

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSULARINDAN NÜTRİYENT GİDERİMİNDE PİLOT ÖLÇEKLİ  
BARDENPHO İLE KASKAT PROSESLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**ÇİĞDEM BALÇIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. EYÜP DEBİK**

**İSTANBUL, 2013**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSULARINDAN NÜTRİENT GİDERİMİNDE PİLOT ÖLÇEKLİ  
BARDENPHO İLE KASKAT PROSESLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Çiğdem BALÇIK tarafından hazırlanan tez çalışması 09.01.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Eyüp DEBİK

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Eyüp DEBİK

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Güleda ENGİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Bülent KESKİNLER

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Yüksek lisans tezim boyunca her türlü imkânı sağlayan ve her konuda bilgi ve tecrübeleriyle yanımda olan, desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Eyüp DEBİK'e,

Tez çalışmam boyunca, gerekli imkânları sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen başta İSKİ Genel Müdürü Prof. Dr. Ahmet DEMİR olmak üzere, İSKİ Atıksu Arıtma Daire Başkanı Osman YILDIZ'a, tüm İSKİ Ataköy ve Kalyon A.Ş. çalışanlarına,

Bu tez kapsamında her türlü altyapıyı, planlamayı ve gerekli tüm imkânları düzenleyen ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Araş. Gör. Dr. Neslihan MANAV DEMİR'e,

Yüksek lisans eğitimim sırasında her türlü bilgi, birikim ve imkânlarını benden esirgemeyen başta rahmetli Prof. Dr. Ferruh Ertürk olmak üzere tüm saygıdeğer Çevre Mühendisliği bölümü hocalarıma,

Manevi desteklerinden ötürü saygıdeğer hocam Yard. Doç. Dr. Tamer COŞKUN'a ve tüm dönem arkadaşlarıma,

Her zaman gerekli sabrı ve anlayışı gösteren sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2013

Çiğdem BALÇIK

## İÇİNDEKİLER

|                                                                  | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....                                               | vii   |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                            | viii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                               | ix    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                            | xi    |
| ÖZET .....                                                       | xii   |
| ABSTRACT.....                                                    | xiv   |
| BÖLÜM 1                                                          |       |
| GİRİŞ.....                                                       | 1     |
| 1.1    Literatür Özeti .....                                     | 1     |
| 1.2    Tezin Amacı .....                                         | 2     |
| 1.3    Hipotez .....                                             | 2     |
| BÖLÜM 2                                                          |       |
| ATIKSU ARITIMININ ÇEVRESEL AÇIDAN ÖNEMİ.....                     | 4     |
| BÖLÜM 3                                                          |       |
| EVSEL ATIKSULAR .....                                            | 6     |
| BÖLÜM 4                                                          |       |
| BİYOLOJİK ARITIM .....                                           | 9     |
| 4.1    Biyolojik Arıtma Sistemleri .....                         | 12    |
| 4.1.1    Askıda Büyüyen Sistemler .....                          | 12    |
| 4.1.2    Bağlı Büyüyen Sistemler .....                           | 13    |
| 4.1.3    Mikrobiyal Büyüme İçin Karbon ve Enerji Kaynakları..... | 13    |
| 4.1.4    Nütrientler .....                                       | 14    |
| 4.2    Biyolojik Arıtmanın Temelleri .....                       | 15    |

|                                         |                                                                      |    |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1                                   | Aerobik Biyolojik Oksidasyon .....                                   | 15 |
| 4.2.2                                   | Biyolojik Nitrifikasyon .....                                        | 17 |
| 4.2.3                                   | Biyolojik Denitrifikasyon .....                                      | 20 |
| 4.2.4                                   | Biyolojik Fosfor Giderimi .....                                      | 22 |
| 4.3                                     | Nütrient Gideriminde Kullanılan Biyolojik Arıtma Prosesleri .....    | 24 |
| 4.3.1                                   | A/O Prosesi .....                                                    | 24 |
| 4.3.2                                   | A <sup>2</sup> /O Prosesi .....                                      | 25 |
| 4.3.3                                   | Bardenpho Prosesi (Beş Kademeli).....                                | 25 |
| 4.3.4                                   | UCT Prosesi .....                                                    | 26 |
| 4.3.5                                   | VIP Prosesi .....                                                    | 27 |
| 4.3.6                                   | AKR Prosesi .....                                                    | 28 |
| <b>BÖLÜM 5</b>                          |                                                                      |    |
| BARDENPHO ve KASKAT PROSESLERİ.....     |                                                                      | 31 |
| 5.1                                     | Bardenpho Prosesi .....                                              | 31 |
| 5.1.1                                   | Bardenpho Prosesinin Avantajları .....                               | 32 |
| 5.1.2                                   | Bardenpho Prosesinin Dezavantajları .....                            | 33 |
| 5.2                                     | Kaskat Prosesi .....                                                 | 33 |
| 5.3                                     | Bardenpho ve Kaskat Sistemlerinin Verimini Etkileyen Faktörler ..... | 34 |
| 5.3.1                                   | Çamur Yaşı (SRT) .....                                               | 34 |
| 5.3.2                                   | Sıcaklık .....                                                       | 34 |
| 5.3.3                                   | Çözünmüş Oksijen (ÇO) .....                                          | 35 |
| 5.3.4                                   | Alkalinite ve pH.....                                                | 35 |
| 5.3.5                                   | İnhibitör Bileşikler.....                                            | 35 |
| 5.3.6                                   | C/N ve C/P Oranları .....                                            | 35 |
| 5.3.7                                   | Anaerobik Tank Stabilizasyonu.....                                   | 36 |
| 5.4                                     | Bardenpho ve Kaskat Sistemleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....    | 37 |
| <b>BÖLÜM 6</b>                          |                                                                      |    |
| MATERYAL ve METOD.....                  |                                                                      | 43 |
| 6.1                                     | Atıksu Kompozisyonu.....                                             | 43 |
| 6.2                                     | DeneySEL Düzenek.....                                                | 43 |
| 6.3                                     | Ölçüm Yöntemleri .....                                               | 47 |
| <b>BÖLÜM 7</b>                          |                                                                      |    |
| DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME..... |                                                                      | 49 |
| 7.1                                     | AKM Giderimi.....                                                    | 49 |
| 7.2                                     | KOİ Giderimi.....                                                    | 51 |
| 7.3                                     | Azot Giderimi .....                                                  | 53 |
| 7.4                                     | Fosfor Giderimi .....                                                | 58 |
| 7.5                                     | Çamur Hacim İndeksi (SVI).....                                       | 61 |
| 7.7                                     | Sonuçların Değerlendirilmesi.....                                    | 61 |
| <b>BÖLÜM 8</b>                          |                                                                      |    |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... | 64 |
| KAYNAKLAR.....            | 66 |
| ÖZGEÇMİŞ.....             | 69 |

## SİMGE LİSTESİ

---

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| C/N | Karbon azot oranı             |
| C/P | Karbon fosfor oranı           |
| F/M | Substrat mikroorganizma oranı |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|                                 |                                                |
|---------------------------------|------------------------------------------------|
| AKM                             | Askıda katı madde                              |
| AOA                             | Anaerobik/Anoksik/Aerobik                      |
| AKR                             | Ardışık kesikli reaktör                        |
| BAF                             | Biyolojik havalandırmalı filtre                |
| BOİ                             | Biyokimyasal oksijen ihtiyacı                  |
| ÇO                              | Çözünmüş oksijen                               |
| HRT                             | Hidrolik bekletme süresi                       |
| KOİ                             | Kimyasal oksijen ihtiyacı                      |
| MLSS                            | Aktif çamur havuzundaki askıda katılar         |
| MLVSS                           | Aktif çamur havuzundaki uçucu katılar          |
| NH <sub>3</sub> -N              | Amonyak azotu                                  |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N | Nitrit azotu                                   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | Nitrat azotu                                   |
| PAO                             | Fosfor biriktiren organizmalar                 |
| PHB                             | Polihidroksibütrat                             |
| PO <sub>4</sub> -P              | Fosfat fosforu                                 |
| rbKOİ                           | Biyolojik olarak parçalanabilen KOİ            |
| SRT                             | Çamur yaşı                                     |
| TKN                             | Toplam kjeldahl azotu                          |
| TN                              | Toplam azot                                    |
| TOK                             | Toplam organik karbon                          |
| TP                              | Toplam fosfor                                  |
| UAKM                            | Uçucu askıda katı madde                        |
| UYA                             | Uçucu yağ asitleri                             |
| YGMBK                           | Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli proses |



## ŞEKİL LİSTESİ

|            | Sayfa                                                                                                                                               |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 4.1  | Aerobik oksidasyon prosesinin şematik görünümü.....17                                                                                               |
| Şekil 4.2  | Tek kademeli nitrifikasyon prosesinin şematik görünümü.....18                                                                                       |
| Şekil 4.3  | İki kademeli nitrifikasyon prosesinin şematik görünümü.....19                                                                                       |
| Şekil 4.4  | Son-anoksik denitrifikasyon prosesinin şematik görünümü.....21                                                                                      |
| Şekil 4.5  | Ön-anoksik denitrifikasyon prosesinin şematik görünümü.....21                                                                                       |
| Şekil 4.6  | Biyolojik fosfor giderimi için uygulanan sistemin akım şeması.....23                                                                                |
| Şekil 4.7  | A/O prosesinin şematik görünümü.....25                                                                                                              |
| Şekil 4.8  | A <sup>2</sup> /O prosesinin şematik görünümü.....25                                                                                                |
| Şekil 4.9  | 5 kademeli Bardenpho prosesinin şematik görünümü.....26                                                                                             |
| Şekil 4.10 | UCT prosesinin şematik görünümü.....27                                                                                                              |
| Şekil 4.11 | VIP prosesinin şematik görünümü.....27                                                                                                              |
| Şekil 4.12 | AKR prosesinin şematik görünümü.....28                                                                                                              |
| Şekil 5.1  | Fan vd. [3]' nin düşük karakterli atıksuların arıtımında kullandıkları<br>modifiye A <sup>2</sup> O prosesinin şematik gösterimi.....38             |
| Şekil 5.2  | Manyumba vd. [4]' nin yaptıkları çalışmada kullandıkları<br>Johannesburg ve Johannesburg+beş kademeli Bardenpho<br>sistemlerinin akım şeması.....39 |
| Şekil 5.3  | Ge vd. [6]' nin yaptıkları çalışmada kullandıkları modifiye UCT<br>Kademeli besleme prosesinin akım şeması.....40                                   |
| Şekil 5.4  | Lee vd. [10]' nin yaptıkları çalışmada kullandıkları kademeli beslemeli 5<br>kademeli biyolojik nütrient giderim prosesinin akım şeması.....41      |
| Şekil 6.1  | Çalışmada kullanılan pilot tesisin yandan ve üstten görünümü.....44                                                                                 |
| Şekil 6.2  | Çalışmada kullanılan pilot tesisin anoksik ve aerobik tanklarının<br>görünümü.....44                                                                |
| Şekil 6.3  | Çalışmada kullanılan 5 kademeli Bardenpho prosesinin akım şeması.....47                                                                             |
| Şekil 6.4  | Çalışmada kullanılan Kaskat prosesinin akım şeması.....47                                                                                           |
| Şekil 7.1  | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış AKM konsantrasyonu<br>ve giderim verimleri.....50                                                     |
| Şekil 7.2  | Kaskat prosesinde giriş-çıkış AKM konsantrasyonu ve<br>giderim verimleri.....51                                                                     |
| Şekil 7.3  | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış KOİ konsantrasyonu<br>ve giderim verimleri.....51                                                     |
| Şekil 7.4  | Kaskat prosesinde giriş-çıkış KOİ konsantrasyonu ve<br>giderim verimleri.....52                                                                     |

|            |                                                                                                           |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.5  | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu ve giderim verimleri..... | 54 |
| Şekil 7.6  | Kaskat prosesinde giriş-çıkış $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                 | 54 |
| Şekil 7.7  | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış TKN konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                | 55 |
| Şekil 7.8  | Kaskat prosesinde giriş-çıkış TKN konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                                | 56 |
| Şekil 7.9  | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış TN konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                 | 57 |
| Şekil 7.10 | Kaskat prosesinde giriş-çıkış TN konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                                 | 57 |
| Şekil 7.11 | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış $\text{PO}_4$ -P konsantrasyonu ve giderim verimleri.....   | 58 |
| Şekil 7.12 | Kaskat prosesinde giriş-çıkış $\text{PO}_4$ -P konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                   | 59 |
| Şekil 7.13 | Beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış TP konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                 | 60 |
| Şekil 7.14 | Kaskat prosesinde giriş-çıkış TP konsantrasyonu ve giderim verimleri.....                                 | 61 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|             | Sayfa                                                                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Çizelge 3.1 | Evsel atıksuların tipik karakteristik özellikleri.....7                                                                      |
| Çizelge 3.2 | Bazı çalışmalarda kullanılan evsel atıksuların karakteristik özellikleri.....8                                               |
| Çizelge 4.1 | Biyolojik atıksu arıtımında kullanılan genel terimler ve tanımlar.....11                                                     |
| Çizelge 4.2 | Yaygın kullanılan biyolojik nütrient giderim proseslerinin mukayesesi.....28                                                 |
| Çizelge 4.3 | Nütrient gideriminde kullanılan sistemlerin avantaj ve dezavantajları.....29                                                 |
| Çizelge 4.4 | Yaygın olarak kullanılan biyolojik nütrient giderim proseslerinin tipik dizayn parametreleri.....30                          |
| Çizelge 6.1 | Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun karakterizasyonu.....43                                                                 |
| Çizelge 6.2 | Kullanılan pilot tesisin dizayn kriterleri ve işletme parametreleri.....46                                                   |
| Çizelge 7.1 | Çalışma sonunda her iki sistem için elde edilen ortalama değerler.....62                                                     |
| Çizelge 7.2 | Evsel atıksuların arıtımında biyolojik nütrient giderim prosesleriyle yapılan diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar.....63 |

## EVSEL ATIKSULARINDAN NÜTRİENT GİDERİMİNDE PİLOT ÖLÇEKLİ BARDENPHO İLE KASKAT PROSESLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çiğdem BALÇIK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eyüp DEBİK

Bu çalışmada evsel atıksuların arıtımında azot ve fosfor gibi nütrienlerin giderimi için en uygun arıtma prosesinin belirlenmesi araştırılmıştır. Bu amaçla yeni bir pilot ölçekli Modifiye Beş Kademeli Barndenpho Prosesi geliştirilmiş ve 10 m<sup>3</sup>/gün kapasite ile işletilmiştir. Aynı pilot ölçekli tesis iki kademeli Kaskat Prosesi şeklinde de işletilerek, her iki prosesin karşılaştırılması yapılmıştır. Pilot tesis, akışa göre sırasıyla giriş ızgara sistemi, ön çöktürme tankı, dağıtım tankı, anaerobik tank, 1. anoksik tank, 1. aerobik tank, 2. anoksik tank, 2. aerobik tank ve son çöktürme tankından oluşmaktadır. Her iki prosesinde HRT'si 16 saat, çamur bekletme yaşı yaklaşık 15 gün, çamur geri devri %80, iç geri devirler ise yaklaşık %400'dür. Aynı işletme şartlarında çalıştırılan iki sistem için verim parametreleri olarak KOİ, azot ve fosfor giderimi takip edilmiştir.

Çalışma sonucunda yeni geliştirilen Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi için ortalama AKM, KOİ, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TKN, TN, PO<sub>4</sub>-P ve TP verimleri sırasıyla; %94,0; %88,0; %99,2; %91,6; %88,0; %87,2 ve %87,6 olarak tespit edilmiştir. Kaskat sistemi için ortalama AKM, KOİ, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TKN, TN, PO<sub>4</sub>-P ve TP verimleri sırasıyla; %89,1; %91,0; %96,8; %92,8; %88,9; %95,4 ve %93,4 olarak bulunmuştur. Her iki prosesinde giderim verimleri oldukça birbirine yakın ve tatmin edicidir. Sonuç olarak, mevcut tam ölçekli tesiste uygulanan İki Kademeli Kaskat sistemin yanı sıra yeni geliştirilen Modifiye Beş

Kademeli Bardenpho Prosesi'nin de evsel atıksulardan nütrient gideriminde başarıyla uygulanabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bardenpho, Kaskat, Nütrient giderimi, Evsel atıksu

## ABSTRACT

---

### THE COMPARISON OF PILOT SCALE BARDENPHO WITH CASCADE SYSTEMS FOR NUTRIENT REMOVAL IN DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT

Çiğdem BALÇIK

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Eyüp DEBİK

In this study, the most appropriate treatment process for nutrient removal from domestic wastewater was investigated. For this purpose, a pilot scale novel five stage Bardenpho system was developed and run with a capacity of 10m<sup>3</sup>/day. The same pilot scale plant was also run with two stage Cascade system, which provide the comparison of Bardenpho and Cascade systems. The pilot scale facility was run in a grid, a primary settling tank, an anaerobic tank, 1.anoxic tank, 1.aerobic tank, 2.anoxic tank, 2.aerobic tank ve secondary settling tank. Both of two systems have 16h HRT, 15 day SRT, sludge recycle 80% and internal recycles 400% on average. COD, nitrogen and phosphorus removal efficiencies was measured for this two systems.

For novel developed modified five stage Bardenpho, removal efficiencies of SS, COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N, TKN, TN, PO<sub>4</sub>-P ve TP were found to be 94,0%; 88,0%; 99,2%; 91,6%; 88,0%; 87,2% ve 87,6% on average, respectively. For Cascade system, removal efficiencies of SS, COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N, TKN, TN, PO<sub>4</sub>-P ve TP were found to be 89,1%; 91,0%; 96,8%; 92,8%; 88,9%; 95,4% and 93,4% on average, respectively. Both of two systems are successful for nutrient removal. This showed that as well as Cascade system, it can achieved good results with novel developed modified five stage Bardenpho for nutrient removal in domestic wastewater treatment.

**Key words:** Bardenpho, Cascade, Nutrient removal, Domestic wastewater

#### 1.1 Literatür Özeti

Nüfustaki ivmelenmeye ve hayat standartlarındaki gelişmeye paralel olarak üretilen atıksu miktarı da günden güne artmakta ve bu durum arıtma tesislerine olan ihtiyacın da günden güne artmasına sebep olmaktadır. Toplumun su ihtiyacının her yıl artması nedeniyle arıtma tesislerine ihtiyaç da günden güne artmaktadır. Üretilen atıksular, düzenli bir şekilde toplanmakta ve uygun bir arıtma için atıksu arıtma tesislerine taşınmaktadır.

Büyük şehirlerin ilk kurulduğu zamanlarda bugünkü manada bir çevre kirlenmesi ve çevre problemi söz konusu olmadığından evlerden gelen pis sular ile çatı ve caddelerden gelen yağmur sularının tek bir kanalda toplanıp uzaklaştırılmasında bir mahzur görülmemiştir. Bunun için Londra, İstanbul vb. tarihi şehirlere yağmur suları ve pis sular için kanal inşa edilmiştir. Yıllar içinde, şehir nüfusunun artması ve çevre kirlenmesinin bugünkü boyutlara ulaşması ile öteden beri ham olarak alıcı ortama verilen kullanılmış suların tasfiye edilmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Günümüzde evsel atıksuların arıtımı ile ilgili deneyim ve bilgi birikim oldukça fazladır. Evsel atıksular biyolojik olarak parçalanabilen maddeleri fazlasıyla ihtiva ettiğiinden biyolojik arıtım için oldukça uygundur. Önceleri biyolojik arıtma ile yalnızca karbon giderimi yapılmaktayken günümüzde evsel atıksularda bulunan azot ve fosfor gibi besi elementlerinin alıcı ortama direk deşarjının da, ötrafikasyon gibi istenmeyen durumlara yol açtığı gözlenmiştir. Bu yüzden mevcut arıtma yöntemlerine modifikasyonlar uygulanarak karbon giderimine ilaveten nütrient giderimi gerçekleştiren sistemler



geliştirilmiştir. Bu çalışmada da bu amaçla yeni bir Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi geliştirilmiş ve İki Kademeli Kaskat sistemi ile arıtma performansı açısından mukayese edilmiştir.

## **1.2 Tezin Amacı**

Mevcut bilgilere göre oldukça hızlı akan akarsuların dışındaki su yataklarında özellikle göl ve haliçlerde ötrofikasyona sebep olan iki temel besi maddesi azot ve fosfor bileşikleridir. Kullanılmış suların su yataklarına boşaltılması, alglerin gelişmesi için esas besin olan bu maddelerin bol miktarda ortama verilmesi anlamına gelmektedir. Bu gibi durumlarda alıcı ortamlarda algler ve diğer mikroorganizmalar arzu edilemeyecek miktarlarda çoğalarak suyun kalitesini bozarlar. Evsel atıksular bu besi maddelerini içerdikleri için nütrient giderimi evsel atıksu arıtımında oldukça önemlidir.

Bu bağlamda, bu çalışmada evsel atıksuların arıtımında azot ve fosfor gibi nütrientlerin giderimi için en uygun arıtma prosesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yeni bir pilot ölçekli Modifiye Beş Kademeli Barndenpho Prosesi geliştirilmiş ve 10 m<sup>3</sup>/gün kapasite ile işletilmiştir. Aynı pilot ölçekli tesis iki kademeli Kaskat Prosesi şeklinde de işletilerek, her iki prosesin karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece tam ölçekli tesiste uygulanan Kaskat sistemi ile bu çalışmada geliştirilen, Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi'nin nütrient giderimi bakımından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Aynı işletme şartlarında çalıştırılan iki farklı sistem için verim parametreleri olarak KOİ, azot ve fosfor giderimi takip edilmiştir.

## **1.3 Hipotez**

Evsel atıksulardan nütrient giderimi için geliştirilmiş farklı proses konfigürasyonları bulunmaktadır. Bardenpho ve Kaskat sistemleri bunlara örneklerdir. Her iki sistemde de karbon gideriminin yanında azot ve fosfor giderimi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada aynı amaç doğrultusunda oluşturulan bu iki sistemin evsel atıksulardan nütrient giderimi bakımından kullanılabilirliği araştırılmış ve sistemler arıtma verimi bakımından değerlendirilmiştir. Yeni geliştirilen Modifiye Beş Kademeli Bardenpho sistemi ile evsel atıksulardan karbon gideriminin yanı sıra yüksek verimlerle azot ve fosfor gideriminin de elde edileceği öngörülmüştür. Kaskat sisteminde ise farklı besleme kademesi

sayesinde sistemdeki C/N oranı kontrol edilerek azot gideriminde iyileşme olacağı tahmin edilmektedir. Bu öngörüler doğrultusunda gerekli çalışmalar yapılmıştır.

## BÖLÜM 2

---

### ATIKSU ARITIMININ ÇEVRESEL AÇIDAN ÖNEMİ

Her toplum sıvı, katı atıklar ve kirletici emisyonlar üretmektedir. Atıksu olarak adlandırılan sıvı atık, esas olarak su kaynaklarının toplum tarafından çeşitli amaçlarla kullanımı sonucu oluşmaktadır. Atıksular, oluşum kaynağı yönünden evsel, kurumsal, ticari ve endüstriyel kuruluşların ürettiği sıvı ya da su ile taşınan atıklar ve yüzeysel, yeraltı ve sel sularının bir kombinasyonu olarak tanımlanabilir.

Arıtılmamış sular biriktiğinde içeriğindeki organik maddelerin ayrışmasıyla kötü kokulu gazların oluşumu gibi sıkıntılı durumlar ile septikleşmeye neden olur. Ayrıca arıtılmamış atıksular insan sağlığına zararlı sayısız mikroorganizma içermektedir. Ayrıca atıksular su bitkilerinin büyümelerini uyaran nütrientlere ek olarak toksik, mutajenik ve kanserojen bileşikler içerebilir. Bu nedenlerden dolayı çevre ve halk sağlığını korumak için atıksuyun çevreye deşarjından önce arıtılması gerekmektedir.

Su ortamındaki hayat, ortamdaki sıcaklığın, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun, pH değerinin, suyun renginin, askıdaki ve toplam katı madde konsantrasyonunun, toplam alkalinitenin, besi maddesi konsantrasyonlarının, metal bileşiklerinin ve diğer fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin tesiri altındadır.

Bu parametrelerin üst sınırları ve bazı durumlarda da alt eşik değerleri bazı organizmalar için uygun olmayan çevre şartlarını ortaya çıkarır. Bu özelliklere göre ortamdaki organizmaların türleri ve türlerdeki sayıları azalır çoğalabilir. Bu bağlamda atıksuların içerdiği nütrientlerin direk deşarjı sonrası önemli bir çevre problemi olan ötrofikasyon meydana gelmektedir. Ötrofikasyon, gerek tabii süreçler ve gerekse insan

faaliyetleri sonucu, su yataklarındaki mikroorganizmaları beslemeye yarayan besi maddelerinin artması manasında kullanılmaktadır. Ancak tabii süreçlerle meydana gelen beslenme son derece yavaş cereyan ederken insan faaliyetleri neticesi ortaya çıkan besleme bazen son derece hızlı olmaktadır. Mevcut bilgilere göre oldukça hızlı akan akarsuların dışındaki su yataklarında özellikle göl ve haliçlerde ötrafikasyona sebep olan iki temel besi maddesi azot ve fosfor bileşikleridir. Kullanılmış suların su yataklarına boşaltılması, alglerin gelişmesi için esas besin olan bu maddelerin bol miktarda ortama verilmesi demektir. Bunun neticesinde, böyle su çevrelerinde algler ve diğer mikroorganizmalar arzu edilemeyecek miktarlarda çoğalarak suyun kalitesini (tat, koku ve renk) bozarlar. Algler öldüğünde ayrışma için ortamdaki oksijen kullanılır. Diğer organizma ve kirleticilerle birlikte ölen alg hücrelerinin çabuk ayrışması, koku ve H<sub>2</sub>S gazının yayılmasına sebep olmaktadır.

Herhangi bir kirleticinin belirli bir çevrede meydana getireceği tesir, büyük ölçüde, kirleticinin içinde bulunduğu kullanılmış suyun miktar ve özellikleri ile boşaltıldığı alıcı su ortamının hacim ve diğer karakteristiklerine bağlıdır. Kirleticiler, alıcı su ortamında estetik kirlenmeye, zehirli bir reaksiyona veya su canlılarının yaşama şartlarını bozan taban birikimlerine; biyolojik olarak ayrışarak veya çürüyerek oksijen sarfına ve böylece de bu su çevresinden faydalanan insan grupları ve diğer canlı hayatı için tehlikeli durumların doğmasına sebep olabilir [1].

Çevre ve halk sağlığını korumak için atıksuyun bileşiminin, atıksuyun çevreye yayıldığında bu bileşimin etkilerinin, arıtma prosesi sürecinde bu bileşimlerin uzun vadeli durumu ve dönüşümünün, atıksuda bulunan bu bileşenlerin giderimi için kullanılacak arıtma metotlarının, arıtma sistemi sürecinde oluşan katıların bertarafı ya da yararlı kullanımı için uygulanabilecek metotların iyi bilinmesi gerekmektedir [1].

### EVSEL ATIKSULAR

1940'lı yıllardan önce birçok kentsel atıksu evsel kaynaklardan oluşmaktaydı. 1940'dan sonra sanayileşme devrinin hızla ilerlemesi sonucu endüstriyel atıksu miktarı artmış ve bu atıksularda kentsel atıksu arıtma sistemlerine deşarj edilmeye devam edilmiştir. Endüstriyel aktiviteler sonucu oluşan ağır metaller ve sentez organik bileşik miktarları artış göstermiş ve her yıl 10000 yeni organik bileşik eklenmiştir [1]. Üretim teknolojilerinin gelişmesi ve yeni bileşiklerin ortaya çıkması ile atıksu karakteristiği değişmiş ve endüstriyel atıksuları klasik arıtma sistemleri ile arıtmak zorlaşmıştır. Bu bağlamda endüstriyel atıksular için ön arıtma şartı gelmiştir. Mevcut durumda evsel atıksu arıtma tesislerine gelen atıksular ya evsel kaynaklı ya da ön arıtma sonucu kirlilik seviyesi klasik arıtma sistemleri ile arıtılabilecek düzeye gelmiş endüstriyel atıksulardan oluşmaktadır. Evsel atıksuların başlıca kaynakları yerleşim bölgeleri, ticari bölgeler, kurumsal tesisler ve eğlence tesisleridir.

Atıksuların çeşitli karakteristikleri, fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikler adı altında toplanabilir. Her bir özellik ayrı bir birimle ifade edilmektedir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerin tayini için standart deneyler yapılır. Bu maksatla atıksuyu tam olarak temsil edebilecek numuneler alınmalıdır. Ayrıca organik madde içermesi sebebiyle, ayrışmaya maruz kalarak özellik değiştirebileceği için numuneler bekletilmeden analiz edilmelidir.

Buna göre evsel atıksuların bazı karakteristik özellikleri Çizelge 3.1'de, literatürde mevcut bazı çalışmalarda kullanılan evsel atıksuların karakteristik özellikleri ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Evsel atıksuların tipik karakteristik özellikleri [1].

|                        |       | Konsantrasyon           |                        |                          |
|------------------------|-------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| Parametre              | Birim | Zayıf Karakterli Atıksu | Orta Karakterli Atıksu | Yüksek Karakterli Atıksu |
| <b>AKM</b>             | mg/L  | 120                     | 210                    | 400                      |
| <b>UAKM</b>            | mg/L  | 95                      | 160                    | 315                      |
| <b>BOİ<sub>5</sub></b> | mg/L  | 110                     | 190                    | 350                      |
| <b>KOİ</b>             | mg/L  | 250                     | 430                    | 800                      |
| <b>TOK</b>             | mg/L  | 80                      | 140                    | 260                      |
| <b>Azot</b>            | mg/L  | 20                      | 40                     | 70                       |
| Organik                |       | 8                       | 15                     | 25                       |
| Amonyak                |       | 12                      | 25                     | 45                       |
| Nitrit                 |       | 0                       | 0                      | 0                        |
| Nitrat                 |       | 0                       | 0                      | 0                        |
| <b>Fosfor</b>          | mg/L  | 4                       | 7                      | 12                       |
| Organik                |       | 1                       | 2                      | 4                        |
| İnorganik              |       | 3                       | 5                      | 8                        |

Çizelge 3.2 Bazı çalışmalarda kullanılan evsel atıksuların karakteristik özellikleri.

| Çalışmalar              | AKM<br>(mg/L) | BOİ<br>(mg/L) | KOİ<br>(mg/L) | NH <sub>3</sub> -N<br>(mg/L) | TKN<br>(mg/L) | TN<br>(mg/L) | TP<br>(mg/L) |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Lim vd. [2]             | 61,5          | 71,4          | -             | 27,8                         |               | 38,6         | -            |
| Fan vd. [3]             | 86            | -             | 185           | 9,96                         | -             | 16           | 1,56         |
| Manyumba<br>vd. [4]     | -             | 135           | 340           | 25,7                         | 43            | -            | 6,5          |
| Aiyuk vd. [5]           | 200           | 208           | 522           | 24                           | 39            | -            | 8            |
| Ge vd. [6]              | -             | -             | 308           | 52,2                         | -             | 56,1         | 5,8          |
| Kim vd. [7]             | 186           |               | 304           | 28,2                         | 37,1          | -            | 5,4          |
| Kocadağistan<br>vd. [8] |               |               | 350-500       | 15-21                        | -             | -            | 3-4,5        |
| Korkusuz vd.<br>[9]     | 102,33        | 65            | 279,45        | 23,86                        | -             | -            | 6,14         |
| Lee vd. [10]            | 108-230       | -             | 274-348       | 25-31                        | -             | 25-31        | 3,8-4,5      |
| Monclus vd.<br>[11]     | -             | 293           | 459           | 29,1                         | 50,6          | -            | 3,63         |
| Peng vd. [12]           | -             | -             | 295           | 52,4                         | 55,3          | 58,5         | 6,62         |

## BÖLÜM 4

---

### BIYOLOJİK ARITIM

Kullanılmış sular kanallarda toplandıktan sonra bertaraf edilmek üzere bir alıcı ortama verilir. Alıcı ortam deniz, haliç, nehir veya göl gibi bir su yatağı olabileceği gibi bir arazi parçası da olabilir. Alıcı ortam olarak hangi kaynak seçilirse seçilsin çevre kirlenmesi problemlerinin ortaya çıkmaması için atıksuların alıcı ortama verilmeden önce arıtılmaları gerekir.

Ham kullanılmış suların bir su yatağına verilmesi halinde ilk göze çarpan kirleticiler, su üzerinde yüzen iri maddelerdir. Bunun için arıtma tesisinin ilk ünitesini bu maddelerin tutulduğu ızgara teşkil eder. Bundan sonra atıksu, iri kumların ayrıldığı kum tutuculara gelmektedir. Burada organik katı maddelere nazaran 2,5 misli daha ağır olan kumlar çökerek ayrılır ve herhangi bir çevre problemine sebep olmaksızın uzaklaştırılır. Daha sonra çökeltim havuzuna gelen sulardan, bekleme süresine bağlı olarak çökebilen maddelerin büyük bir kısmı ayrılır. Bu ünitelerin teşkil ettiği kısma “ilk”, “ön”, “birinci kademe”, “fiziksel” veya “mekanik” arıtma adı verilir.

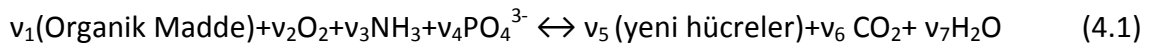
Fiziksel arıtıma tesisinden çıkan sular çökebilen organik katı maddelerin büyük bir kısmından temizlenmiş olmasına rağmen mikroorganizmaların parçalayabileceği ve neticede büyük miktarda oksijen gerektiren organik maddeleri ihtiva eder. Organik maddelerin mikroorganizmalar yardımıyla parçalanmaları için ihtiyaç duyulan oksijen miktarına “biyolojik oksijen ihtiyacı” adı verilir ve BOİ ile gösterilir. Fiziksel arıtmadan çıkan atıksular, deşarj edilecekleri alıcı ortamda çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonunu tehlikeli bir seviyeye düşürmedikleri takdirde ilave bir arıtmaya gerek kalmayabilir. Ancak tersi söz konusu ise deşarj edilecek suların BOİ yükü



azaltılmalıdır. Bunu temin eden arıtma tesisi ünitelerine “ikinci kademe arıtma” veya “biyolojik arıtma” adı verilir.

Evsel atıksularda biyolojik arıtmanın temel amacı, organik maddeleri stabilize etmek, çökemeyen koloidal katı maddeleri yumaklaştırmak ve çökteltmektir. Ayrıca azot ve fosfor gibi nütrientlerin giderimi de biyolojik arıtmanın temel amaçlarındadır.

Atıksularda bulunan organik maddelerin stabilizasyonu, çözünmüş ve partiküler BOİ giderimi, başta bakteriler olmak üzere çeşitli mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak gerçekleştirilir. Organik madde mikroorganizmalar tarafından stabil bir son ürüne oksitlenirken, ilave biyokütle üretimi de gerçekleşmektedir. Bu durum (4.1)’deki eşitlik ile gösterilmektedir ve burada  $v_1$  stokiyometrik katsayısı temsil etmektedir.[1].



Eşitlikten de görüldüğü üzere mikroorganizmalar oksijen, amonyak ve fosfor gibi nütrientleri kullanarak organik maddeyi stabil bir son ürüne dönüştürür ve bu süreçte biyokütle olarak adlandırılan yeni hücre oluşumu gerçekleşir. Ayrıca mikroorganizmalar atıksudan azot ve fosfor giderimi için de kullanılmaktadır. Bazı spesifik bakteriler amonyağı nitrit ve nitrata dönüştürürken, diğer bakteriler ise oksitlenmiş azotu azot gazına dönüştürür. Ayrıca bakteriler, büyük miktarda inorganik fosforu bünyelerine alıp depolamaları sayesinde fosfor giderimi de sağlamaktadırlar.

Çizelge 4.1’de atıksuların biyolojik arıtımında kullanılan bazı terimler ve bunların açıklamaları bulunmaktadır.

Çizelge 4.1 Biyolojik atıksu arıtımında kullanılan genel terimler ve tanımlar [13].

| Terim                         | Tanım                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Metabolik fonksiyonlar</b> |                                                                                                                                                                                             |
| Aerobik (oksik) prosesler     | Oksijen varlığında gerçekleşen biyolojik proses                                                                                                                                             |
| Anaerobik prosesler           | Oksijen yokluğunda gerçekleşen biyolojik proses                                                                                                                                             |
| Anoksik prosesler             | Nitrat azotunun oksijen yokluğunda azot gazına çevrildiği proses (Denitrifikasyon)                                                                                                          |
| Fakültatif prosesler          | Organizmaların oksijenin varlığında ya da yokluğunda çalışabildikleri biyolojik proses                                                                                                      |
| Hibrit prosesler              | Aerobik, anoksik ve anaerobik proseslerin beraberce uygulandığı proses tipleri                                                                                                              |
| <b>Arıtma prosesleri</b>      |                                                                                                                                                                                             |
| Askıda büyüyen prosesler      | Atıksudaki organik maddelerin gazlara ve yeni hücrelere dönüşmesinde, atıksu içerisindeki askıda katı halde bulunan mikroorganizmaların sorumlu olduğu biyolojik arıtma prosesleri          |
| Bağlı büyüyen prosesler       | Atıksudaki organik maddelerin gazlara ve yeni hücrelere dönüşmesinde, taş, seramik, plastik vb. maddelere bağlı olarak bulunan mikroorganizmaların görev aldığı biyolojik arıtma sistemleri |
| Birleşik prosesler            | Bağlı ve askıda büyüyen sistemlerin kombinasyonu.                                                                                                                                           |
| Lagün prosesler               | Farklı boy ve derinliklere sahip havuz ve lagünlerde gerçekleştirilen arıtma sistemleri                                                                                                     |
| <b>Arıtma fonksiyonları</b>   |                                                                                                                                                                                             |
| Biyolojik nütrient giderimi   | Biyolojik arıtma proseslerinde azot ve fosfor giderimi                                                                                                                                      |
| Biyolojik fosfor giderimi     | Biyokütle bünyesinde birikim ve katı madde ayrıştırılması yoluyla fosforun biyolojik olarak giderimidir                                                                                     |
| Karbon kaynaklı BOİ giderimi  | Karbon kaynaklı BOİ'nin yeni hücreler ve bazı son ürünlere dönüştürülmesi prosesidir                                                                                                        |
| Nitrifikasyon                 | Amonyakın önce nitrite ardından nitrata dönüştüğü iki adımlı biyolojik proses                                                                                                               |
| Denitrifikasyon               | Nitratın azot ve diğer bazı nihai gaz ürünlerine çevrildiği biyolojik proses                                                                                                                |
| Stabilizasyon                 | Ön çöktürme ve biyolojik arıtmada üretilen çamurdaki organik maddelerin stabil hale getirildiği biyolojik proseslerdir. Aerobik ve anaerobik olarak iki çeşittir                            |
| Substrat                      | Biyolojik arıtmada mikroorganizmalar tarafından kullanılan ve arıtmayla son ürünlere dönüştürülen organik madde ve nütrientler                                                              |

#### **4.1 Biyolojik Arıtma Sistemleri**

Atıksu arıtımında kullanılan biyolojik prosesler “askıda büyüyen sistemler” ve “bağlı büyüyen sistemler (biyofilm sistemler)” olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

##### **4.1.1 Askıda Büyüyen Sistemler**

Askıda büyüyen sistemler, biyolojik arıtımda kullanılan mikroorganizmaların atıksu içerisinde süspanse tutulduğu sistemlerdir. Bu tip sistemler birçok evsel ve endüstriyel sanayi atıksu arıtma tesisinde kullanılmaktadır. Genellikle aerobik olmalarına karşın, anaerobik olarak kullanılanları ya da aerobik, anoksik ve anaerobik proses konfigürasyonları ile bileşik proses şeklinde kullanımları mevcuttur.

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında en çok kullanılan proses aktif çamur prosesidir. 1914 yılında Arden ve Locket tarafından İngiltere’de geliştirilen proses, bir atığın aerobik olarak stabilizasyonunu gerçekleştirebilen aktif kütle üretiminin meydana gelmesi sebebiyle aktif çamur olarak adlandırılmıştır. Aktif çamur proseslerinde temel prensip giriş atıksuyunun bir havalandırma tankı içinde aktif mikroorganizmalarla teması geçirilmesidir. Aktif mikroorganizmalar tank içinde havalandırma işlemi ve bazı karıştırma yollarıyla süspansiyon halinde tutulurlar, ki buna genellikle MLSS (aktif çamur havuzundaki askıda katıları ifade eder) ya da MLVSS (aktif çamur havuzundaki uçucu katıları ifade eder) denir. Bu şekilde ifade edilmesinin sebebi, havalandırma tankında bulunan mikroorganizma miktarının yaklaşık olarak, tanktaki suda ölçülen UAKM miktarı ile ifade edilebilmesidir.

Aktif çamur proseslerinde ızgaradan geçirilmiş veya çöktürülmüş atıksu son çöktürmeden gelen konsantre çamurun değişik miktarlarıyla (%20-100) karıştırılır. Bu karışım bir havalandırma tankına verilerek burada organizmalar ve atıksu havalandırılır. Bu işlem ile mikroorganizmaların oksijen ihtiyacı giderilirken, muhteva iyi bir şekilde karıştırılmış olur. Bu şartlar altında mikroorganizmalar, organik maddenin bir kısmını enerji elde etmek amacıyla karbondioksit ve suya dönüştürürken, kalan kısmını ise oksidasyonda elde edilen enerjiyi kullanarak yeni hücreler üretmek için kullanırlar.

Bu karışımdan sonra MLSS bir çökeltme tankına verilir ve burada flok halinde olan mikroorganizmalar çöktürülerek çıkış suyundan giderilir. Çöktürülen mikroorganizmalar (aktif çamur) prosesin başına geri devir yapılarak tekrar atıksuyla karıştırılır. Bu proseste sürekli olarak yeni aktif çamur üretilir ve üretilen fazla çamur sistemden uzaklaştırılır. Doğru şekilde dizayn edilen ve işletilen aktif çamur sistemlerinde yüksek giderme verimleri elde edilebilir.

#### **4.1.2 Bağlı Büyüyen Sistemler**

Bağlı büyüyen sistemler, biyofilm sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Biyofilm proseslerde arıtmadan sorumlu mikroorganizmalar, askıda büyüyen sistemlerin aksine, sabit bir yatak malzemesi üzerinde gelişirler. Yatak malzemesi olarak taş, kaya, kum, cüruf, çeşitli plastik ve sentetik malzemeler kullanılmaktadır. Sabit yatak üzerine bağlı biyofilm sistemlerinin ilk kullanımı 1900'lü yılların başlarına dayanmaktadır. Uzun yıllar biyofilm prosesleri, evsel atıksuların arıtımı için kullanılan en yaygın biyolojik sistemler olarak kullanılmıştır. Daha sıkı arıtma gereksinimleri ortaya çıktıkça özellikle son 20 yıllık periyot içinde bu tür sabit biyofilm mekanizmaların çalışma prensipleri hakkında oldukça fazla araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bunların neticesinde sistemdeki mikroorganizma tür ve miktarları, sistemin morfolojisi, hidroliği ve yapısal bir takım özelliklerini de konu alan çok sayıda yeni biyoreaktör konfigürasyonları tasarlanmış ve bunlar bilimsel çalışmalara konu olmuştur.

Biyofilm prosesler aerobik ve anaerobik olarak işletilebilmektedir. Aerobik biyofilm prosesleri; batmış biyofilm prosesler, batmamış biyofilm prosesler ve hibrid biyofilm prosesler olmak üzere üçe ayrılır. En yaygın aerobik biyofilm prosesi damlatmalı filtredir.

#### **4.1.3 Mikrobiyal Büyüme İçin Karbon ve Enerji Kaynakları**

Hücre sentezi için gerekli karbonun kaynağına göre mikroorganizmalar heterotrofik ve ototrofik olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Eğer gerekli karbon için organik karbon kullanılıyorsa heterotrofik, organizma, karbon dioksit kullanıyorsa ototrofik organizma adı verilir.

Heterotrofik organizmalar enerji kaynağı olarak organik maddeleri kullanırken, ototrofik organizmalar ise ışığı ya da inorganik oksidasyon-redüksiyon denklemlerini kullanırlar. Eğer bir ototrofik organizma gerekli enerjiyi ışıktan sağlıyorsa fototrofik organizma, kimyasal reaksiyonlardan sağlıyorsa da kemotrof olarak adlandırılır. Hem fototroflar hem de kemotroflar ototrofik ya da heterotrofik olabilirler. Fotoheterotroflar enerji eldesi için sülfürün indirgenmesi reaksiyonundan faydalanırken, fotoototroflar karbondioksiti kullanırlar. Bunlara örnek sırasıyla sülfür-indirgeyen bakteriler ve alglerdir. Kemoototrofik bakteriler amonyak ve nitrit gibi indirgenmiş inorganik bileşiklerin oksidasyonundan enerji elde ederken, kemoheterotroflar enerji elde etmek için organik maddeleri oksitlerler.

#### **4.1.4 Nütrientler**

Canlıların organizmaları yenilemeleri ve metabolizma faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için gerekli kimyasal maddelere besi maddesi (nütrient) adı verilir. Besi maddeleri: 1) Hücre teşkili ve enerji temini için gerekli olan ve canlı yapısının esasını teşkil eden “biyojenik” maddeler (azot, fosfor, karbon vb), 2) Canlı organizma ve faaliyetleri için gerekli olan eser halindeki maddeler olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Azot ve fosfor elementleri, mikroorganizma ve bitkiler için çok lüzumludur. Demir gibi diğer maddeler de hayat için lüzumlu ise de azot ve fosfor esas besi elementlerini teşkil eder. Azot, proteinlerin sentezi için temel yapı taşı olduğundan, atıksuların biyolojik yollarla tasfiyesinde, azot konsantrasyonlarını bilmeye lüzum vardır. Atıksuyun azot miktarı az ise, arıtılması için dışarıdan azot ilavesi gerekir. Eğer yüzeysel sulara yapılan atıksu deşarjları sebebiyle teşekkül eden alglerin kontrolü arzu ediliyorsa, bu sefer de, azotun uzaklaştırılmasına veya miktarının azaltılmasına ihtiyaç vardır [14].

Azot, doğada  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$  ve  $N_2O_5$  formlarında bulunabilmektedir. Bunlardan başka azot, bazı kompleks organiklerin yapılarında da bulunabilmektedir. Bütün bu formlardan, atıksularda en çok rastlananları amonyak (amonyak+amonyum) ve organik azottur. Bütün bu azot formları arasında doğal yollarla biyolojik ve kimyasal dönüşümler gerçekleşmekte olup atıksu arıtımında da bazı biyolojik dönüşümlerden faydalanılmaktadır [1].

Yeni kirlenmiş atıksularda azot, esas itibariyle, proteinli maddelere ve üreye bağlı olarak bulunur. Bunların ayrışmasıyla azot hemen amonyağa dönüşür. Atıksuyun tazelik derecesi, amonyak miktarıyla ölçülür. Aerobik ortamda bakteri faaliyeti sonucu amonyak oksitlenerek nitrit ve nitrat haline gelir. Nitrat azotunun ortama hakim olması, atıksuların oksijen ihtiyacı bakımından stabil hale geldiğini gösterir [14].

Atıksularda azot, pH derecesine göre, ya amonyum iyonu, ya da amonyak şeklinde bulunur.



pH≥7 ise, denge sola doğru bozular. pH<7 ise, amonyum iyonları ortama hakim olur. [14].

Fosforda azot gibi algler ve diğer biyolojik organizmaların büyümesi için gereklidir. Yüzeysel sularda zararlı alg büyümeleri yüzünden atıksu deşarjlarının yapıldığı yüzeysel sularda fosfor bileşiklerinin miktarının kontrol edilmesi oldukça önemli bir konudur.

Sulu çözeltilerde bulunan fosfor formları ortofosfat, polifosfat ve organik fosfattır.  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_2^{-4}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}^{4-}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  gibi ortofosfatlar fazla parçalanmadan biyolojik metabolizma için kullanışlıdır. Polifosfatlar ise iki ya da daha fazla fosfat molekülü ile oksijen ve bazı durumlarda da hidrojen atomu içeren kompleks moleküllerdir. Polifosfatlar sularda hidrolize uğrar ve ortofosfat formuna dönüşürler [1].

Biyokütle hücre formülü olarak  $\text{C}_{12}\text{H}_{87}\text{O}_{23}\text{N}_{12}\text{P}$  ele alınırsa, 100 g biyokütle hücresi için 12,2 g azot ve 2,3 g fosfora ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak evsel atıksular biyolojik büyüme için yeterli miktarda nütrient içermektedir [1].

## **4.2 Biyolojik Arıtmanın Temelleri**

### **4.2.1 Aerobik Biyolojik Oksidasyon**

Biyolojik atıksu arıtımının birincil amacı, kentsel ve endüstriyel deşarjın olduğu sularda çözünmüş oksijenin (ÇO) aşırı tükenmesini önlemek için organik içerikli bileşenleri gidermektir. İkinci amaç, alıcı sularda istenmeyen durumlara neden olan katı

birikimlerini önlemek için askıda ve kolloidal katıları gidermektir. Bir diğer amaç ise; alıcı ortama verilen patojenik organizmaları azaltmaktır. Hem askıda büyüyen sistemler hem de bağlı büyüyen sistemler, atıksu ve heterotrofik mikroorganizmaların yeterli süre temasta tutulması ve yeterli miktarda nütrient ve oksijene sahip olması durumunda BOİ giderimini gerçekleştirebilmektedirler. Atıksudaki organik maddenin bir kısmı oksitlenirken, geri kalan kısmı ise yeni hücre üretimi için kullanılır. Aerobik oksidasyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

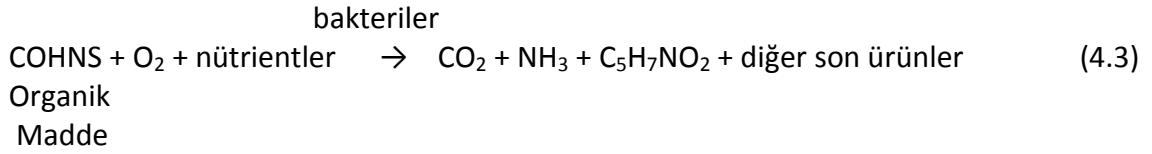
Organik maddelerin gideriminde kullanılan askıda ve bağlı büyüyen sistemlerde birçok farklı mikroorganizma bulunmaktadır. Bu organizmaların en önemlilerinden biri olan aerobik heterotroflar hücre dışı polimerik enzim salgılayarak biyoflokların oluşumunu sağlarlar ve bu sayede son çöktürmede iyi bir çamur ayrımı gerçekleştirilir.

Aerobik biyolojik arıtma sistemlerinde protozoalar da önemli rol üstlenmektedir. Bu tür mikroorganizmalar serbest dolaşan bakterileri ve kolloidal maddeleri tükettikleri için iyi çıkış suyu eldesini sağlarlar. Protozoaların aerobik heterotroflara nazaran daha yüksek çamur bekletme süresine (SRT) ve 1,0 mg/L üzerinde oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç duymalarına ek olarak toksik maddelere karşı hassaslardır [1]. Toksik maddelere karşı hassas olduğundan protozoaların varlığı sorunsuz proses işletmesinin varlığının göstergesidir. Aktif çamur ve biyofilm sistemlerinde bulunan bir diğer mikroorganizma ise rotiferlerdir.

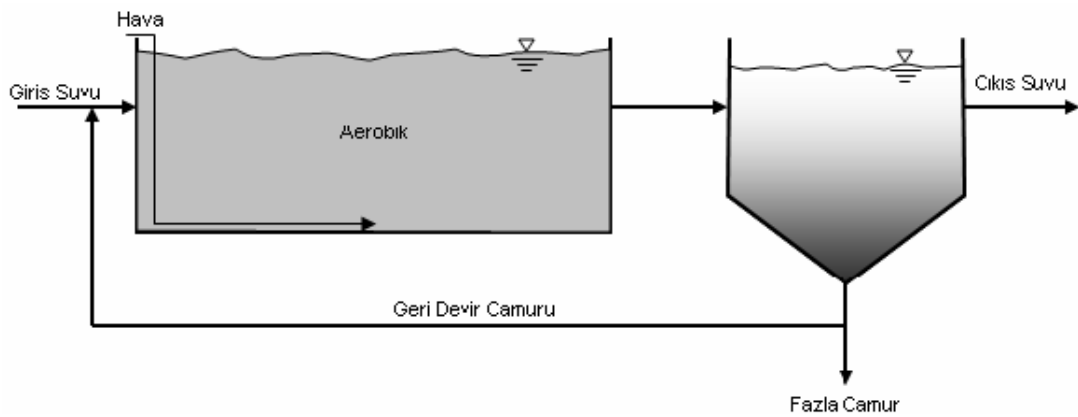
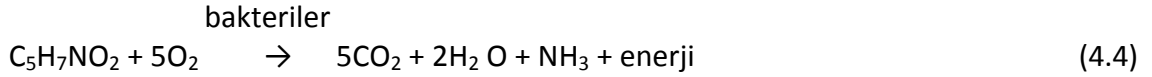
Çevre şartlarına ve proses yüklemelerindeki değişikliklere göre aktif çamurda istenmeyen organizmalar gelişebilir. Bu zararlı mikroorganizmalardan kaynaklanan en önemli problem çamurun çökelme özelliğinin bozulması olarak bilinen çamur kabarmasıdır. Çamur kabarması neticesinde çıkış suyunda yüksek konsantrasyonda askıda katı görülür ve arıtma performansı düşer. Bunun dışında köpük oluşumu olarak bilinen bir diğer problem de, havalandırma tankında üreyen hidrofobik yüzeyli mikroorganizmaların hava kabarcıklarına tutunarak yüzeye taşınması ile MLSS’nin üst kısımdan hava ile temasının kesilmesine yol açmasıdır.

Organik maddenin aerobik oksidasyon ile dönüşümü aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir [15].

Oksidasyon ve sentez:



Endojen solunum:



Şekil 4.1 Aerobik oksidasyon prosesinin şematik görünümü [16].

Oksidasyon ve sentez reaksiyonuna göre, atıksudaki organik madde elektron kaynağı olarak kullanılırken, oksijen elektron alıcı olarak görev yapar.

Aktif çamur sistemlerinde karbon giderimi için pH değerinin 6,0-9,0 aralığında olması gereklidir. Tavsiye edilen ÇO konsantrasyonu 2,0 mg/L olup, 0,5 mg/L'nin üzerinde ÇO konsantrasyonunun sistem performansı üzerinde büyük bir etkisi gözlenmemektedir [1]. Heterotrofik bakteriler, nitrifikasyon bakterilerine nazaran yüksek konsantrasyonlarda toksik maddeleri tolere edebilirler.

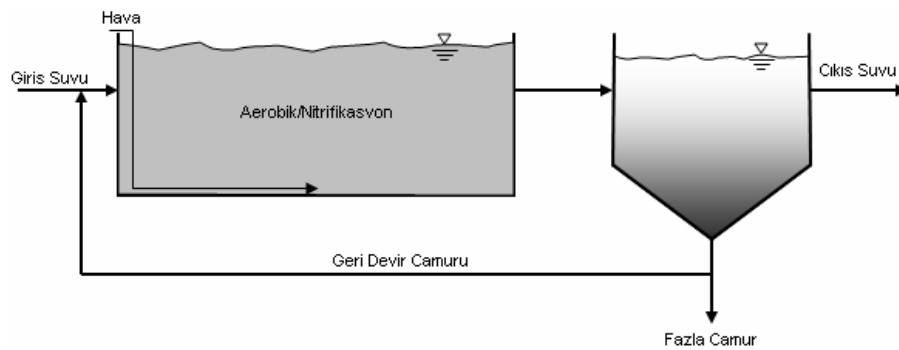
#### 4.2.2 Biyolojik Nitrifikasyon

Nitrifikasyon, amonyağın ( $\text{NH}_3 - \text{N}$ ) iki adımda önce nitrite ( $\text{NO}_2 - \text{N}$ ), ardından nitrate ( $\text{NO}_3 - \text{N}$ ) oksitlenmesidir. Atıksu arıtımında nitrifikasyona ihtiyaç duyulmasının



nedenleri; alıcı ortamdaki ÇO konsantrasyonu ve balık toksisiteleri gibi amonyağın etkilerini önlemek, ötrofikasyon kontrolü için azotu gidermektir.

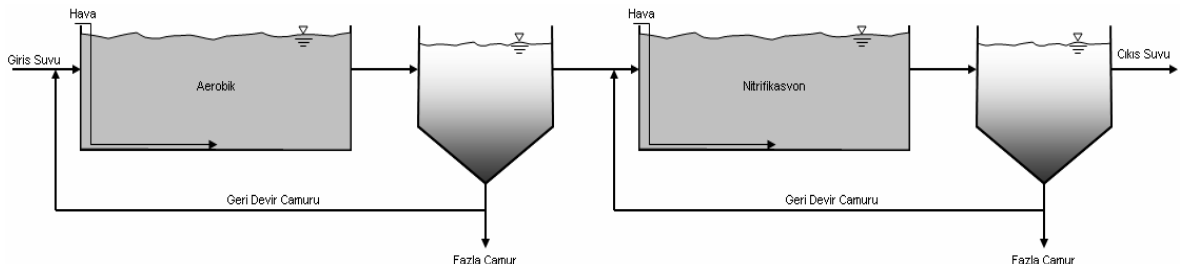
Aerobik oksidasyonda olduğu gibi hem askıda büyüyen hem de bağlı büyüyen sistemlerde nitrifikasyon gerçekleştirilebilmektedir. Askıda büyüyen sistemler için, BOİ giderimi ve nitrifikasyonun aynı tankta gerçekleştirildiği yaygın bir sistem olan tek kademeli nitrifikasyonda bir havalandırma havuzu, çöktürme tankı ve çamur geri devrinden oluşmaktadır. Ancak atıksuda toksik ve inhibe maddelerin varlığı durumunda iki kademeli sistemler kullanılabilir. Bu tür sistemlerde iki adet havalandırma havuzu ve iki adet çöktürme havuzu bulunmaktadır. İlk tankta düşük SRT de, inhibe maddelere karşı daha toleranslı olan heterotrof bakteriler tarafından BOİ giderimi gerçekleştirilmektedir. İlk tanktan çıkan nispeten daha az toksik madde içeren atıksu ikinci havalandırma tankında nitrifikasyon bakterilerinin daha yavaş çoğalmalarından dolayı daha uzun SRT ve hidrolik bekletme sürelerinde (HRT) nitrifikasyona tabi tutulurlar. Her bir tankın geri devri ilgili havuza yapılır ve çamurlar birbirine karışmaz. Sistemin maliyet açısından tatmin edici olmaması bir dezavantajdır. Şekil 4.2’de tek kademeli nitrifikasyona prosesi, Şekil 4.3’te ise iki kademeli nitrifikasyon prosesinin şematik görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.2 Tek kademeli nitrifikasyon prosesinin şematik görünümü [16].

Aktif çamur ve biyofilm proseslerde nitrifikasyondan sorumlu mikroorganizmalar aerobik ototrof bakterilerdir. İki kademedede gerçekleştirilen nitrifikasyonda iki grup bakteri görev almaktadır. İlk kademedede amonyağı nitrite okside eden ototrof

bakteriler, ikinci kademede nitriti nitrata oksitleyen ototrof bakteriler görev almaktadır ve her iki grup bakteri de birbirinden belirgin bir şekilde farklılık gösterir. Amonyakın nitrite dönüştürülmesinden sorumlu olan bakteri cinsi *Nitrosomonas* iken nitriti nitrata dönüştüren bakteri grubu *Nitrobacter*'dir. Nitrifikasyon prosesinde rol alan bazı diğer bakteri cinsleri *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* ve *Nitrosorobrio* olarak sayılmaktadır [1].



Şekil 4.3 İki kademeli nitrifikasyon prosesinin şematik görünümü [16].

Amonyakın iki kademede nitrata dönüşümü şu şekilde gerçekleşmektedir [15]:

*Nitrosomonas*:



*Nitrobacter*:



Toplam oksidasyon reaksiyonu:



Atıksudaki azot konsantrasyonu, BOİ konsantrasyonu, alkalinite, sıcaklık ve toksik bileşiklerin varlığı biyolojik nitrifikasyon prosesinin dizaynı için başlıca parametrelerdir. Nitrifikasyon bakterileri hücre büyümesi için  $\text{CO}_2$ , fosfor ve iz elementlere ihtiyaç duyarlar.

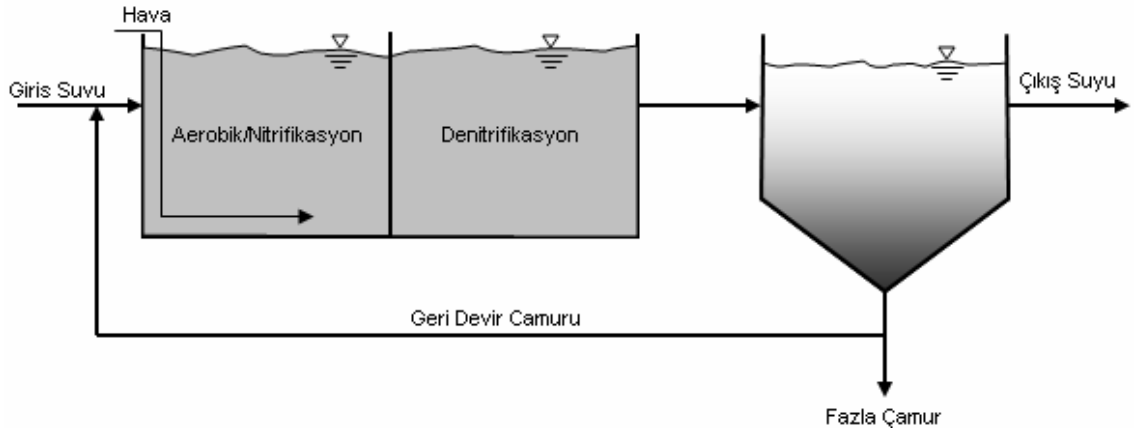
Bir nitrifikasyon sisteminde, daha önce verilen reaksiyonlardan nitritin nitrata dönüşmesi, amonyağın nitrite dönüşmesinden daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu nedenle, sistemde nitrit birikimi olmamakta, oluşan nitritin hemen hepsi nitrata dönüştürülmektedir. Amonyağın nitrite oksitlenmesi reaksiyonunda ayrıca, atıksudaki ÇO konsantrasyonu da büyük rol oynamaktadır. Oksidasyon sırasında ÇO konsantrasyonu 3–4 mg/L'ye ulaşıncaya kadar, artan ÇO konsantrasyonu ile birlikte nitrifikasyon hızı artarken, bu noktadan sonra ÇO konsantrasyonunun hız üzerinde bir etkisi olmamaktadır [15].

#### **4.2.3 Biyolojik Denitrifikasyon**

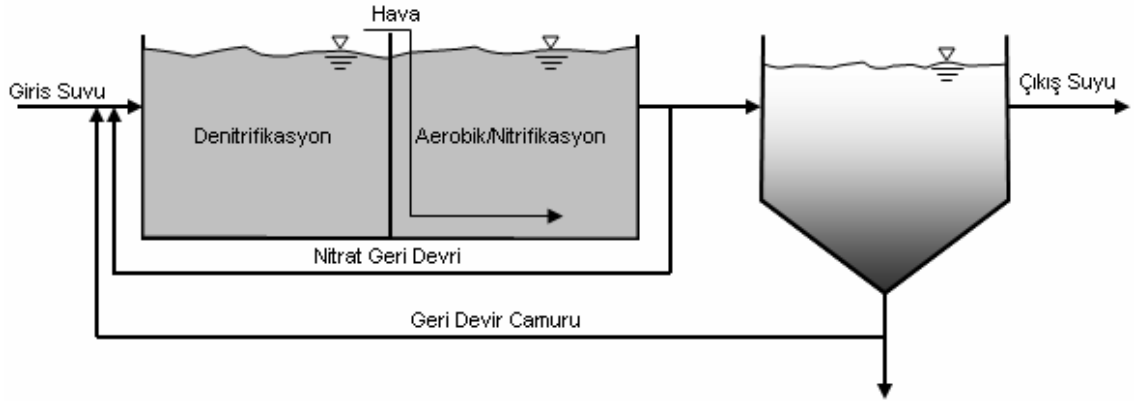
Nitratin azot gazına indirgenmesine denitrifikasyon denir. Denitrifikasyon biyolojik azot gideriminin tamamlayıcı bir parçasıdır. Amonyak sıyırma, kırılma noktası klorlaması ve iyon değiştirme gibi alternatif sistemlerle kıyaslandığında biyolojik azot giderimi daha az maliyetlidir ve bu yüzden daha sık kullanılmaktadır.

Biyolojik proseslerde nitrat giderimi asimilasyon ve disimilasyon olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Asimilasyon ortamda amonyum azotu yoksa hücre sentezi için nitratin amonyağa indirgenmesidir. Diğer yandan disimilasyon, ortamda serbest oksijen olmadığı durumlarda, bakterilerin nitratı bir elektron alıcısı olarak kullanıp azot gazına indirgenmesidir.

Denitrifikasyon prosesi iki şekilde olabilmektedir. Bunlardan ilki, denitrifikasyon tankının, havalandırma tankından sonra yerleştirildiği sistemlerdir. Bu durumda, nitrifikasyonun gerçekleştiği havalandırma tankından denitrifikasyon tankına doğru yüksek miktarda nitrit ve nitrat ile az miktarda organik madde de geçiş yapar. Bu tip proseslere sonanoksik (postanoxic) prosesler denmektedir. Bir diğer denitrifikasyon prosesi ise ön anoksik (preanoxic) proseslerdir. Önanoksik proseslerde, giriş suyu öncelikle bir anoksik tanka alınır. Havalandırma işlemi ise anoksik tanktan sonra gerçekleştirilir. Son anoksik ve önanoksik denitrifikasyon prosesleri sırasıyla Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Son-anoksik denitrifikasyon prosesinin şematik görünümü [16].



Şekil 4.5 Ön-anoksik denitrifikasyon prosesinin şematik görünümü [16].

Birçok bakteri çeşidi denitrifikasyon prosesini gerçekleştirebilmektedir. Ototrof ve heterotrofların her ikisi de bu özelliğe sahiptir. Denitrifikasyonda görev alan heterotrof organizma türleri: *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Chromobacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Hypomicrobium*, *Moraxella*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Propionibacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodopseudomonas*, *Spirillum* ve *Vibrio*. *Pseudomonas* türü, tüm denitrifiye bakteriler arasında en yaygın görülenidir [1]. Denitrifikasyon işlemini gerçekleştiren bu bakterilerin birçoğu fakültatif aerobiktir. Fakültatif aeroblar oksijenin varlığında aerobik oksidasyon yaparlarken, ortamda nitrit ve nitrat olarak sadece bağlı oksijenin bulunması durumunda, nitrit ve nitratı da elektron alıcı olarak kullanabilmektedirler.

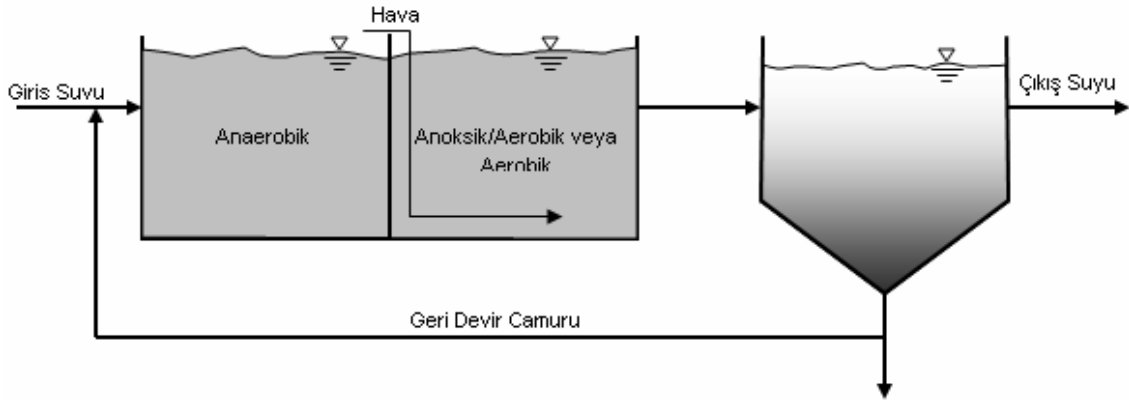
Biyolojik denitrifikasyon, atıksu arıtımında oksijenin yerine elektron alıcı olarak nitrit ve nitratın kullanımını içermektedir. ÇO yokluğunda ya da sınırlı konsantrasyonunda nitrat önce nitrite sonra nitrik okside, ardından nitroz oksite ve nihayetinde azot gazına indirgenir.



#### 4.2.4 Biyolojik Fosfor Giderimi

Fosfor, sularda ötrofikasyona neden olan önemli nütrientlerden birisidir. Alum ve demir tuzları ile gerçekleştirilen kimyasal arıtma fosfor gideriminde kullanılan en yaygın teknolojidir. Ancak son yıllarda birçok biyolojik fosfor giderim prosesleri geliştirilmiştir. Biyolojik fosfor gideriminin en önemli avantajları, kimyasal maliyetini yok etmesi ve kimyasal arıtmaya göre daha az çamur oluşumudur.

Biyolojik fosfor giderimi atıksuda bulunan fosforun, mikroorganizmaların hücre yapısına katılmasıyla ve son çöktürme tankında çamurla birlikte sudan ayrılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Böylece çıkış suyunda istenilen fosfor konsantrasyonuna ulaşılabilir. Fosfor özellikle bazı mikroorganizmaların yapısında fazladan birirmektedir. Bu tür mikroorganizmalara PAO (Phosphorus accumulating organisms) yani fosfor biriktiren organizmalar denmektedir. En çok bilinen türü *Acinetobacter*'dir. PAO'lar aerobik hetetroflardır ve biyolojik fosfor giderim kapasitesi MLSS'deki bu organizmaların oranına bağlıdır. İyi bir fosfor giderimi için bu tür bakterilerin gelişmesi sağlanmalıdır. PAO'lar aerob oldukları için anaerobik şartlarda hücre büyümesi için UYA' ları kullanamazlar ve bu yüzden anaerobik ortamda çoğalma gerçekleştiremezler. Bunun yerine UYA'lerini depolarlar ve ağırlıklarını arttırırlar. Bu amaçla diğer bakterilerle yarışta avantajlı hale getirmek için aerobik ya da anoksik tank öncesi bekleme süresi 0,5-1,0 saat olan bir anaerobik tank tasarlanmaktadır [1]. Anaerobik tankta geri devir aktif çamuruyla giriş atıksuyu karışmaktadır. Şekil 4.6'da Biyolojik fosfor giderimi için uygulanan sistemin akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Biyolojik fosfor giderimi için uygulanan sistemin akım şeması [16].

Fosfor gideriminde kullanılan anaerobik tanklarda genel anlamıyla gerçekleşen işlem, PAO'ların, uçucu yağ asitleri gibi fermentasyon ürünlerini hücre içinde depolarken hücre içerisinde bulunan polifosfatların fosfat olarak su ortamına verilmesini gerçekleştirmeleridir. Aerobik ortama gelindiğinde ise hücre içinde depolanan uçucu yağ asitleri gibi fermentasyon ürünlerinin asimilasyonu sayesinde bir enerji açığa çıkmakta ve bu enerji fosfatların tekrar bakteri bünyesine alınması ile sonuçlanmaktadır.

Birçok bakteri fosforu bünyelerine enerji açısından zengin olan polifosfatlar olarak depolayabilir. Anaerobik tankta fosfat konsantrasyonu giriş atıksuyundaki fosfor konsantrasyonuna nazaran oldukça yüksektir. Çünkü anaerobik tankta PAO'lar, bünyelerindeki polifosfatların parçalanmasıyla elde ettikleri enerji ile asetatı asimile ederler ve polihidroksibütrat (PHB) üretirler. PHB hücre bünyesinde depo edilirken, parçalanmış polifosfat sonucu oluşan ortafosfat suya geçer. Bu yüzden anaerobik tankta fosfat konsantrasyonu yüksek olur. Aerobik tanka gelindiğinde hücre sentezi için enerji ve karbon kaynağı elde etmek amacıyla PHB'ler mikroorganizmalar tarafından kullanılır. Elde edilen enerji ile suda bulunan ortafosfatlar tekrar bir araya getirilerek polifosfat olarak PAO'ların bünyesinde depolanır. Aktif çamurda bulunan PAO'lar oldukça yoğun ve iyi çökelme sağlayan floklar oluşturur.

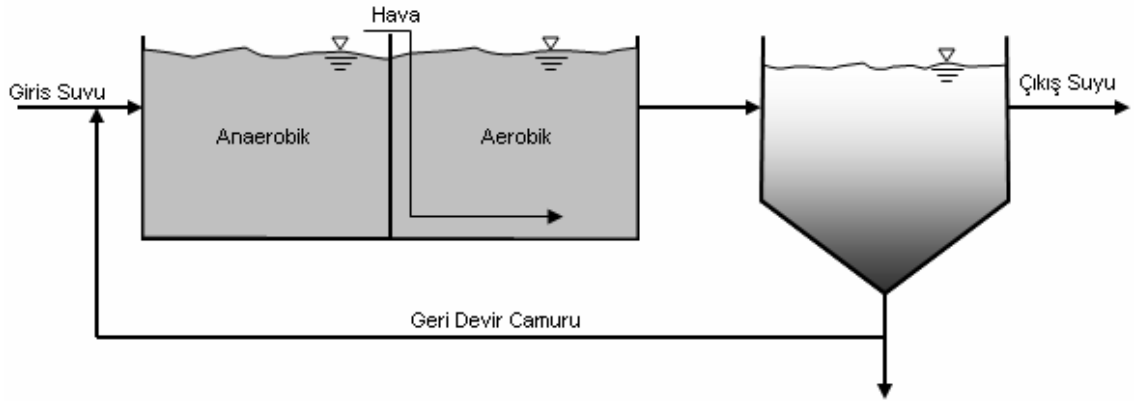
### 4.3 Nütrient Gideriminde Kullanılan Biyolojik Arıtma Prosesleri

Azot ve fosforun birlikte arıtımı için birçok biyolojik proses geliştirilmiştir. Bunların çoğu özel sistemler olup, azot ve fosfor giderimi için aerobik, anaerobik ve anoksik bölümlerin bileşiminden oluşmuş aktif çamur prosesi formundadır. Bu sistemlerin birbirlerinden farkı ise, bölmelerin ve geri devir hatlarının yerlerinin farklılık göstermesidir. Bu proseslerin bazıları temelde fosfor giderimi için geliştirilmiş olup, daha sonra azot ve fosforun birlikte arıtılabileceği sistemlere dönüştürülmüştür. Çok yaygın olarak kullanılan sistemler:

- ✓A/O prosesi,
- ✓A<sup>2</sup>/O prosesi,
- ✓Beş Kademeli Bardenpho prosesi,
- ✓UCT prosesi,
- ✓VIP prosesi,
- ✓Ardışık Kesikli Reaktör (AKR)'dir.

#### 4.3.1 A/O Prosesi

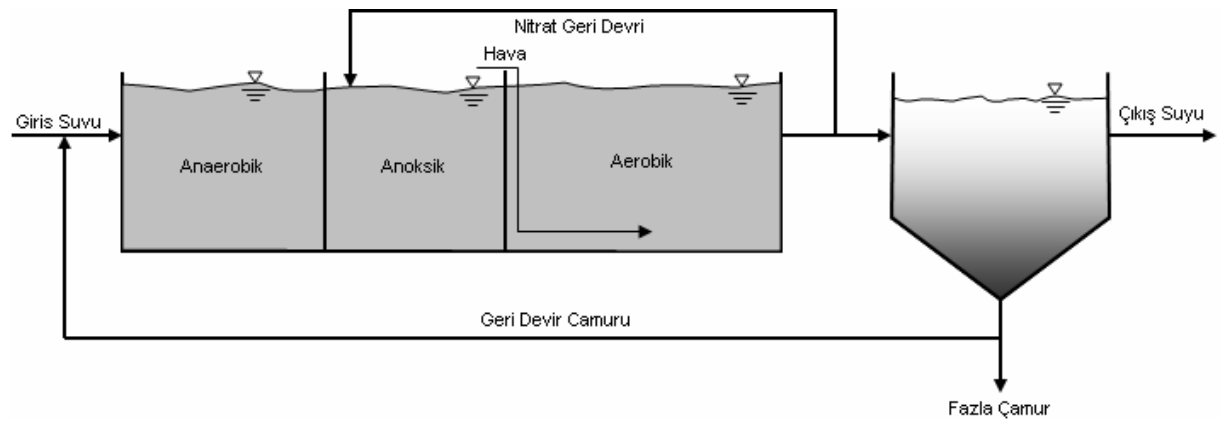
A/O prosesi Phoredox olarak da bilinmektedir ve atıksulardan karbon ve fosfor giderimi için tasarlanmıştır. Bir adet anaerobik tank, bir adet aerobik tank ve çöktürme tankından oluşan A/O prosesinin şematik görünümü Şekil 4.7'de verilmiştir. Sistem asıl olarak fosfor giderimi için tasarlanmıştır ve azot giderimi gerçekleştirememektedir. Sistem fosfor giderim mekanizmasının mantığıyla çalışmaktadır. Geri devir hattından gelen çamur ile karışan giriş atıksuyu öncelikle anaerobik tanka gelir. Burada bekletme süresi 30 dakika ile 1 saat arasında değişmektedir. PAO'lar anaerobik tankta PHB'leri bünyelerine alırken fosfat salınımı gerçekleştirirler. Aerobik tanka gelindiğinde PAO'lar atıksuya verdiklerinden daha çok fosforu bünyelerine alarak, son çöktürme tankında çökelirler ve sistemden uzaklaşırlar. Oluşan çamurun bir kısmı geri devredilirken, fazla çamur ise sistemden atılarak uzaklaştırılır. Optimum fosfor giderimi için gerekli SRT değeri 3-5 gün arasında değişmektedir [17].



Şekil 4.7 A/O prosesinin şematik görünümü [16].

#### 4.3.2 A<sup>2</sup>/O Prosesi

A<sup>2</sup>/O prosesi, A/O prosesinin bir modifikasyonudur ve denitrifikasyon için bir anoksik tank içerir. Sırasıyla anaerobik tank, anaoksik tank, aerobik tank ve son çöktürme tankından oluşan sistemin şematik gösterimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Anoksik tankta bekleme süresi yaklaşık olarak 1 saattir ve burada aerobik tanktan geri devrettirilen atıksuda bulunan nitrit ve nitrattaki bağlı oksijen dışında oksijen bulunmamaktadır. Anoksik tank kullanımı, geri devir çamurundan anaerobik tanka yapılan beslemedeki nitrat miktarını minimize eder. Bu sistem A/O prosesine nazaran karbon, fosfor gideriminin yanı sıra azot giderimi de gerçekleştirmektedir.



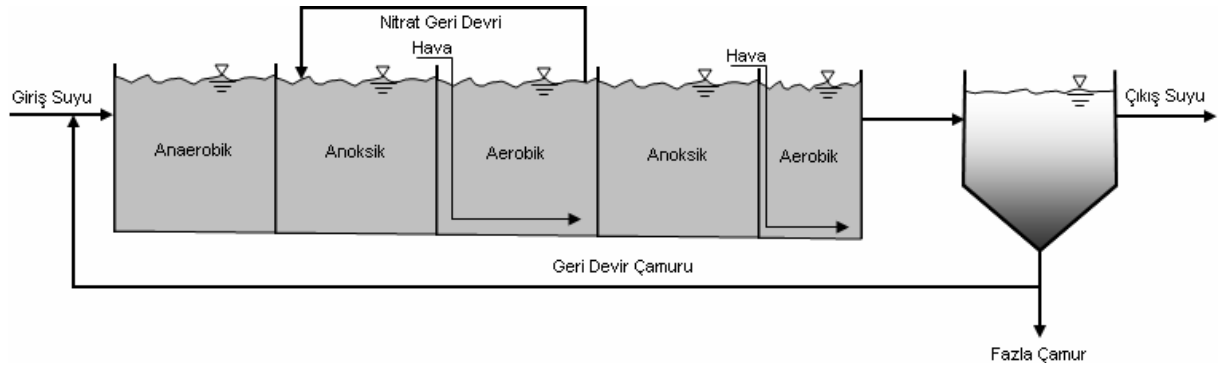
Şekil 4.8 A<sup>2</sup>/O prosesinin şematik görünümü [16].

#### 4.3.3 Bardenpho Prosesi (Beş Kademeli)

Beş kademeli Bardenpho prosesi, azot gideriminde kullanılan Bardenpho prosesinin, azot ve fosfor giderimi için modifiye edilmiş halidir. Sistemin şematik görünümü Şekil



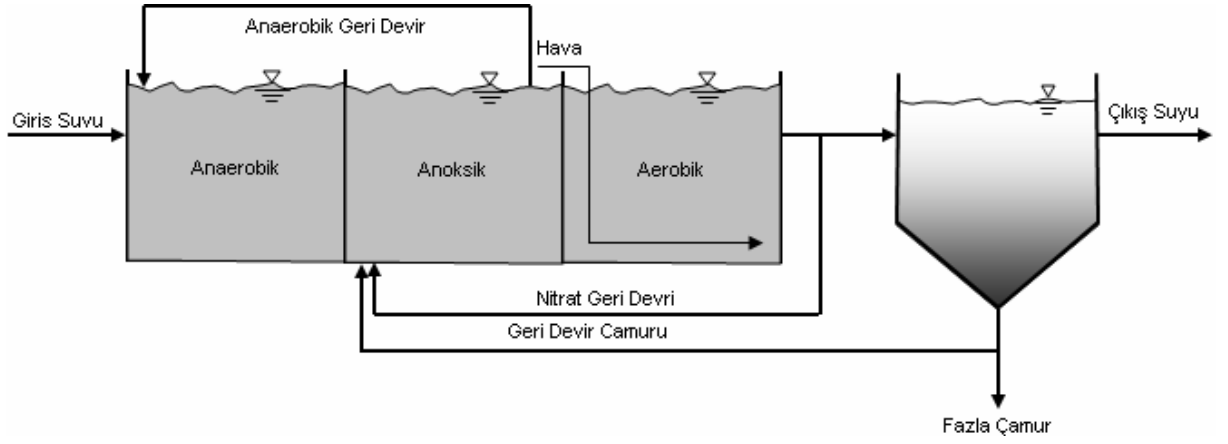
4.9'da gösterilmektedir. Fosfor giderimi amacıyla ortama beşinci basamak olarak anaerobik tank konulmuştur. Beş basamaklı sistemde anaerobik, anoksik ve aerobik bölümler fosfor, azot ve karbon gideriminde rol oynarlar. Sıvı karışım aerobik bölümden anoksik bölüme geri beslenir. Anoksik bölüm, aerobik bölümde oluşan nitratı elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanıp ilave denitrifikasyon sağlar. Aerobik bölüm ise azot gazını çözeltiden sıyırmak ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek için kullanılır. Uzun çamur yaşında çalıştırıldığından dolayı (10-20 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir [1].



Şekil 4.9 Beş kademeli Bardenpho prosesinin şematik görünümü [16].

#### 4.3.4 UCT Prosesi

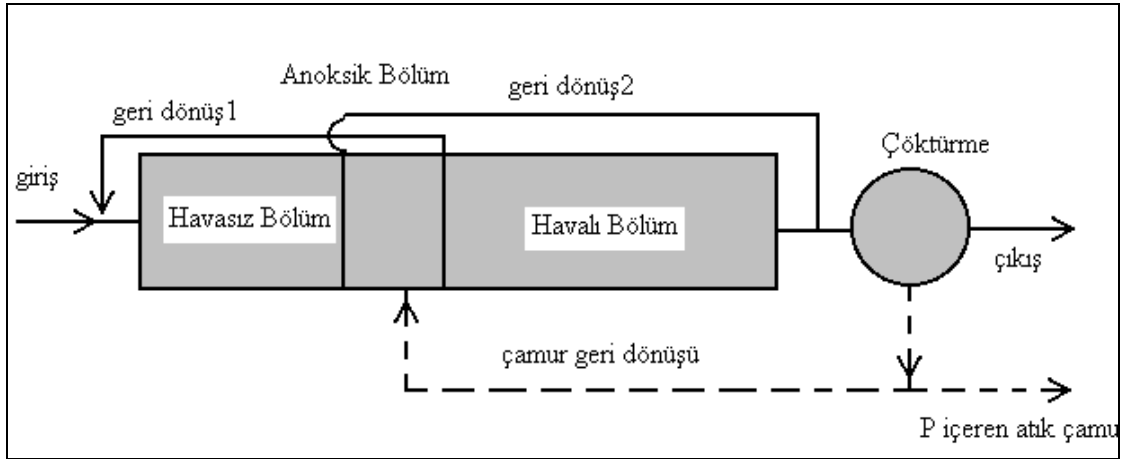
Cape Town Üniversitesi tarafından geliştirilen UCT prosesi, iki durum hariç  $A^2/O$  prosesine benzemektedir. Aktif çamur dönüşü anaerobik bölüm yerine, anoksik bölüme geri döndürülür ve iç döngü ise anoksik bölümden anaerobik bölümedir. Bunun nedeni aktif çamurun anoksik bölüme geri döndürülmesi ile nitratın anaerobik bölüme girmesi engellenir, böylece anaerobik bölümde fosforun daha iyi açığa çıkması sağlanır. İç geri devir ise anaerobik bölümde organik kullanımı artışını sağlar. Anoksik bölümdeki karışım, önemli miktarda çözünmüş BOİ ve az miktarda nitrat içerir. Anoksik karışımın geri devri, havasız bölümde fermentasyon hızı için optimum şartları sağlar. UCT prosesinin şematik görünümü Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 UCT prosesinin şematik görünümü [16].

#### 4.3.5 VIP Prosesi

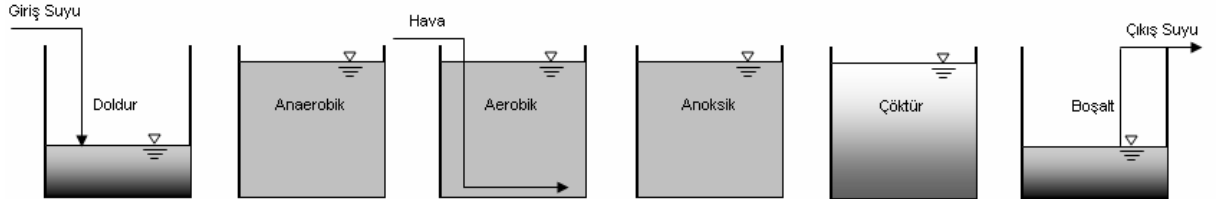
VIP prosesi geri devir sistemleri hariç,  $A^2/O$  ve UCT proseslerine benzerdir. Aktif çamur geri devri, aerobik bölüm geri devri ile birlikte anoksik bölüme verilir. Anoksik bölümün karışımı anaerobik bölüme geri devrettirilir. Deneysel verilere dayanarak, atıksudaki organik maddenin bir kısmı havasız mekanizma tarafından stabilize olur, bu da prosesin oksijen ihtiyacını azaltır. VIP prosesi, çok daha kısa SRT'de, maksimum biyolojik fosfor giderimi yapan yüksek hızlı sistemler olarak tasarlanır ve şematik gösterimi Şekil 4.11'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.11 VIP prosesinin şematik görünümü [16].

#### 4.3.6 AKR Prosesi

Bu reaktörler, hem karbon oksidasyonu, hem de azot ve fosfor giderimi için kullanılırlar. Genellikle küçük ve orta debili tesislerde kullanılan prosesin şematik görünümü Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Esas olarak karbon ve azot gideriminde kullanılmakla beraber sisteme anaerobik tank ilavesi ile fosfor giderimi de gerçekleştirilebilmektedir. Ardışık kesikli bir reaktör esas olarak altı fazdan oluşmaktadır. Bu fazlar sırasıyla atıksu ve çamurun karıştığı doldurma fazı, anaerobik reaksiyonların gerçekleştiği anaerobik faz, aerobik faz, nitrit ve nitratın azot gazına dönüşümünün sağlandığı anoksik faz, MLSS’in çöktürüldüğü çöktürme fazı ve süpernetantın deşarj edildiği boşaltma fazıdır.



Şekil 4.12 AKR prosesinin şematik görünümü [16].

Çizelge 4.2’de Jeyanayagam vd. [18] tarafından rapor edilen, yaygın kullanılan biyolojik nütrient giderim proseslerinin mukayesesi verilmiştir. Diğer yandan, nütrient gideriminde kullanılan bazı sistemlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 4.3’te verilirken, Çizelge 4.4’te de yaygın olarak kullanılan biyolojik nütrient giderim proseslerinin tipik dizayn parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Yaygın kullanılan biyolojik nütrient giderim proseslerinin mukayesesi [18].

| PROSES                 | AZOT GİDERİMİ | FOSFOR GİDERİMİ |
|------------------------|---------------|-----------------|
| AKR                    | Orta          | Tutarsız        |
| A2/O                   | İyi           | İyi             |
| Modifiye UCT           | İyi           | Mükemmel        |
| Bardenpho (5 Kademeli) | Mükemmel      | İyi             |
| Bardenpho (4 Kademeli) | Mükemmel      | Yok             |

Çizelge 4.3 Nütrient gideriminde kullanılan sistemlerin avantaj ve dezavantajları [1].

| PROSES                   | AVANTAJ                                                                                                                                                                                   | DEZAVANTAJ                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A/O                      | İşletme kolaylığı,<br>Çamur P içeriği %5-7 olduğundan iyi gübre özelliğine sahip,<br>Kısa hidrolik kalma zamanı,<br>P giderim verimi düşürüldüğünde, tam nitrifikasyon meydana gelir.     | Aynı zamanda yüksek azot ve fosfor giderim verimliliğine ulaşamaz,<br>Soğuk iklim işletme şartları altında verim değişkendir.<br>Yüksek BOİ/P oranı gerekli,<br>Havalı çamur yaşı azaltıldığında, yüksek oksijen transferi sağlayan havalandırıcılar gerekebilir.<br>Proses kontrol esnekliği azdır. |
| A <sup>2</sup> /O        | Hem azot hem de fosfor giderimi<br>Nitrifikasyon için gerekli alkaliniteyi sağlar.<br>İyi çökelme özelliğine sahip çamur üretir.<br>Nispeten kolay işletme sağlar.<br>Enerji korunumu     | Anaerobik tanka yapılan geri devrin nitrat içermesinden dolayı fosfor giderme kapasitesini etkilemesi<br>İç geri devir oranına bağlı olarak limitli azot giderimi<br>A/O prosesine nazaran daha yüksek BOİ/P ihtiyaç duyması                                                                         |
| UCT                      | Anaerobik tanka nitrat yüklemesi azaltıldığından fosfor giderim kapasitesi artar.<br>İyi çökelme özelliğine sahip çamur üretir.<br>İyi azot giderim verimi                                | Daha kompleks işletme<br>İlave geri devir sistemine ihtiyaç duyması                                                                                                                                                                                                                                  |
| VIP                      | Anaerobik tanka nitrat yüklemesi azaltıldığından fosfor giderim kapasitesi artar.<br>İyi çökelme özelliğine sahip çamur üretir.<br>UCT prosesine nazaran daha düşük BOİ/P ihtiyaç duyması | Daha kompleks işletme<br>İlave geri devir sistemine ihtiyaç duyması<br>İlave ekipmana ihtiyaç duyması                                                                                                                                                                                                |
| Bardenpho (Beş Kademeli) | Filtrelenmemiş çıkışta 3-5 mg/L TN(Toplam azot) değerine ulaşılabilir.<br>İyi çökelme özelliğine sahip çamur üretir.                                                                      | Daha düşük fosfor giderim verimi<br>Daha büyük tank hacimleri ihtiyacı                                                                                                                                                                                                                               |
| AKR                      | Birleşik azot ve fosfor giderimi için sistem oldukça esnektir.<br>Prosesi çalıştırmak oldukça kolaydır,<br>Çamur hidrolik değişiklikte deşarj edilmez.                                    | Yalnızca küçük debili atıksular için uygundur.<br>Gereğinden fazla üniteler gerekir,<br>Çıkış suyu kalitesi güvenli boşaltmaya bağlıdır,<br>Çok az tasarım verisi yeterli olabilir.                                                                                                                  |

Çizelge 4.4 Yaygın olarak kullanılan biyolojik nütrient giderim proseslerinin tipik dizayn parametreleri [1].

| Dizayn parametresi / proses |          |            | Hidrolik Bekletme Süresi, saat |                                    |                                       | Geri devir oranı, % | Nitrat geri devri, %                   |
|-----------------------------|----------|------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|
|                             | SRT, gün | MLSS, mg/L | Anaerobik bölüm                | Anoksik bölüm                      | Aerobik bölüm                         |                     |                                        |
| A/O                         | 2-5      | 3000-4000  | 0,5-1,5                        | -                                  | 1-3                                   | 25-100              |                                        |
| A <sup>2</sup> /O           | 5-25     | 3000-4000  | 0,5-1,5                        | 0,5-1                              | 4-8                                   | 25-100              | 100-400                                |
| UCT                         | 10-25    | 3000-4000  | 1-2                            | 2-4                                | 4-12                                  | 80-100              | 200-400 (anoksik)<br>100-300 (aerobik) |
| VIP                         | 5-10     | 2000-4000  | 1-2                            | 1-2                                | 4-6                                   | 80-100              | 100-200 (anoksik)<br>100-300 (aerobik) |
| Bardenpho (5 kademeli)      | 10-20    | 3000-4000  | 0,5-1,5                        | 1-3 (1. Kademe)<br>2-4 (2. Kademe) | 4-12 (1. Kademe)<br>0,5-1 (2. Kademe) | 50-100              | 200-400                                |
| AKR                         | 20-40    | 3000-4000  | 1,5-3                          | 1-3                                | 2-4                                   | 50-100              |                                        |

### BARDENPHO VE KASKAT PROSESLERİ

En uygun biyolojik nütrient giderim prosesinin belirlenmesi giriş atıksu karakteristiği, organik yükleme (BOİ ve nütrientler) ve istenen çıkış değerlerine bağlıdır. Bu bağlamda beş kademeli Bardenpho prosesi mükemmel azot giderimi ve iyi derecede fosfor giderimi ile yaygın kullanılan proseslerden biridir. Kaskat prosesi ise sistemde BOİ/TKN ve BOİ/TP oranını gerekli düzeyde tutmayı sağladığı için nütrient giderim veriminin artmasını sağlamaktadır.

#### 5.1 Bardenpho Prosesi

Bardenpho prosesi genel olarak, karbon ve azot gideriminde kullanılan dört kademeli Bardenpho prosesi ile karbon, azot ve fosforun beraber giderildiği beş kademeli Bardenpho prosesi olmak üzere iki tasarımdan oluşmaktadır.

Dört kademeli Bardenpho prosesinde denitrifikasyonun olabilmesi için karbon kaynağı olarak hem atıksudaki karbon, hem de içsel solunum hidrolizi sonucu oluşan karbon kullanılır. Karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon için havuzda ayrı bölümler kullanılır. Atıksu öncelikle anoksik olan denitrifikasyon reaktörüne girer. Bu reaktöre aynı zamanda karbon oksidasyonu-nitrifikasyon reaktörü çıkış suyu da geri döndürülerek verilmektedir. Atıksudaki karbon, geri döndürülen sudaki nitratı denitrifiye etmek için kullanılır. Organik yükleme yüksek olduğundan, denitrifikasyon da hızlıdır. Atıksudaki amonyum ilk anoksik ortama girmektedir ve hiçbir değişime uğramadan sistemdeki ilk havalandırma tankına gelir. Bu tanktan çıkan nitrifiye olmuş

atıksu, ikinci anoksik reaktöre girer. Bu ikinci reaktörde içsel solunum ile karbon sağlanır ve denitrifikasyon gerçekleştirilir. İkinci aerobik reaktör nispeten küçük olup, azot gazının ortamdaki uzaklaştırılması için kullanılır. İkinci anoksik reaktörde son havalandırmada nitrifiye olmuş çamurdan ayrılan amonyağın denitrifikasyonu gerçekleştirilir.

Beş kademeli Bardenpho prosesi, azot gideriminde kullanılan Bardenpho prosesinin, azot ve fosfor giderimi için modifiye edilmiş halidir. Fosfor giderimi amacıyla ortama beşinci kademe olarak anaerobik tank konulmuştur. Beş kademeli sistemde anaerobik, anoksik ve aerobik bölümler fosfor, azot ve karbon gideriminde rol oynarlar. Aerobik tankın çıkışında, alınan nitrat geri devrinden sonra, nitrat geri devrindeki kadar nitrat hala aerobik tank çıkış suyunda bulunmaktadır. Bu kalan nitratin çıkış suyunda görülmesi muhtemeldir. Bunu önlemek amacıyla koyulan ikinci anoksik tank, ilk aerobik tanktan sonra kalan nitratin denitrifikasyonla giderilmesini amaçlar. Anoksik bölüm, aerobik bölümde oluşan nitrati elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanıp ilave denitrifikasyonu sağlar. Bu anoksik tanktan sonra gelen aerobik tank ise herhangi bir arıtım sağlamayıp sadece denitrifikasyon prosesinden sonra atıksuda kalan azotu uçurmak ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek için kullanılır. İkinci aerobik tanktan alınan atıksu çöktürme tankına alınarak MLSS çöktürülür. Çöktürülerek atıksudan ayrılan çamurun bir kısmı doğrudan anaerobik tanka geri devir ettirilir. Uzun çamur kalma yaşında çalıştırıldığından dolayı (10-20 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir.

#### **5.1.1 Bardenpho Prosesinin Avantajları**

- ✓Düşük TN çıkış değerleri elde edilebilmektedir.
- ✓İyi çökelme özelliğine sahip çamur üretimi gerçekleştirilir.
- ✓Uzun SRT’de çalıştırıldığından proses stabilitesi sağlamaktadır.
- ✓İşletme şartları konvansiyonel aktif çamur sistemleriyle benzer olduğundan ilave işletme eğitime ya da kontrole gerek yoktur.

- ✓ Aynı sistem içersinde karbon, azot ve fosfor gideriminin gerçekleşmesini sağlamaktadır.

### 5.1.2 Bardenpho Prosesinin Dezavantajları

- ✓ Daha büyük tank hacimlerine ihtiyaç duymaktadır.
- ✓ Daha düşük fosfor giderimi gerçekleştirmektedir.

## 5.2 Kaskat Prosesi

Biyolojik nütrient giderim proseslerinin birçoğunda, giriş atıksuyu yeterli karbon kaynağı içermediğinden tatmin edici nütrient giderim verimlerine ulaşamaz. Şöyle ki; denitrifikasyonu gerçekleştiren mikroorganizmaların birçoğu heterotrofturlar ve metabolik aktiviteleri için organik maddelere ihtiyaç duyarlar. Nitrifikasyon sonucu oluşan nitratin tamamen denitrifikasyona uğrayabilmesi için yeterli karbon kaynağına sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla, giriş atıksuyundaki C/N oranının yeterli derecede yüksek olması gerekmektedir. Denitrifikasyon verimini arttırmak için dışarıdan karbon takviyesi (asetat, metanol, glukoz vb.) sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Endojen denitrifikasyonu, yalnızca içsel metabolizmadan gelen karbonla sınırlı olduğundan verimi düşüktür. C/N oranı düşük olduğunda denitrifikasyon prosesi yetersiz karbon yüzünden istenilen verime ulaşamaz. C/N oranı istenilen aralığa getirildiğinde ise %100'e yakın denitrifikasyon verimlerine ulaşılabilir [19].

Atıksulardan nütrient gideriminde anaerobik, anoksik ve aerobik fazlar kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışmada giriş atıksuyunda bulunan KOİ'nin büyük bir kısmının sistemin başında tüketildiği belirtilmektedir. Lim vd. [2], yaptıkları çalışmada, giriş atıksu KOİ'sinin % 79'unun anaerobik fazda, %6-11'inin anoksik fazda tüketildiğini belirtmişlerdir [2]. Aynı şekilde başka bir çalışmada giriş atıksu KOİ'sinin %67'si anaerobik fazda, %15'i anoksik fazda tüketildiği belirtilmektedir [29]. Bu gibi durumlarda nitrifikasyon sonucu oluşan nitratin tamamen azot gazına dönüşümü esnasında, mikroorganizmalar için gerekli karbon kaynağı tükenmiş olmakta ve bu durumda düşük verimli denitrifikasyonla karşılaşılmaktadır. Genel kabul olarak bir gram nitratin denitrifikasyonu için 4 gram BOİ'ye ihtiyaç duyulmaktadır.



Tüm bu sebeplerden dolayı kaskat prosesi evsel atıksulardan nütrient gideriminde proses verimini önemli düzeyde arttırabilecek bir uygulamadır. Bu amaçla var olan sistemde, dışarıdan karbon ilavesi yapmak yerine, sisteme iki farklı yerden atıksu girişi sağlanarak C/N oranı arıtma kademeleri boyunca dengede tutulabilmektedir. C/N azot oranının ileriki fazlarda da gerekli düzeyde tutularak istenilen giderme verimlerine ulaşılabilir.

### **5.3 Bardenpho ve Kaskat Sistemlerinin Verimini Etkileyen Faktörler**

Biyolojik nütrient gideriminde nitrifikasyon verimini etkileyen iki kontrol mekanizması söz konusudur. Birincisi, amonyum oksiteleyen bakterilerin fonksiyonel çeşitliliğinin eksikliği, ikincisi ise nitrifikasyon bakterilerinin katı büyüme gereksinimleri ve çevre şartlarından etkilenmeleridir.

Belirgin bir toplam azot giderimi için denitrifikasyon, nitrifikasyonu takiben gerçekleşmelidir. Denitrifikasyon heterotrof bakteriler tarafından nitratın azot gazına çevrimidir. Bu süreç anoksik şartlara ve biyolojik olarak çabuk parçalanabilen organik maddeye ihtiyaç duymaktadır.

Nütrient giderimine etki eden faktörler; Çamur yaşı (SRT), sıcaklık, Çözünmüş oksijen (ÇO), alkalinite ve pH, inhibitör bileşikler, C/N ve C/P oranı ve anaerobik tank stabilizasyonudur.

#### **5.3.1 Çamur Yaşı (SRT)**

Nitrifikasyon bakterileri ototrofik bakteriler olup, organik maddeleri parçalayan heterotrofik bakterilerden daha yavaş büyüme hızına sahiptirler. Bu nedenle bu bakterilerin etkin olabilmesi için daha büyük çamur yaşına ihtiyaç vardır.

#### **5.3.2 Sıcaklık**

Nitrifikasyon hızı sıcaklıkla belli bir noktaya (30 ila 35°C) kadar artış gösterir ve daha sonra azalmaya başlar. Genel kabul görmüş kurala göre, sıcaklık 20°C'den 10°C'ye düştüğünde nitrifikasyon hızı %30, denitrifikasyon hızı ise %75 azalmaktadır. Bu yüzden soğuk aylarda aerobik hacim ya da MLSS konsantrasyonu arttırılmaktadır [18].

Sıcaklık biyolojik aktivite için belirli bir değere kadar olumlu etki gösterse de, bu değerden sonra inhibe etkisi yapmaktadır. Nitrifikasyon inhibisyonu 40°C civarında gerçekleşmektedir. Fosfor giderimi göz önüne alındığında ise 30°C’de giderim veriminin düşmeye başladığı gözlenmektedir [18]. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklarda, düşük anaerobik UYA üretim hızı ve PAO’ların substrat kullanma önceliğindeki yarışta dezavantaja düşmeleri gösterilebilir.

### 5.3.3 Çözünmüş Oksijen (ÇO)

Nitrifikasyon proseslerinde oksijen ihtiyacı yaklaşık olarak 4,6 mg oksijen/mg oksitlenen  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ’dur. ÇO konsantrasyonu 2 mg/L’nin altına düştüğünde nitrifikasyon sistemi inhibe olmaktadır [18].

### 5.3.4 Alkalinite ve pH

Nitrifikasyon sisteminde tüketilen alkalinite miktarı 7,1 mg  $\text{CaCO}_3$ /mg oksitlenen  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ’dur. Eğer giriş atıksuyu yeterli alkaliniteye sahip değilse nitrifikasyon tehlikeye girecektir. Alkalinite tükendiğinde, pH düşmektedir ve bu da nitrifikasyon hızını düşürecektir. Birçok atıksu arıtma tesisi 6,8-7,4 pH aralığında işletilmektedir [1], [18].

Denitrifikasyon prosesi ile 3,6 mg  $\text{CaCO}_3$  alkalinitesi ve 2,9 mg oksijen/ mg giderilen  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  geri kazanımı sağlanır. Böylece nitrifikasyon ve denitrifikasyonun beraber gerçekleştirildiği sistemlerde kısmen alkalinite geri kazanımı ve oksijen kazanımı sağlanır [1], [18].

### 5.3.5 İnhibitör Bileşikler

Nitrifikasyon bakterileri ağır metallerden ve organik bileşiklerden inhibe olabilir. Ayrıca çamur şartlandırıcı olarak kullanılan bazı polimerlerde inhibisyona neden olmaktadır. İnhibisyonun ana kaynağı endüstriyel deşarjlardan kaynaklanmaktadır.

### 5.3.6 C/N ve C/P Oranları

Denitrifikasyon bakterileri heterotrofturlar, karbon ve enerji kaynağı olarak organik maddeyi kullanırlar. Verimli denitrifikasyon için minimum  $\text{BOİ}/\text{TKN}$  oranı 3:1 olmalıdır.

Bu değer, substratın biyolojik olarak parçalanabilirliğine ve işletme şartlarına göre değişiklik gösterebilir. Düşük BOİ/TKN oranı yetersiz denitrifikasyona neden olabilir. Zayıf karakterli atıksularda, n ktrmeden BOİ giderimi olan proseslerde ya da azot ve fosfor geri devirleri nedeniyle bu oran düşmektedir ve bu durumda BOİ denitrifikasyon için sınırlayıcı faktör olmaktadır. Limit değerler içinde, anoksik tanktaki yüksek F/M oranlarında, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddenin varlığına bağlı olarak denitrifikasyon hızı artış gösterir. Substratın eşidi de denitrifikasyon hızına etki etmektedir. Atıksuda metanol ve UYA gibi fermantasyon son ürünlerinin varlığıyla daha yüksek denitrifikasyon hızlarına ulaşılabilir.

Benzer şekilde, giriş atıksuyunda BOİ/TP oranının düşük olduğunda, UYA'leri yeterli olmayabilir ve bu durumda fosfor giderimi tehlikeye girecektir. İyi bir fosfor giderimi için istenen BOİ/TKN, BOİ/TP ve KOİ/TP değerleri sırasıyla 2:1-3:1, 20:1-25:1 ve 40:1'dir [18], [4].

Broughton vd. [21], yaptıkları çalışmada yüksek karakterli atıksuların farklı rbKOİ/P oranlarında biyolojik fosfor giderim verimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, rbKOİ/P oranı 20:1 ve 15:1 olduğunda en iyi fosfor giderim verimlerinin (>%99) elde edildiği gözlemlenmiştir. rbKOİ/P oranı 10:1 olduğunda ise verimin düştüğü ancak yine de %82'ye varan verimlere ulaşıldığı gözlenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde etkili biyolojik fosfor giderimi için minumum rbKOİ/P oranının 13:1 olduğuna karar verilmiştir [21].

### **5.3.7 Anaerobik Tank Stabilizasyonu**

Biyolojik fosfor gideriminde, substratı ilk olarak PAO'ların kullanılmesi için anaerobik şartların düzgün bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Anaerobik ortamın, diğer hetetroflara nazaran PAO'lar için susbstrat kullanım önceliğinde dezavantaj olan O ve nitrat kaynaklarından korunması gerekmektedir. Geri devir çamurundaki nitrat konsantrasyonu başarılı fosfor giderimi için en önemli engelleyici unsurdur. Özellikle kiş aylarında olduğu gibi atıksu zayıf karaktere sahip olduğunda anaerobik tankta PAO'lar için yeterli substrat elde edilemez. Geri devir çamurundaki nitrat konsantrasyonu 4,5

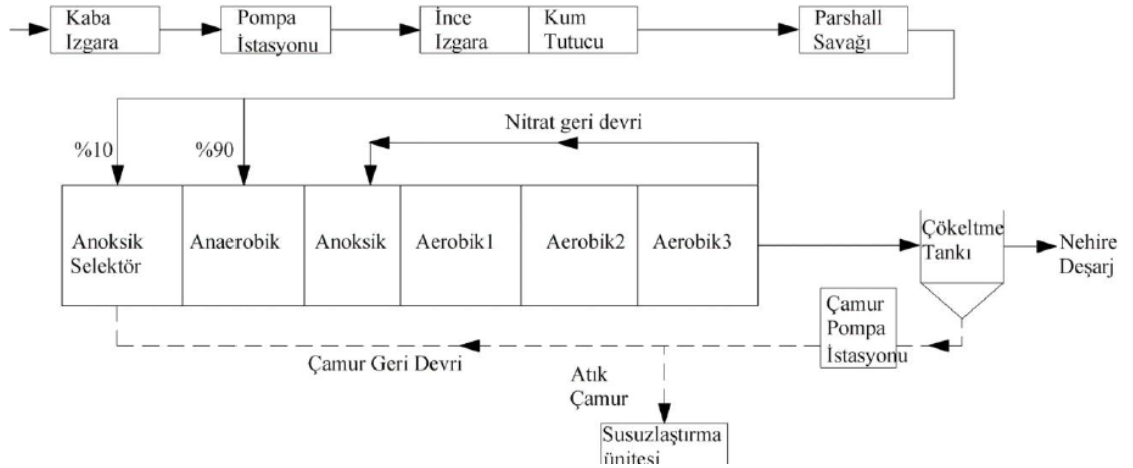
mg/L'nin üzerine çıkıldığı zaman çıkış toplam fosfor konsantrasyonu artış göstermektedir [4].

#### 5.4 Bardenpho ve Kaskat Sistemleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Lim vd. [2], yaptıkları çalışmada, pilot ölçekli modifiye A<sup>2</sup>O kullanılarak bir kentin kanalizasyon atıksularından azot giderimi çalışmışlardır. Sistem bir anaerobik tank, iki adet anoksik tank ve iki adet oksik tanktan oluşmaktadır. 25 gün çalışılan sistemde, ortalama debi 20 m<sup>3</sup>/gün'dür. Giriş atıksu karakterizasyonunun pH 6,9; BOİ 71,4 mg/L; askıda katı madde 61,5 mg/L; toplam azot 38,6 mg/L; NH<sub>3</sub>-N 27,8 mg/L olarak belirlendiği çalışmada sistemin ortalama sıcaklığı 27°C, hidrolik bekletme süresi 12,7 saat, MLSS konsantrasyonu 1200 mg/L ve havalandırma tankındaki ÇO konsantrasyonu 5-6 mg/L'dir. Sistemin C/N oranı ortalama 1,9 iken C/P oranı 17,11'dir. Çalışma boyunca, BOİ giderim verimi yaklaşık olarak %76-98,4 arasında, toplam azot giderimi ise %52 ile %87,8 arasında değişmiştir. Giriş atıksuyunun %72'si amonyum azotundan oluşurken, arıtılmış çıkış suyundaki toplam azot, yaklaşık olarak %22 amonyum azotu, %6 nitrit azotu, %72 nitrat azotundan oluşmaktadır. Bu sonuçlar giriş atıksuyunda bulunan toplam azotun neredeyse tamamının nitrifiye olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda modifiye A<sup>2</sup>O prosesinin ileri azot giderimi için esnek ve ayarlanabilir olduğu kanısına varılmıştır [2].

Chen vd. [29], laboratuvar ölçekli yaptıkları bir çalışmada anaerobik, anoksik ve aerobik fazlardan oluşan A<sup>2</sup>O ve biyolojik havalandırmalı filtre (BAF) kullanılarak oluşturulan entegre bir sistemde evsel atıksuların arıtımını incelemişlerdir. Bu çalışmada, nitrifikasyon bakterileri ile PAO arasında önemli bir sorun olan SRT probleminin çözülmesi için çalışılmıştır. Bu bağlamda A<sup>2</sup>O prosesi daha kısa SRT'de, BAF ise daha uzun SRT'de işletilmiştir. Bu bütünleşik sistemde, A<sup>2</sup>O fosfor giderimi ve denitrifikasyon olarak kullanılırken, BAF nitrifikasyon için kullanılmıştır. Farklı nitrat geri devirlerinin (%100, %200, %300 ve % 400) uygulandığı sistemde C/N oranı ise düşük seviyededir. Sonuç olarak, %100, %200, %300 ve % 400 nitrat geri devirleri için TN giderimi sırasıyla %64,9, %77,0, %82,0 ve %87,0 olarak gözlemlenmiştir. Çıkış KOİ, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ve TP değerleri ise sırasıyla 50 mg/L, 0,5 mg/L ve 0,5 mg/L olarak ölçülmüştür [29].

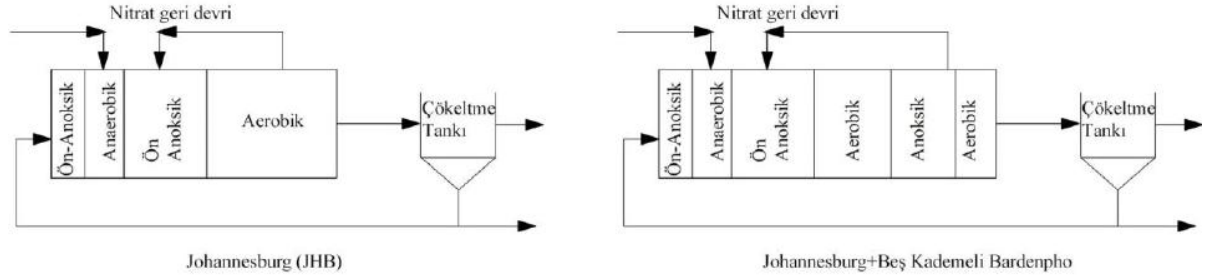
Fan vd. [3], düşük karakterli atıksuların arıtımında modifiye A<sup>2</sup>O prosesini uygulamışlardır. Çalışmanın amaçları; düşük karakterli atıksuların modifiye A<sup>2</sup>O prosesi ile arıtımında nütrient giderim performansı, ön anoksik tankın verime etkisi ve optimum işletme şartlarını belirlemek olup çalışmada kullanılan tesisin şematik gösterimi Şekil 5.1’ dir. [3].



Şekil 5.1 Fan vd. [3]’ nin düşük karakterli atıksuların arıtımında kullandıkları modifiye A<sup>2</sup>O prosesinin şematik gösterimi.

Çalışmada giriş atıksuyunun %90’ı anaerobik tanka, %10’u ise ön anoksik tanka beslenmiştir. Oksik bölme üç özdeş dikdörtgen tanktan oluşmaktadır. Çamur geri devri, çöktürmeden ön anoksik tanka yapılmıştır. Tesisin işletme parametreleri şöyledir: Debi 1871 m<sup>3</sup>/saat; HRT 10,5 saat; nitrat geri devri 0,5; geri devir 1,0; SRT 15 gün; MLSS 1200 mg/L; ÇO 3-4 mg/L. Giriş atıksu karakteristiği; KOİ, BOİ<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP, AKM için sırasıyla 185 mg/L, 52 mg/L, 9,96 mg/L, 16 mg/L, 1,56 mg/L, 86 mg/L’dir. KOİ, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP ve AKM için giderim verimleri sırasıyla %81, %97, %25, %53 ve %80’dir. Ön anoksik tank sayesinde anaerobik tanka gelen nitrit ve nitrat konsantrasyonu azaltılmış ve bu da fosfor giderimini arttırmıştır. Çalışma neticesinde giriş fosfor konsantrasyonunun fosfor giderim verimini etkilediği gözlenmiştir. Yüksek MLSS konsantrasyonunun, zayıf karakterli atıksuların arıtılmasında uygun olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca çamur deşarjı yapılması durumunda, KOİ, NH<sub>3</sub>-N, ve TP giderim verimlerinde sırasıyla %7, %6 ve %24 oranında iyileşme gösterdiği ifade edilmiştir [3].

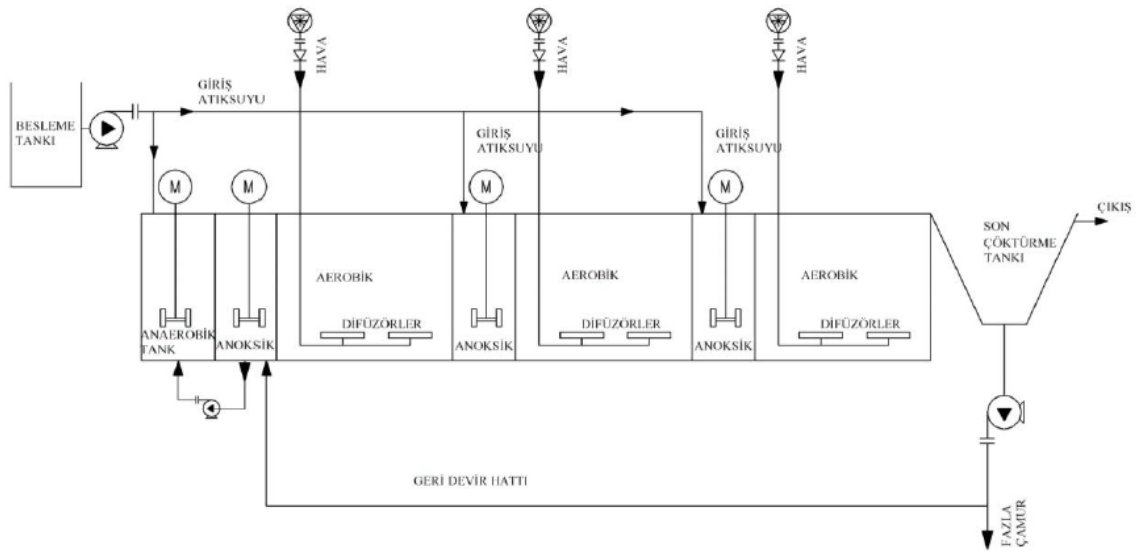
Manyumba vd. [4], kanalizasyon sulardan fosfor giderimi için 50 m<sup>3</sup> hacimli pilot ölçekli bir tesiste Johannesburg ve Johannesburg+beş kademeli Bardenpho olmak üzere iki farklı sistemi kullanmışlardır. Çalışma boyunca bu iki sistemin fosfor giderimi açısından mukayesesinin yanı sıra, BOİ/TP oranının, organik yüklemenin ve geri devir aktif çamurundaki nitrat konsantrasyonunun TP giderim verimi üzerine etkisi de incelenmiştir. Çalışmada kullanılan proseslerin akım şeması Şekil 5.2’dedir [4].



Şekil 5.2 Manyumba vd. [4]’nin yaptıkları çalışmada kullandıkları Johannesburg ve Johannesburg+beş kademeli Bardenpho sistemlerinin akım şeması.

Çalışma neticesinde, Johannesburg sistemiyle ortalama çıkış TP konsantrasyonu 2,4 mg/L iken, Johannesburg+beş kademeli Bardenpho sistemiyle elde edilen çıkış TP değeri 1,4 mg/L’dir. Her iki proseste de giderim verimini olumsuz etkileyen problemler; geri devir hattındaki ÇO konsantrasyonu, geri devir hattındaki nitrat konsantrasyonu ve giriş atıksuyunun düşük BOİ konsantrasyonudur [4].

Ge vd. [6], yaptıkları çalışmada düşük sıcaklıklarda, azot ve fosfor giderim verimini iyileştirmek için Şekil 5.3’de gösterilen modifiye UCT kademeli besleme prosesini incelemişlerdir. Pilot ölçekli gerçekleştirilen çalışmada, sistem bir anaerobik tank, üç adet anoksik tank ve üç adet aerobik tanktan oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan prosesin şematik gösterimi Şekil 5.3’de verilmiştir. Giriş atıksuyu %40’ı anaerobik tanka, %30’u 2. anaoksik tanka, %30’u 3. anaoksik tanka olmak üzere üç kola ayrılmıştır. Sistem, SRT 8 gün, MLSS konsantrasyonu 4500-7000 mg/L, çamur geri devri 0,75 olarak işletilmiştir. Çalışma neticesinde, düşük sıcaklıklarda (16,5°C ve 27,3°C arasında), 10 saatlik bekletme süresi ile istenilen azot ve fosfor giderim verimlerinin elde edilebileceği görülmüştür. Bu sistemde sıcaklık düştüğünde fosfor giderim veriminde belirgin bir etki gözlenmemiştir [6].



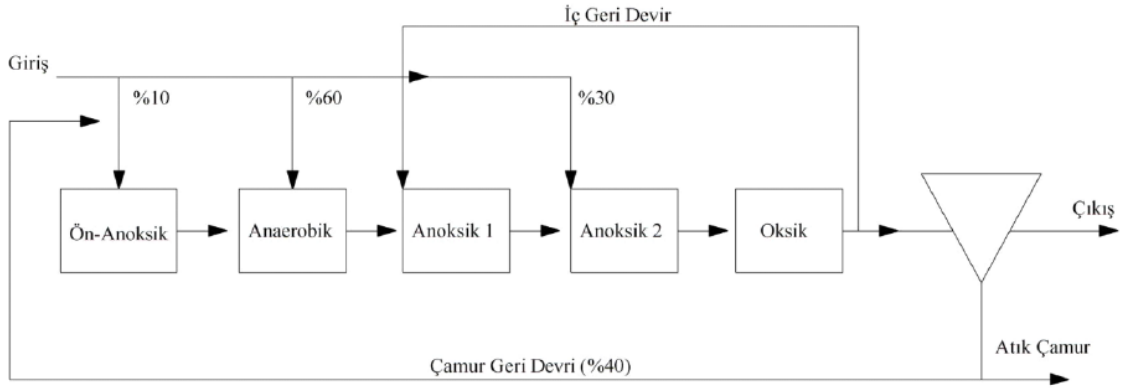
Şekil 5.3 Ge vd. [6]'nin yaptıkları çalışmada kullandıkları modifiye UCT kademeli besleme prosesinin akım şeması

Kim vd. [7], pilot ölçekli gerçekleştirdikleri bir çalışmada evsel atıksuların arıtımı için biyolojik nütrient giderim prosesi kullanmışlardır. Bu proses, çıkış suyu kalitesini arttırabilmek için kesikli bir havalandırma reaktörü ve nitrifikasyondan sorumlu, bağlı büyüyen mikroorganizmalar için destek malzemesi olarak poliüretan köpük içeren bir nitrifikasyon reaktörü içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, sistem hem organik hem de nütrient gideriminde kararlı ve yüksek performans göstermiştir. Çamur yaşı 12 gün değerinde tutulduğunda, KOİ, azot ve fosfor giderim verimleri ortalama olarak sırasıyla %89, %76 ve %95'tir [7].

Lee vd. [10], yaptıkları çalışmada atıksuların arıtımı için kademeli beslemeli 5 kademeli biyolojik nütrient giderim prosesinin farklı sıcaklıklarda giderim verimi ve bakteri popülasyonunu incelemişlerdir. Sistemin şematik gösterimi 5.4'te verilmiştir.

Sistemin ortalama çamur bekletme yaşı 22 gün, ortalama nitrat geri devri %230, çamur geri devri ise ortalama %40'tır. Pilot ölçekli gerçekleştirilen çalışmada tesisin debisi 50 m<sup>3</sup>/gün'dür. Deneysel sonuçlara göre KOİ, TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, çözünür fosfat ve askıda katı madde giderim verimleri sırasıyla, 11-15°C'de %87, %79, %88, %87 ve %90; 15-20°C'de %89, %82, %93, %86 ve %90; 20-25°C'de %91, %87, %97, %88 ve %93; 25-28°C'de %91, %86, %97, %81 ve %91'dir. Çalışma sonunda 5 kademeli biyolojik nütrient giderim

prosesi ile evsel atıksulardan etkili bir şekilde  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ve çözünmüş fosfor giderimi gerçekleştirildiği görülmüştür. Sıcaklığın  $15^\circ\text{C}$ 'nin altına düştüğü kış ayları hariç azot ve fosfor giderim verimleri sırasıyla %79 ve %87'nin üstündedir. Ayrıca sistemin azot ve fosfor giderim verimlerinin sıcaklık değişimlerinden çok az etkilendiği ve çalışma boyunca stabil kaldığı görülmüştür [10].



Şekil 5.4 Lee vd. [10]'nin yaptıkları çalışmada kullandıkları kademeli beslemeli 5 kademeli biyolojik nütrient giderim prosesinin akım şeması

Mines [30], evsel atıksulardan karbon, azot ve fosfor gidermek için biyolojik nutrient giderimi yöntemlerinin kullanıldığı sekiz tam ölçekli ileri atıksu arıtma tesisinin performansını değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiş, giderim sistemleri olarak, beş kademeli Bardenpho,  $\text{A}^2/\text{O}$  ve Carrousel sistemleri ve oksidasyon hendeği öncesi anaerobik/anoksik selektörler uygulanmıştır. Tüm durumlarda, 5 mg/L  $\text{BOI}_5$ , 5 mg/L AKM, ve 3 mg/L TN çıkış değerlerine ulaşılmıştır [30].

Monclus vd. [11], yaptıkları çalışmada, kentsel atıksuların arıtımında UCT prosesi ile membran biyoreaktör prosesinin konfigürasyonu olan bir pilot tesisle, başlangıç aşamasında dahi yüksek nütrient giderim verimi elde edilebildiğini gözlemlemişlerdir. Sistem ızgara, anaerobik tank, anoksik tank, aerobik tank ve batmış boşluklu elyaf membranlardan oluşmaktadır. Çalışılan atıksu karakteristiği için ortalama değerler şöyledir:  $\text{KOİ}$  459 mg/L,  $\text{BOI}_5$  293 mg/L, TKN 50,6 mg/L,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  29,1 mg/L,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  3,63 mg/L'dir. Biyolojik nütrient giderim verimleri çalışmanın sonlarına doğru giderek artış göstermiştir. Çalışma neticesinde  $\text{KOİ}$  için %94'e varan giderim verimlerine ulaşılırken



azot giderim verimi %89-93 değerleri arasında değişmiştir. Fosfor giderim verimi ise %80-92 değerleri arasında gözlenmiştir [11].

Peng vd. [12], yaptıkları çalışmada A/O, A<sup>2</sup>/O ve modifiye UCT proseslerinin kademeli beslemeden oluşan modifiye sistemler geliştirmişlerdir. A/O prosesinde besleme anaerobik tanklara yapılırken, A<sup>2</sup>/O ve modifiye UCT proseslerinde ilk besleme anaerobik tanka, diğer iki besleme ise anoksik tanklara yapılmaktadır. Sistemler farklı işletme şartlarında çalıştırılarak sistem verimi için optimum şartlar elde edilmeye çalışılmıştır. Sistemlerin HRT'si 8 saat iken, MLSS konsantrasyonu 4500-7000 mg/L'dir. Giriş atıksu debisi 1020 L/gün ve giriş atıksuyunun ilgili tanklara besleme oranı ise %40:%30:%30 şeklindedir. Çalışma neticesinde, azot ve fosfor giderimini arttıran sistemin %75 çamur ve nitrat geri devrine sahip, anaerobik/anoksik/oksik tank hacim oranları 1:3:6 olan modifiye UCT prosesi olduğu ortaya konmuştur [12].

Vaiopoulou vd. [31], karbon, azot ve fosfor giderimi için UCT prosesi ile kademeli denitrifikasyon kombinasyonundan oluşan pilot ölçekli bir aktif çamur sistemi oluşturmuşlardır. Deneysel düzenek, bir anaerobik selektör ve sonraki anoksik ve aerobik tanklara kademeli besleme adımlarını içermektedir. Ham atıksunun giriş debisi 48-120 L/ gün, HRT'si 7-18 saat, spesifik BOİ<sub>5</sub> yükleme hızı 0,23-1,08 kgBOİ<sub>5</sub>/kgMLVSS-gün'dr. Bir yıl işletme sonunda, toplam KOİ olarak organik madde için yaklaşık %88 giderim verimi elde edilirken, BOİ<sub>5</sub> giderim verimi %92, amonyak azotu giderimi %93-99, TKN giderim verimi %87-97 arasında, TN giderimi %70'tir. Gelen fosfor konsantrasyonundaki yoğun salınımlar yüzünden fosfor giderimi başarısız olmuştur. Diğer yandan, tesis konfigürasyonu filamentli bakterilerin çoğalmasını engelleyen işletme şartları sağladığından yüksek çamur çökelme özelliği sağlamıştır (SVI<130 mL/g) [31].

Xu vd. [32], anaerobik-aerobik prosesini, anaerobik-aerobik-anoksik (AOA) şeklinde modifiye ederek denitrifiye fosfor giderimi ile TN giderim verimini arttırmayı hedeflemişlerdir. AOA prosesinde, anaerobik tanktaki sıvı karışım anoksik tanka aktarılarak, denitrifikasyon için gerekli karbon kaynağı sağlanmış olmaktadır. AOA prosesi 3 ay işletilmiş ve ortalama giderim verimleri NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TN ve PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P için sırasıyla yaklaşık %93, 70, %87 olarak elde edilmiştir [32].

## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE METOD

#### 6.1 Atıksu Kompozisyonu

Deneyisel çalışma süresince kullanılan atıksu, İSKİ Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin kum tutucu çıkışından temin edilen evsel atıksudur. Pilot tesise alınan evsel atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun karakterizasyonu

| Parametre                       | Birim | Ortalama Değer |
|---------------------------------|-------|----------------|
| KOİ                             | mg/L  | 700±158        |
| TKN                             | mg/L  | 73±12          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | mg/L  | 48±6           |
| TP                              | mg/L  | 8,6±1,3        |
| PO <sub>4</sub> - P             | mg/L  | 4,2±1,2        |
| AKM                             | mg/L  | 235±84         |
| pH                              | -     | 7,4±0,4        |

#### 6.2 Deneyisel Düzenek

Bu çalışmada evsel atıksuların arıtımında azot ve fosfor gibi nütrientlerin giderimi için tam ölçekli tesiste uygulanan Kaskat prosesi ile yeni geliştirilen modifiye beş kademeli

Bardenpho prosesinin mukayesesi yapılmıştır. Bu amaçla İSKİ Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nde 10 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli pilot ölçekli bir tesis kurulmuş olup, bu pilot ölçekli tesis Beş Kademeli Bardenpho ve İki Kademeli Kaskat olmak üzere farklı sistemler şeklinde işletilmiştir. Her iki proses de Eylül-Ekim-Kasım aylarında işletilmiştir. Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho ve İki Kademeli Kaskat prosesleri, kurulum, akış ve geri devirler açısından bir farklılık göstermemekle beraber, tek farkları Kaskat sisteminde iki farklı yerden giriş atıksuyu beslemesinin olmasıdır. Pilot tesisi akışa göre sırasıyla giriş ızgara sistemi, ön çöktürme tankı, dağıtım yapısı, anaerobik tank, 1.anoksik tank, 1.aerobik tank, 2.anoksik tank, 2.aerobik tank ve son çöktürme tankından oluşmaktadır. Reaktör, tam ölçekli tesisten temin edilen aşı çamuru ile işletilmiştir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de tesisin farklı açılardan görünümü verilmiştir.



Şekil 6.1 Çalışmada kullanılan pilot tesisin yandan ve üstten görünümü.

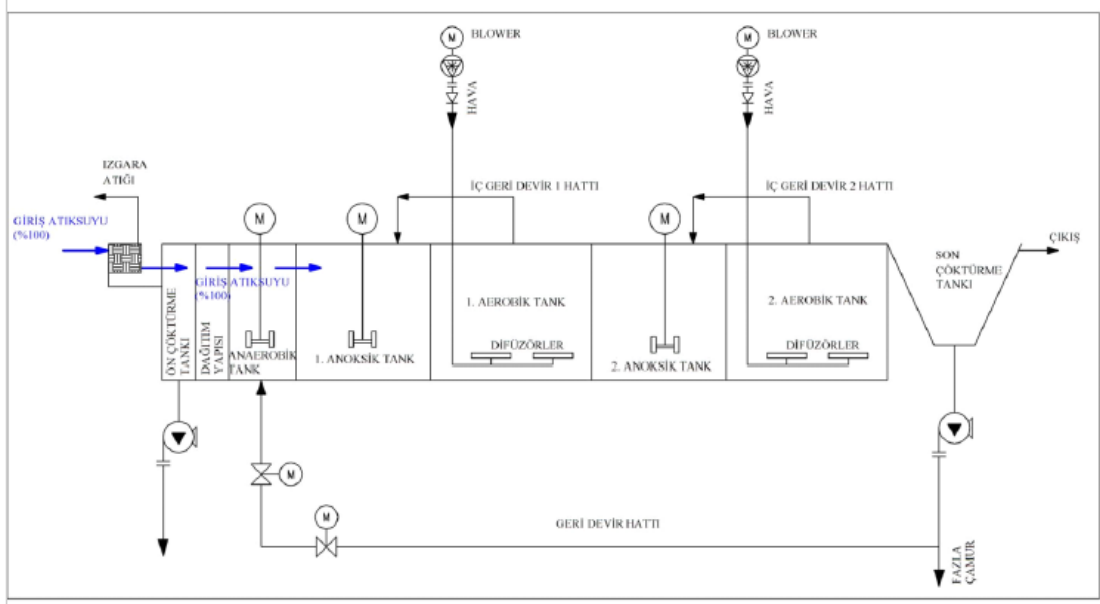


Şekil 6.2 Çalışmada kullanılan pilot tesisin anoksik ve aerobik tanklarının görünümü.

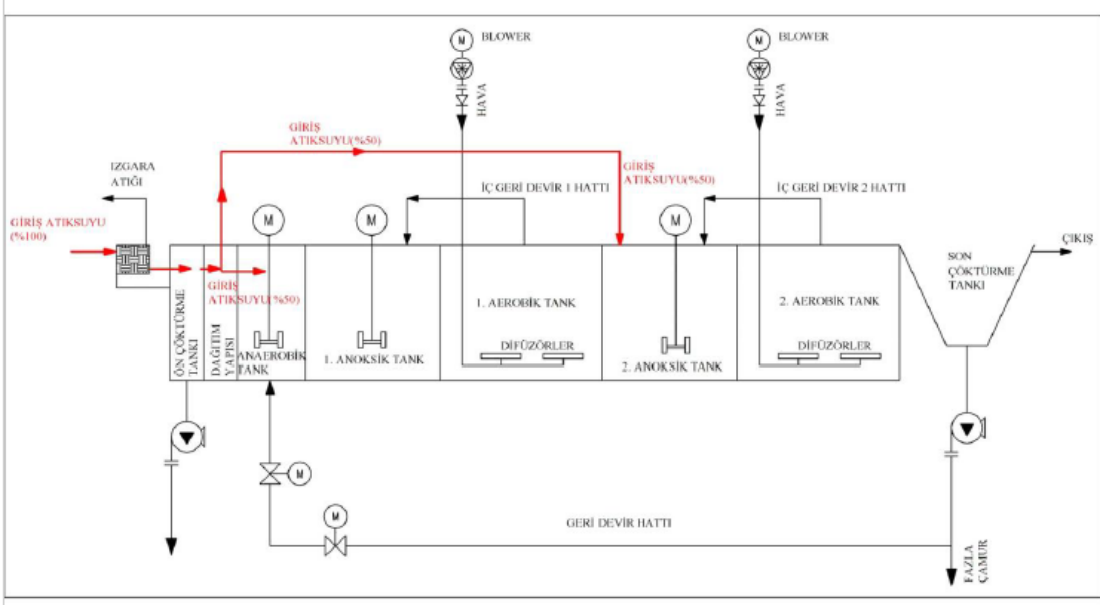
İSKİ Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'ne gelen evsel atıksu kum tutucu çıkışından pilot tesise pompa yardımıyla alınmaktadır. Pilot tesise gelen atıksu öncelikle ızgara aralığı 3mm olan bir ızgaradan geçmekte ve daha sonra ön çöktürme tankına alınmaktadır. Burada atıksu içerisinde bulunan kaba partiküller çökerek uzaklaşırken, atıksu dağıtım yapısına geçmektedir. Ön çöktürme tankının dibinde biriken çamur ise bir pompa yardımıyla sistemden uzaklaştırılır. Dağıtım yapısına gelen atıksu, buradan ilk olarak anaerobik havuza alınır. 1,2 saatlik hidrolik bekletme süresine sahip anaerobik tank tam karışımın sağlanması ve aktif çamurun çökmesini engellemek için mikser yardımıyla karıştırılır. Anaerobik fazdan sonra atıksu, iki kademedен oluşan nitrifikasyon-denitrifikasyon prosesinin ilk kademesi olan 1. anoksik tanka giriş yapar. Daha sonra aerobik tanka gelen atıksu, ikinci kademe nitrifikasyon-denitrifikasyon için sırasıyla 2. anoksik ve 2. aerobik tanka geçiş yapar. 2. aerobik tanktan sonra atıksu, son çöktürme tankına alınır. Burada arıtılmış su savaklanarak sistemden ayrılır, çöken çamurun bir kısmı anaerobik tanka geri devrettirilirken fazla kısım ise sistemden atılarak uzaklaştırılır. Aerobik tankların her ikisi de aerobik bakterilerin ihtiyacı olan oksijenin karşılanması için blower ve difüzörler yardımıyla havalandırılmaktadır. Ayrıca her iki anoksik tank da aktif çamurun çökmemesi için mikser yardımıyla karıştırılmaktadır. Sistemde son çöktürmeden anaerobik tanka yapılan geri devire ilaveten iki adet de iç geri devir hattı bulunmaktadır. Bu hatlardan ilki 1. aerobik tanktan 1. anoksik tanka; ikincisi ise 2. aerobik tanktan 2. anoksik tanka yapılır. Buna karşılık Kaskat sisteminde giriş atıksuyun yarısı anaerobik tanka alınırken, diğer yarısı ise 2. anoksik tanka alınmaktadır. Bu işlem dağıtım yapısından 2. anoksik tanka bağlanmış bir boru yardımıyla sağlanmaktadır. Kaskat prosesinin kullanılmasının sebebi daha öncede belirtildiği gibi anaerobik, anoksik ve aerobik fazlar kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışmada giriş atıksuyunda bulunan KOİ'nin büyük bir kısmının sistemin başında tüketildiği ve denitrifikasyon için gerekli olan karbon kaynağını sağlayacak organik maddenin eksikliği yüzünden denitrifikasyon prosesinin istenilen verime ulaşamamasıdır. Pilot tesis ile ilgili önemli kurulum ve işletme parametreleri Çizelge 6.2'de gösterilirken, proseslerin akış diyagramları Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 Kullanılan pilot tesisin dizayn kriterleri ve işletme parametreleri

|                              | Başlık                       | Değer                                          |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>PILOT TESİS</b>           | Tesis kapasitesi             | 10 m <sup>3</sup> /gün                         |
|                              | Tesis ünitelerinin hacimleri |                                                |
|                              | Ön çöktürme tankı            | 0,25 m <sup>3</sup>                            |
|                              | Dağıtım yapısı               | 0,25 m <sup>3</sup>                            |
|                              | Anaerobik tank               | 0,50 m <sup>3</sup>                            |
|                              | 1. Anoksik tank              | 1,4 m <sup>3</sup>                             |
|                              | 1. Aerobik tank              | 1,7 m <sup>3</sup>                             |
|                              | 2. Anoksik tank              | 1,4 m <sup>3</sup>                             |
|                              | 2. Aerobik tank              | 1,7 m <sup>3</sup>                             |
|                              | Çöktürme tankı               | 1,4 m <sup>3</sup>                             |
| <b>İŞLETME PARAMETRELERİ</b> | MLSS                         | 4500-5500 mg/L                                 |
|                              | HRT                          | Tüm tesisin 21 saat<br>Biyolojik kısım 16 saat |
|                              | SRT                          | 15 gün                                         |
|                              | C/N                          | 10:1                                           |
|                              | C/P                          | 85:1                                           |
|                              | Geri devir oranı             | %80                                            |
|                              | İç geri devir oranı          | 1. iç geri devir %400<br>2. iç geri devir %400 |
|                              |                              |                                                |



Şekil 6.3 Çalışmada kullanılan yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinin akım şeması.



Şekil 6.4 Çalışmada kullanılan Kaskat prosesinin akım şeması.

### 6.3 Ölçüm Yöntemleri

Çalışma süresince tesise giren giriş atıksu numunesi ve tesisten arıtılarak çıkan çıkış numuneleri için AKM, UAKM, KOİ, TKN,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ , TP,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  ölçümleri yapılmıştır. Buna ilaveten son çöktürme çıkışı öncesi tanktan alınan numune ile SVI analizi yapılmıştır.

TKN,  $\text{NH}_4^+$  -N, TP,  $\text{PO}_4^{3-}$  -P ve KOİ parametrelerinin analizinde Standart Metotlar (1995) uygulanmıştır. Bu parametrelerden KOİ ölçümleri, açık reflüks yöntemine göre yapılmıştır.

Amonyak ölçümleri distilasyon yöntemi kullanılarak titrimetrik (4500-NH<sub>3</sub> C. Titrimetric Method) olarak gerçekleştirilmiştir. Giriş suyu ve numunelerdeki TKN ölçümleri de (4500-Norg B. Macro-Kjeldahl Method) parçalama ve distilasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Fosfor ölçümleri için kalay klorür yöntemi (4500-P D. Stannous Chloride Method) kullanılmış olup  $\text{PO}_4^{3-}$  -P ölçümleri doğrudan renklendirme ile, TP ölçümleri ise “asitle parçalama” işleminden sonra renklendirme ile yapılmıştır.  $\text{PO}_4^{3-}$ -P için spektrofotometrik okumalar Pharmacia LKB marka Novaspec II model cihaz kullanılarak yapılmıştır.

SVI ölçümleri, AKM konsantrasyonu belirlenen, 1 litrelik MLSS’nin İmhoff Hunisi’nde 30 dakika çöktürülerek çöken çamur hacminin belirlenmesi ile hesaplanmıştır. SVI ölçümleri için kullanılan AKM analizleri de gravimetrik yöntemle tayin edilmiştir.

### DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Evsel atıksuların arıtılmasında, yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho sistemi ile Kaskat sisteminin nütrient giderimi bakımından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla bir pilot ölçekli tesis işletilmiş ve işletme döneminde her iki prose için de elde edilen sonuçlar her bir parametre için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sistem kararlı hale ulaştıktan sonra parametre ölçümleri için gerekli numuneler alınmaya başlanmıştır. Bu amaçla giriş ve çıkış numunelerinde KOİ, TKN, amonyum azotu, fosfat fosforu ve toplam fosfor ölçümleri yapılarak iki prosesin de karbon, azot ve fosfor giderme verimleri belirlenmiştir. Ayrıca proses boyunca çamurun çökebilme özelliğinin tesbiti için SVI ölçümleri yapılmıştır.

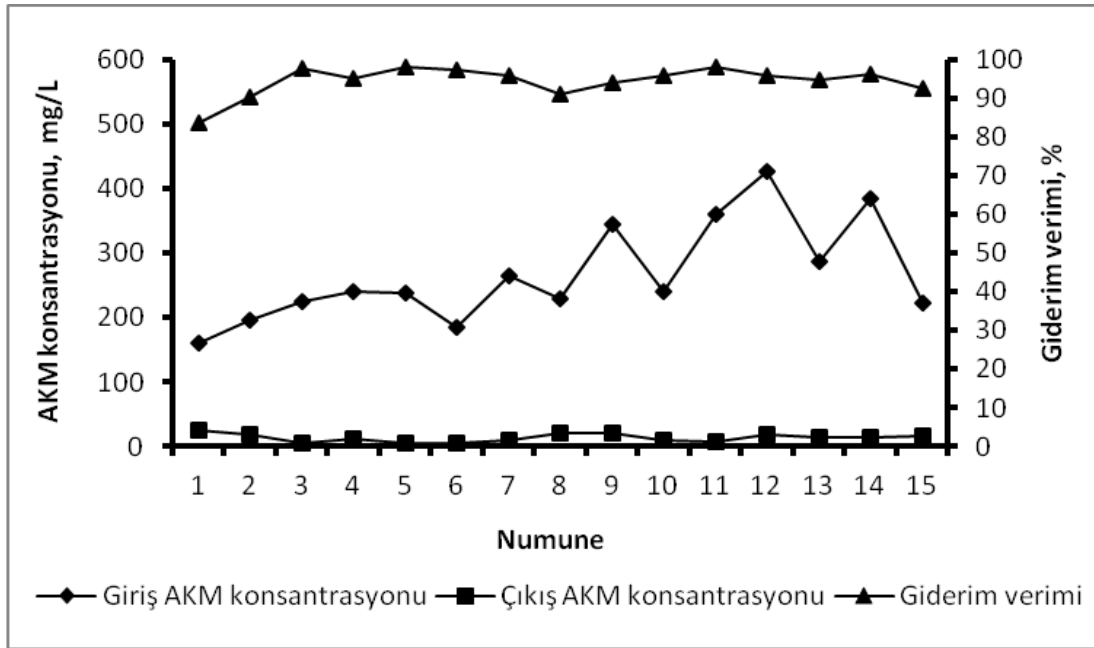
#### 7.1 AKM Giderimi

Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun giriş AKM konsantrasyonu 106-426 mg/L arasında değişmekteyken, ortalama AKM konsantrasyonu 235 mg/L olarak belirlenmiştir.

Pilot ölçekli tesisin yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi şeklinde işletme sürecinde pilot tesise giriş atıksuyunun AKM konsantrasyonu, sistem sonunda arıtılarak tesisten çıkan suyun AKM konsantrasyonu ve Bardenpho prosesinin AKM giderim verimi Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, giriş atıksuyunun AKM konsantrasyonu 160-426 mg/L arasında değişmekteyken, çıkış suyunun AKM konsantrasyonu 5-26 mg/L arasında değişmektedir. Beş kademeli Bardenpho prosesi ile gerçekleştirilen süreçte AKM giderim verimleri %83,6-98,1 olarak belirlenmiştir.



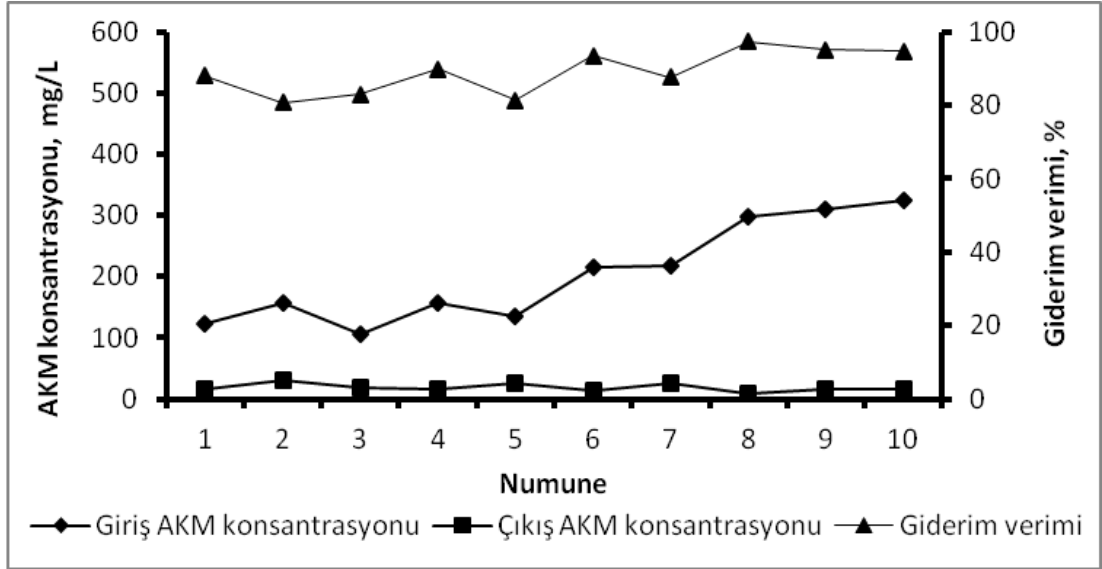
Sonuç olarak beş kademeli Bardenpho prosesi ile elde edilen ortalama çıkış AKM konsantrasyonu 14 mg/L iken, ortalama AKM giderim verimi %94'tür.



Şekil 7.1 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış AKM konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Kaskat prosesindeki, giriş atıksuyunun AKM konsantrasyonu, çıkış AKM konsantrasyonu ve Kaskat prosesinin AKM giderim verimi Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, giriş atıksuyunun AKM konsantrasyonu 106-324 mg/L arasında değişmekteyken, çıkış suyunun AKM konsantrasyonu 8-30 mg/L arasında değişmektedir. Kaskat prosesi ile gerçekleştirilen süreçte AKM giderim verimleri %80,8-97,3 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Kaskat prosesi ile elde edilen ortalama çıkış AKM konsantrasyonu 19 mg/L iken, ortalama AKM giderim verimi %89 olarak gerçekleşmiştir.

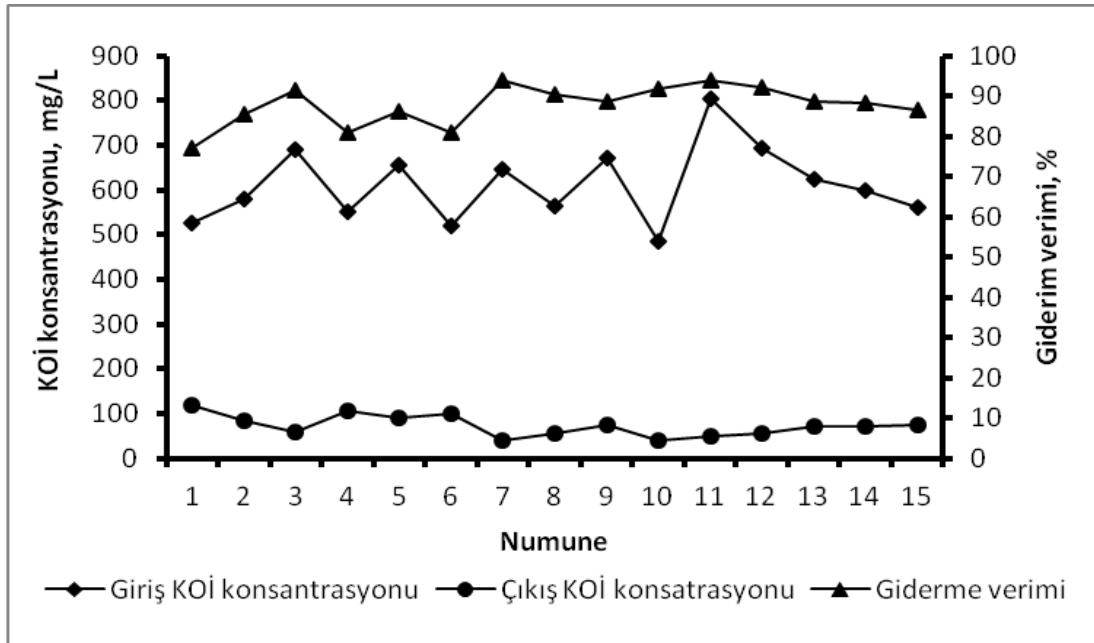
Her iki sistemde de giriş atıksuyun AKM konsantrasyonu, gelen atıksuyun karakteristiğine göre salınım göstermektedir. Her iki proste de AKM giderim verimi %80'in üzerindedir. Ayrıca geni geliştirilen beş kademeli Bardenpho prosesi ile Kaskat sistemine nazaran daha yüksek AKM giderim değerlerine (ortalama %94) ulaşılmıştır.



Şekil 7.2 Kaskat prosesinde giriş-çıkış AKM konsantrasyonları ve giderim verimleri.

## 7.2 KOİ Giderimi

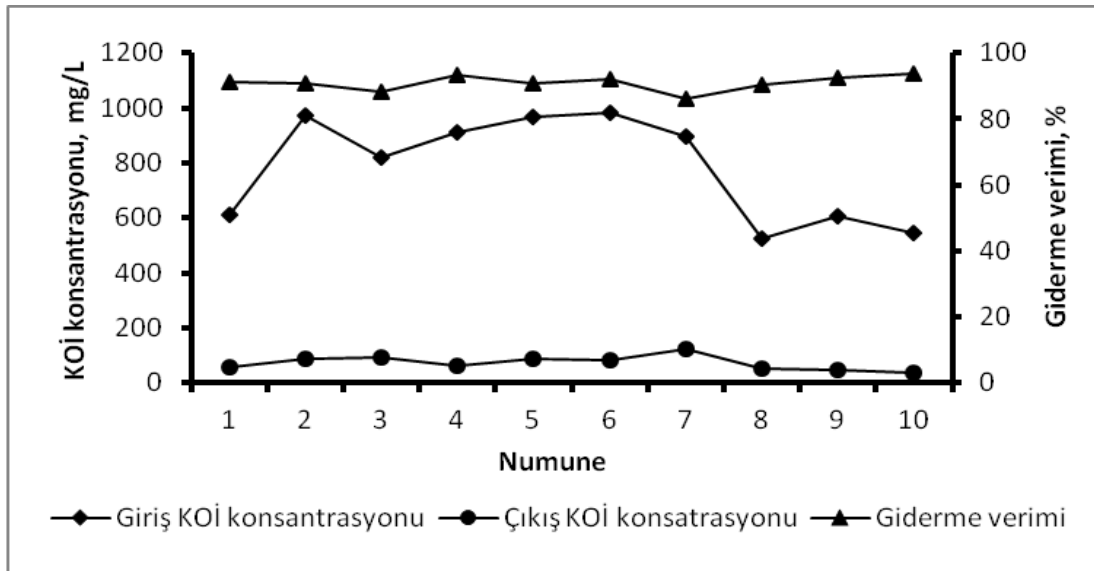
Evel atıksuların arıtılmasında çıkış KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimi sistem performansı için önemli parametrelerdir. Bu çalışmada her iki sistem için de giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları sürekli olarak izlenmiştir. Elde edilen giriş ve çıkış KOİ konsantrasyon değerleri ile her iki sistemin giderim verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 7.3 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış KOİ konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun giriş KOİ konsantrasyonu 485-980 mg/L arasında değişmekteyken, ortalama giriş KOİ konsantrasyonu 697 mg/L olarak belirlenmiştir.

Pilot ölçekli tesisin yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi şeklinde işletme sürecinde giriş atıksuyunun KOİ konsantrasyonu, çıkış KOİ konsantrasyonu ve Bardenpho prosesinin KOİ giderim verimi Şekil 7.3’de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, giriş atıksuyunun KOİ konsantrasyonu 485-805 mg/L arasında değişmekteyken, çıkış suyunun KOİ konsantrasyonu 40-120 mg/L arasında değişmektedir. Beş kademeli Bardenpho prosesi ile gerçekleştirilen süreçte KOİ giderim verimleri %77-94 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak beş kademeli Bardenpho prosesi ile elde edilen ortalama çıkış KOİ konsantrasyonu 73 mg/L iken, ortalama KOİ giderim verimi %88’dir.



Şekil 7.4 Kaskat prosesinde giriş-çıkış KOİ konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Kaskat prosesinde ise, giriş atıksuyunun KOİ konsantrasyonu, çıkış KOİ konsantrasyonu ve Kaskat prosesinin KOİ giderim verimi Şekil 7.4’de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, giriş atıksuyunun KOİ konsantrasyonu 525-980 mg/L arasında değişmekteyken, çıkış suyunun KOİ konsantrasyonu 35-125 mg/L arasında değişmektedir. Kaskat prosesi ile gerçekleştirilen süreçte KOİ giderim verimleri %86-94 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Kaskat prosesi ile elde edilen ortalama çıkış KOİ konsantrasyonu 73 mg/L iken, ortalama KOİ giderim verimi %91’dir.

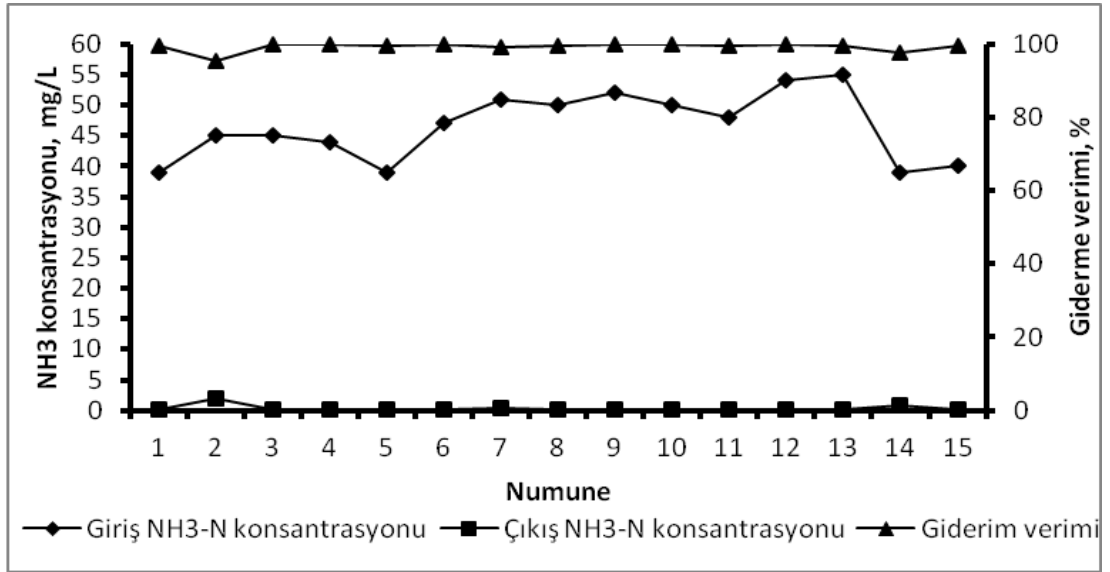
Hem yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho hem de Kaskat proseslerinde giriş atıksuyunun KOİ konsantrasyonundaki salınımlarına rağmen sistemlerin bundan etkilenmediği söylenebilir. Her iki sistemde de, KOİ konsantrasyonlarındaki yükseliş sistemin veriminde ciddi bir düşüşe neden olmamıştır. Aynı şekilde yüksek giriş KOİ konsantrasyonlarında dahi yüksek giderim verimleri elde edilmiştir.

### 7.3 Azot Giderimi

Biyolojik nütrient gideriminde en önemli parametrelerden biri azottur. Biyolojik azot gideriminde izlenmesi gereken parametreler  $\text{NH}_4^+$ -N, TKN ve TN'dir. Bunun nedeni evsel atıksuların yüksek oranlarda  $\text{NH}_4^+$ -N azotu ve organik azot içermesidir. Biyolojik arıtım süresince nitrifikasyon veriminin ve azot giderim veriminin belirlenmesi için giriş ve çıkış numuneleri için  $\text{NH}_4^+$ -N, TKN ve TN ölçümleri yapılmıştır.

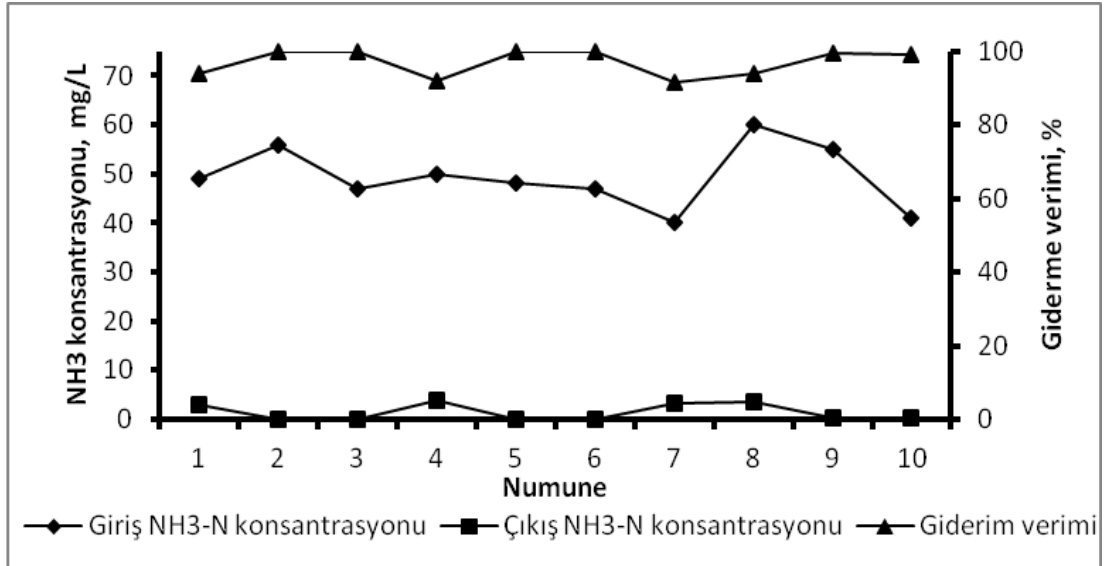
Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi süresince atıksuyunun  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu, çıkış  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu ve yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinin  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi Şekil 7.5'de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, giriş atıksuyunun  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu 38,5-55,1 mg/L arasında değişmekteyken, çıkış suyunun  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu 0,1-2 mg/L arasında değişmektedir. Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile gerçekleştirilen süreçte  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri %95,6-99,8 aralığında belirlenmiştir. Sonuç olarak yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile elde edilen ortalama çıkış  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu 0,3 mg/L iken, ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %99,2'dur.

Kaskat prosesinde ise, giriş atıksuyunun  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu, çıkış  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu ve Kaskat prosesinin  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi Şekil 7.6'da gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, giriş atıksuyunun  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu 40,3-59,6 mg/L arasında değişmekteyken, çıkış suyunun  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu 0,1-4,3 mg/L arasında değişmektedir. Kaskat prosesi ile gerçekleştirilen süreçte  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimleri %91,4-99,8 aralığında ölçülmüştür. Sonuç Kaskat prosesi ile elde edilen ortalama çıkış  $\text{NH}_4^+$ -N konsantrasyonu 1,6 mg/L iken, ortalama  $\text{NH}_4^+$ -N giderim verimi %96,8'dir.



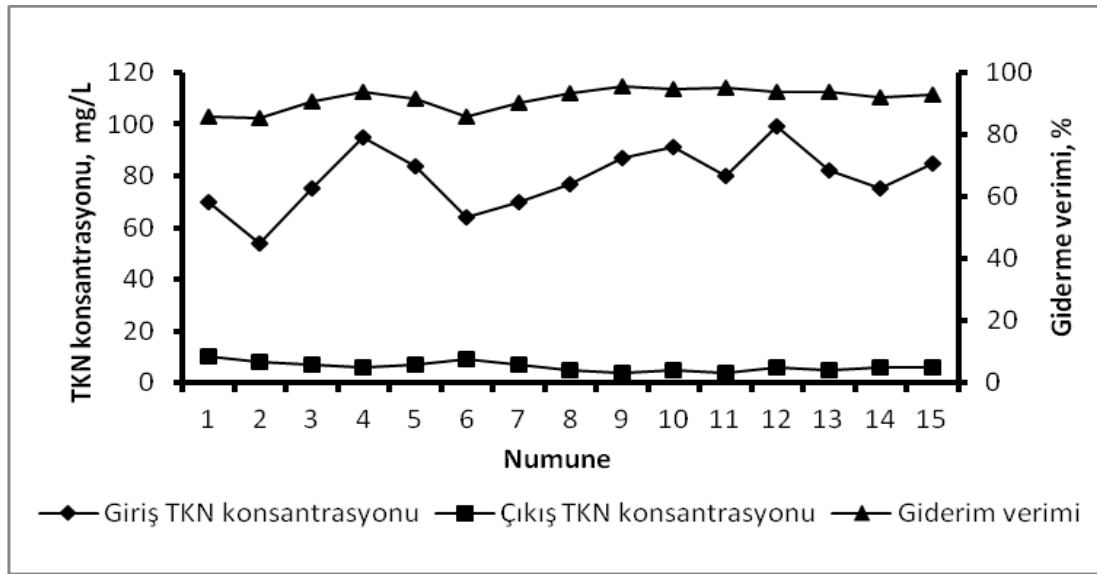
Şekil 7.5 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş ve çıkış  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Her iki sistemde de giriş atıksuyun  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  konsantrasyonu belli bir aralıkta salınım göstermektedir. Her iki proseste de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  giderim verimi %96'nın üzerindedir. Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile Kaskat sistemine nazaran daha yüksek  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  giderim değerlerine (ortalama %99,2) ulaşılmıştır.



Şekil 7.6 Kaskat prosesinde giriş-çıkış  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile elde edilen giriş ve çıkış TKN konsantrasyonları ile TKN giderim verimleri Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş TKN konsantrasyonu 54,3-98,8 mg/L arasında değişirken, çıkış TKN konsantrasyonu 4-10,1 mg/L arasında değişmiştir. Bu sistemde elde edilen TKN giderme verimi ise %85-95 arasında değişmiştir. Sonuç olarak yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile elde edilen ortalama çıkış TKN konsantrasyonu 6,3 mg/L iken, ortalama TKN giderim verimi %91,6’dır.

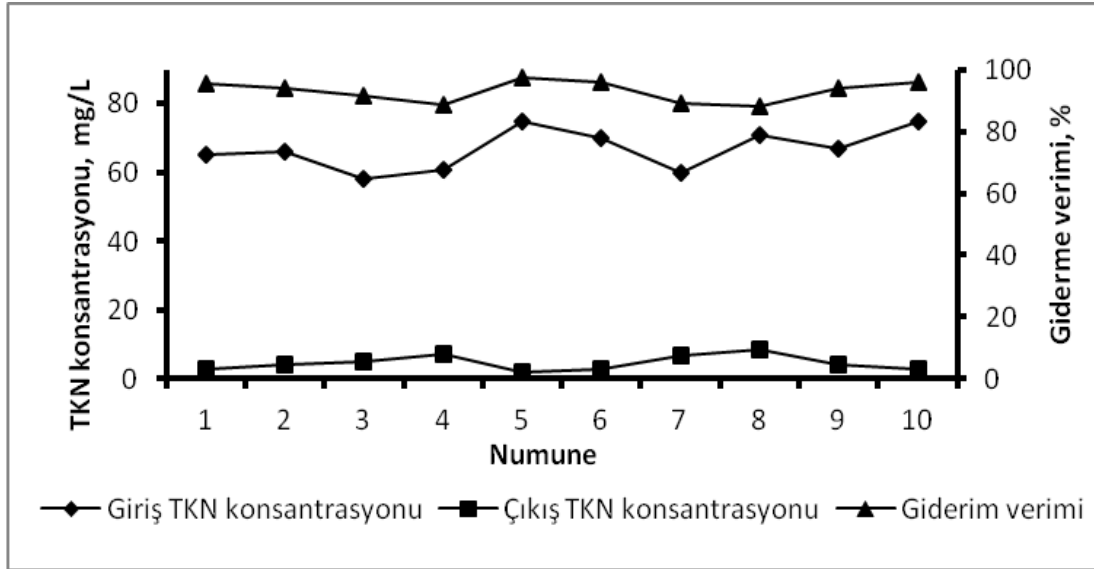


Şekil 7.7 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş - çıkış TKN konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Kaskat prosesi ile elde edilen giriş ve çıkış TKN konsantrasyonları ile TKN giderim verimleri Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Kaskat prosesinde giriş TKN konsantrasyonu 58-74,7 mg/L arasında değişirken, çıkış TKN konsantrasyonu 2-8,6 mg/L arasında değişmiştir. Bu sistemde elde edilen TKN giderme verimi ise %92-97 arasında değişmiştir. Sonuç olarak Kaskat prosesi ile elde edilen ortalama çıkış TKN konsantrasyonu 4,7 mg/L iken, ortalama TKN giderim verimi %92,8’dir.

Her iki sistemde TKN giderim verimleri %91’in üzerindedir. Bu her iki sistemde de nitrifikasyonun etkili bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. Ancak yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi süresince sisteme gelen atıksu daha yüksek

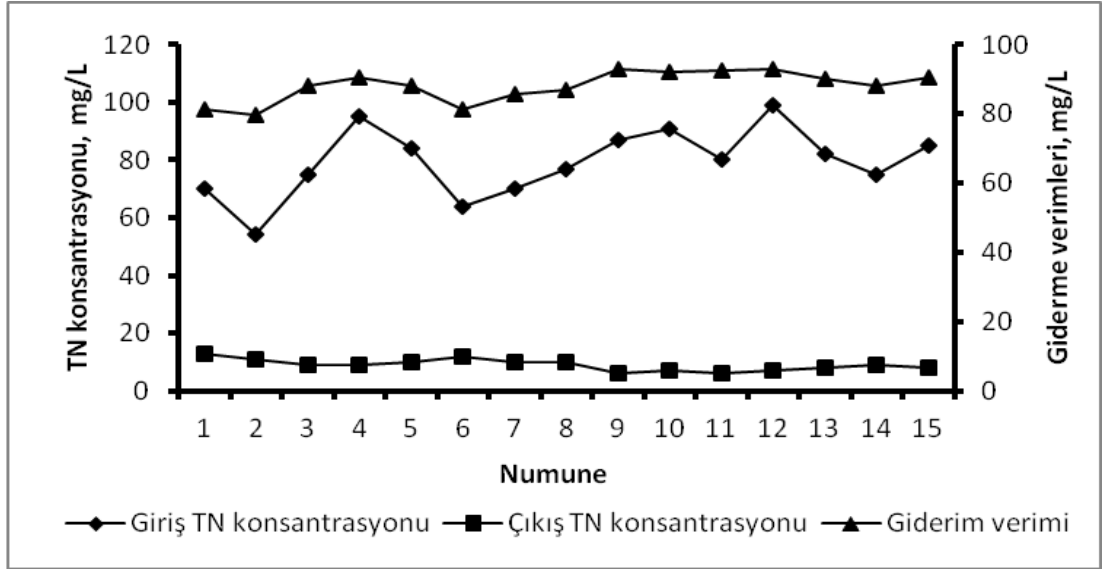
konsantrasyonlarda TKN içerdiğinden çıkış TKN konsantrasyonu da Kaskat sistemine göre daha yüksektir. Her iki sistemle de elde edilen TKN giderim verimleri birbirine oldukça yakındır. Ayrıca giriş TKN konsantrasyonlarındaki salınımlar giderim verimleri ve çıkış TKN konsantrasyonları üzerinde belirgin bir etki göstermemiştir.



Şekil 7.8 Kaskat prosesinde giriş-çıkış TKN konsantrasyonları ve giderim verimleri.

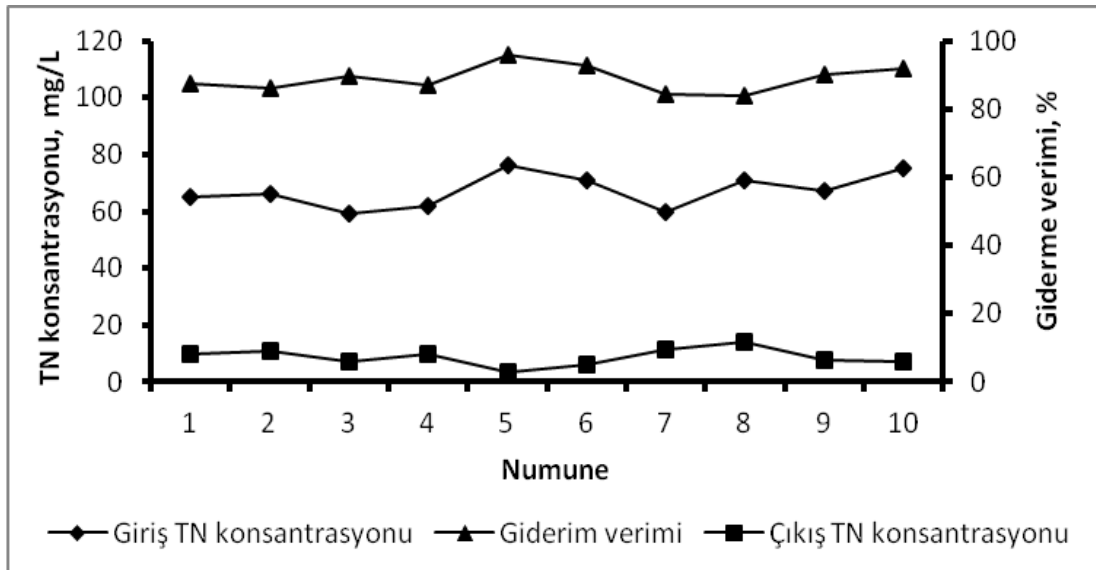
Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho ve Kaskat sistemlerinin azot giderme verimini kıyaslamak için ölçülen bir diğer parametre ise toplam azot konsantrasyonudur. Her iki sistem için de giriş ve çıkış numunelerinde TN konsantrasyonları ölçülmüştür.

Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho sistemi için giriş TN konsantrasyonu, çıkış TN konsantrasyonu ve TN giderim verimi Şekil 7.9'da gösterilmiştir. Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş TN konsantrasyonu 54,3-98,8 mg/L arasında değişirken, çıkış TN konsantrasyonu 6,1-12,9 mg/L arasında değişmiştir. Bu sistemde elde edilen TN giderme verimi ise %80-93,1 arasında değişmiştir. Sonuç olarak yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile elde edilen ortalama çıkış TN konsantrasyonu 9 mg/L iken, ortalama TN giderim verimi %88'dir.



Şekil 7.9 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış TN konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Kaskat prosesi ile elde edilen giriş ve çıkış TN konsantrasyonları ile TN giderim verimleri Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Kaskat prosesinde giriş TN konsantrasyonu 58,8-75,7 mg/L arasında değişirken, çıkış TN konsantrasyonu 3-11,5 mg/L arasında değişmiştir. Bu sistemde elde edilen TN giderme verimi ise %83,8-96 arasında değişmiştir. Sonuç olarak Kaskat prosesi ile elde edilen ortalama çıkış TN konsantrasyonu 7,4 mg/L iken, ortalama TN giderim verimi %88,9'dur.



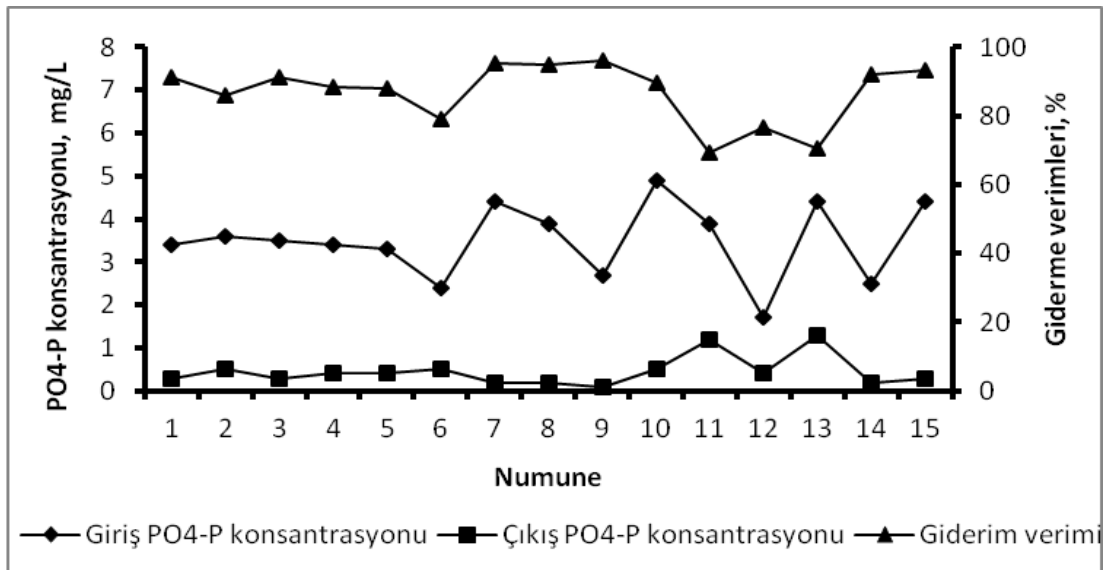
Şekil 7.10 Kaskat prosesinde giriş-çıkış TN konsantrasyonları ve giderim verimleri.



Her iki sistemde TN giderim verimleri %88'in üzerindedir. Bu değerler her iki sistemde de toplam azotun etkili bir şekilde giderilebildiğini göstermiştir. Her iki prosesle de benzer ortalama TN giderim değerlerine ulaşılmıştır. İki sistem arasında giderim verimi açısından bir fark söz konusu değildir. Buna ilaveten giriş TN konsantrasyonlarındaki salınımlar giderim verimleri ve çıkış TN konsantrasyonları üzerinde belirgin bir etki göstermemiştir.

#### 7.4 Fosfor Giderimi

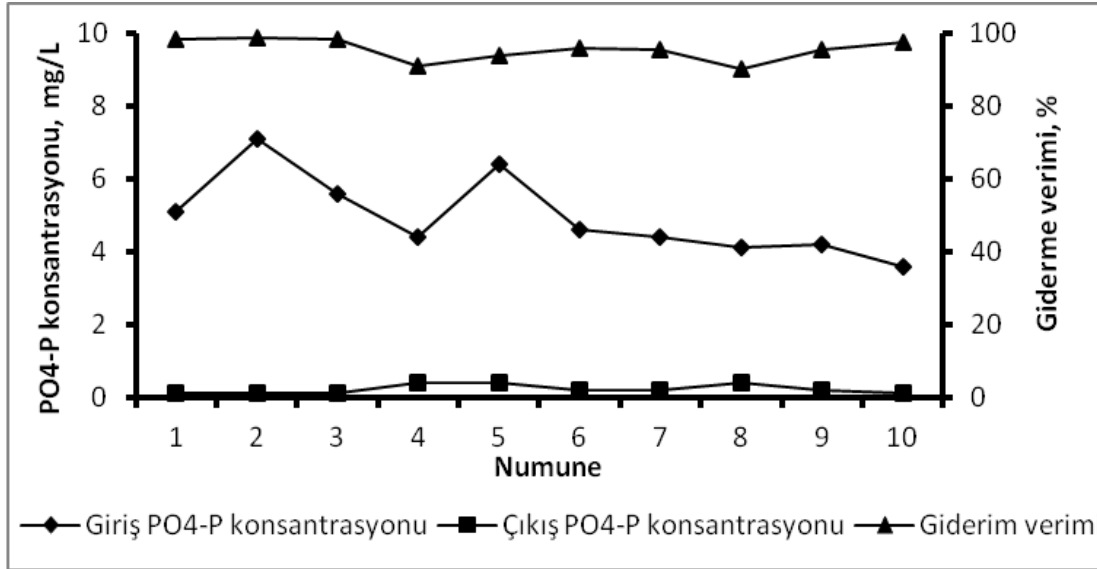
Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde  $PO_4$ -P konsantrasyonunun değişimi Şekil 7.11'de özetlenmiştir. Giriş suyunda ölçülen  $PO_4$ -P konsantrasyonları 1,7 ile 4,9 mg/L arasında değişirken, çıkış konsantrasyonları 0,1 ile 1,2 mg/L arasında kalmıştır. Bu şekilde,  $PO_4$ -P giderim verimleri %69,2 ile %96,3 arasında değişmiştir. Özetle giriş atıksuyunun ortalama  $PO_4$ -P konsantrasyonu 3,5, çıkış  $PO_4$ -P konsantrasyonu 0,4 iken ortalama giderme verimi ise %87,2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.11 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş ve çıkış  $PO_4$ -P konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Kaskat prosesindeki  $PO_4$ -P konsantrasyonunun değişimi ise Şekil 7.12'de özetlenmiştir. Giriş suyunda ölçülen  $PO_4$ -P konsantrasyonları 3,6 ile 7,1 mg/L arasında

değişirken, çıkış konsantrasyonları 0,1 ile 0,4 mg/L arasında kalmıştır. Bu şekilde, PO<sub>4</sub>-P giderim verimleri %90,9 ile %98,6 arasında değişmiştir. Özetle giriş atıksuyunun ortalama PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonu 5 mg/L, çıkış PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonu 0,2 mg/L iken ortalama giderme verimi ise %95,4'dür.



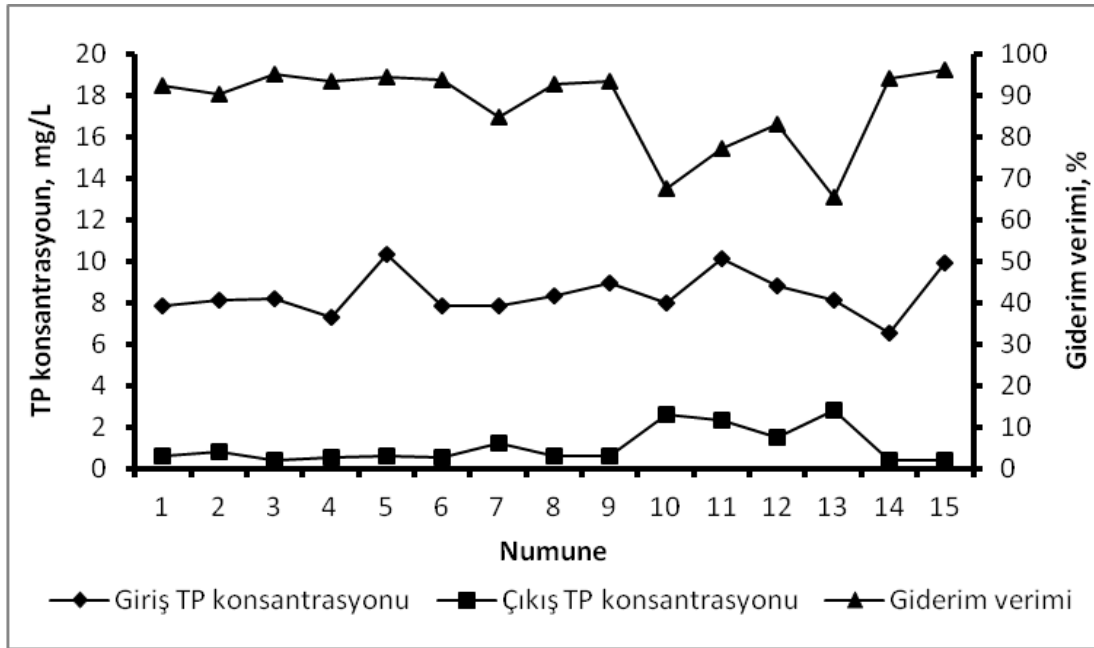
Şekil 7.12 Kaskat prosesinde giriş-çıkış PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Her iki sistemde PO<sub>4</sub>-P giderim verimleri %87'nin üzerindedir. Bu değerler her iki sistemde de PO<sub>4</sub>-P'nun etkili bir şekilde giderilebildiğini göstermiştir. Kaskat prosesiyle yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesine nazaran daha yüksek PO<sub>4</sub>-P giderim verimlerine ulaşılmıştır.

Evsel atıksulardan fosfor gideriminde önemli olan bir diğer parametrede toplam fosfordur. Toplam fosforda her iki sistem için sürekli ölçümler yapılarak takip edilmiştir.

Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho sistemi için giriş TP konsantrasyonu, çıkış TP konsantrasyonu ve TP giderim verimi Şekil 7.13'de gösterilmiştir. Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş TP konsantrasyonu 6,5-10,3 mg/L arasında değişirken, çıkış TP konsantrasyonu 0,4-2,8 mg/L arasında değişmiştir. Bu sistemde elde edilen TP giderme verimi ise %65,4-96 arasında değişmiştir. Sonuç olarak yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile

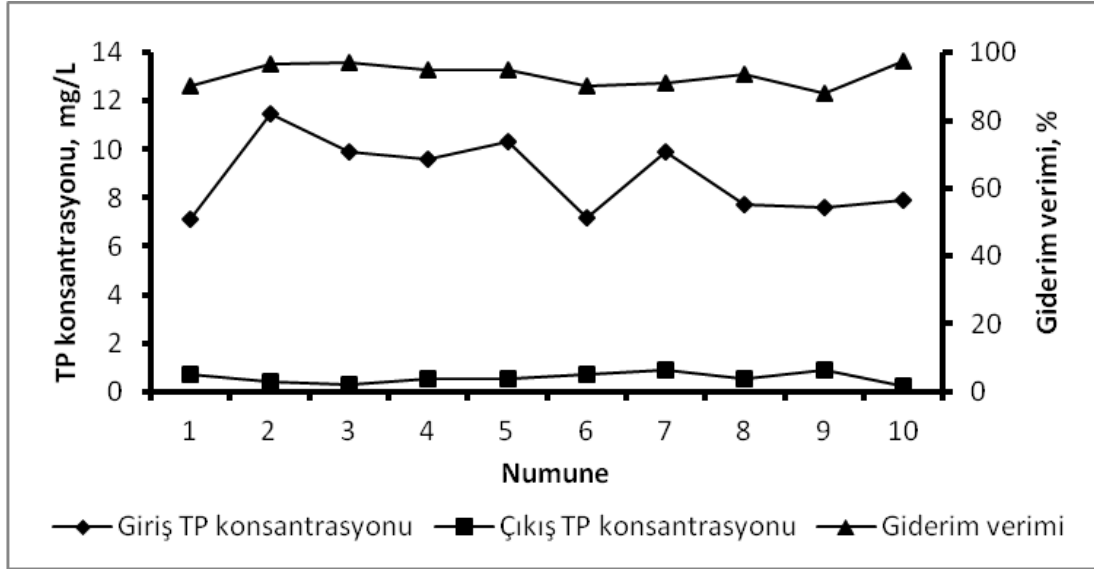
elde edilen ortalama çıkış TP konsantrasyonu 1 mg/L iken, ortalama TP giderim verimi %87,6'dır.



Şekil 7.13 Yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde giriş-çıkış TP konsantrasyonları ve giderim verimleri.

Kaskat prosesi ile elde edilen giriş ve çıkış TP konsantrasyonları ile TP giderim verimleri Şekil 7.14'de gösterilmiştir. Kaskat prosesinde giriş TP konsantrasyonu 7,1-11,5 mg/L arasında değişirken, çıkış TP konsantrasyonu 0,2-0,9 mg/L arasında değişmiştir. Bu sistemde elde edilen TP giderme verimi ise %88,2-97,5 arasında değişmiştir. Sonuç olarak Kaskat prosesi ile elde edilen ortalama çıkış TP konsantrasyonu 0,6 mg/L iken, ortalama TP giderim verimi %93,4'dür.

Her iki sistemde TP giderim verimleri %87'nin üzerindedir. Bu değerler her iki sistemde de TP'un etkili bir şekilde giderilebildiğini göstermiştir. Kaskat prosesiyle yeni geliştirilmiş modifiye beş kademeli Bardenpho prosesine nazaran daha yüksek TP giderim verimlerine ulaşılmıştır.



Şekil 7.14 Kaskat prosesinde giriş-çıkış TP konsantrasyonları ve giderim verimleri.

### 7.5 Çamur Hacim İndeksi (SVI)

SVI biyolojik atıksu arıtma tesislerinde önemli parametrelerden biridir. Biyokütlenin çökelme özelliğini tarif etmek için kullanılan bir parametredir. Son çöktürme tankında etkili faz ayırmasını sağlamak ve çıkış suyu kalitesini arttırmak için SVI'nın istenilen değerde olması gerekmektedir.

Çalışma süresince yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesinde SVI değerleri 80 mL/g ile 177 mL/g arasında değişirken, ortalama SVI değeri 120 mL/g'dır. Kaskat sisteminde ise SVI değerleri, 63 mL/g ile 185 mL/g arasında değişirken, ortalama SVI değeri 119 mL/g'dır. Elde edilen değerler sonucu iki sistemde de ortalama SVI değeri aynıdır. SVI değeri 150mL/g'ın üzerinde, çamurda çökelme problemleri oluşmaya başlamaktadır. Ancak yapılan çalışmada SVI değeri bu değerlere yükselmemiştir. Ayrıca çamurda herhangi bir kabarma ya da çökelme problemine rastlanmamıştır.

### 7.7 Sonuçların Değerlendirilmesi

Evsel atıksuların arıtılmasında, yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho sistemi ile Kaskat sisteminin nütrient giderimi bakımından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla bir pilot ölçekli tesis işletilmiş ve işletme döneminde her iki

prose için de elde edilen sonuçlar her bir parametre için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu amaçla giriş ve çıkış numunelerinde KOİ, TKN, amonyum azotu, fosfat fosforu ve toplam fosfor ölçümleri yapılarak iki prosesin de karbon, azot ve fosfor giderme verimleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda her iki sistem için elde edilen ortalama giriş, çıkış konsantrasyonları ve giderim verimleri Çizelge 7.1’de, evsel atıksuların arıtımında biyolojik nütrient giderim prosesleriyle ilgili literatürde yapılan diğer çalışmalarda elde edilen sonuçların bir kısmı ise Çizelge 7.2’de özetlenmiştir. Çizelge 7.1’de de görüleceği üzere, hem yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho hem de Kaskat prosesi ile evsel atıksulardan nütrient giderimi oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Manav Demir vd. [36]’nin yaptıkları çalışmada belirttikleri gibi yeni geliştirilen Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi ile elde edilen karbon ve nütrient giderim verimlerinin tatmin edici seviyede olup, literatürde yapılan çalışmaların birçoğunun laboratuvar ölçekli olması sebebiyle, pilot ölçekte yapılan bu çalışmanın sonuçlarının literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer biyolojik nütrient giderim proseslerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında da, birçok çalışmadan daha iyi verimler elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 7.1 Çalışma sonunda her iki sistem için elde edilen ortalama değerler.

|                                 | <b>Yeni Geliştirilen Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi</b> |             |          | <b>Kaskat Prosesi</b> |             |          |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-----------------------|-------------|----------|
| Parametre                       | Giriş, mg/L                                                      | Çıkış, mg/L | Verim, % | Giriş, mg/L           | Çıkış, mg/L | Verim, % |
| AKM                             | 265±78                                                           | 14±7        | 94,0±4   | 204±82                | 19±7        | 89,0±6   |
| KOİ                             | 610±84                                                           | 73±24       | 88,0±5   | 785±189               | 75±28       | 91,0±2   |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 46,6±5,6                                                         | 0,3±0,5     | 99,2±1   | 49,2±6,1              | 1,6±1,8     | 96,8±4   |
| TKN                             | 79,2±11,8                                                        | 6,3±1,7     | 91,6±3   | 66,7±5,9              | 4,7±2,1     | 92,8±3   |
| TN                              | 79,2±11,9                                                        | 9±1,9       | 88,0±4   | 67,2±5,8              | 7,4±2,4     | 88,9±4   |
| PO <sub>4</sub> -P              | 3,5±0,9                                                          | 0,4±0,3     | 87,2±9   | 5±1,1                 | 0,2±0,1     | 95,4±3   |
| TP                              | 8,4±1,1                                                          | 1±0,9       | 87,6±10  | 8,9±1,5               | 0,6±0,2     | 93,4±3   |

Çizelge 7.2 Evsel atıksuların arıtımında biyolojik nütrient giderim prosesleriyle yapılan diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar.

| Çalışma                    | Proses                       | Atıksu          | HRT (saat) | KOİ giderimi | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N giderimi | TN giderimi | TP giderimi |
|----------------------------|------------------------------|-----------------|------------|--------------|------------------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Tez</b>                 | YGMBK Bardenpho              | evsel atıksu    | 16         | %88,0        | %99,2                                    | %88,0       | %87,6       |
| <b>Tez</b>                 | Kaskat                       | evsel atıksu    | 16         | %91,0        | %96,8                                    | %88,9       | %93,4       |
| <b>Vaiopoulou vd. [31]</b> | UCT+kademeli denitrifikasyon | evsel atıksu    | 7-18       | %88          | %93-99                                   | %70         | -           |
| <b>Xu vd. [32]</b>         | AOA                          | sentetik atıksu | 8          | -            | %93,0                                    | %70,3       | %87,3       |
| <b>Lim vd. [2]</b>         | Modifiye A <sup>2</sup> O    | evsel atıksu    | 12,7       | %76-98,4     | -                                        | %52-87,8    | -           |
| <b>Fan vd. [3]</b>         | Modifiye A <sup>2</sup> O    | evsel atıksu    | 10,5       | %81          | %97                                      | %25         | %53         |
| <b>Lee vd. [10]</b>        | Kademeli beslemeli           | evsel atıksu    | 7,5        | %86-91       | -                                        | %79         | %87         |
| <b>Monclus vd. [11]</b>    | UCT+Membran biyoreaktör      | evsel atıksu    | 15         | %94          | -                                        | %89-93      | %80-92      |
| <b>Debik vd. [35]</b>      | AKR                          | evsel atıksu    | 6          | %91          | %85                                      | -           | %87         |

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Biyolojik nütrient giderim prosesleri; karbon, azot ve fosforu daha az çamur ve daha düşük maliyetlerle giderebildiği için kentsel atıksu arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, evsel atıksulardan biyolojik nütrient gideriminde yeni geliştirilen bir modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile iki kademeli Kaskat proses performansı açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları aşağıdaki gibidir.

- İSKİ Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis'i'nde 10 m<sup>3</sup>/gün kapasite ile kurulan pilot ölçekli tesis; yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ve İki Kademeli Kaskat sistemi şeklinde işletilerek nütrient giderimi açısından mukayese edilmiştir.
- Pilot tesis İSKİ Ataköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis'i'nin kum tutucu çıkışından alınan atıksu ile beslenmiştir. Ayrıca aşı çamuru olarak da aynı tesisten temin edilen aktif çamur kullanılmıştır.
- Her iki sistemde de HRT 16 saat, çamur geri devri %80, nitrat geri devirleri %400, MLSS konsantrasyonu 4500-5500 mg/L'dir. Çalışmada gerçek atıksu kullanıldığı için, pilot tesise giriş atıksu karakterizasyonu sık sık değişiklik göstermiştir.
- Çalışma sonucunda yeni geliştirilen beş kademeli Bardenpho sistemi için ortalama AKM, KOİ, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TKN, TN, PO<sub>4</sub>-P ve TP verimleri sırasıyla; %94,0; %88,0; %99,2; %91,6; %88,0; %87,2 ve %87,6'dır. Kaskat sistemi için ortalama

AKM, KOİ,  $\text{NH}_4^+$ -N, TKN, TN,  $\text{PO}_4$ -P ve TP verimleri sırasıyla; %89,1; %91,0; %96,8; %92,8; %88,9; %95,4 ve %93,4'dür.

- Hem yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho hem de Kaskat prosesi ile evsel atıksulardan nütrient giderimi oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer biyolojik nütrient giderim proseslerinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, birçok çalışmadan daha iyi verimler elde edildiği görülmüştür.
- Her iki sistemin de giderim verimleri oldukça birbirine yakın ve tatmin edicidir. Bu durum İki Kademeli Kaskat sisteminin yanı sıra yeni geliştirilen modifiye beş kademeli Bardenpho prosesiyle de evsel atıksulardan nütrient gideriminde başarılı sonuçlar alınabileceğini göstermiştir.
- Çalışma boyunca, ekipman arızaları ve toksik deşarjlar dışında sistemin verimini belirgin bir şekilde etkileyen herhangi bir problemle karşılaşmamıştır.

Sonuç olarak; evsel atıksulardan nütrient gideriminde hem beş kademeli Bardenpho hem de Kaskat sistemi ile oldukça başarılı ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda her iki sistemin de evsel atıksulardan biyolojik nütrient giderimi için uygun prosesler olduğu ortaya konmuştur.



## KAYNAKLAR

---

- [1] Metcalf ve Eddy, (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Tata McGraw-Hill, New Delhi.
- [2] Lim, E., Jeong, G., Bhang, S., Park, S. ve Park, D., (2009). "Evaluation of pilot-scale modified A<sup>2</sup>O processes for the removal of nitrogen compounds from sewage", 100: 6149-6154.
- [3] Fan, J., Tao, T., Zhang, J. ve You, G., (2009). "Performance evaluation of a modified anaerobic/anoxic/oxic (A<sup>2</sup>O) process treating low strength wastewater", Desalination, 249: 822-827.
- [4] Manyumba, F., Wood, E. ve Horan, N., (2009). "Meeting the phosphorus consent with biological nutrient removal under UK winter conditions", Water and Environment Journal, 23: 83-89.
- [5] Aiyuk, S., Amoaka, J., Raskin, L., Haandel, A. ve Verstraete, W., (2004). "Removal of carbon and nutrients from domestic wastewater using a low investment, integrated treatment concept", Water Research, 38: 3031-3042.
- [6] Ge, S., Peng, Y. ve Wang, S., (2011). "Nutrient Removal Performance at Low Temperatures in the Modified UCT Step Feed Process", IEEE, 978-1-61284-340-7/11.
- [7] Kim, D., Kim, K.Y., Ryu, H.D., Min, K.K. ve Lee, S., (2009). "Long term operation of pilot-scale biological nutrient removal process in treating municipal wastewater", Bioresource Technology, 100: 3180-3184.
- [8] Kocadağıstan, E. ve Topçu, N., (2007). "Treatment investigation of the Erzurum City municipal wastewaters with anaerobic membrane bioreactors", Desalination, 216: 367-376.
- [9] Korkusuz, E.A., Beklioğlu, M. ve Demirer, G.N., (2005). "Comparison of the treatment performances of blast furnace slag-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for domestic wastewater treatment in Turkey", Ecological Engineering, 24: 187-200.
- [10] Lee, S.Y., Kim, H.G., Park, J.B. ve Park, Y.K., (2004). "Denaturing Gradient Gel Electrophoresis Analysis of Bacterial Populations in 5-Stage Biological Nutrient

- Removal Process with Step Feed System for Wastewater Treatment”, *The Journal of Microbiology*, 42: 1-8.
- [11] Monclus, H., Sipma, J., Ferrero, G., Comas, J. Ve Rodriguez-Roda, I., (2010). “Optimization of biological nutrient removal in a pilot plant UCT-MBR treating municipal wastewater during start-up”, *Desalination*, 250: 592-597.
- [12] Peng, Y., ve Ge, S., (2011). “Enhanced nutrient removal in three types of step feeding process from municipal wastewater”, *Bioresource Technology*, 102: 6405-6413.
- [13] Debik, E., Manav Demir, N. ve Coşkun, T., (2008), *Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [14] Muslu, Y., (2002). *Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Temel Prosesler*, Cilt 1, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [15] Crites, R. ve Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*, McGraw-Hill, USA.
- [16] Manav, N., (2006). *Ardışık Kesikli Reaktör ile Atıksulardan Azot ve Fosfor Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Grady, C.P.L., Daigger, G.T. ve Lim, H.C., (1999). *Biological Wastewater Treatment*, Marcel Dekker, Second Edition, USA.
- [18] Jeyanayagam, S., (2005). “True Confessions of the Biological Nutrient Removal Process”, *Florida Water Resources Journal*, January 2005, 37-46.
- [19] Bernat, K. ve Wojnowska-Baryla, I., (2007). “Carbon source in aerobic denitrification”, *Biochemical Engineering Journal*, 36: 116-122.
- [20] EPA, (2009). “Nutrient Control Design Manual State of Technology Review Report”, January, Ohio.
- [21] Broughton, A., Pratt, S. ve Shilton, A., (2008). “Enhanced biological phosphorus removal for high-strength wastewater with a low rbCOD:P ratio”. *Bioresource Technology*, 99: 1236-1241.
- [22] EIMCO Water Technologies, (2007). “Bardenpho Process, Biological Nutrient Removal System”, GLV.
- [23] Sung, S., *Biological Nutrients Removal: Application to High Strength Wastewater*, Iowa State University.
- [24] GLACE ASSOCIATES, (2010). *Enhanced Biological Nutrient Removal Wastewater Treatment Feasibility Study for South Middleton Township Municipal Authority*.
- [25] EPA, (2008). *Municipal Nutrient Removal Technologies Reference Document*, Volume 1-Technical Report, September, United States.
- [26] Sathasivan, A. “Biological Phosphorus Removal Processes For Wastewater Treatment”, *Water and Wastewater Treatment Technologies*, Encyclopedia of Life Support System.

- [27] EPA, (2007). "Biological Nutrient Removal Processes and Costs", June 2007, United States Environmental Protection Agency Office of Water, Washington DC.
- [28] Karpuzcu, M., (2006). Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Kubbealtı İktisadi İşletmesi, İstanbul.
- [29] Chen, Y., Peng, C., Wang, J., Ye, L., Zhang, L. ve Peng, Y., (2011). "Effect of nitrate recycling ratio on simultaneous biological nutrient removal in a novel anaerobic/anoxic/oxic (A2/O)-biological aerated filter (BAF) system", Bioresource Technology, (baskıda).
- [30] Mines, R.O., (1996). "Assessment of AWT Systems in Tampa Bay Area", Journal of Environmental Engineering, 122: 605-611.
- [31] Vaioopoulou, E., Melidis, P. ve Aivasidis, A., (2007). "An activated sludge treatment plant for integrated removal of carbon, nitrogen and phosphorus", Desalination, 211: 192-199.
- [32] Xu, X., Liu, G. ve Zhu, L., (2011). "Enhanced denitrifying phosphorous removal in a novel anaerobic/aerobic/anoxic (AOA) process with the diversion of internal carbon source", Bioresource Technology, 102: 10340-10345.
- [33] APHA, AWWA, and WPCF, (1995). "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Ed., Washington, DC.
- [34] Mulkerrins, D., Dobson, A.D.W. ve Collieran, E., (2004). "Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters", Environment International, 30:249-259.
- [35] Manav Demir ve N., Debik, E. (2010). "Sequence optimization in a sequencing batch reactor for biological nutrient removal from domestic wastewater", Bioprocess Biosyst Eng, 33:533-540.
- [36] Manav Demir, N., Yıldırım, A., Balçık, Ç., Coşkun, T. ve Debik, E. (2012). Pilot ölçekli modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile evsel atıksulardan karbon ve nütrient giderimi, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu VII, 22-23 Kasım 2012 - İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Çiğdem BALÇIK  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 02.09.1987, Kadıköy-İSTANBUL  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : cbalcik@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan       | Okul/Üniversite                        | Mezuniyet Yılı |
|-----------|------------|----------------------------------------|----------------|
| Y. Lisans | Çevre Müh. | Yıldız Teknik Üniversitesi             | -              |
| Lisans    | Çevre Müh. | Yıldız Teknik Üniversitesi             | 2010           |
| Lise      | Sayısal    | General Ali Rıza Ersin Lisesi<br>(YDA) | 2005           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl  | Firma/Kurum                      | Görevi              |
|------|----------------------------------|---------------------|
| 2010 | PROSANTE Çevre Teknolojileri     | Çevre Müh.          |
| 2013 | Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü | Araştırma Görevlisi |

## **YAYINLARI**

### **Makale**

1. Coskun, T., Yildirim, A., **Balcik, C.**, Manav, N. ve Debik, E., (2013). “Performances of Reverse Osmosis Membranes for Treatment of Olive Mill Wastewater”, Clean, (baskıda).

### **Bildiri**

1. Manav Demir, N., Yıldırım, A., **Balçık, Ç.**, Coşkun, T. ve Debik, E. (2012). Pilot ölçekli modifiye beş kademeli Bardenpho prosesi ile evsel atıksulardan karbon ve nütrient giderimi, Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu VII, 22-23 Kasım 2012 - İstanbul.

### **Proje**

1. Debik, E., Coşkun T., Manav Demir, N., Yildirim, A. ve **Balçık, Ç.**, (2011). “Kaskat Tip Evsel Atıksu Arıtma Sistemlerinde Aktif Çamur ve Aerobik Granül Çamurun Arıtma Verimi Üzerine Etkisinin Araştırılması”, 2011-05-02-KAP05 no.lu YTÜ BAP Projesi.

## **ÖDÜLLERİ**

1. 2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü – Bölüm Üçüncülüğü