu değer yaklaşık olarak 13–170 mg/L değerlerindedir (Andreottola, 2002). Çalışmada kullanılan atıksuda TN değeri 200–290 mg/L değerlerindedir (Şekil 4.2.).

3.3. Deney Düzeneği

Çalışmada üç adet AKR reaktörü kullanılmıştır. Reaktörler 2 L hacimli oluşturulmuş ve bu hacmin 1,6 L'si kullanılmıştır. 1. reaktör klasik AKR olarak çalışırken diğer iki reaktöre sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilmiştir. 2. reaktörde KALDNES taşıyıcı malzemesi, 3. reaktörde ise LINPOR taşıyıcı malzemesi kullanılmıştır.

2. reaktörün %30'u KALDNES taşıyıcı malzemesi ile doldurulmuştur. Norveç firmasından (Kaldnes Militeknologi) temin edilen sentetik küçük silindirik şekilli polyethylene taşıyıcı malzemenin boyutları yaklaşık olarak 10 mm çapında ve 7 mm yüksekliğindedir. Yoğunluğu 960 kg/m^3 ve toplam spesifik yüzey alanı 800 m^2/m^3'dür (Çizelge 3.5).

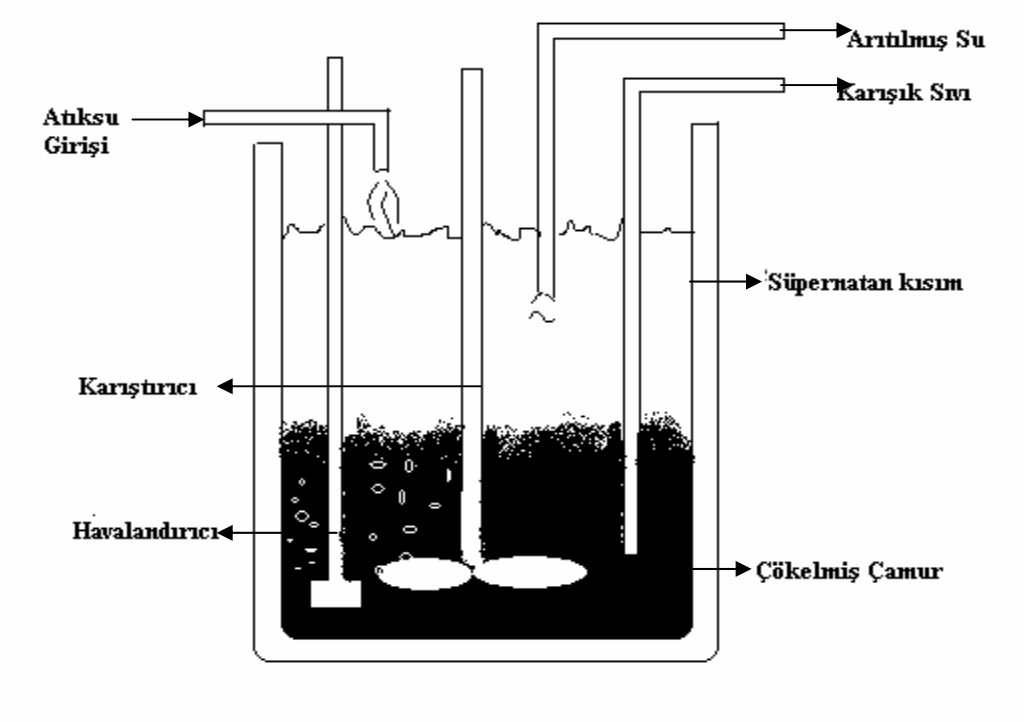
3. reaktörün %30'u da LINPOR® taşıyıcı malzemesi ile doldurulmuştur. Alman firması olan LİNDE-KCA-DRESDEN GMBH'den temin edilmiş olan süngerimsi sentetik taşıyıcı LINPOR®'un boyutları ise 1x1x1 cm'dir. Yoğunluğu 960 kg/m^3'dür (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 Sentetik taşıyıcı malzemelerin genel özellikleri.

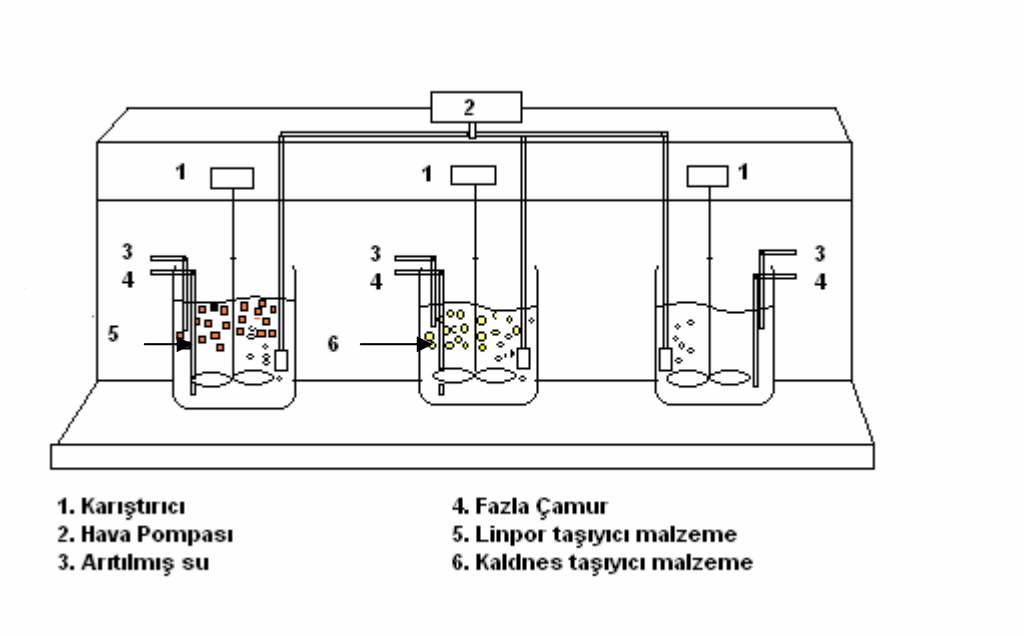
Malzeme	LINPOR®	KALDNES®
Yükseklik (mm)	10	7
Çap (mm)	-	10
Yoğunluğu (kg/m^3)	950	960

Sisteme hava, ucuna hava taşı bağlanarak havanın kabarcıklar halinde verilmesini sağlayan akvaryum pompası ile verilmiştir. Her üç reaktöre de verilen hava sabit olup, 0,5 L/dak'dır. Karıştırma işlemi ise ayarlı karıştırıcı ile gerçekleştirilmiş olup üç reaktörde de eşit karışım sağlanmıştır. Karıştırıcı hızı 80 devir / dakika'dır.

Hazırlanan kompozit süt endüstrisi atıksuyu ile reaktörler 0,5 saatte 200 mL atıksu ile beslenmiştir. Deneylerde kullanılan AKR reaktörlerinin şematik gösterimi Şekil 3.8.'de deney düzeneği ve ekipmanlarının yerleşimi de Şekil 3.9.'de verilmiştir. Şekil 3.10.'de ise jar test düzeneğine hazırlanan deney düzeneği ve kullanılan ekipmanların bir resmi verilmiştir.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan AKR deney düzeneği.

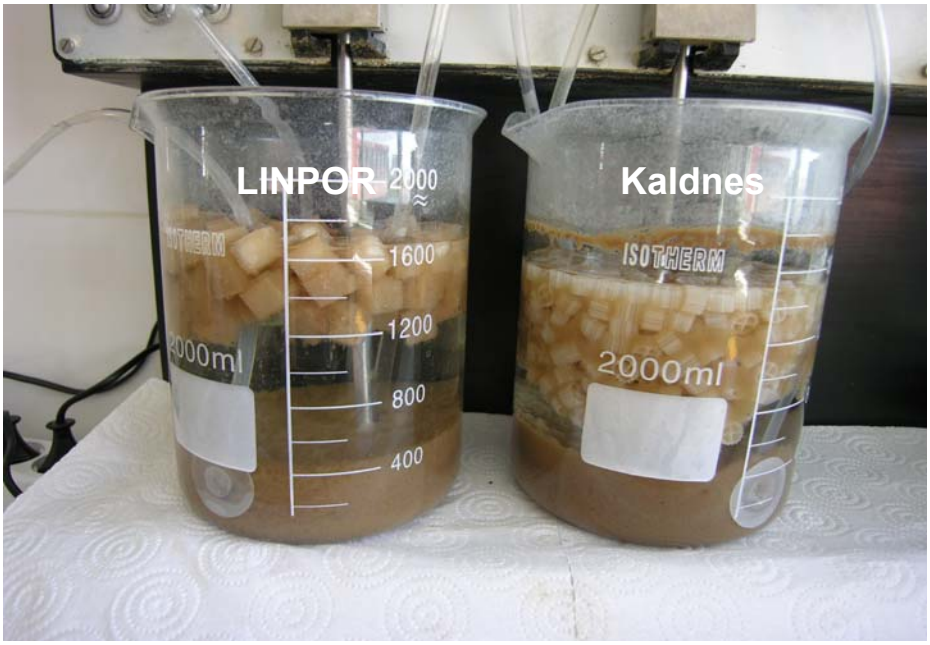


Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan AKR düzeneği ve ekipmanları.



Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan AKR deney düzeneğinden bir görünüş.

Şekil 3.11'da ise AKR'lere ilave edilen LINPOR ve Kaldnes taşıyıcı malzemeleri görülmektedir.



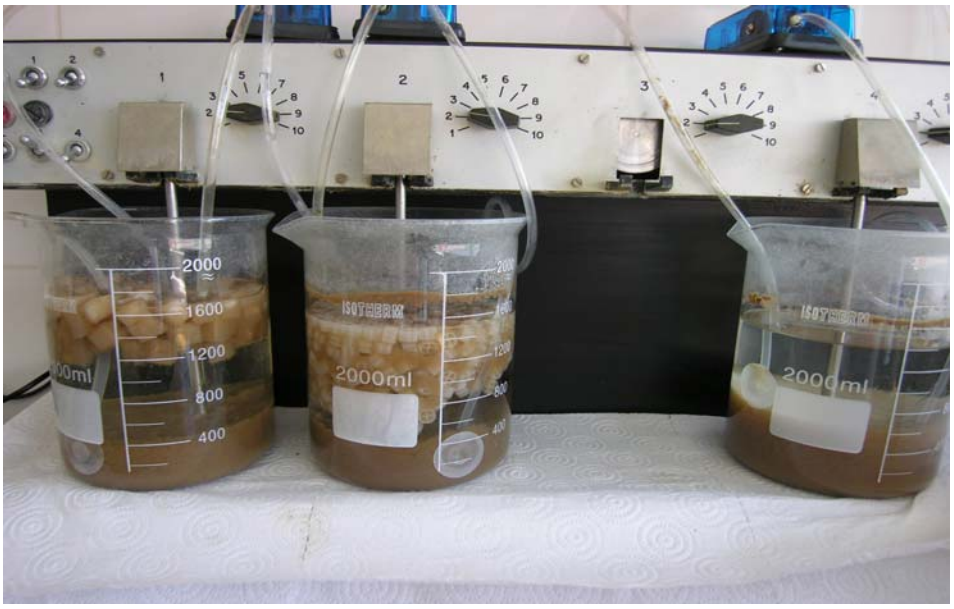
Şekil 3.11. Kaldnes ve LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'ler.

Çalışmada sistem; reaksiyon süresi 22 saat, çökelme 1,5 saat'dir. Belirlenen reaksiyon süresi dolduktan sonra AKR'lere verilen hava kesilmiş ve karıştırma işlemi durdurulmuştur. 1,5 saat çöktürmeye bırakılan AKR'ler de çökelme sonunda üst kısımda biriken süpernatan kısımdan 200 mL arıtılmış su alınmıştır (Şekil 3.12.). Arıtılmış su çekimi ve çamur çekimi 0,5 saat, atıksu dozlama 0,5 saat olmak üzere günde 1 döngü olarak çalıştırılmıştır. Sirianuntapiboon ve ark. (2005), AKR'lerde sentetik taşıyıcı malzemeler kullanarak yaptıkları süt endüstrisi atıksularını arıtma çalışmalarında HRT 8 değerlerinde çalışılmış benzer işletme şartlarında % 87 değerinin üzerinde KOİ giderme verimi elde etmişlerdir. Çalışmada kullanılan AKR sistemin işletme şartları Çizelge 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan AKR'lerin işletim şartları

Parametre	AKR 1	AKR 2	AKR 3
Sentetik taşıyıcı malzeme	Yok	LINPOR	Kaldnes
Kullanılan sentetik taş. Malzeme (adet)	-	90	450
Doluluk oranı	-	% 30	%30
Reaktör hacmi (mL)	2000	2000	2000
Reaktörün işletilen hacmi (mL)	1600	1600	1600
Debi (mL/gün)	200	200	200
Döngü sayısı (adet/gün)	1	1	1
Doldurma (saat)	0,5	0,5	0,5
Havalandırma (saat)	22	22	22
Çökeltme (saat)	1,5	1,5	1,5
Su & çamur çekimi (saat)	0,5	0,5	0,5
İşletme aşamaları (saat)	24	24	24
Hidrolik Bekletme Süresi (HRT) (gün)	8	8	8
Çamur Alıkonma Süresi (gün)	5	5	5
Hidrolik yükleme (m^3/m^3.gün)	0,125	0,125	0,125
Hacimsel organik yükleme (g $BOİ_5$/ m^3.gün)	1130-1560	1130-1560	1130-1560
Hacimsel organik yükleme (g KOİ/ m^3.gün)	1850-2780	1850-2780	1850-2780

***** Doldurma işlemi havalandırma işleminin süresi içerisinde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.12. Çöktürme safhasında AKR'nin görünüşü.

3.4. Mikroorganizma

Çalışmada aşı olarak kullanılan mikroorganizma Konya Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi havalandırma ünitesinden alınmıştır ve adaptasyon için 7 gün boyunca laboratuar şartlarında KOİ değeri 1000 mg/L'lik sentetik atıksu ile beslenmiştir. Bu süre içerisinde çamur havalandırmaya tabi tutulmuştur.

3.5. Laboratuar Çalışmaları

3.5.1. Analiz yöntemleri

Laboratuar şartlarında Ç.O, Sıcaklık, pH ölçümleri ve NH_4-N, NO_3-N, KOİ, BOİ, AKM, UAKM, ÇHİ, PO_4-P, TN analizleri yapılmıştır.

$BOİ_5$ WTW marka OxiTop ile ÇHİ, AKM, UAKM ve KOİ analizleri ise Standart Metotlarda (APHA, 2005) ifade edilen yöntemlere göre yapılmıştır.

3.5.1.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

KOİ; karbonlu maddelerin oksidasyonu için gerekli olan oksijen miktarını ifade eder.

Çalışmada KOİ analizi ve filtrelenmiş KOİ analizleri yapılmıştır. Analizler Standart Metotlarda (APHA, 2005) ifade edilen yöntemlere göre yapılmıştır.

Alınan numune 0,45 μm filtre kâğıdından süzülerek filtrelenmiş KOİ analizi yapılmıştır. Filtrelenmiş KOİ analizi ile arıtılmış su içerisinde olması muhtemel askıda katı, partikül maddeler süzülerek arıtılmış sudan giderilmiş olur. Böylelikle bu maddelerin ölçülen KOİ değerini yükseltmesi engellenmiş olur.

3.5.1.2. Askıda katı madde (AKM)

Aktif çamur süreçlerinde atıksu, mikroorganizmaların yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu havalandırma havuzuna verilir. Organik madde, mikrobiyal büyüme için hem karbon hem de enerji kaynağı olarak olarak görev alır ve yeni hücrelerin sentezinde kullanılır. Burada reaktörün içeriği "karışık sıvı askıda katı madde (AKM)" (mixed liquor suspended solids, MLSS) veya "karışık sıvı askıda uçucu katı madde (UAKM)" (mixed liquor volatile suspended solids, MLVSS) olarak tanımlanır ve büyük oranda mikroorganizmalardan, inert ve biyolojik olarak ayrışamayan maddelerden ibarettir. Mikroorganizmalar genellikle %70–90 oranında organik, % 10–30 oranında ise inorganik maddelerden meydana gelir (Toprak, 1999).

Çalışmada AKM tayini standart metotlara göre yapılmıştır. Filtre kâğıdı (Sartorius marka 0,45 μm çaplı, selüloz asetat filtre) 103–105 C^o'de etüvde 1 saat süreyle kurutularak sabit tartıma getirilmiştir. Etüvden alınan filtre kâğıdı 30 dakika süreyle desikatörde soğutulmuş ve tartılmıştır. Elde edilen bu değer (A)'dır. Ardından ÇHİ analizi için 100 mL'lik mezüre alınmış karışık sıvı 30 dakikalık çökelme sonrası karıştırılarak, filtre kâğıdından süzülmüştür ve yine 103–105 C^o'de etüvde 1 saat süreyle kurutulmuş ve tartılmıştır (B).

AKM ve UAKM için Kalnes taşıyıcı malzemeli reaktörden 6 adet sentetik taşıyıcı malzeme alınmış, mekanik yöntemlerle üzerinde birikmiş olan biyokütle uzaklaştırılarak saf suya geçirilmiştir. Aynı işlem LINPOR taşıyıcı malzemeli reaktör içinde yapılmıştır. Reaktörden 3 adet sentetik taşıyıcı malzeme alınmış, mekanik yöntemlerle üzerinde birikmiş olan biyokütle uzaklaştırılarak saf suya geçirilmiştir. Daha sonra sıvı filtre kâğıdından süzülmüştür. Filtre kağıdı 103–105 ^{0}C'de 1 saat süreyle tekrar kurutulmuştur. Desikatörde 30 dakika soğutulmuş sabit tartıma getirildikten sonra tekrar tartılmıştır (B"). Elde edilen bu değer Kaldnes taşıyıcı malzemeli reaktör ve LINPOR taşıyıcı malzemeli reaktörün B değerlerine eklenmiştir.

$$\text{AKM (mg/L)} = \frac{(A-B)x1000}{C} \quad \text{.....(4.1)}$$

A = Filtre kağıdı + Filtre edilebilen madde (mg)
B = Filtre kağıdının ağırlığı (mg)
C = Numune hacmi (ml)

3.5.1.3. Uçucu askıda katı madde (UAKM)

Toplam katı madde analizi Standart Metotlardaki (APHA, 2005) 2540.'de belirtilen yönteme göre yapılmıştır.

Toplam katı madde deneyi yapıldıktan sonra Filtre kâğıdı sabit tartıma getirilmiş krozenin içine konur ve tartılır. 15- 20 dak 550 ^{0}C'de fırında tutulduktan sonra sabit tartıma gelmesi için 15 dak. desikatörde tutulup birkez daha tartılır.

$$\text{UAKM (mg/L)} = \frac{(A-B)x1000}{C} \quad \text{.....(4.2)}$$

A = Kroze + Filtre kağıdı

B = Kroze + Fırında yakılan filtre kağıdı

C = Numune hacmi (ml)

3.5.1.4. Çamur hacim indeksi (ÇHİ)

Çamur genellikle çökelebilme özellikleri ile karakterize edilir. Seyreltik çamurlar daha hızlı, konsantre çamurlar daha yavaş çökerler. Çamurun çökelebilme özelliği özellikle bir aktif çamur tesisinin işletilmesinde en önemli parametrelerden biridir. İşletme sırasında çamurun çökelme özelliklerinin belirlenmesinde ucuz ve kolay bir yöntem olan "çamur hacim indeksi, ÇHİ" kullanılır. ÇHİ, 1 gr kuru maddenin ml cinsinden işgal ettiği hacim olarak ifade edilir (Filibeli, 2002).

ÇHİ, çamurun çökelebilme özelliklerinin bir ölçüsü olduğundan, geri çevrim oranını ve MLSS konsantrasyonunu etkiler. 2000–3000 mg/L'lik MLSS konsantrasyonlarına sahip aktif çamur süreçlerinde sık rastlanan ÇHİ değerleri 80–150 mL/g arasındadır. Düşük ÇHİ değerleri bazı sorunlara neden olur.

Düşük ÇHİ, hızlı çökelen çamurun ve/veya yüksek inorganik AKM'nin ve yetersiz biyokütlenin bir göstergesidir (Toprak, 1999).

Çamur Hacim İndeksi analizi Standart Metotlardaki (APHA, 2005) 2710.D'de belirtilen yönteme göre yapılmıştır.

100 mL'lik mezürlere reaktör içindeki karışık sıvıdan alınmıştır. 30 dakika çökelmeye bırakılmıştır. Çökelme sonrası, mezürde çökelen hacim okunarak kaydedilmiştir.

$$\text{ÇHİ (ml/g)} = \frac{Çökelen \quad Hacim(mL)}{AKM\,(g)} \qquad \text{.....(4.3)}$$

3.5.1.5. Çözünmüş Oksijen (Ç.O)

Aktif çamur sistemlerinde havalandırma, sisteme oksijen vermek ve havuz muhtevasını karışım halinde tutmak için yapılır (Topacık, 2000). Oksijen, hücre sentezi ve solunum için gerekli yüksek enerjili bileşiklerin üretilmesi amacı ile substratın ayrıştırılmasında kullanılır. Yüksek çamur yaşı değerine sahip süreçlerde,

hücre bakımı için gerekli enerji substrat metabolizması için gerekli olan oksijen miktarı ile aynıdır. Substrat giderimini sınırlamamak için, havalandırma havuzunda en az 0,5- 2,0 mg/L'lik bir minimum çözünmüş oksijen konsantrasyonu sağlanmalıdır.

Oksijen, biyolojik faaliyet için gerekli olduğu kadar, askıda maddelerin çökelmesini önleyecek karışımı da oluşturmalıdır (Toprak, 1999).

AKR sistemlerin de nitrifikasyonun oluşması için çözünmüş oksijen değerinin 2 mg/L'den büyük olması istenmektedir. Denitrifikasyon da ise istenen çözünmüş oksijen değeri 0,3–0,5 mg/L'dir (Metcalf & Eddy, 2003).

Çalışmada Ç.O ölçümleri WTW marka Multiparametre 340i cihazı ile yapılmıştır.

3.5.1.6. pH

Aktif çamur sistemlerinde pH büyük önem taşır. Nitrifikasyonun ve denitrifikasyonun oluşmasında pH belirleyici bir parametredir. Nitrifikasyonun gerçekleşmesi için istenen pH değeri 6,8-8'dir. pH azaldıkça nitrifikasyon hızı azalır ve pH'ın 6,5'in altına inmesi durumunda çıkış suyunda yüksek amonyak konsantrasyonları oluşur (Metcalf & Eddy, 2003).

Çalışmada pH ölçümleri WTW marka Multiparametre 340i cihazı ile yapılmıştır.

3.5.1.7. PO_4-P analizi

Fosfor atıksularda ortofosfat (PO_4^{-3}), polifosfat (P_2O_7) ve organik bağlı formda bulunabilmektedir. Polifosfatlar ve organik bağlı fosfatlar hidroliz reaksiyonları ile orto fosfatlara ve serbest fosfatlara parçalanarak mikroorganizmaların kullanabileceği forma dönüştürülür. Atıksuda bulunan fosfora ilave olarak fosforu bünyelerine almaları ile mikroorganizmaların oluşturduğu çamur %10–30 oranında fosfor içermektedir. Bu nedenle fosfor gideren bu biyolojik sistemlere biyolojik aşırı fosfor gideren sistemler (BAPGS) denir.

BAPG Sistemlerinde oluşan olaylar ve safhalar:

1. Anaerobik / aerobik ardışık süreçler
2. Asetat veya asetik asit-Glukoz tipi karbonhidratlar anaerobik safhada asetik asit, propiyonik asit, bütirik asit ve valerik asit gibi uçucu yağ asitlerine dönüştürülür.
3. Anaerobik safhada fosfor bakterileri bünyelerinde bulunan PO_4-P'unu ortama salar. Aerobik safhada ise fosfor bakterileri PO_4-P'unu hücre içine alır.
4. Fosfor bakteriler asetata dönüşmeyen organik maddeleri kendi bünyelerinde polyhidroksibitürat (PHB) granülleri şeklinde depo eder.
5. PHB'nin oluşması için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerji Poly-P'un, PO_4'lara parçalanması ve PO_4'ün salınması sırasında oluşur. Poly-P bileşiklerinin anaerobik ortamda parçalanması sırasında oluşan enerjiden PHB'lar oluşturulur. Diğer bir deyişle, PHB anaerobik safhada oluşur.
6. Aerobik safhada ise mikroorganizmalar atıksudan PO_4'unu bünyelerine alırlar. Fosfatların atıksudan hücre içine alınması için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu da anaerobik safhada oluşan PHB'lerin parçalanmasından elde edilir.
7. Anaerobik safhada PHB oluşurken, aerobik safhada PHB'ler parçalanır.

Ardışık Kesikli Reaktör (AKR)'de fosfor giderimi prosesinin safhaları ise;

1. Karbonlu, azotlu madde ve fosfor giderimi yapılacaksa ototrofik ve heterotrofik mikroorganizma ile Acinetobacter-fosfor bakterilerinin aşılaması yapılır.
2. Ç.O. kesilerek sürekli karıştırma ile karbonlu madde giderimi yapılır ve fosfor salınması sağlanır.
3. Ç.O verilerek sürekli karıştırma ile KOİ aerobik koşullarda H_2O ve CO_2 'e mineralize olur. NH_4-N'u aerobik koşullarda NH_3-N'una dönüşür. Bu arada Acinetobacter bakterileri tarafından atıksudan çamura PO_4-P alınımı gerçekleştirilir.
4. Oluşan anoksik koşullarda karıştırma ile NH_3-N' unun denitrifikasyonu ile NO_3-N'u N_2'a dönüştürülür. Atıksudaki KOİ'nin bir kısmı denitrifikasyon mikroorganizmaları için karbon kaynağı olarak kullanılır.
5. Çökelme ve bir bekletme süresi akabinde üst sıvıdan örnek alınarak KOİ, NO_3-N, NH_4-N ve PO_4-P'u giderimlerine bırakılır.

6. Eğer uygun giderme verimleri elde edilmişse tekrar Ç.O verilerek kalan KOİ'nin mineralizasyonu ile kalan NH_4-N'unun NO_3-N'una nitrifikasyon olayı sağlanır. PO_4-P'unun çamur içine alınması sağlanır.

7. Ç.O kesilir. Anoksik koşullarda bir önceki safhadan kalan NO_3-N'unun denitrifikasyonu sağlanır.

8. Çökeltme ve belli bir bekleme süresinin akabinde üstten karbonu, azotu ve fosforu giderilmiş su alınır. Reaktördeki çamur konsantrasyonunu ayarlamak için gerektiğinde çamur atılır veya tazelenir.

Anaerobik ve aerobik havuzlarda optimum fosfor salınması ve alınması için giderilen KOİ / kullanılan PO_4 oranı maksimum 50–59 olmalıdır. Çamur yaşı 8–10 gün arasında alındığında giderilen KOİ / kullanılan PO_4 oranı 20–25 arasında olmalıdır.

Anaerobik safhada Ç.O konsantrasyonunun sıfıra yakın olması gerekmektedir. Ç.O'in 0.5 mg/L'ye kadar olması durumunda fosfor salınımı olabilmektedir (Metcalf & Eddy, 2003).

Çalışmada PO_4-P analizleri Dr LANGE marka LCK 349 kiti ile yapılmıştır.

3.5.1.8. TN analizleri

Nitrifikasyon ve denitrifikasyon azotun su ekosistemindeki döngüsüne dayanan proseslerdir;

Nitrifikasyonun gerçekleşmesinden sorumlu doğal nitrifikasyon bakterileri; Nitrosomanas ve nitrobakter olarak iki tip organizmadan oluşur.

NH_4	$\longrightarrow$	NO^-_2	$\longrightarrow$	NO_3
Amonyak		Nitrit		Nitrat

Denitrifikasyon amonyak azotun nitrata oksitlendiği anaerobik (oksijensiz ortamda gerçekleşen) bir işlemdir.

NO_3	$\longrightarrow$	NO_2	$\longrightarrow$	NO	$\longrightarrow$	N_2O	$\longrightarrow$	N_2
Nitrat		Nitrit		Nitrik Oksit		Azotdioksit		Azot Gazı

- Nitrosomanas bakterileri amonyağı nitrite; nitrobakter ise nitriti nitrata dönüştürürler.
- Nitrifikasyon bakterileri ototrofik yani karbondioksiti karbon kaynağı olarak kullanabilen ve diğer mikroorganizmalara göre daha yavaş büyüyen bakterilerdir.

Azotlu maddeler, biyolojik arıtma tesislerinde belirli oranlarda bulunması zorunlu olan besleyici unsurlardır. Arıtılacak olan atık suların, mevcut BOİ: N, 100:5 oranını geçecek şekilde azotlu maddenin dışarıdan atık suya eklenmesi gereklidir. Bu ise doğal olarak işletme ekonomisini etkileyen bir unsurdur.

Nitrifikasyonda önemli parametreleri şu şekilde sıralamak mümkündür:

1. Ç.O. : Düşük Ç.O. nitrifikasyon hızını azaltır. Nitrosomonas ve nitrobakter zorunlu aerobtur. Ç.O. 2 mg/L'nin altına indiğinde nitrifikasyon inhibe olur. 0.5 mg/L Ç.O. konsantrasyonunda nitrifikasyon oluşmaz.

2. TKN yükü: Organik azotun hemen hemen hepsi amonyak azotuna dönüştürüleceği için TKN sistemde toplam amonyak miktarına nazaran daha etkili bir ölçüdür.

3. Sıcaklık: 30 ^{0}C'nin altına düştükçe nitrifikasyon hızı azalır. Bu nedenle nitrifikasyon yaz aylarında, kış aylarına göre daha hızlı gerçekleşir.

4. Alkalinite ve pH: Nitrifikasyon bakterileri bikarbonat alakalinitesini tüketirler ve karbonik asit üretirler. pH azaldıkça nitrifikasyon hızı azalır, pH'ın 6,5'in altına inmesi durumunda çıkış suyunda yüksek amonyak konsantrasyonları oluşur (Metcalf & Eddy, 2003).

Çalışmada TN analizleri Dr LANGE marka LCK 138 kiti ile yapılmış, NH_4-N, NO_3-N parametreleri ise Thermo marka Orion 710A cihazıyla ölçülmüştür.

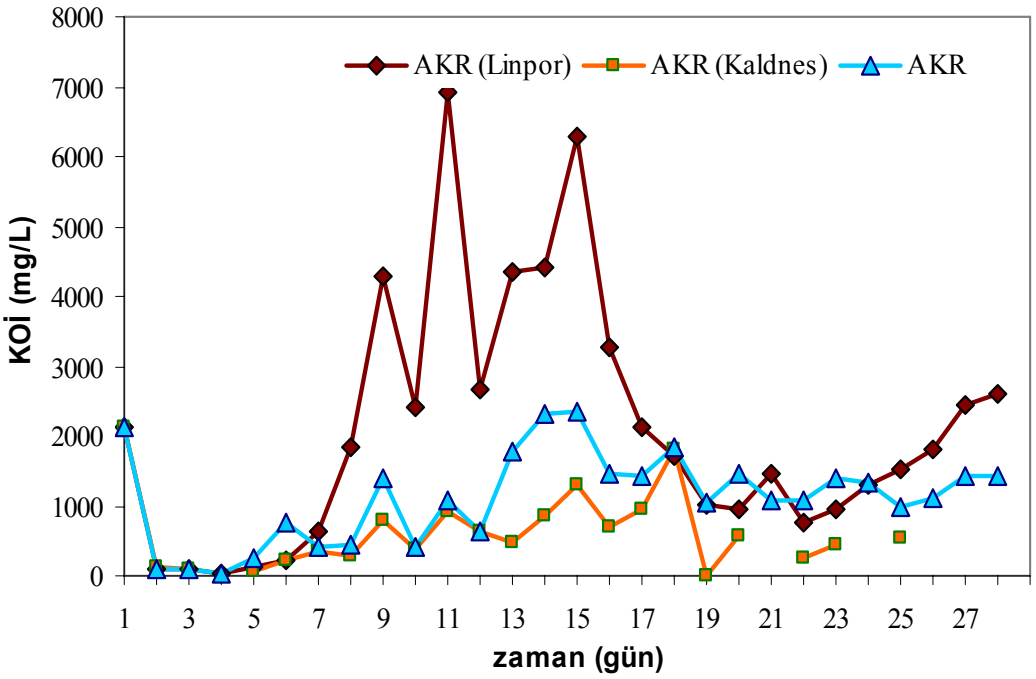
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

4.1. Araştırma Sonuçları

4.1.1. KOİ giderimi

Deneysel çalışmalar boyunca, reaktörlerden alınan arıtılmış su da toplam KOİ ve filtrelenmiş KOİ analizleri günlük olarak yapılmıştır.

AKR, Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR ve LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktörlerinde ilk 6 gün çıkış atık suyundaki KOİ değeri genel olarak 500 mg/L'nin altında sonuçlar vermiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. AKR'ler de çıkış KOİ değerleri.

Çalışmada kullanılan mikroorganizmaların bir hafta süreyle 1000 mg/L KOİ değerindeki sentetik atıksu ile adapte edilmiştir. İlk hafta her üç reaktörde de elde edilen giderim veriminin yüksek olması reaktörlerdeki bu seyrelmeden kaynaklanmaktadır. Çalışma da hidrolik bekleme süresi (HRT) 8 gün olarak

belirlenmişti. İlk 8 gün sonunda reaktörler içerisinde ki atıksu tamamen değişmiş ve tüm reaktörler ortalama 17750 mg/L KOİ değerindeki süt atıksu ile beslenmeye devam edilmiştir. Bu süreçten sonra reaktörler içerisindeki karışık sıvıda KOİ değerleri yükselmiştir.

Taşıyıcı malzemesiz AKR'de ilk 6 gün içerisinde KOİ giderim verimi yaklaşık olarak % 88 değerlerinde iken bu değer çalışmanın tümünde yaklaşık olarak % 66 değerlerinde kalmıştır (Şekil 4.2).

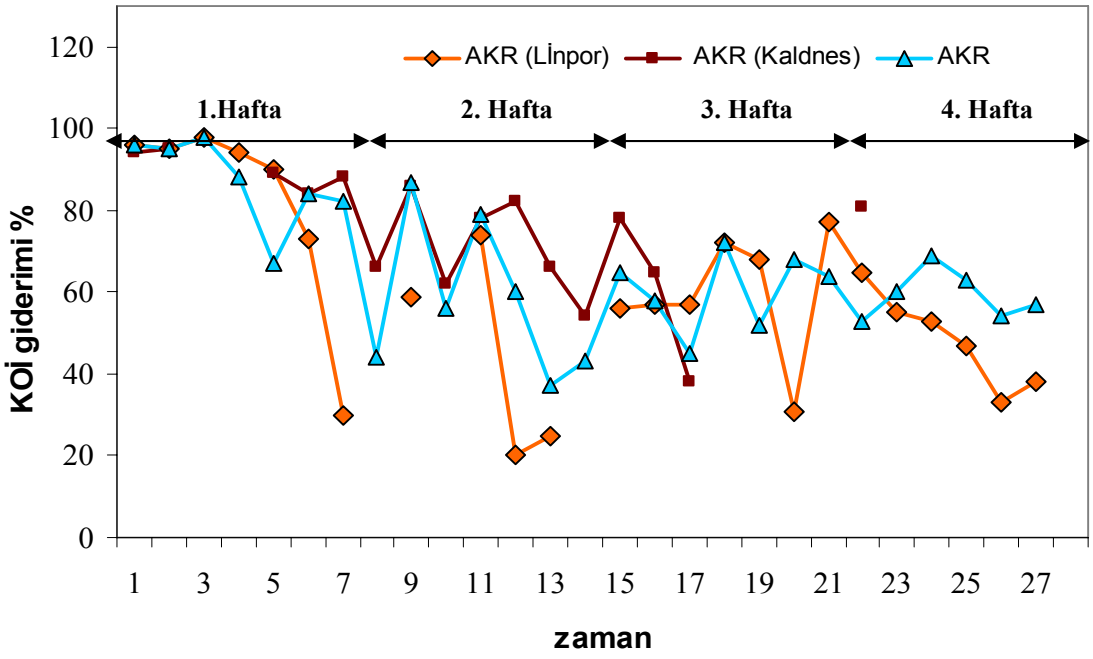
Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe ilk 6 günlük sürede KOİ giderim verimi %90 değerlerinde iken tüm çalışma boyunca giderim verimi yaklaşık olarak %75 değerinde olmuştur (Şekil 4.2.). Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe ilk 4 gün sonrasından itibaren malzeme üzerinde mikroorganizma büyümesi görülmeye başlanmıştır.

Bu reaktörde çalışma süresince KOİ giderimi düzenli olarak izlenememiştir. İlk haftadan sonra AKM oluşumunda ciddi bir artış olmuş çamur yaşı 5 gün olarak çalışılmasına rağmen bu artış engellenememiştir. Son haftada ise Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe çıkış KOİ değerleri ölçülememiştir. Arıtılmış su da filtrelenmiş KOİ analizleri yapılmasına rağmen, çıkış suyuna karışan AKM'den dolayı sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir.

LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe KOİ değerleri diğer iki reaktöre oranla daha düşük seviyelerde değerlere sahiptir. İlk hafta da diğer reaktörlerde olduğu gibi iyi bir giderim elde edilmiştir.

İlk haftanın KOİ giderim verimi LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe %91 değerindedir. Giderim verimi tüm çalışma boyunca yaklaşık olarak %56 değerinde kalmıştır (Şekil 4.2.). Reaktörde malzemeler üzerinde biokütlenin artışı gerçekleşmekle birlikte karışık sıvıda istenen AKM artışı sağlanamamıştır. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de malzeme özelliğinden dolayı çalışmanın ilk günlerinde reaktör içerisinde karıştırma işlemi homojen olarak gerçekleştirilemediğinden reaktörde oluşan biokütle malzeme üzerinde kalmıştır. Bu reaktörde KOİ giderim veriminde düşüşlere sebep olmuştur. Karıştırma düzeneği LINPOR taşıyıcı malzemenin iyi bir şekilde karışımını sağlayacak şekilde ayarlandıktan sonra LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de de diğer AKR'ler ile benzer sonuçlar alınmaya başlanmıştır (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.).

Çalışmada en düşük giderim verimi LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe gerçekleşmiştir. Her üç AKR'de de haftalık kompozit atıksuyun yenilenmesiyle birlikte, kompozitin KOİ değerlerindeki değişimlerden dolayı, giderim veriminde belirgin düşüşler yaşanmıştır (Şekil 4.2). Şekil 4.2'de görülen düşük verim noktaları yenilenen kompozitin sisteme verildiği tarihlerde elde edilen verimlerdir.

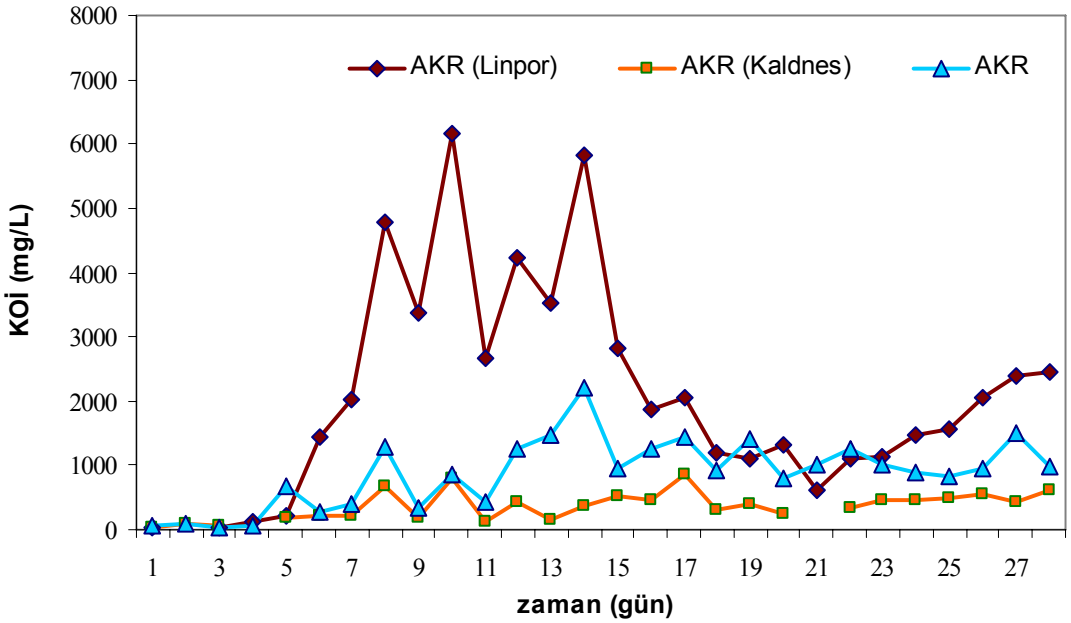


Şekil 4.2. AKR'ler de % KOİ giderim verimi.

4.1.1.1. Filtrelenmiş KOİ

Çalışma süresince reaktörlerde filtrelenmiş KOİ değerleri de günlük olarak ölçülmüş ve takip edilmiştir. Her üç reaktör için ölçülen filtrelenmiş KOİ değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir. AKR'ler de arıtılmış atıksuda ki KOİ değerleri ile filtrelenmiş KOİ değerleri birbirlerine paralel sonuçlar vermiştir.

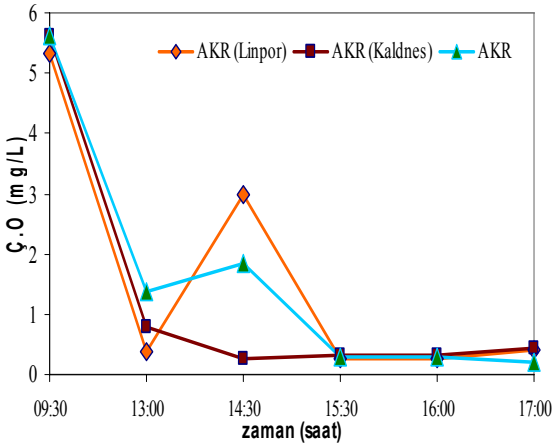
Ancak çalışmanın son haftalarında Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe arıtılmış suya AKM kaçakları olmuş bu da filtrelenmiş KOİ değerinin beklenenin üzerinde çıkmasına neden olmuştur.



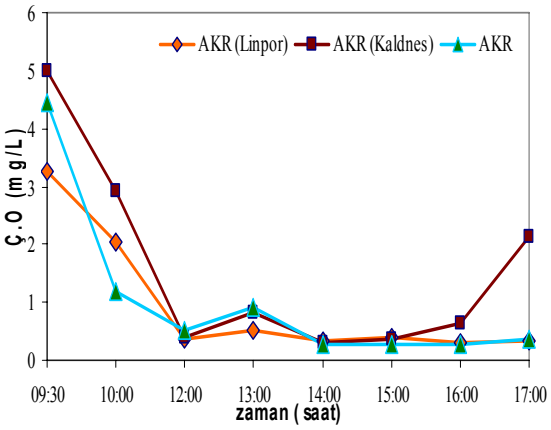
Şekil 4.3. AKR'ler de arıtılmış suda filtrelenmiş KOİ değerleri.

4.1.2. Çözünmüş Oksijen (Ç.O)

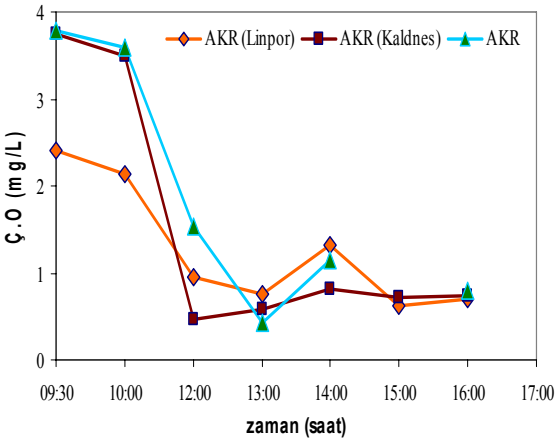
Çalışmada ilk 15 günlük sürede her üç reaktörde de oksijen kullanımı yaklaşık olarak aynı değerlerde seyretmiştir. Reaktörlere atıksu beslemesiyle birlikte Ç.O değerleri düşmüş ve 8–9 saatlik bir süreçte her üç reaktörde oksijen kullanımı devam etmiş, reaktörlerdeki oksijen seviyesi 1 mg/L'nin altında kalmıştır. Şekil 4.4'da 27 gün boyunca sabah 9.30 ile akşam 17.00 saatleri arasında izlenen Ç.O konsantrasyonları verilmiştir. Şekil 4.5'de ise 24 saatlik süreçte reaktörlerdeki Ç.O. değerleri verilmiştir.



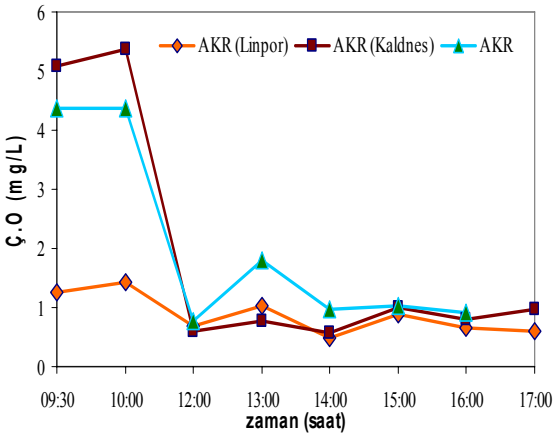
a) 1. gün Ç.O profili (13.07.05)



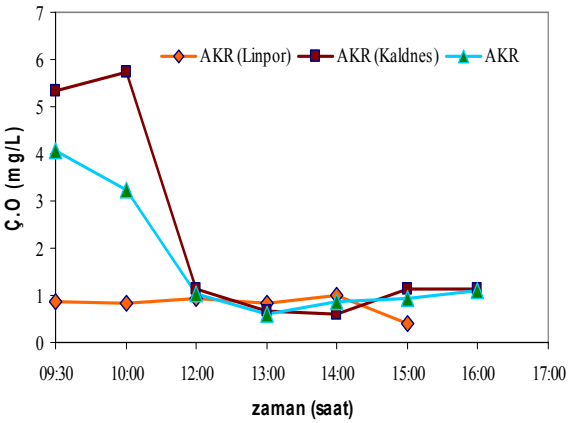
b) 2. gün Ç.O profili (14.07.05)



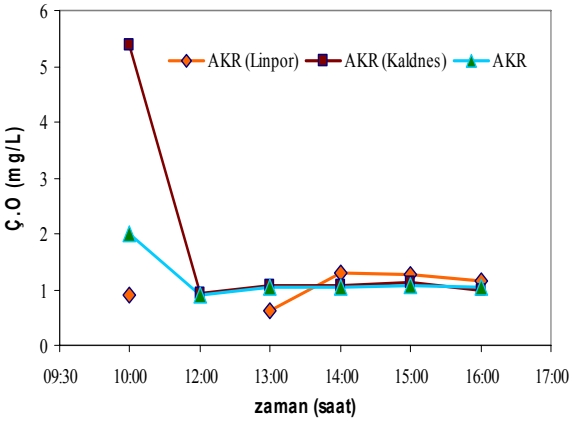
c) 3. gün Ç.O profili (15.07.05)



d) 4. gün Ç.O profili (16.07.05)

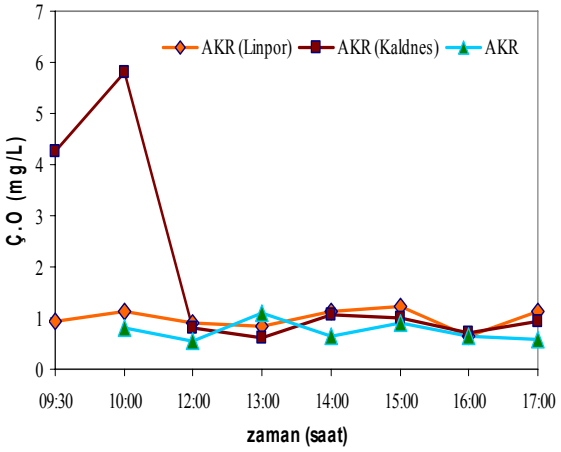


e) 5. gün Ç.O profili (17.07.05)

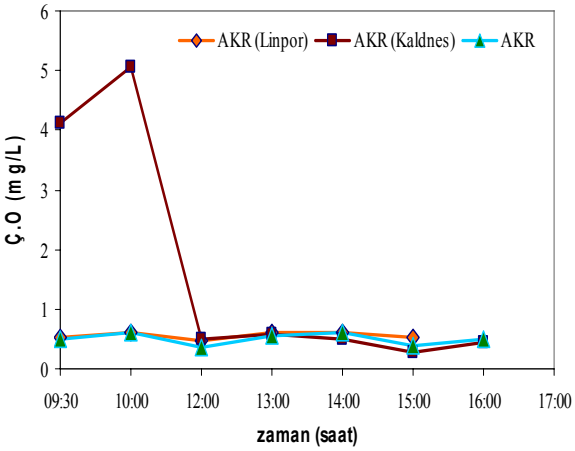


f) 6. gün Ç.O profili (18.07.05)

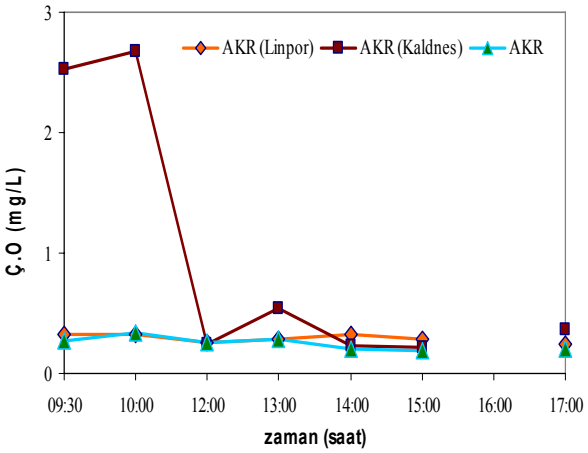
Şekil 4.4. AKR'ler de günlük Ç.O profilleri.



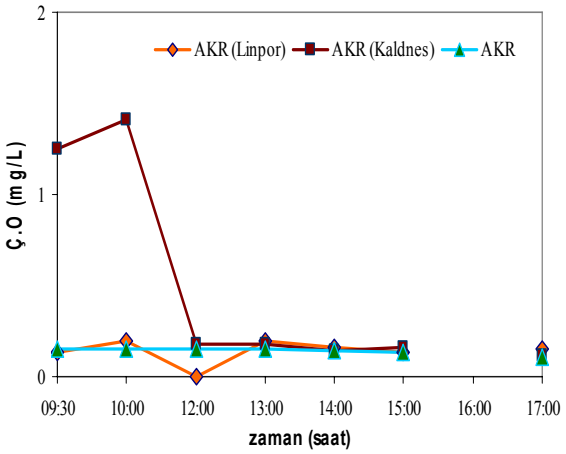
g) 7. gün Ç.O profili (19.07.05)



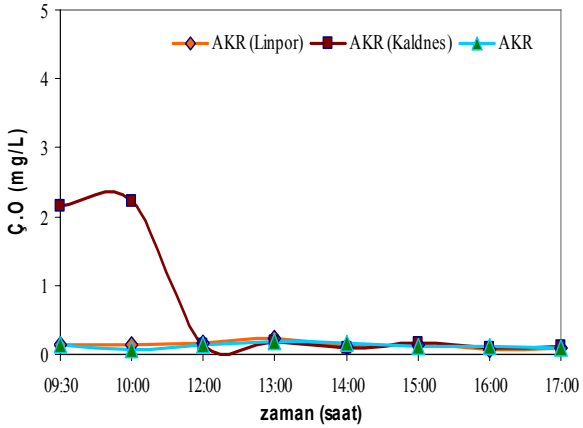
h) 8. gün Ç.O profili (20.07.05)



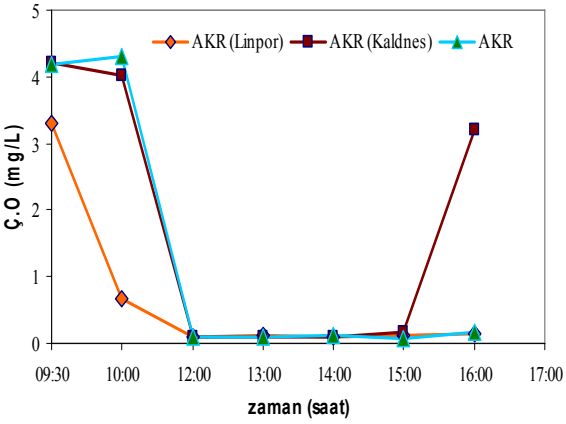
ı) 11. gün Ç.O profili (23.07.05)



i) 12. gün Ç.O profili (24.07.05)



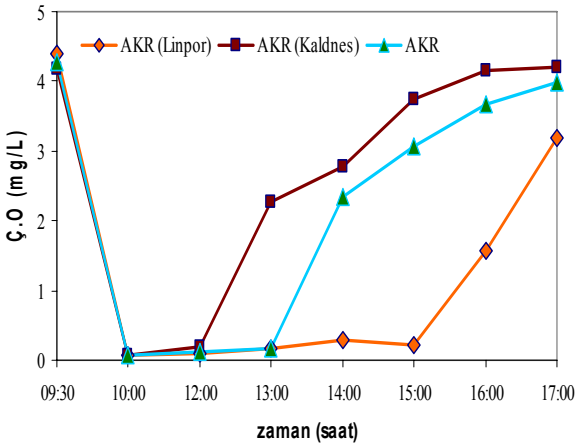
k) 13. gün Ç.O profili (25.07.05)



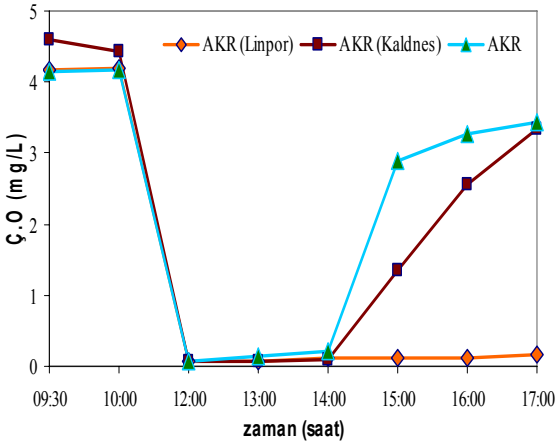
l) 15. gün Ç.O profili (26.07.05)

Şekil 4.4. AKR'ler de günlük Ç.O profilleri.

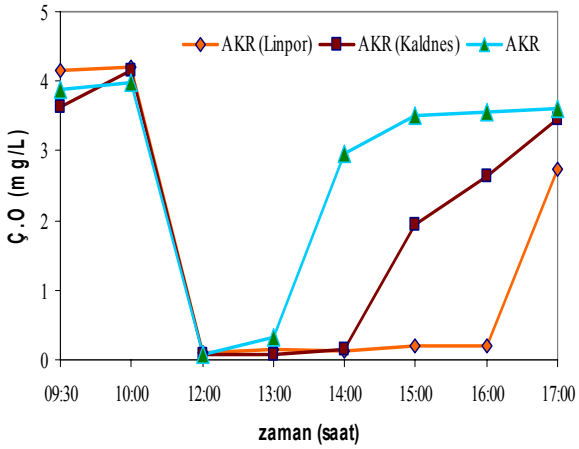
Çalışmanın ilk yarısından sonra AKR'ler de beslemeden sonra verilen atıksuyun Ç.O'ninin düşük olması nedeniyle Ç.O değerlerinde ilk saatlerde bir düşüş yaşanmış, sonrasında ise tüm gün boyunca her üç reaktörde de Ç.O değerleri 3–4 mg/L'de seyretmiştir (Şekil 4.4.).



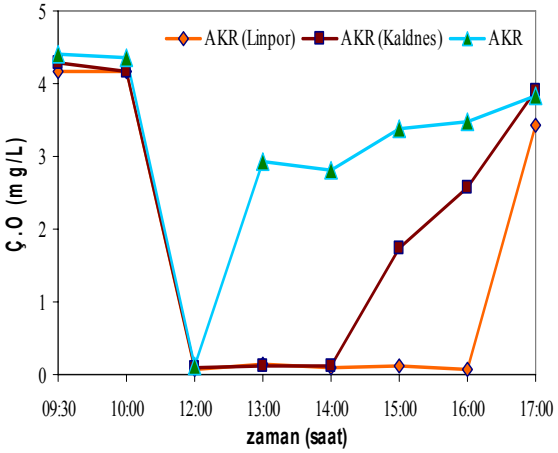
m) 16. gün Ç.O profili (27.07.05)



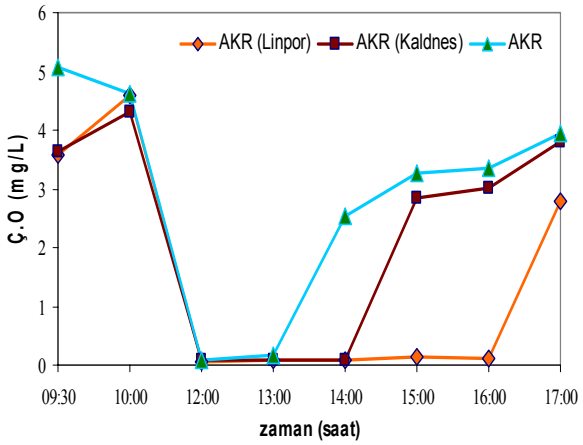
n) 17. gün Ç.O profili (28.07.05)



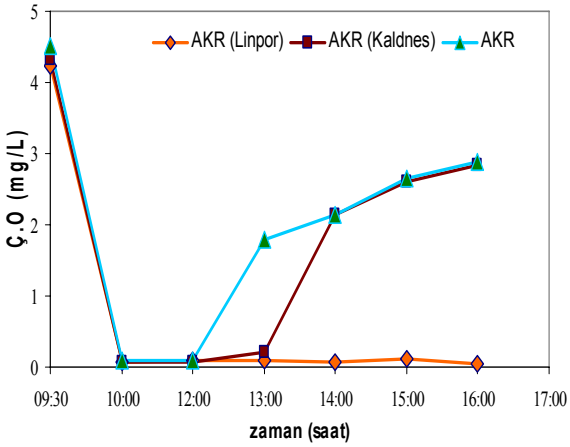
o) 18. gün Ç.O profili (30.07.05)



p) 19. gün Ç.O profili (31.07.05)



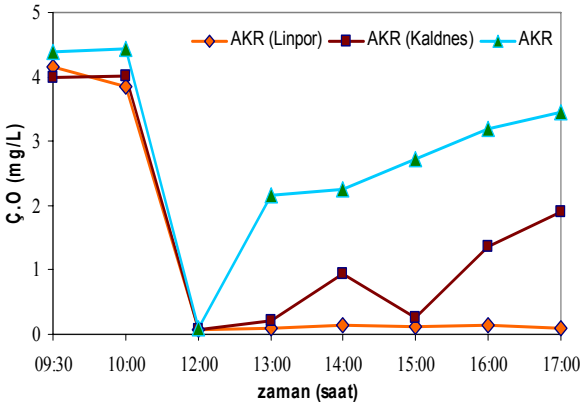
r) 20. gün Ç.O profili (01.08.05)



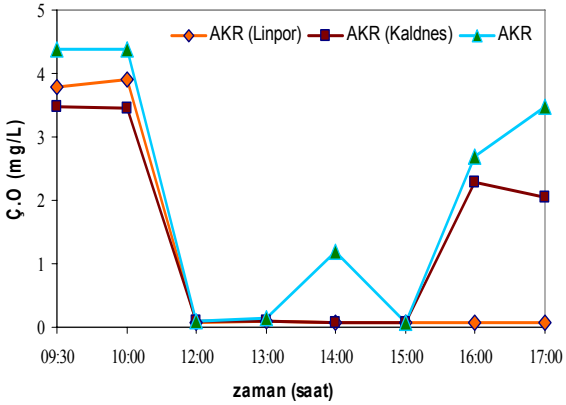
s) 21. gün Ç.O profili (02.08.05)

Şekil 4.4. AKR'ler de günlük Ç.O profilleri.

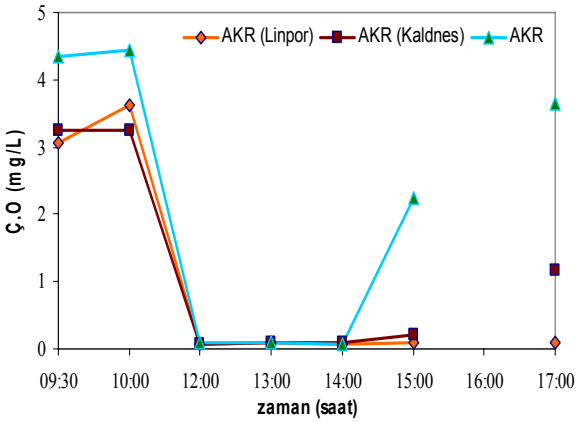
Ç.O değerlerinin 3-4 mg/L değerlerinde kalması uzun süre devam etmemiştir. Çalışmanın 22. gününden sonra her üç reaktörde de Ç.O değerleri çalışmanın ilk haftalarında ki değerlerine dönmüştür (Şekil 4.6).



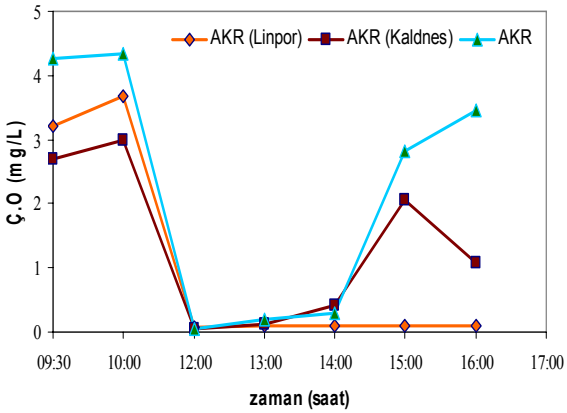
t) 22. gün Ç.O profili (03.08.05)



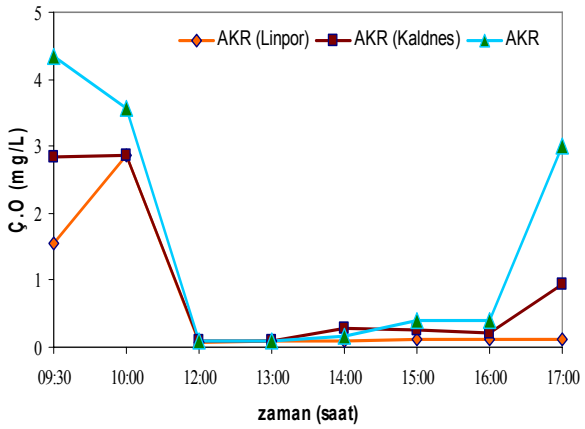
u) 23. gün Ç.O profili (04.08.05)



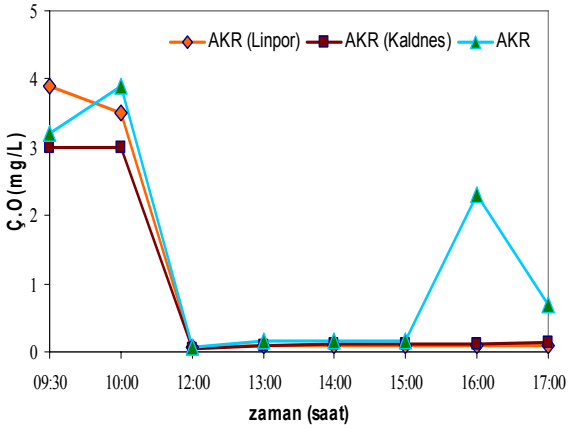
ü) 24. gün Ç.O profili (05.08.05)



v) 25. gün Ç.O profili (06.08.05)

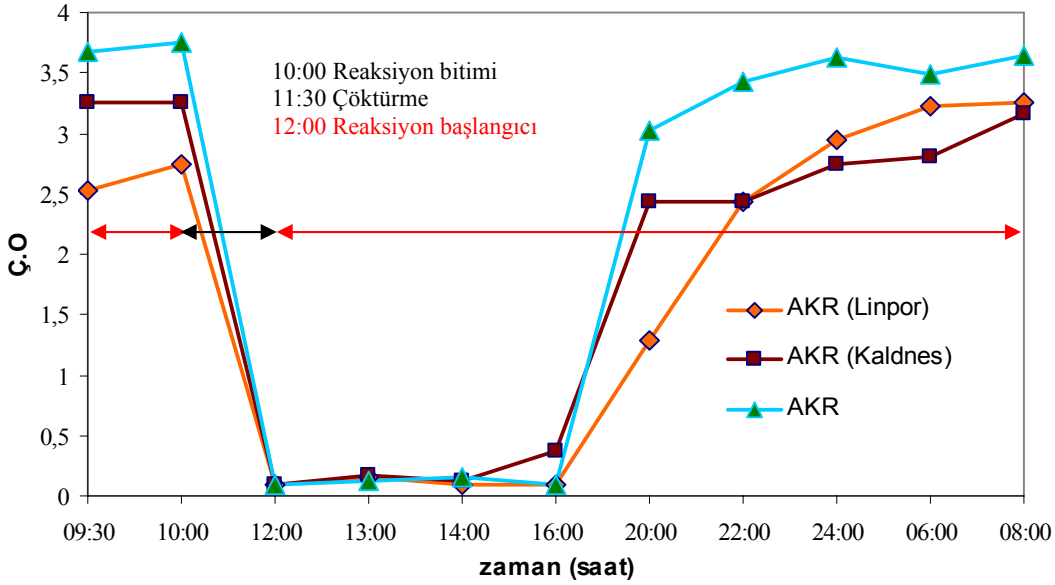


y) 26. gün Ç.O profili (07.08.05)



z) 27. gün Ç.O profili (08.08.05)

Şekil 4.4. AKR'ler de günlük Ç.O profilleri.

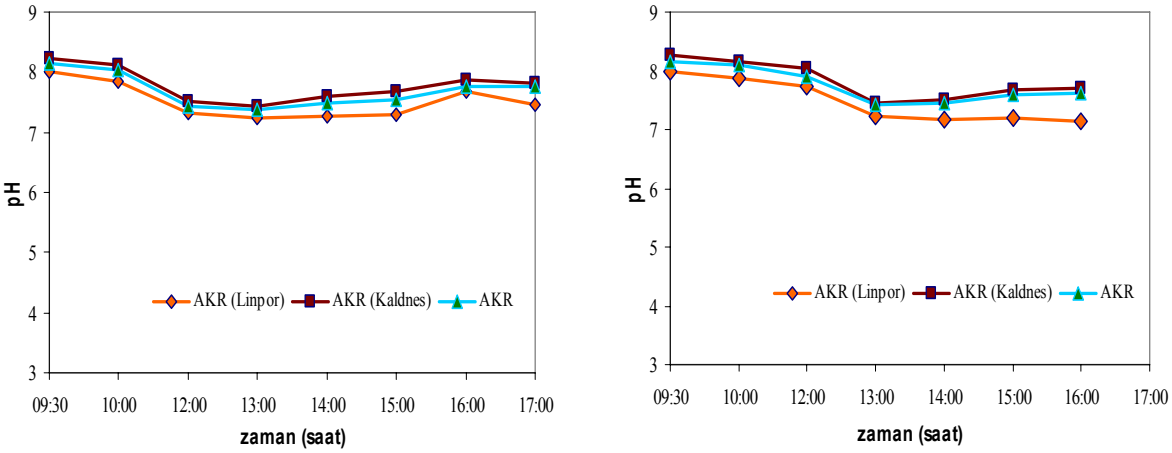


Şekil 4.5. AKR'lerde 24 saatlik süreçte Ç.O. değerleri (09.08.05)

4.1.3. pH

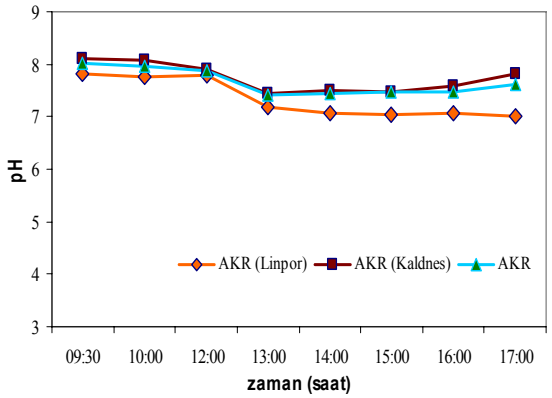
Deneysel çalışmada ilk 4 gün boyunca AKR, Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR ve LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktörlerinin her üçünde de pH 6,5–8 arasındadır. Ancak reaktörlerde ki karışık sıvıda KOİ değerinin yükselmeye başlamasıyla birlikte LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktöründe pH değeri 7,5-6 değerinden pH 5'e kadar düşmüştür (Şekil 4.6.). pH değerinin 6,5'in altına inmesi hem nitrifikasyonun gerçekleşmesini hem de karbonlu madde giderimini olumsuz yönde etkileyeceğinden sisteme NaOH eklemesi yapılarak LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR reaktörünün pH değeri düzenlenmiş ve 13. günle birlikte pH değeri yükselmeye başlamış ve pH diğer AKR'ler ile aynı değere gelmiştir (Şekil 4.6.). Sistemde nitrifikasyon ve denitrifikasyonun düzene girmesiyle birlikte her üç reaktörde pH 6,5-9 değerleri arasında seyretmiştir (Şekil 4.6.).

Çalışmada her üç reaktörde de pH seviyesi 24 saatlik süreçte aynı olup değişiklik göstermemiştir. Yalnızca ilk besleme anında 1–2 saatlik bir süre de düşüş olmuş pH değeri 8,5'den 7'ye düşmüş ardından da tekrar eski değere yükselmiştir (Şekil 4.7.).

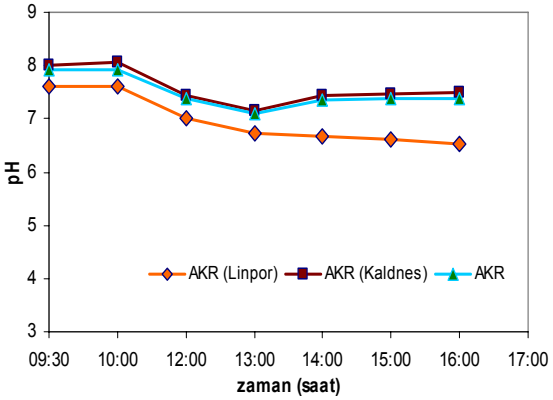


a) 1. gün pH değerleri (14.07.05) b) 2. gün pH değerleri (15.07.05)

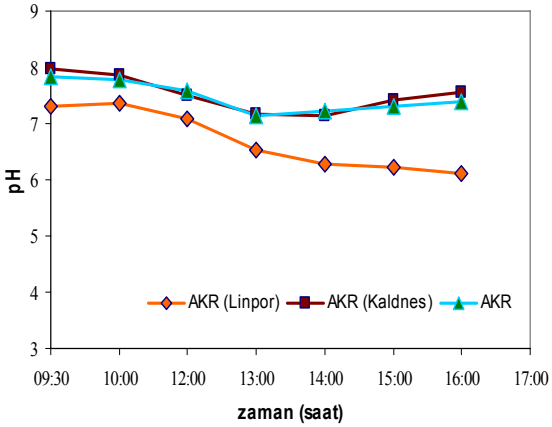
Şekil 4.6. AKR'ler de pH değerleri.



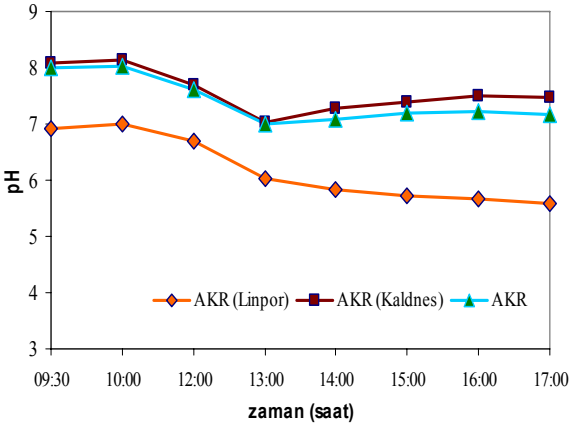
c) 3. gün pH değerleri (16.07.05)



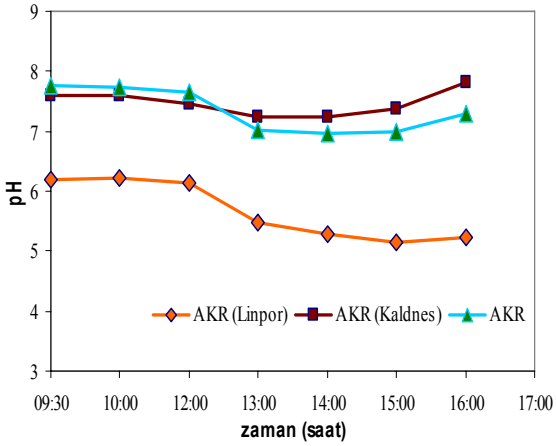
d) 4. gün pH değerleri (17.07.05)



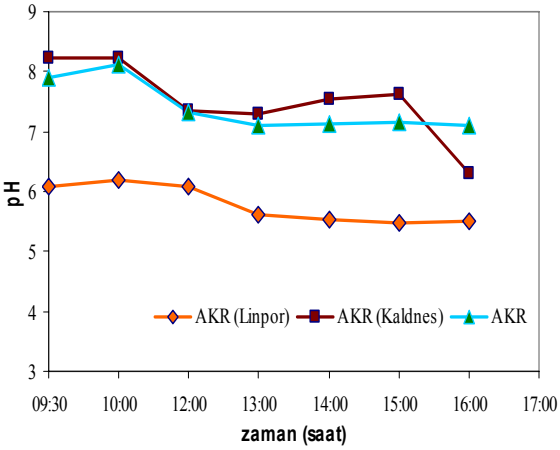
e) 5. gün pH değerleri (18.07.05)



f) 6. gün pH değerleri (19.07.05)

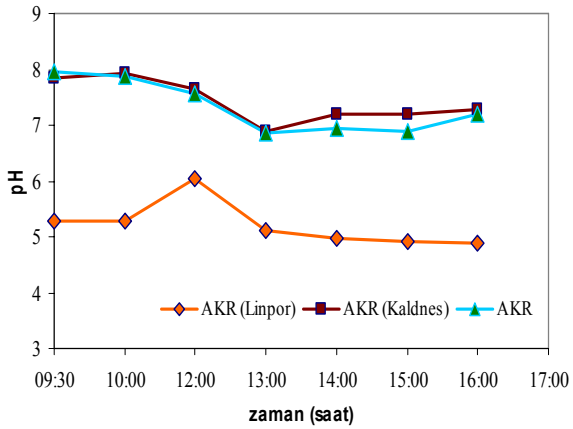


g) 7. gün pH değerleri (20.07.05)

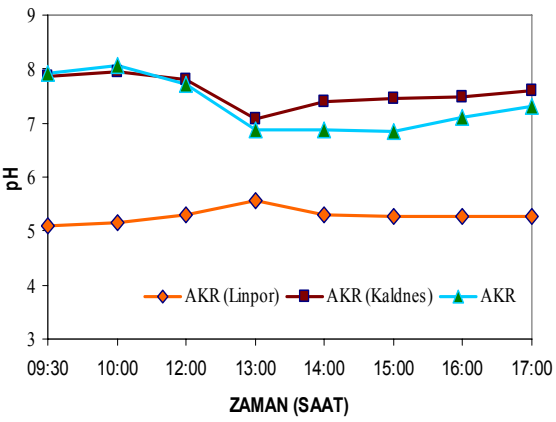


h) 8. gün pH değerleri (21.07.05)

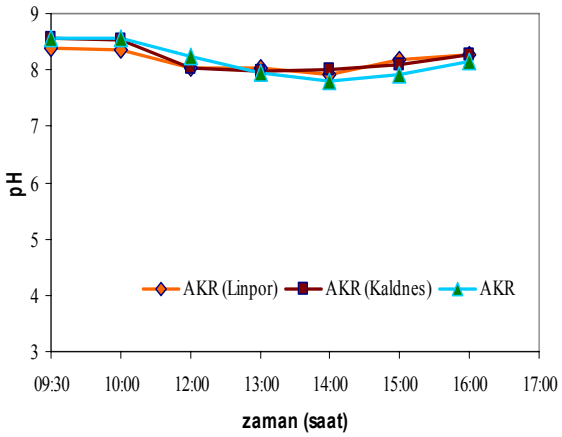
Şekil 4.6. AKR'ler de pH değerleri.



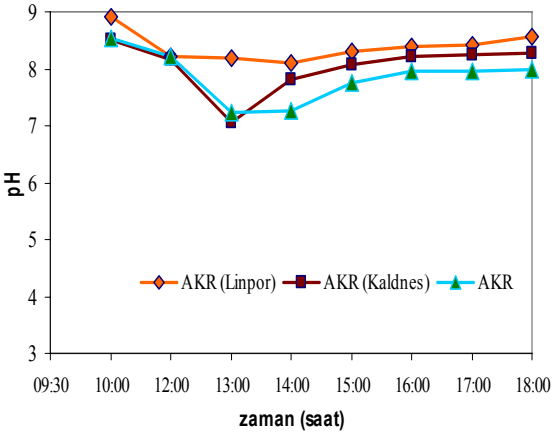
ı) 9. gün pH değerleri (22.07.05)



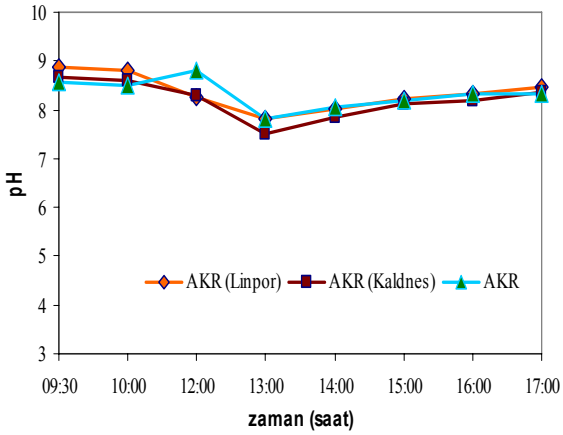
i) 10. gün pH değerleri (23.07.05)



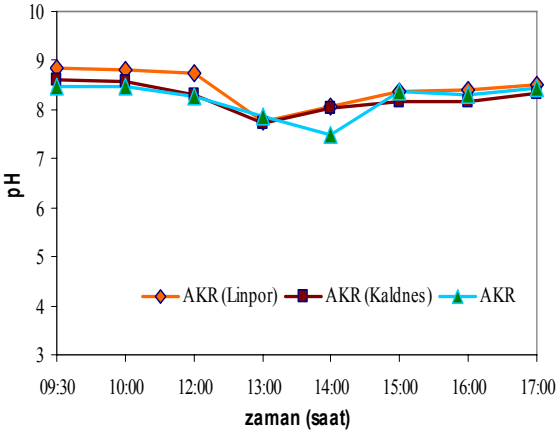
k) 11. gün pH değerleri (24.07.05)



l) 12. gün pH değerleri (25.07.05)

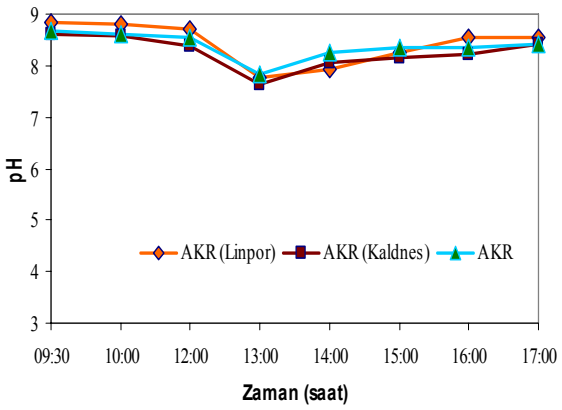


m) 13. gün pH değerleri (27.07.05)

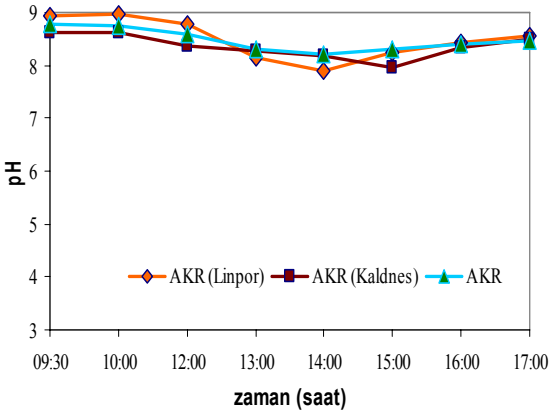


n) 14. gün pH değerleri (28.07.05)

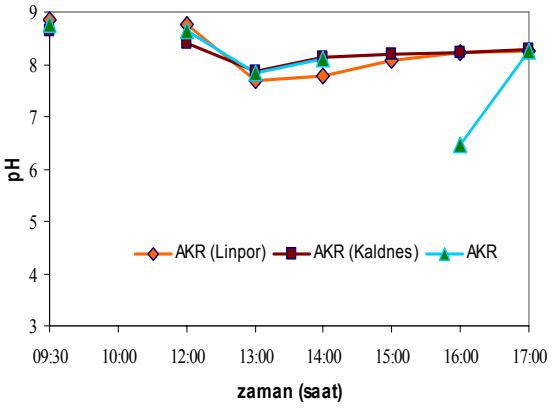
Şekil 4.6. AKR'ler de pH değerleri.



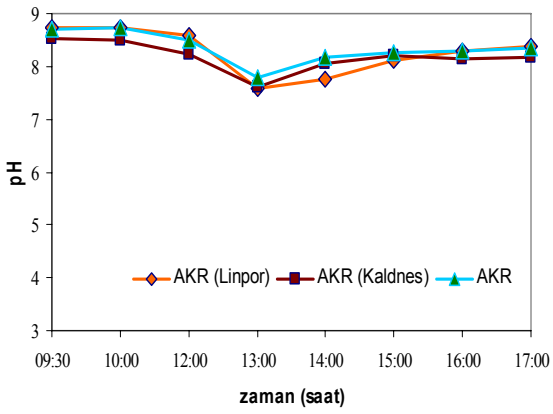
o) 15. gün pH değerleri (29.07.05)



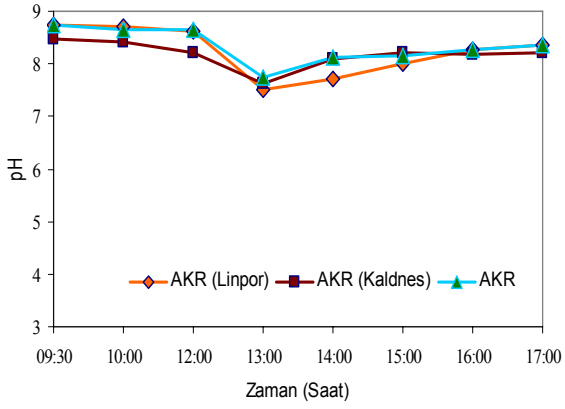
p) 16. gün pH değerleri (30.07.05)



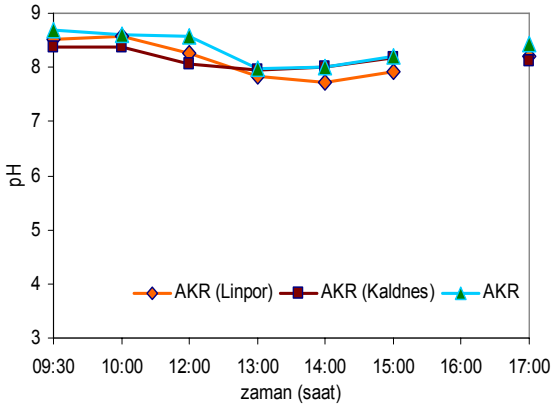
r) 17. gün pH değerleri (31.07.05)



s) 18. gün pH değerleri (01.08.05)

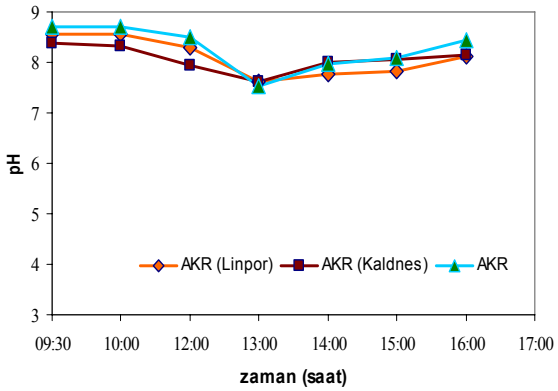


t) 19. gün pH değerleri (02.08.05)

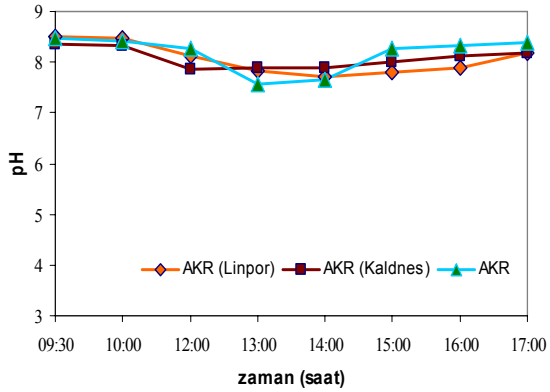


u) 20. gün pH değerleri (03.08.05)

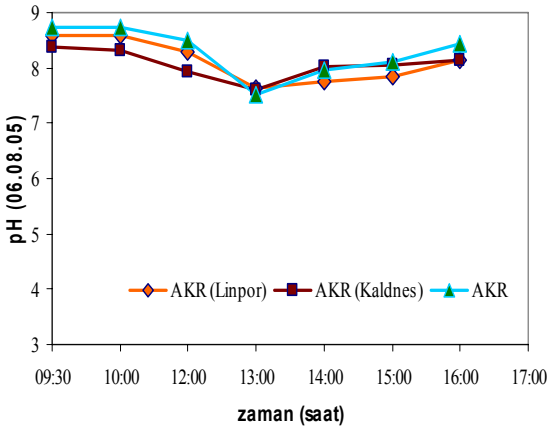
Şekil 4.6. AKR'ler de pH değerleri.



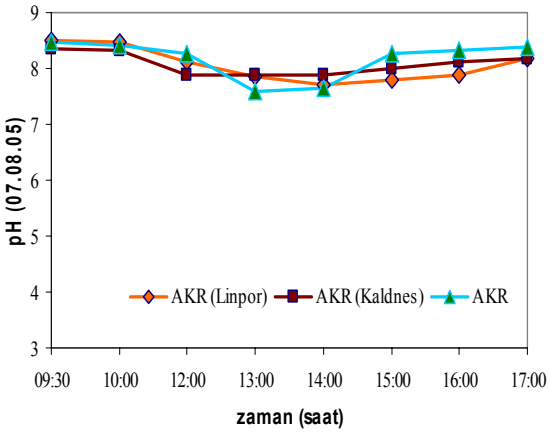
Ü) 21. gün pH değerleri (04.08.05)



v) 22. gün pH değerleri (05.08.05)

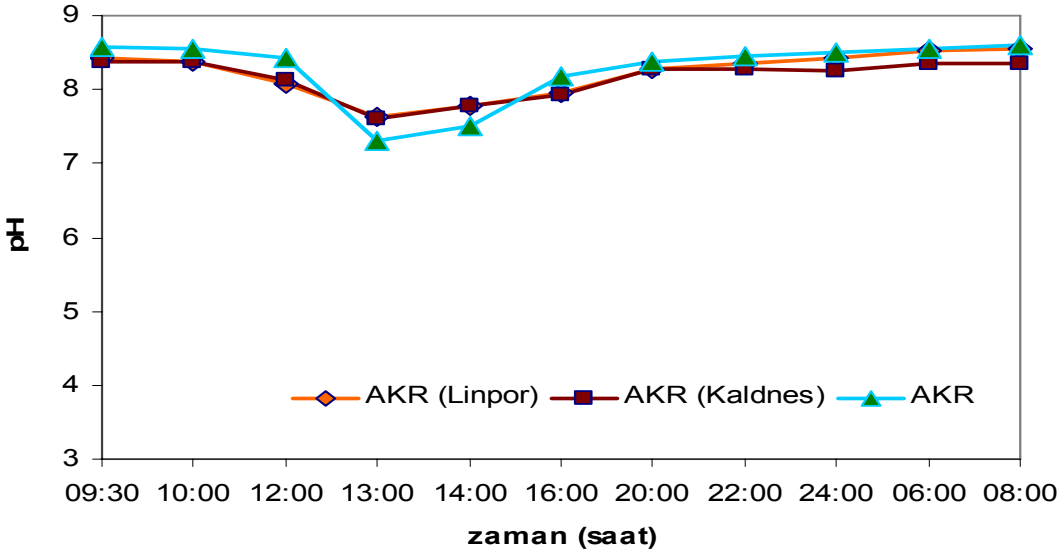


y) 23. gün pH değerleri (06.08.05)



z) 24. gün pH değerleri (07.08.05)

Şekil 4.6. AKR'ler de pH değerleri.



Şekil 4.7. AKR'ler de 24 saatlik periyotta pH değerleri (09.08.05).

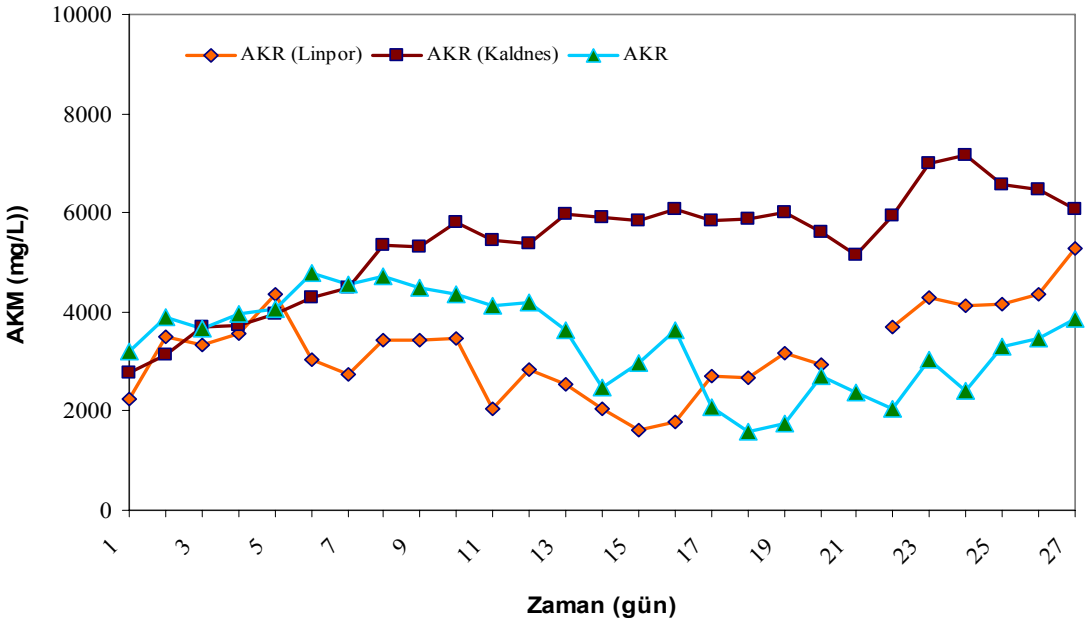
4.1.4. Askıda Katı Madde (AKM)

Deneysel çalışmalar süresince reaktörlerde, karışık sıvıda askıda katı madde ölçümünün yanı sıra taşıyıcı malzemeli reaktörler de LINPOR ve Kaldnes taşıyıcı malzemeleri üzerinde oluşan katı maddelerinde ölçümü yapılarak, malzeme üzerinde oluşan AKM değerleri de saptanmış karışık sıvı askıda katı içeriğine eklenmiştir. Böylelikle reaktörlerin tümünde oluşan AKM konsantrasyonu belirlenerek kontrol edilebilmiştir.

Çalışmada AKR'ler de başlangıçta AKM miktarı 2000-2500 mg/L'dir. Reaktörlerin çalışmaya başlamasıyla birlikte ilk bir hafta boyunca AKM değerlerinde çok büyük bir artış söz konusu olmamıştır (Şekil 4.8.).

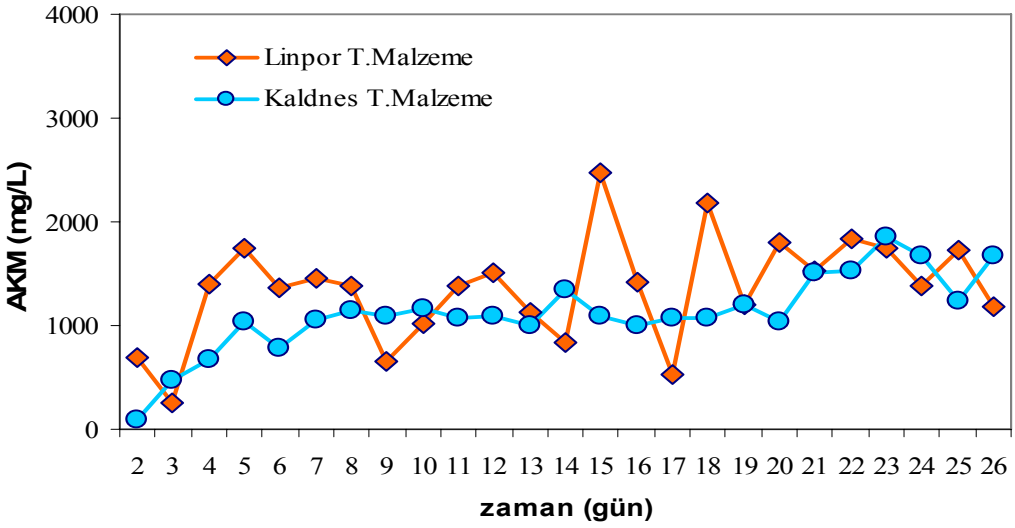
İlk 7 gün boyunca LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de AKM miktarı yaklaşık olarak 2800 mg/L değerlerinde kalmıştır. Reaktör içerisindeki mikroorganizma çoğalmasının, Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'ye göre yavaş olduğu gözlenmiştir. Her iki taşıyıcı malzemeli reaktörde AKM artışı farklı şekilde gelişmiştir. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de karışık sıvıdaki AKM artışı, Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'ye göre daha düşük seviyelerde kalırken, malzeme üzerindeki mikroorganizma oluşumu LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de daha hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. LINPOR taşıyıcı malzeme üzerinde oluşan mikroorganizma artışı ilk hafta itibariyle 1500 mg/L'ye kadar yükselmiştir (Şekil 4.9.).

Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de ise ilk haftada reaktör içerisinde AKM oluşumunda iyi bir artış gözlenmiştir. Reaktörde AKM miktarı yaklaşık olarak 4000 mg/L değerine çıkmıştır. Kaldnes taşıyıcı malzeme üzerinde mikroorganizma artışının çok hızlı olmamasına rağmen karışık sıvıda AKM oluşumu yüksek değerlerdedir. İlk bir hafta boyunca taşıyıcı malzeme üzerinde oluşan AKM miktarı yaklaşık olarak 1000 mg/L olmuştur. Taşıyıcı malzemeler üzerindeki mikroorganizma büyümesinin farklılık göstermesinin nedeni her iki malzemenin yüzey özelliklerinin ve porozitelerinin farklı olması olabilir (Şekil 4.9.).



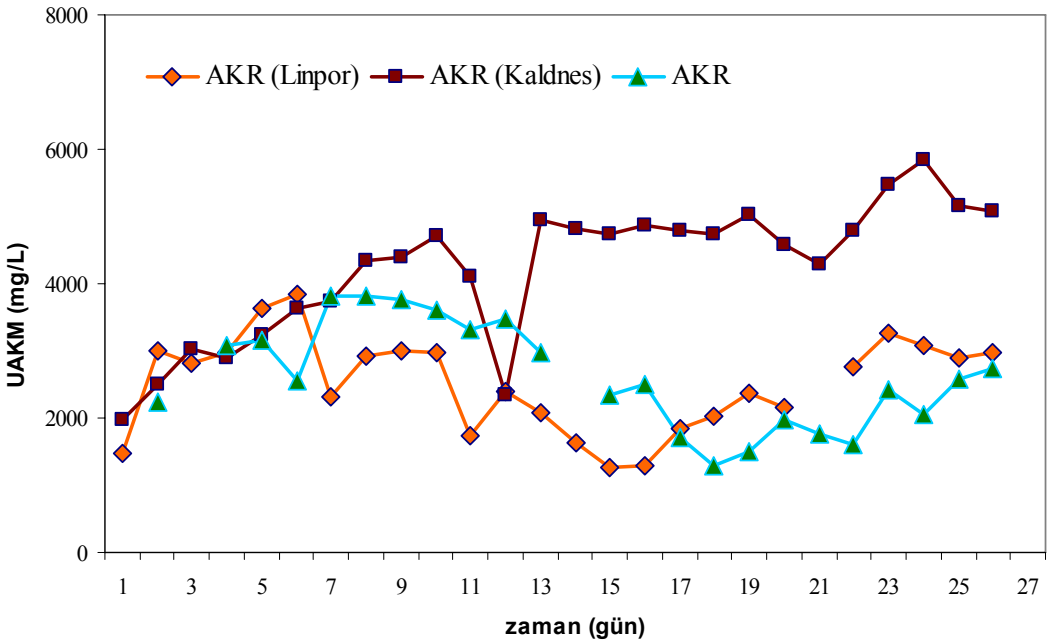
Şekil 4.8. AKR'ler de AKM konsantrasyonları.

Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de malzeme üzerinde oluşan AKM çalışma boyunca artış göstermiştir. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de ise malzeme üzerinde oluşan AKM miktarı salınımlar göstermekle birlikte Kaldnes taşıyıcı malzeme ile benzer şekilde artış göstermiştir. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de malzeme üzerinde AKM oluşumunda düşüşlerin yaşandığı tarihlerde yine kompozit atıksuyun değiştiği gözlenmektedir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. AKR'lerde taşıyıcı malzemeler üzerinde oluşan AKM konsantrasyonları.

AKR'ler de AKM ölçümlerinin yanı sıra askıda katı madde içeriğindeki uçucu organik maddenin tayini için UAKM ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10.'de AKR'ler de UAKM değerleri görülmektedir.

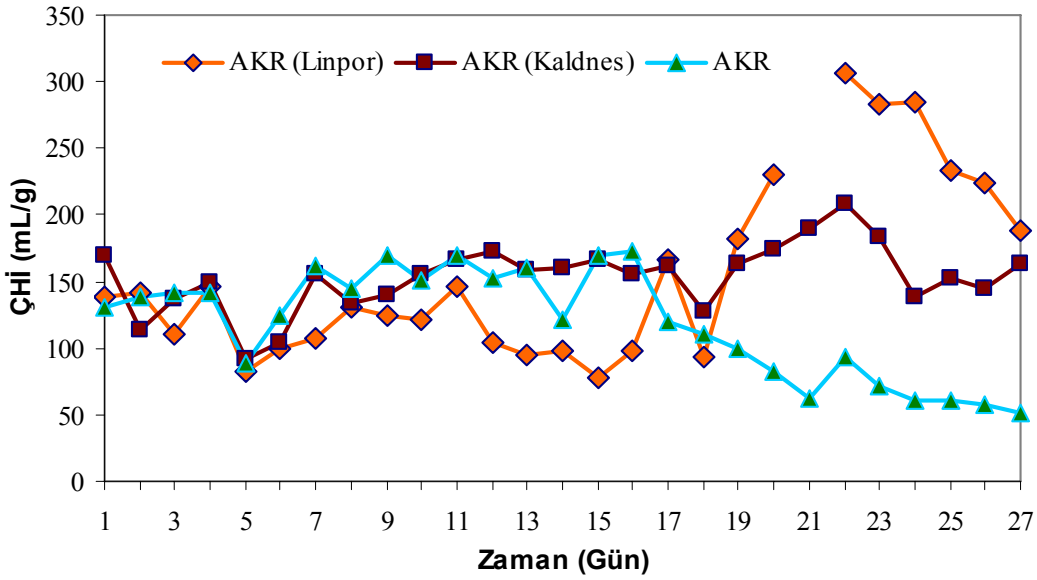


Şekil 4.10. AKR'ler de UAKM konsantrasyonları.

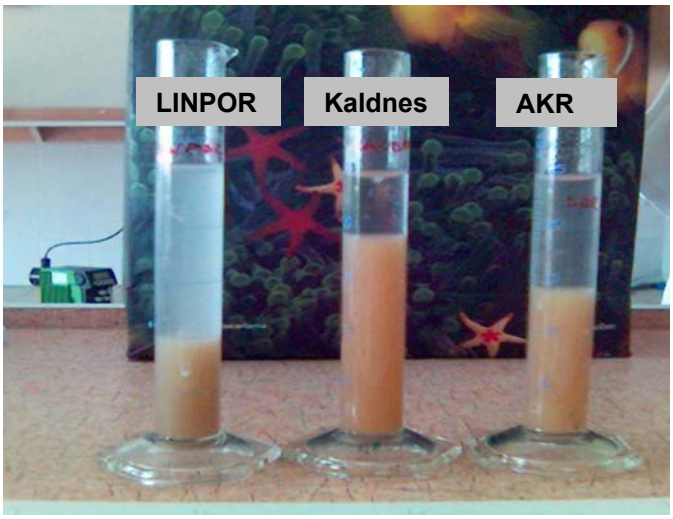
4.1.5. Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ)

Deneysel çalışmalar boyunca AKR'lerde günlük olarak düzenli bir şekilde ÇHİ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma süresince AKR'lerde çamur özellikleri birbirinden farklı özellikler sergilemiştir (Şekil 4.11.). AKR'de AKM konsantrasyonunun 4000 mg/L'ye kadar yükseldiği ilk hafta da ÇHİ değerleri de 125- 160 mL/g arasında değişmiştir. AKM artışının kontrol altına alındığı sonraki haftalarda ÇHİ düzene girmiş ve ortalama olarak 130 mL/g değerleri yakalanmıştır. Çalışmanın son haftasında yeni kompozit atıksu verildikten sonra ÇHİ 50 mL/g olarak ölçülmüştür.

Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de ilk hafta istenen değerlerde seyreden ÇHİ, AKM konsantrasyonunun hızlı artışı ve çamur özelliklerinin değişmesiyle birlikte 130'dan 180 mL/g değerlerine kadar yükselmiş ve çalışma sonuna kadar bu seviyelerde kalmıştır (Şekil 4.11). Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de gerçekleşen AKM artışı ve ÇHİ değerinin yükselmesi çamur özelliklerini de bozmuştur. Reaktörden alınan çamur çok yoğun, koyu renkte ve suyunu verebilme özelliği çok düşüktür (Şekil 4.12.).



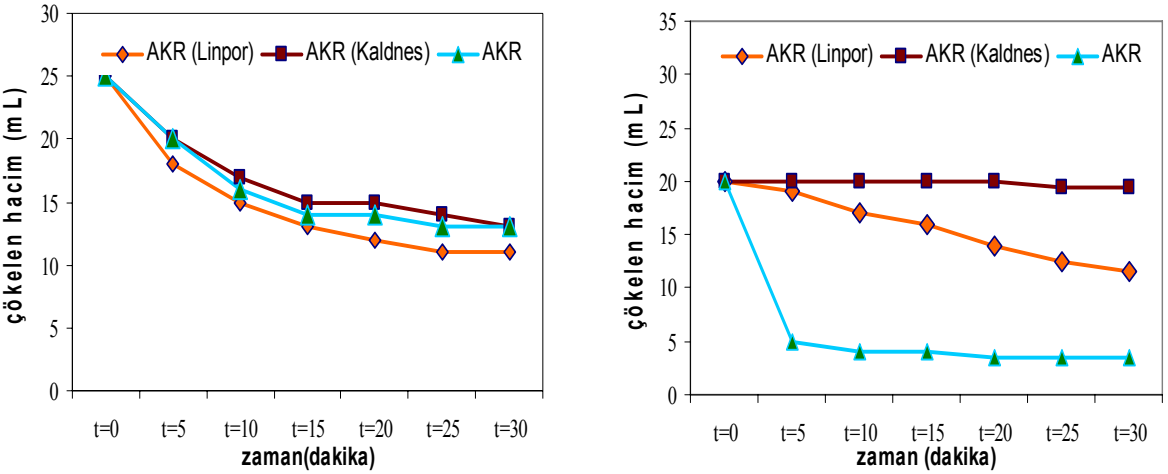
Şekil 4.11. AKR'ler de ÇHİ değerleri.



Şekil 4.12. 21.07.05 tarihinde AKR'lerde ÇHİ.

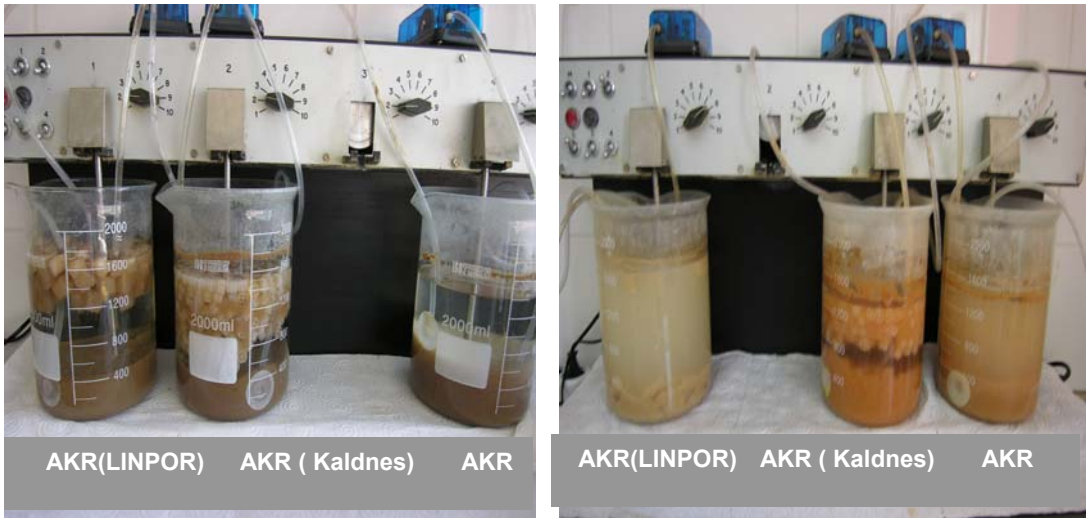
Deneysel çalışma süresince AKR'lerde çamur özelliklerinin nasıl değiştiği AKR'lerde reaksiyon süresinin bitmesinden hemen sonra çökelme anında çamurun görünümünden ve verilen ÇHİ grafiğinden de anlaşılabilir (Şekil 4.13. ve 4.14.).

Çamur özelliklerinin ve ÇHİ'ın değişimi 13.07.05 tarihinde ve 25.07.05 tarihinde reaktörlerde Şekil 4.14'de de verildiği üzere açıkça görülmektedir.



a) 15.07.05 tarihli numunelerde ÇHİ b) 01.08.05 tarihli numunelerde ÇHİ

Şekil 4.13. AKR'lerde ÇHİ'nin değişimi.



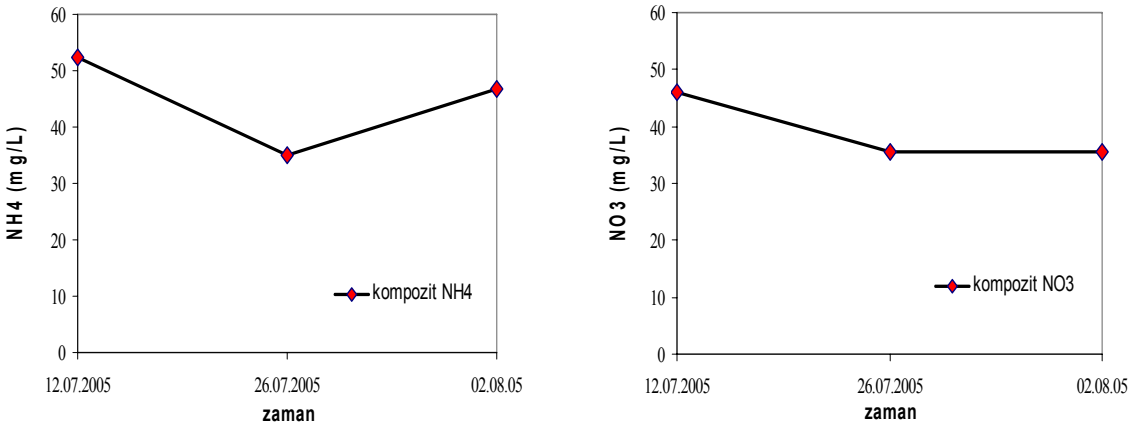
a) 13.07.05 tarihinde reaktörlerde çökelme anı b) 25.07.05 tarihinde reaktörlerde çökelme anı

Şekil 4.14. AKR'lerde çökelme anı.

4.1.6. AKR'ler de azot giderimi

Çalışma boyunca AKR'lerde azot giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon oluşumu izlenmiştir. Kompozit atıksuda ve arıtılmış suda NH_4-N ve NO_3-N parametreleri düzenli bir şekilde takip edilmiştir. Kompozit atıksudaki NH_4 ve NO_3 değerleri Şekil 4.15.'de gösterilmektedir. Kompozit süt atıksuyu yüksek değerlerde NO_3 ihtiva etmektedir. Bu nedenle reaktörlere besleme yapıldığı ilk anda karışık sıvıda NO_3 değerleri yüksektir. Bu değer kompozit atıksuda ortalama olarak 40 mg/L'dir (Şekil 4.15.).

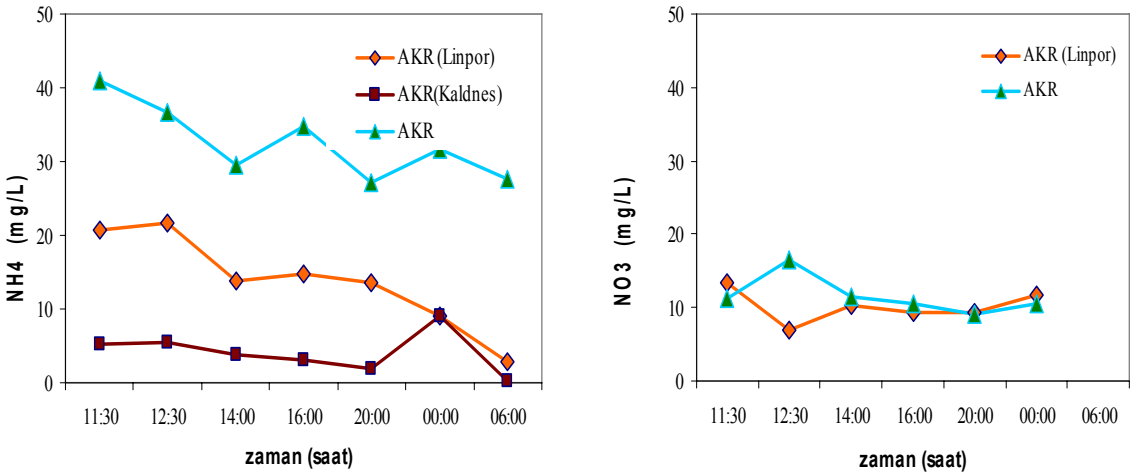
Çalışmada reaktörlerde reaksiyon sürecinin başlamasıyla birlikte organik madde giderimi ile birlikte oksijen kullanılmaya başlanmış be bu süreçte oksijen değerleri 0,5 mg/L'nin altına düşmüştür. Burada organik madde giderimiyle birlikte denitrifikasyonun gerçekleşmesi muhtemeldir. Atıksudaki mevcut NO_3 denitrifikasyon ile N_2'na dönüştürülmüş ve daha sonra nitrifikasyon oluşumu başlamış olabilir.



Şekil 4.15. Kompozit atıksuda NH_4 ve NO_3 değerleri.

AKR'lerde 24 saatlik yapılan ölçümlerde her üç reaktörde de NH_4 değişiminde azalma görülmektedir. AKR'lerde NO_3 ölçümlerinde ise Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de arıtılmış su elde edilememesinden dolayı analiz yapılamamıştır. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de ise atıksu beslemesiyle birlikte NO_3 oluşumunda azalma görülmüş ilerleyen saatlerde ise reaktörde NO_3 yaklaşık olarak aynı değerlerde

seyretmiştir. AKR'de ise besleme yapıldıktan sonra LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'nin aksine artış görülmüş besleme tamamlanıp reaksiyon süresinin başlatılmasıyla birlikte NO_3 değişimi LINPOR AKR ile yaklaşık olarak aynı değerlere gelmiştir (Şekil 4.16).

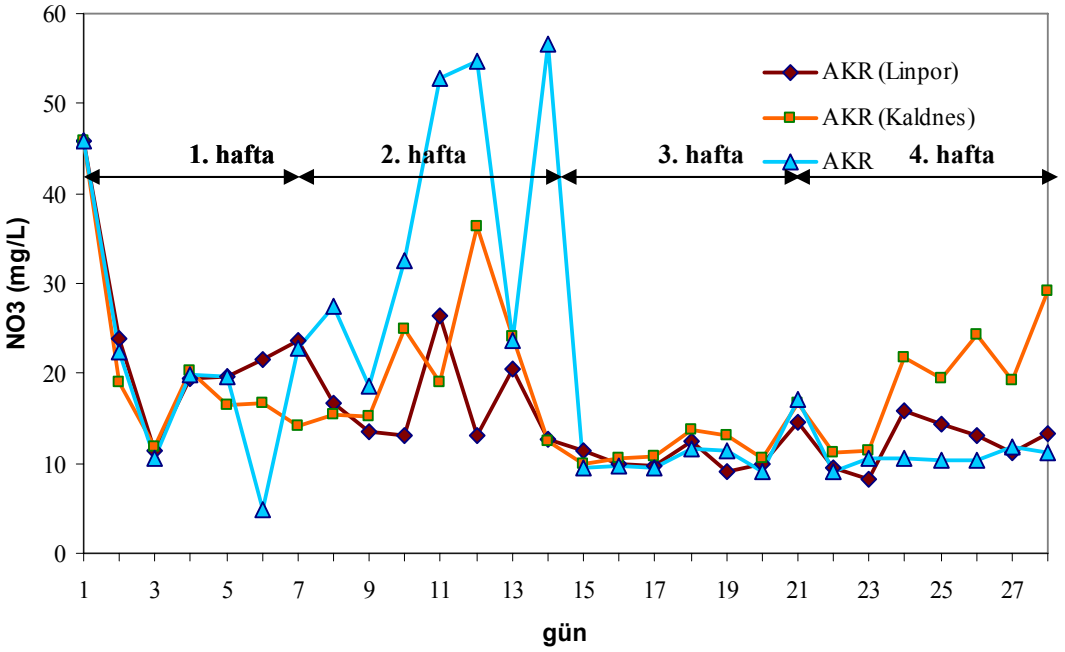


Şekil 4.16. 09.08.05 tarihinde 24 saat süreyle AKR'lerde NH_4 ve NO_3 değişimi.

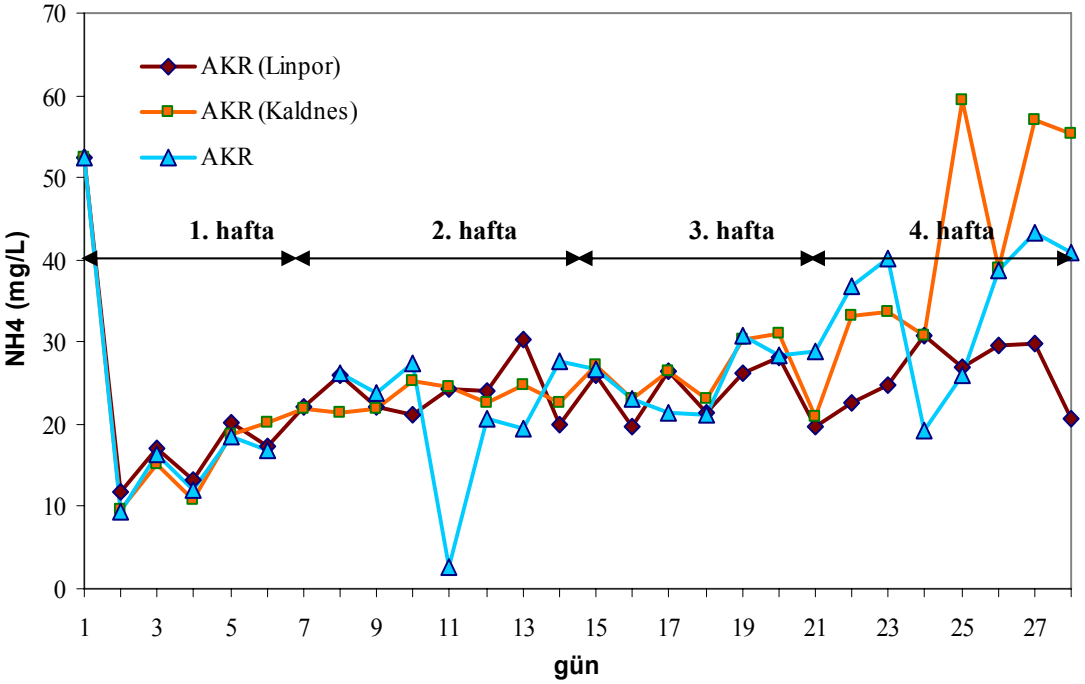
Deneysel çalışma boyunca AKR'lerde analizleri yapılan NH_4 ve NO_3 'ın arıtılmış suda değişimleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de görülmektedir. Çalışmanın ilk yarısında NO_3 giderimi sürekli salınım göstermektedir. Kaldnes ve LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'lerde çıkış suyundaki NO_3 değerleri 15-35 mg/L değerleri arasında değişirken, AKR'de arıtılmış suda NO_3 değerleri salınımlar göstermiş ve 55-60 mg/L değerlerine kadar çıkmıştır. AKR'de NO_3 değerlerinin salınım göstermeye başladığı 11. günden sonra reaksiyon süresinin başlamasıyla birlikte reaktörde oksijen kullanılmamaya başlanmış ve organik madde giderimi gerçekleşmemiştir. Bu süreçte reaktörde denitrifikasyonun gerçekleşmemesiyle birlikte NO_3 değerleride yüksek değerlerdedir. Sonraki bir hafta boyunca her üç AKR'de de çıkış sularında elde edilen NO_3 değerleri 20 mg/L'ye düşmüştür. Çalışmanın son haftasında Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'den arıtılmış su alımının güçleşmesinden dolayı çıkış suyunda NO_3 değerlerinde bir artış söz konusu olmuştur (Şekil 4.17.).

Çalışmanın tümüne bakıldığında AKR'lerde son haftada çıkış NH_4 değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak giriş atık suyundaki ortalama NH_4 miktarı 40

mg/L olmakla birlikte her üç AKR'de de yaklaşık olarak %50 NH_4 giderimi gerçekleştiği düşünülebilir (Şekil 4.18.).



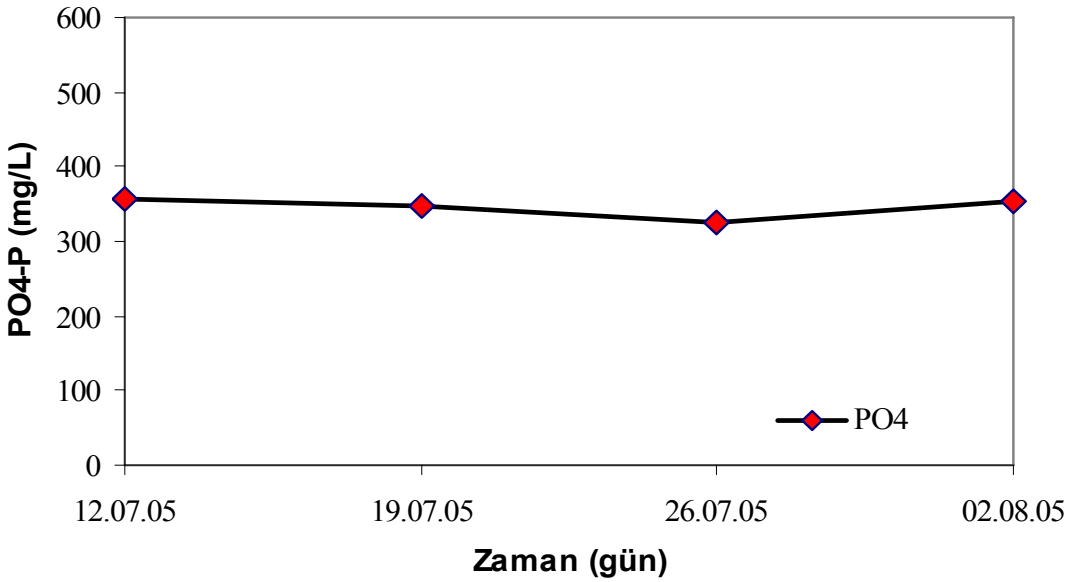
Şekil 4.17. AKR'ler de çıkış suyunda NO_3 değişimi.



Şekil 4.18. AKR'ler de çıkış suyunda NH_4 değişimi.

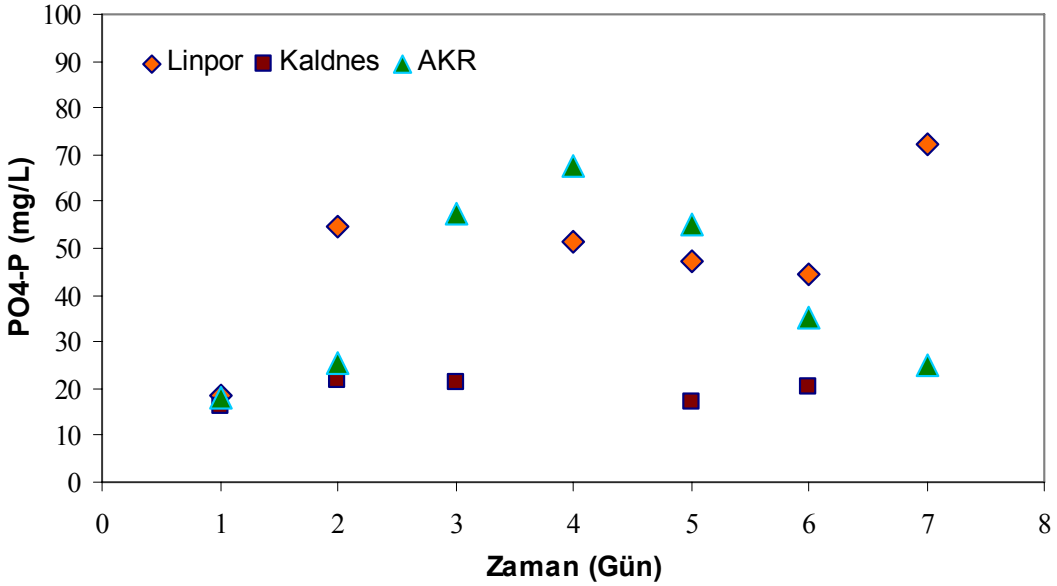
4.1.7. AKR'ler de fosfor giderimi

Çalışmada arıtımda kullanılan süt atıksuyu fosfor içeriği yüksek değerde olan bir sudur. Kompozit atıksuda PO_4-P içeriği yaklaşık olarak 350 mg/L değerindedir. Şekil 4.19.'da görüldüğü gibi bu değer, kompozit atıksuyun her değişiminde çok fazla salınım göstermemiş, yaklaşık olarak 350 mg/L'de kalmıştır.



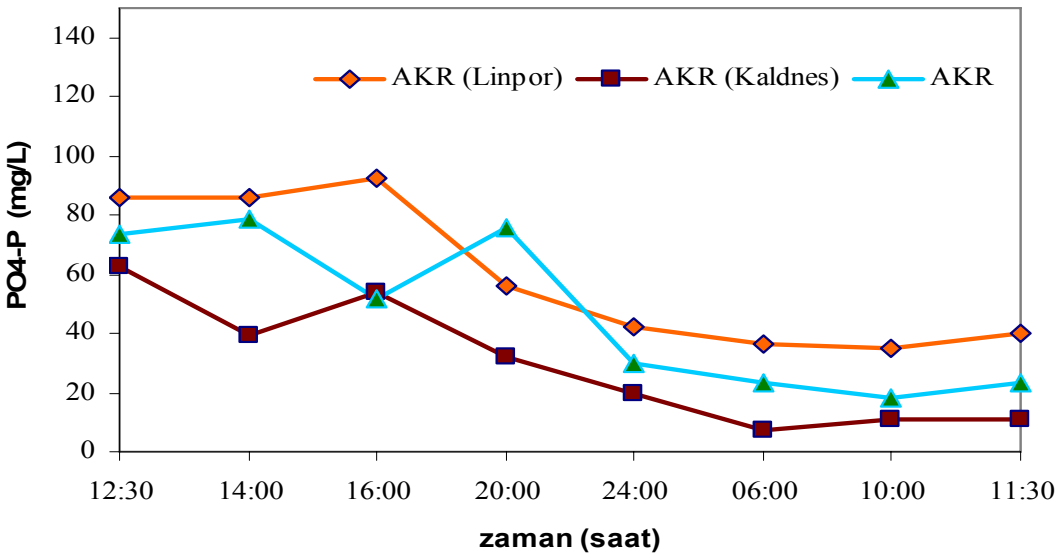
Şekil 4.19. Kompozit atıksuda PO_4-P değerleri.

Deneysel çalışma boyunca 3 günlük periyotlarda, düzenli olarak AKR'ler de çıkış suyunda PO_4-P analizleri yapılmıştır. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi her üç AKR'de de iyi bir fosfor giderimi sağlanmıştır. Yalnızca LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de 23.07.05 tarihinde kompozit atıksuyun değiştiği gün çıkış suyunda, PO_4-P değerinde ciddi bir artış olmuştur. Ancak bu problem AKR'de ve Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de oluşmamıştır. Her iki reaktörde de çıkış suyunda PO_4-P 17–90 mg/L arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. AKR'ler de çıkış suyunda PO_4-P değerleri.

Çalışmada 24 saat süreyle yapılan analizlerde her üç AKR'de de fosfor giderimi açıkça görülmektedir. Atıksu beslemesiyle reaktörlerde 60–85 mg/L değerlerinde olan toplam fosfor gün içinde azalan bir periyotta reaksiyon bitiminde Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR ve AKR'de 20 mg/L'ye kadar düşmüştür. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de ise bu değer 40 mg/L değerlerinde kalmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. AKR'lerde 24 saatlik süreçte zamana göre PO_4-P değişimi (09.08.05).

Tüm AKR'ler de PO_4-P giderim verimleri % 85'in üzerinde gerçekleşmiştir. Fosfor (P) gideriminde anaerobik / anoksik / aerobik basamaklar ard arda gelmektedir. Son basamağın aerobik olması salınan P'un tekrar çamura alınabilmesi ve atıksudan uzaklaştırılabilmesi için gereklidir. Çalışmada reaktörlerde sabah 9.30'da yapılan Ç.O. ölçümlerinde her üç reaktörde de Ç.O. değerlerinin 2–3 mg/L değerlerinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle iyi bir fosfor giderimi gerçekleştirilmiştir denilebilir. Çalışmanın genelinde ise AKR'ler de PO_4-P giderme verimleri Çizelge 4.1.'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. AKR'ler de PO_4-P giderim verimleri

Reaktör	**Giriş PO_4-P (mg/L)**	**Ort. PO_4-P (mg/L)**	**Verim (%)**
AKR	350	41	88
Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR	350	19	94
LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR	350	48	86

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- AKR reaktöründe arıtılmış su da çalışmanın genelinde KOİ giderim verimi yaklaşık olarak % 66 değerlerindedir. Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de bu değer % 75 olmuştur. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de ise çıkış suyunda KOİ giderme verimi yaklaşık olarak % 56 değerlerinde kalmıştır.
- Tüm çalışma boyunca en iyi KOİ giderme verimi Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de elde edilmiştir. Bunun nedeninin Kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme olduğu düşünülebilir. Malzemenin yüzey özellikleri ve porozitesinin yüksek oluşu malzeme üzerinde yüksek oranda mikroorganizma gelişimine neden olmuştur. Bunun yanı sıra reaktör içerisinde karışık sıvıda da askıda mikroorganizma büyümesi diğer iki AKR'ye göre daha fazla olmuştur. LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de sentetik taşıyıcı malzeme üzerinde mikroorganizma oluşumu gerçekleşmiş olmakla birlikte reaktör içerisinde yeterli AKM artışı gözlemlenememiştir. Düşük AKM değerinin LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de arıtma veriminin diğer AKR'lere göre düşük değerlerde kalmasına neden olduğu söylenebilir.
- Çalışmada amonyak gideriminde her üç AKR farklı değerlere sahip olmakla birlikte benzer özellikler sergilemişlerdir. 24 saatlik verilerde AKR'lerde amonyak azotunun zamana bağlı olarak azaldığı görülürken nitrat değerleri sabit kalmıştır. Çalışmanın tüm verileri göz önüne alındığında AKR'lerde NO_3 'da bir azalış, NH_4'de ise bir artış söz konusudur. Giriş atıksuyunda 50–55 mg/L olan NH_4 çıkış atıksuyunda çalışmanın ilk haftalarında 10–15 mg/L'ye kadar düşerken bu değer sonraki haftalarda 25–40 mg/L değerlerinde olmuştur. NO_3 değeri ise giriş atıkuyunda süt endüstrisi atıksularının özelliğinden dolayı yüksek değerlerdedir. Bu değer girişte 40-45 mg/L değerlerinde iken çıkışta 20 mg/L'nin altında sonuçlar vermiştir.

- Çalışmada her üç AKR'de de yüksek fosfor giderimi elde edilmiştir. Giriş atıksuyunda 350 mg/L olan PO_4-P, çıkışta ortalama olarak 50 mg/L'ye kadar düşmüştür. Tüm AKR'ler de PO_4-P giderim verimleri % 85'in üzerinde gerçekleşmiştir.
- Çalışmada AKR'ler de başlangıçta AKM miktarı 2000–2500 mg/L'dir. Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de AKM miktarı çalışmanın sonlarına doğru yaklaşık olarak 5500 mg/L değerine çıkmıştır. Klasik AKR'de bu değer 3500 mg/L, LINPOR taşıyıcı malzemeli AKR'de ise 3300 mg/L olmuştur.

Yapılan çalışmalarda (Sirianuntapiboon, 2005) süt endüstrisi atıksularının AKR'de arıtımında %80–90 değerlerinde KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Bu çalışmada arıtılan atıksuyun giriş KOİ değeri yaklaşık olarak 7500 mg/L değerlerindedir. Andreottola (2002), tarafından yapılan bir başka çalışmada ise süt endüstrisi atıksularının artımında MBBR sistemde FLOCOR-RPM sentetik taşıyıcı malzeme kullanılmıştır. Giriş KOİ değeri 2500 mg/L olan atıksuda % 80–97 oranında KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Yine sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı bir başka çalışmada ise iki ayrı reaktörde LINPOR sentetik taşıyıcı malzeme ve Kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme yerleştirilerek arıtım çalışmaları yapılmıştır. Toplam KOİ değeri 3000 mg/L olan atıksuyun arıtımında % 39-47 değerlerinde KOİ giderimi yapılmıştır. Çalışma 204 gün sürmüştür. Çalışmada amonyak giderimin de başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Giriş amonyak değeri 400 mg/L olan atıksuda her iki reaktörde de % 72 değerlerinde amonyak giderimi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Andreottola G. Foladori P. Ragazzi M. Villa R. 2002. Dairy wastewater treatment inza moving bed biofilm reactor. Water Science and Technology Vol 45 No 12 pp 321-328

APHA AWWA WEF 2005. Standart Methods for the Examination of Water & Wastewater. 21st Edition.

Arrojo B. Mosquera -Corral A., Garrido J. M., Me´ndez R. 2004. Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors. Water Research 38 (2004) 3389–3399

Cannon A. D. Gray K. R. Biddlestone A. J.; Thayanithy K. 2000. Pilot-Scale Development of a Bioreactor for the Treatment of Dairy Dirty Water. J. agric. Engng Res. 77 (3) 327–334

Carta-Escobar F., Pereda-Mar´ın J., Alvarez-Mateos P., Romero-Guzm´an F.,Dur´an-Barrantes M.M., Barriga-Mateos F. 2004. Aerobic purification of dairy wastewater in Cntinuous regime Part I: Analysis of the biodegradation process in two reactor Cnfigurations. Biochemical Engineering Journal 21 (2004) 183–191

Carta F., Alvarez P., Romero F., Pereda J.,1998. Aerobic purification of dairy wastewater in Cntinuous regime; reactor with support. Process Biochemistry 34 (1999) 613–619

Dugba P. N., Zhang R. 1999.Treatment of dairy wastewater with two-stage anaerobic sequencing batch reactor systems - thermophilic versus mesophilic operations. Biorcsource Technology 68 (1999) 225–233

Ertuğrul T. 2004. Ardışık Kesikli Reaktörlerde Normal İşletme Koşullarındaki Değişimler ve Bunların Arıtım Verimi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

EPA, 2000. Wastewater Technology Fact Sheet, Package Plants, EPA 832-F-00-016

Filibeli A., Büyükkamacı N., Ayol A. 2002. Anaerobik Arıtma. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 280

Gavala H.N., Kopsinis H., Skiadas V., Stamatelatou K., Lyberatoss G., 1998. Treatment of dairy wastewater using an uplow anaerobic sludge blanket reactor. J. Agric. Engng Res. (1999) 73, 59–63

Golla, P.S., Reddy M.P., Simms M.K. and Laken T.J. 1993. three years of full scale Coptor process operation at MoundÇHİlle, WWTP. Proc. 2nd International Conference on biofilm reactors, Bioresource Tecnology, 88, 215–219

İnce O. 1993. Performance of a two-phase anaerobic digestion system when treating dairy wastewater. Water Research_Volume 32, Issue 9 , September 1998, Pages 2707-2713

Lebrato J., Rodríguez Pérez J. L., Maqueda C. and Morillo E. 1990. Cheese factory wastewater treatment by anaerobic semicontinuous digestion. Resources, Conservation and Recycling Volume 3, Issue 4 , June 1990, Pages 193-1

Lo K. V., Tam J. P. and Liao P. H. 1987. Treatment of milking centre waste in sequencing batch reactors. Biological Wastes Volume 25, Issue 3 , 1988, Pages 193-208

Luostarinen S. A., Rintala J. A. 2004. Anaerobic on-site treatment of black water and dairy parlour wastewater in UASB- septic tanks at low temperatures. Water Research 39 (2005) 436–448

Moir S.E., Svodoba I., Sym G., Clark J., McGechan M.B., Castle K. 2005. An Experimental Plant for testing Methods of treating dilute Farm Effluents and Dirty Water. Biosystem Engineering (2005) 90 (3), 349–355

Morper M., and Wildmoser A. 1989. Improvement of existing wastewater treatment plants efficiencies without enlargement of tankage by application of the LINPOR- Process- Case studies. Proc. Upgrading of wastewater treatment plants. IAWPRC, Interntional Specialized Conference, Münich, Germany, 3-7.

Metcalf & Eddy, 2003 Inc., Wastewater Engineering Teratment, Disposal and Reuse, Fourth Edition New York McGraw- Hill Higher Education.

Nadais H., Capela I., Arroja L., Duarte A. 2005. Optimum cycle time for intermittent UASB reactors treating dairy wastewater. Water Research 39 (2005) 1511–1518

Omil F., J. M. Garrido, Arrojo B., Mendez R. 2003. Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. Water Research 37 (2003) 4099–4108

Öztürk İ., Eroğlu V., Ubay G. ve Demir İ. (1992). Hybrid uplow anaerobic sludge blanket reactor (HUASBR) treatment of dairy effulents. Wat. Sci.Tech.,28(2), 77-85

Pala A. ve Sponza D., 1994. Bir Süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu ve arıtma sisteminin incelenmesi. İTÜ 4. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu'94

Ramasamy E.V., Abbasi S.A. 2000 Energy reCvery from dairy waste-waters: impacts of biofilm support system on anaerobic CST reactors. Applied Energy 65 (2000) 91–98

Sen D., and Randall C.W. 1994. Performance of fixed film media integrated in the activeted sludge reactors to enhance nitrogen removal. Water Science and Tecnology. 30, No:11, 13–24.

Sirianuntapiboon S., Jeeyachok N., Larplai R. 2005. Sequencing batch reaktor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. Journal of Evrionmental Management 76 (2005) 177–183

Sriwiriyarat T., 1999. Computer program development fort he desing of IFAS wastewater treatment process. MSc Thesis, Virginia Politechnic Instutestate University. Virginia Tech, Blacksburg

Tae-Hyun Bae, Sung-Soo Han, Tae-Moon Tak, 2003. Membrane sequencing batch reactor system for the treatment of dairy industry wastewater. Process Biochemistry 39 (2003) 221-/231

Topacık D. 2000, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSKİ Genel Müdürlüğü Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El Kitabı, İstanbul

Toprak H., 1999 Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir

Turan M., Ateş A., Koyuncu İ., Gülşen H., Topacık D. 2000 Süt Endüstrisi Atıksularının Membran Prosesler Kullanılarak Arıtılabilirliği Ve Geri Kazanımı. İTÜ 7. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu'2000

Vartak D. R., Engler C. R., McFarland M. J., Ricke S. C.1997. attached-film medıa performance ın psychrophılıc anaerobıc treatment of daıry cattle wastewater. Bioresource Technology 62 (1997) 79–84

[1] www.LINPOR.com

[2] www.anoxkaldnes.com

[3] www.suurunleri.camu.edu.tr