T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ESTİTÜSÜ

HAREKETLİ YATAK BİYOFİLM REAKTÖRDE (HYBR) ÇEŞİTLİ ORGANİK VE HİDROLİK YÜKLERİN ATIKSU ARITMA VERİMİNE ETKİSİ

AHMET AYGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2006

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAREKETLİ YATAK BİYOFİLM REAKTÖRDE (HYBR) ÇEŞİTLİ ORGANİK VE HİDROLİK YÜKLERİN ATIKSU ARITMA VERİMİNE ETKİSİ

Ahmet AYGÜN

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Bilgehan NAS

2006, 126 sayfa

Jüri: Prof.Dr. Ali BERKTAY

Doç.Dr. M.Faik SEVİMLİ

Yrd.Doç.Dr. Bilgehan NAS

Hareketli yatak biofilm reaktör (HYBR) biofilm büyümesini desteklemek için havalandırılmış veya havalandırılmamış tankta küçük silindirik şekilli polyethylene taşıyıcı elementler kullanıldığı aerobik bir biyolojik arıtma metodudur. Bu proseste bağlı büyüme ve askıda büyüme proseslerinin avantajları bir araya getirilirken dezavantajları minimize edilir.

Bu çalışmada, laboratuar ölçekli 2 L'lik HYBR reaktörü kullanılmış ve hacminin % 50'si sentetik taşıyıcı malzeme ile doldurulmuştur. Farklı işletme koşullarında sistem performansının değişimini daha iyi ifade etmek, atıksu kompozisyonun değişiminden kaynaklanacak problemleri önlemek amacıyla HYBR reaktörü KOİ / NH_4-N / PO_4-P oranı 100:5:1 olan sentetik atıksu ile beslenmiştir.

Bu çalışma iki bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde hidrolik yüklemelerin, ikinci bölümde ise organik yüklemelerin sistem performansı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Birinci bölümde HYBR prosesi 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiş; 4 , 8 ve 12 saat hidrolik alıkonma sürelerinde çalıştırılmıştır. 4 , 8 ve 12 saat hidrolik alıkonma süreleri için çökeltme havuzu çıkışı ortalama filtrelenmemiş KOİ değerleri sırasıyla 26,9, 24,5 ve 23,3 mg/L olarak hesaplanırken, çökeltme havuzu çıkışı ortalama filtrelenmiş KOİ değerleri sırasıyla 17,7 mg/L, 16,1 mg/L ve 15,8 mg/L olarak hesaplanmıştır. Artan hidrolik alıkonma sürelerinde sırasıyla ortalama filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri % 94,6, % 95,1 , % 95,4 iken ortalama filtrelenmiş KOİ verimleri sırasıyla % 96,5, % 96,8, % 96,9'dur. Artan hidrolik yüklemeler nitrifikasyonu da arttırmıştır. Sırasıyla çıkış NO_3-N değerleri 6,12 mg/L, 10,99 mg/L ve 16,6 mg/L iken çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerleri nitrifikasyona bağlı olarak azalmış ve sırasıyla 4,11 mg/L, 2,47 mg/L ve 0,8 mg/L olarak ölçülmüştür.

İkinci bölümde ise HYBR prosesi 8 saat hidrolik alıkonma süresinde artan organik yüklemelerde çalıştırılmıştır. 500, 1000, 2000, 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesinde artan organik yüklemeler ile KOİ giderim veriminde azalmalar tespit edilmiştir. Ortalama filtrelenmiş KOİ giderim verimleri sırasıyla % 96,8 , % 96,2 , % 92,4 , % 73,2 ve % 52,7 olarak hesaplanırken ortalama filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri sırasıyla % 95,1 , % 95 , % 89,3 , % 68,7 ve % 45,2 olarak hesaplanmıştır.

Bununla birlikte artan organik yükleme ile nitrifikasyonun azaldığı tespit edilmiştir. Sırasıyla çıkış NO_3-N değerleri 10,99 mg/L, 1,85 mg/L ve 0,85 mg/L olarak ölçülmüştür. Artan amonyak yüklemesine karşın çıkış NO_3–N değeri sürekli olarak azalmıştır. 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan organik yüklemede nitrifikasyona rastlanmamıştır.

Deneysel çalışma boyunca organik yükleme ile sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki biyokütle arasında yakın ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyofilm, hareketli yatak biyofilm reaktörler, organik madde giderimi, nitrifikasyon, hidrolik yükleme, organik yükleme

ABSTRACT

M.Sc Thesis

EFFECTS OF VARIOUS ORGANIC AND HYDRAULIC LOADINGS IN MOVING BED BIOFILM REAKTOR (MBBR) ON WASTEWATER TREATMENT PERFORMANCE

Ahmet AYGÜN

Selcuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist.Prof.Dr. Bilgehan NAS

2006,126 pages

Jurry: Prof.Dr. Ali BEKTAY

Assoc.Prof.Dr. M. Faik SEVİMLİ

Assist.Prof.Dr. Bilgehan NAS

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) is a biological treatment method in which little cylindrical shaped polyethylene carrier elements are used in aereted or unaereted tanks to support the growth of biofilm. In this process, the advantages of suspended and attached growth processes are collected whereas the disadvantages of them are minimized.

Lab-scale MBBR having a 2 L volume was used and 50 % of this volume was filled with kaldnes K1 synthetic carrier element. This reactor was fed with a synthetic wastewater, the COD/NH4-N/PO4-P ratio of which was 100:5:1, respectively, in order to explain the change in system performance under different conditions and to prevent the problems raising from the change in wastewater composition.

This study includes two parts: in the first part, the effect of hydraulic load and in the second part the effect of organic load on the system performance were investigated.

In the first part, MBBR was fed with a synthetic wastewater including 500 mg/L COD and 4,8 and 12 hours hydraulic retention times were studied. The mean final settler outlet unfiltered COD values of 4 hours, 8 hours and 12 hours hydraulic retention times were calculated as 26.9 mg/L, 24.5 mg/L and 23.3 mg/L, respectively, while those of filtered COD vales were calculated as 17.7 mg/L, 16.1 mg/L and 15.8 mg/L, respectively. The mean unfiltered COD removal efficiencies of increasing hydraulic retention times were 94.6 %, 95.1 % and 95.4 % respectively, while those of filtered ones were 96.5 %, 96.8 % and 96.9 % respectively. Increasing the hydraulic load also increased the nitrification. The outlet values of NO3-N were 6.12 mg/L, 10.99 mg/L and 16.6 mg/L, respectively while the values of NH4-N decreased depending on the nitrification and were measured as 4.11 mg/L, 2.47 mg/L and 0.8 mg/L, respectively.

In the second part, MBBR was operated with increasing organic load in 8-hour hydraulic retention time. In the process of MBBR fed with synthetic wastewater including 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 mg/L COD, decreases in the COD removal efficiency were observed with increases in organic load. The mean final settler outlet filtered COD removal efficiencies were calculated as 96.8%, 96.2% , 92.4%, 73.2% and 52.7%, respectively, while those of unfiltered ones were calculated as 95.1 %, 95%, 89.3%, 68.7% and 45.2%, respectively.

In addition to this, nitrification decreased with increasing organic load. The outlet NO3-N values were measured as 10.99 mg/L, 1.85 mg/L and 0.85 mg/L, respectively. The outlet NO3-N values decreased despite the increases in amonium load. In the organic load made with a synthetic wastewater including 4000 and 8000 mg/L COD, there was no nitrification observed.

Throughout the whole experiments, a close relationship between organic load and biomass on the synthetic carrier element was observed.

Keywords Biofilm, moving bed biofilm reactor, organic carbon removal, nitrification, hydruclic load, organic load

ÖNSÖZ

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü tarafından 2004/85 nolu proje ile desteklenmiştir.

Deneysel çalışmaların yapıldığı Atıksu Arıtma ve Analizi laboratuarının bağlı bulunduğu Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca bana yardımcı olan, bu konunun belirlenmesinde bana esin kaynağı olan, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Bilgehan NAS'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam boyunca her türlü desteği sağlayan, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Prof. Dr. Ali BERKTAY'a da teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışması sırasında katkılarından ötürü meslektaşım Arş.Gör Tuba ERTUĞRUL'a teşekkür ederim.

Son olarak maddi ve manevi katkılarından ötürü aileme ve değerli arkadaşım Adem BAYRAKTAR'a da teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bir bölümü, 24-26 Mayıs 2006 tarihleri arasında IWA tarafından Singapur'da Nanyang Technological University'de düzenlenen "3rd Biennial International Young Researchers Conference" isimli sempozyumda sunulmuştur. Ayrıca IWA tarafından yayınlanan Water and Wastewater Environmental Series – Young Researchers 2006 isimli kitapta basılmıştır (Ek-1).

Arş.Gör. Ahmet AYGÜN

Konya - 2006

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Aktif çamur prosesinin şematik gösterimi

Şekil 2.2. F/M ve SRT'ye bağlı olarak mikroorganizmaların nispi baskınlıkları

Şekil 2.3. HYBR prosesinin şematik gösterimi

Şekil 2.4. K1 sentetik taşıyıcı malzeme

Şekil 2.5. Biofilmde büyüme hızlarına göre mikroorganizma dağılımları

Şekil 2.6. Oksijen konsantrasyonunun biofilm kalınlığı ile azalması

Şekil 2.7. HYBR prosesi tipik akım şeması

Şekil 2.8. HYBR-Aktif çamur prosesi tipik akım şeması

Şekil 2.9. Aktif çamur prosesinden önce kullanılan HYBR prosesi tipik akım şeması

Şekil 2.10. Denitrifikasyonun ön bölgede uygulandığı HYBR prosesi

Şekil 2.11. Denitrifikasyonun son bölgede uygulandığı HYBR prosesi

Şekil 2.12. Başta ve sonda denitrifikasyonlu HYBR prosesi

Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan HYBR reaktörünün boyutları

Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan son çökeltme havuzunun boyutları

Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan HYBR prosesinin şematik gösterimi

Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan K1 sentetik taşıyıcı malzeme

Şekil 3.5. Sentetik taşıyıcı malzemenin HYBR'ye ilave edildiği ilk gün

Şekil 3.6. Sentetik taşıyıcı malzeme üzeride biyokütle gelişimi

Şekil 4.1. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)

Şekil 4.2. HYBR prosesindeki ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)

Şekil 4.3. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)

Şekil 4.4. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)

Şekil 4.5. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)

Şekil 4.6. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.7. HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.8. HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.9. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.10. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.11. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.12. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.13. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.14. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.15. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.16. HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.17. HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.18. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.19. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.20. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.21. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.22. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)

Şekil 4.23. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ verimleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.24. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.25. HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.26. HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.27. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)
Şekil 4.28. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki ortalama sıcaklık değerleri
Şekil 4.29. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları
Şekil 4.30. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki ortalama pH değerleri
Şekil 4.31. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çıkış KOİ değerleri
Şekil 4.32. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çıkış KOİ giderim verimleri
Şekil 4.33. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde giriş-çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri
Şekil 4.34. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri
Şekil 4.35. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri
Şekil 4.36. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı
Şekil 4.37. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.38. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.39. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)

Şekil 4.40. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.41. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.42. Çökeltme havuzu çıkışı NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.43. HYBR prosesinde TKM ve TUKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.44. HYBR prosesinde TUKM/TKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.45. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)
Şekil 4.46. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.47. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.48. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.49. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.50. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.51. Çökeltme havuzu çıkışı NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.52. HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.53. HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.54. HYBR prosesindeki atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)
Şekil 4.55. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)

Şekil 4.56. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.57. HYBR prosesinde pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.58. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.59. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.60. HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.61. HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.62. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)
Şekil 4.63. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.64. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.65. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.66. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.67. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.68. HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.69. HYBR prosesindeki TUKM/TKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.70. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)
Şekil 4.71. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri
Şekil 4.72. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları

Şekil 4.73. Farklı organik HYBR prosesindeki pH değerleri
Şekil 4.74. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu ortalama çıkış KOİ değerleri
Şekil 4.75. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu ortalama çıkış KOİ giderim verimleri
Şekil 4.76. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri
Şekil 4.77. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki TKM ve TUKM değerleri
Şekil 4.78. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri

Çizelge 2.2. HYBR prosesinde kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri

Çizelge 3.1. Kaldnes K1 sentetik taşıyıcı malzemenin teknik özellikleri

Çizelge 3.2. 500 mg/L KOİ içeren 1 L sentetik atıksuyun bileşenleri ve kimyasal madde dozları

Çizelge 4.1. 4 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Çizelge 4.2. 4 saat hidrolik bekletme süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderme verimleri, NO_3-N ve NH_4-N değerleri

Çizelge 4.3. 4 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.4. 8 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Çizelge 4.5. 8 saat hidrolik bekletme süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderme verimleri ve NO_3-N ve NH_4-N değerleri

Çizelge 4.6. 8 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.7. 12 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Çizelge 4.8. 12 saat hidrolik bekletme süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderme verimleri ve NO_3-N ve NH_4-N değerleri

Çizelge 4.9. 12 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.10. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde reaktörde ölçülen ortalama sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Çizelge 4.11. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ değerleri

Çizelge 4.12. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri

Çizelge 4.13. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri

Çizelge 4.14. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ verimleri

Çizelge 4.15. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerleri

Çizelge 4.16. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerleri

Çizelge 4.17. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM değerleri

Çizelge 4.18. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki UAKM değerleri

Çizelge 4.19. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sistemden atılan günlük katı madde miktarları

Çizelge 4.20. 1000 mg/L KOİ yüklemesindeki HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık, Ç.O ve pH değerleri

Çizelge 4.21. 1000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri ve NO_3-N ve NH_4-N

Çizelge 4.22. 1000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.23. 2000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri

Çizelge 4.24. 2000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri ve KOİ giderim verimleri

Çizelge 4.25. 2000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.26 . 4000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Çizelge 4.27 4000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri ve verimleri

Çizelge 4.28. 4000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.29. 8000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Çizelge 4.30. 8000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri ve KOİ giderim verimleri

Çizelge 4.31. 8000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Çizelge 4.32. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki ortalama sıcaklık, ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları ve pH değerleri

Çizelge 4.33. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ değerleri

Çizelge 4.34. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri

Çizelge 4.35. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri

Çizelge 4.36. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri

Çizelge 4.37. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerleri

Çizelge 4.38. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerleri

Çizelge 4.39. Farklı organik yüklemelerde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM değerleri

Çizelge 4.40. Farklı organik yüklemelerde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki UAKM değerleri
Çizelge 4.41. Farklı organik yüklemelerde sistemden atılan günlük katı madde miktarları

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	I
ABSTRACT	III
ÖNSÖZ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	XII
İÇİNDEKİLER	XVI
1. GİRİŞ	**1**
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Çalışmanın Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	**5**
2.1. Aktif Çamur Prosesi	5
2.1.1. Giriş	5
2.1.2. Aktif çamur mikrobiyolojisi	6
2.1.3. Aktif çamur sürecinin işletim esasları	8
2.2. Aktif Çamur Sürecinde Sentetik Taşıyıcı Malzeme Kullanımı	9
2.3. Hareketli Yatak Biofilm Reaktörler (HYBR)	11
2.3.1. Sürecin tanıtılması	11
2.3.2 Biofilm yapısı	13
2.3.3. HYBR prosesinin avantaj ve dezavantajları	15
2.3.4. HYBR prosesi uygulamaları	16
3. MATERYAL ve METOT	**33**
3.1. Deney Düzeneği	33
3.2. Kaldnes Sentetik Taşıyıcı Malzemenin Özellikleri	34

3.3. Atıksu Özellikleri 35
3.4. Mikroorganizma 36
3.5. Laboratuar Çalışmaları 37
3.5.1. HYBR adaptasyonu 37
3.5.2. Analiz yöntemleri 38
3.5.2.1. KOİ analizi 38
3.5.2.2. Askıda katı madde tayini 39
3.5.2.3. Uçucu askıda katı madde 39
3.5.2.4. Çözünmüş Oksijen (Ç.O.) 40
3.5.2.5. NO3-N 40
3.5.2.6. NH4-N 40
3.5.2.5. pH 40
3.5.2.6. Sıcaklık (T) 41
3.6. Deneysel Çalışmalar 41

4. DENEYSEL BULGULAR 43
4.1. Hidrolik Yüklemeler 43
4.1.1. 4 Saat hidrolik bekletme süresinde yapılan deneysel çalışmalar 43
4.1.2. 8 saat hidrolik bekletme süresinde yapılan deneysel çalışmalar 50
4.1.3. 12 saat hidrolik bekletme süresinde yapılan deneysel çalışmalar 58
4.1.4. Farklı hidrolik bekletme sürelerinde HYBR Performansı 65
4.2. Organik Yüklemeler 75
4.2.1. 500 mg/L KOİ yüklemesi 75
4.2.2. 1000 mg/L KOİ yüklemesi 75
4.2.3. 2000 mg/L KOİ yüklemesi 82
4.2.4. 4000 mg/L KOİ organik yüklemesi 89
4.2.5. 8000 mg/L KOİ organik yüklemesi 96
4.2.6. Farklı organik yüklemelerde HYBR performansı 106
4.3. Tartışma 113

5. SONUÇLAR **116**

KAYNAKLAR **120**

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve nüfustaki artışa bağlı olarak su kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Oluşan atıksuyun deşarj edildiği noktada çevresel problemlere neden olmaması için arıtılmaları gerekmektedir. Atıksular fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım metotlarının uygun kombinasyonları ile başarılı bir şekilde arıtılabilmektedir.

Fiziksel arıtım prosesleri olarak ızgaralar, kum tutucular, ön çökeltim havuzları kullanılabilirken, kimyasal arıtım proseslerinde gerekli kimyasallar uygun dozlarda kullanılarak arıtım gerçekleştirilmektedir. Biyolojik arıtım proseslerinde ise mikroorganizma faaliyeti ile atıksuda bulunan biyolojik olarak parçalanabilen kirletici maddeler giderilmektedir.

En yaygın karşılaşılan arıtım kombinasyonu, ön arıtıma tabi tutulmuş atıksuların ikici kademede biyolojik olarak arıtılmasıdır. Biyolojik arıtım olarak askıda büyüme süreçlerinden aktif çamur, oksidasyon hendeği, vb. bağlı büyüme süreçlerinden damlatmalı filtreler, biyodiskler vb. kullanılabilmektedir.

Klasik aktif çamur prosesi, kolay işletilmesi ve çıkış suyu kalitesinin iyi olması nedeniyle tüm dünyada en yaygın kullanılan biyolojik arıtma prosesidir. Mevcut atıksu arıtma tesislerinde, artan debiye bağlı olarak projelendirmede öngörülen hidrolik bekleme süresinin veya artan organik madde yüküne bağlı olarak F/M oranının sağlanamamasından dolayı arıtma verimi istenilen düzeyde olmamaktadır. Bunun yanında birçok atıksu arıtma tesisinde nitrifikasyon ve azot giderimi sezonluktur ve kış aylarında yaz ve bahar aylarına göre daha düşüktür. Tüm yıl boyunca nitrifikasyon ve azot giderimini temin etmek için biyokütlenin çamur bekleme süresi kış aylarında nitrifikasyon bakterileri için kritik katı alıkonma süresinden fazla olacak şekilde arttırılmalıdır (Sriwiriyarat, 1999).

Mevcut atıksu arıtma tesislerinin istenilen performansta çalışmasını temin etmek üzere geliştirilen tekniklerden biri de aktif çamur sürecinde havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesidir. Sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesiyle oluşturulan hibrid sistemlerde askıda büyümeye ilave olarak bağlı büyüme de gerçekleştirilir.

Sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilerek oluşturulan aktif çamur modifikasyonunda sistemdeki mikroorganizma konsantrasyonu arttırılmaktadır. Bu

proseslerin klasik aktif çamur proseslerine nazaran en önemli üstünlüğü bağlı biyokütlenin havalandırma havuzunda kalmasını sağlayarak son çökeltim havuzuna olan katı yüklemesini azaltmasıdır.

Hibrid sistemler son yıllarda özellikle Avrupa'da mevcut tesislerin iyileştirilmesinde, tüm yıl boyunca nitrifikasyon ve azot gideriminin sağlanmasını temin etmek üzere yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hibrid sistemlerin ilk tam ölçekli uygulaması 1975'te Philadelphia'da biyodiskin aktif çamur havuzuna entegre edilmesiyle oluşturulmuştur (Guarino ve ak., 1980). Hibrid sistemlerin tesis iyileştirilmesinde uygulanabilir ve ekonomik sonuçlar vermesi atıksu arıtımında yeni bir uygulama alanının doğmasına sebep olmuştur.

Sentetik taşıyıcı malzemeler aktif çamur sürecinin havalandırma havuzunda askıda halde veya sabitlenmiş olarak bulunabilmektedir. İngiliz firması Simon-Hartley Ltd. tarafından geliştirilen CAPTOR proses, Alman Linde AG tarafından geliştirilen LINPOR proses havalandırma havuzuna sünger sentetik taşıyıcı malzeme ilavesiyle, Norveç firması Anoxkaldnes tarafından geliştirilen HYBR proses ve FLOCOR-RPM proses ise poliüretan sentetik taşıyıcı malzeme ilavesiyle oluşturulmuştur. Askıda sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı bu sistemlerde mükemmel karışım olması ve düşük katı alıkonma sürelerinde çalıştırılabilmesi gibi avantajları olmasına karşın havalandırma ekipmanlarının bozulabilme riskinin artması ve bakımının zor olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Aktif çamur sürecinde sabitlenmiş sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak geliştirilen proseslere Japan Engineering and Trading Co. Ltd. tarafından geliştirilen RINGLACE proses örnek olarak verilebilir. Bu sistemler kullanılarak yapılan pilot ölçekli çalışmalar katı alıkonma süresinin ve nitrifikasyonun arttığını göstermiştir. (Randall ve Sen. 1996) Ancak sabitlenmiş sentetik taşıyıcı malzemeler üzerinde kırmızı kurtçuklar (red worms) büyüme eğilimindedir. Bu da nitrifikasyon bakterilerinin çoğalma süresini olumsuz yönde etkilemektedir. Nitrifikasyon kapasitesinin olumsuz etkilenmesi çıkış amonyak konsantrasyonunu arttırmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

HYBR prosesi bir hibrid arıtma metodudur. Bu hibrid arıtma yaklaşımı bağlı biyolojik büyüme prosesleri ile askıda biyolojik büyüme proseslerinin avantajları bir araya getirirken, dezavantajlarını da minimize etmektedir (Sriwiriyarat, 1999).

Çeşitli nedenlerle iyi işletilemeyen mevcut atıksu arıtma tesislerinin iyileştirilmesi, organik madde giderimi için tasarlanmış tesislerde ilave nitrifikasyon istenmesi durumunda HYBR prosesinin son yıllarda kullanıldığı bilinmektedir. Bu sebeplerden ötürü farklı işletme koşullarında HYBR prosesinin performansının izlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla laboratuar ölçekli deney düzeneği oluşturulmuştur. Yapılan çalışma temelde iki kısım halinde ele alınabilir. Birinci kısımda evsel atıksuyu temsilen seçilen sentetik atıksu beslemesinde farklı hidrolik alıkonma süreleri için çıkış suyundaki filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ, NO_3-N ve NH_4-N değerleri, reaktör içindeki sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, TKM ve TUKM değişimleri izlenmiştir. İkinci kısımda ise seçilen hidrolik alıkonma süresinde artan organik yüklemeler karşısında çıkış suyundaki filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ, NO_3-N ve NH_4-N değerleri, reaktör içindeki sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, TKM ve TUKM değişimleri izlenmiştir.

1.2. Çalışmanın Önemi

Aktif çamur prosesi, mikroorganizmaların atıksu içerisindeki organik maddeyi oksitleyerek son ürünlere dönüştürdüğü askıda büyüme prosesidir. Bu proseste havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzu birlikte kullanılmaktadır.

Günümüzde klasik aktif çamur prosesinin birçok modifikasyonu geliştirilmiştir. Arıtılacak suyun özelliklerine bağlı olarak uygulanacak aktif çamur modifikasyonu belirlenebilmektedir. Aktif çamur prosesinde sentetik taşıyıcı malzemelerinin kullanımı son zamanlarda yoğun olarak çalışılmaya başlanmıştır.

Kullanılan sentetik taşıyıcı malzemeler, aktif çamur prosesinin havalandırma havuzunda bulunuşlarına göre aksıda halde ve sabitlenmiş taşıyıcı malzemeler olmak üzere iki tiptir.

Eski atıksu arıtma tesislerinde, artan debiye bağlı olarak projelendirmede öngörülen hidrolik bekleme süresinin sağlanamamasından veya artan kirlilik yüküne bağlı olarak F/M oranının sağlanamamasından dolayı arıtma istenilen düzeyde gerçekleştirilememektedir. Bu atıksu arıtma tesislerinin istenilen performansta çalışmasını temin etmek üzere geliştirilen tekniklerden biri de aktif çamur sistemine sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesidir. Kullanılan tekniğin en önemli avantajlarından biri ek inşaat maliyeti gerektirmemesidir.

Sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı aktif çamur proseslerinde klasik aktif çamurda olduğu gibi çamur geri devrine gerek duyulmamaktadır.

Bu çalışmada sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak oluşturulan modifikasyonun farklı hidrolik ve organik yükler karşısındaki davranışı araştırılmıştır.

Ülkemizde aktif çamur sistemi evsel ve endüstriyel atıksu artımında yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma metodudur. Yıllar önce inşa edilmiş, halen çalışan ancak artan organik ve hidrolik yükleri karşılayamayan tesislerde ve özellikle arıtma tesisi için ilave alan sıkıntısı çekilebilecek endüstrilerde sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanımı ülkemizde de söz konusu olabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde; aktif çamur prosesi, sentetik taşıyıcı malzemelerin aktif çamur sürecinde kullanımı, hareketli yatak biofilm reaktörlerde sürecin tanıtılması, biofilmin yapısı, hareketli yatak biofilm reaktörlerin avantaj ve dezavantajları, bu prosesler kullanılarak yapılan laboratuar ölçekli, pilot ölçekli ve tam ölçekli uygulamaların sonuçlarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

2.1. Aktif Çamur Prosesi

2.1.1. Giriş

Aktif çamur prosesi ilk defa, Ardern ve Lockett'ın çalışmaları sonunda 1913-1914 yıllarında Manchester'de keşfedilmiştir. Yaygın kullanımı 1940'lı yıllara dayanan aktif çamur prosesi, günümüzde evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan aerobik biyolojik arıtma metodudur. Bu sistemde arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmalar askıda büyüme özelliğine sahiptir.

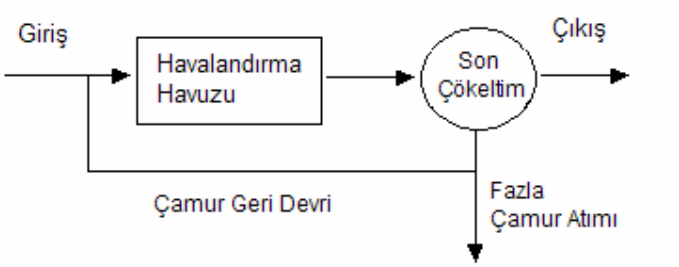
Havalandırma havuzu ile son çökeltme havuzunun bir arada kullanıldığı proseste, atıksu mikroorganizmaların yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, biyolojik faaliyet için gerekli havanın yüzeysel veya difüzör havalandırıcılarla sağlandığı, havalandırma havuzuna verilir. Reaktör içeriği MLSS veya MLVSS olarak tanımlanır ve büyük oranda mikroorganizmalardan, inert ve biyolojik olarak ayrışabilen maddelerden oluşur. Mikroorganizmalar, genellikle % 70 ila % 90 oranında organik, % 10 ila 30 oranında ise inorganik maddelerden meydana gelmektedir (Toprak, 2000a). Aerobik mikroorganizmalar, atıksu içerisindeki çözünmüş ve kolloidal maddeleri ayrıştırarak arıtım işlemini gerçekleştirirler.

Atıksu içerisinde bulunan organik madde, mikrobiyal büyüme için hem karbon hem de enerji kaynağı olarak görev alır ve yeni hücrelerin sentezinde kullanılır. Ayrışma ürünleri olarak karbondioksit ve su oluşur. Aerobik biyolojik oksidasyon reaksiyonları aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\text{Karbonlu Organik Madde} + O_2 + N + P \longrightarrow \text{Biyokütle Hücre} + CO_2 + H_2O + \text{Biyolojik olarak parçalanamayan maddeler} \quad \text{(Büyüme)}$$

Hücre + O_2 ⟶ CO_2 + H_2O + N + P + parçalanmayan hücresel kalıntılar (İçsel Solunum)

Çoğalan mikroorganizmalar birbirine ve suda asılı maddelere tutunarak yumaklar (floklar) teşkil ederler. Doldurulup boşaltılarak çalıştırılan kesikli reaktörlerde havalandırma işlemine son verilerek bu yumaklar çöktürülürse üste kalan berrak sıvı, arıtılmış suyu temsil eder. Sürekli çalışan sistemlerde ise çöktürme işlemi, ayrı bir tank (son çökeltme havuzu) içinde yeterli alıkonma süresi sağlanarak gerçekleştirilir. Tabana çöken katı maddelere aktif çamur adı verilir. Aktif çamur, canlı mikroorganizmalardan ve onlara yapışmış asılı ve ipliksi maddelerden meydana gelir. Aktif çamurun bir kısmı havalandırma havuzundaki mikroorganizma konsantrasyonunu belirli bir değerde tutmak için geri devrettirilir, geri kalanı ise sistemden uzaklaştırılır. Şekil 2.1'de tipik bir aktif çamur prosesi görülmektedir.



Şekil 2.1. Aktif çamur prosesinin şematik gösterimi

Geri devir oranını kontrol etmek için en yaygın kullanılan metot amprik ölçüm yöntemi olan çamur hacim indeksidir (ÇHİ). ÇHİ, çamurun çökelme özelliklerinin bir ölçüsüdür ve bu nedenle geri çevrim oranını ve havalandırma havuzundaki MLSS konsantrasyonunu etkiler. Klasik aktif çamur proseslerinde ÇHİ değerinin 80 ila 150 mL/g arasında olması istenir (Toprak, 2000a).

2.1.2. Aktif çamur mikrobiyolojisi

Aktif çamur, bakteri protozoa, rotifer ve bazı solucan, mantar ve algleri içeren karışık bir kültürdür. Arıtımı gerçekleştiren en önemli mikroorganizma grubu bakterilerdir. Aktif çamurun yaklaşık % 90'ı bakterilerden oluşmaktadır (Toprak, 200b). Karbonlu maddelerin parçalanmasında etkin olan heterotrofik bakteriler,

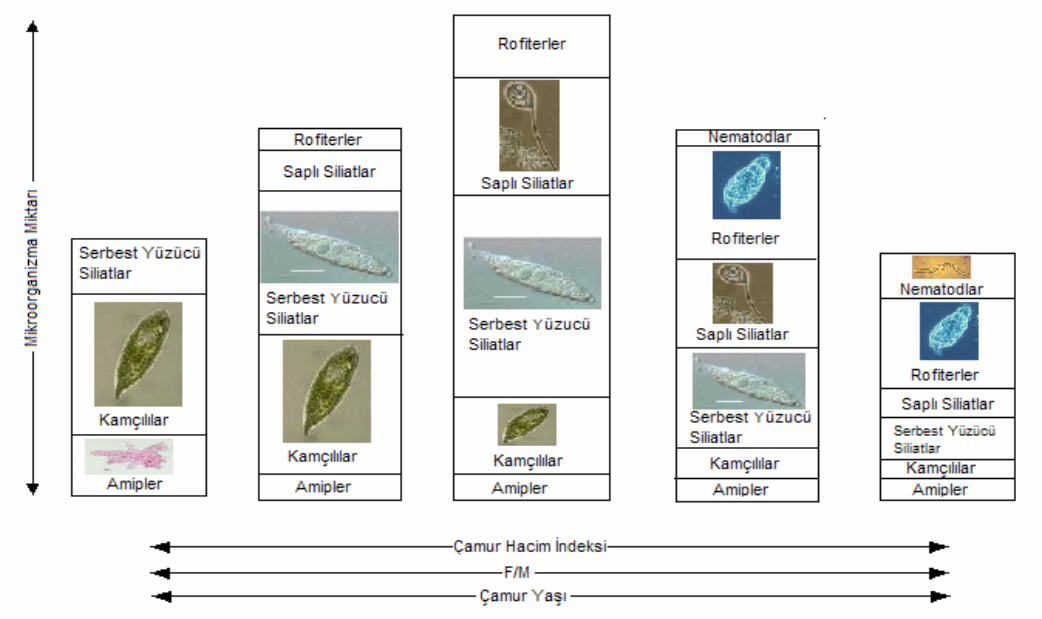
nitrifikasyonda etkin olan otorotrofik bakteriler, demir bakterileri gibi değişik bakteri türleri işletim koşullarına bağlı olarak sistemde yer almaktadır.

Protozoalar, tek hücreli mikroorganizmalar olup, bakteri ve kolloidal yapıdaki maddeler gibi katı besin maddeleri ile beslenirler. Atıksu arıtımında 200'ün üzerinde protozoa tipi tanımlanmış olmakla beraber, en baskın türleri kirpikli olanlarıdır. Bakterilerden bir veya iki kat daha büyük (10 ila 200 µm) organizmalardır ve metabolizmaları gereği aktif çamur süreçlerinde bir indikatör olarak kullanılırlar (Toprak, 200b). Protozoaların büyük bir kısmı zorunlu aerobturlar ve bu nedenle bir aerobik ortamın en mükemmel göstergesidirler. Bazı tipleri ise 12 saat süre ile anaerobik koşullarda yaşarlar. Protozoalar, bakterilere kıyasla toksik koşullara daha duyarlıdırlar ve yoklukları veya hareketsizlikleri süreçte toksisite sorununun olduğunu gösterir. Aktif çamur sürecinde belirli sayıda protozoanın bulunması, sürecin iyi çalıştığının ve kararlı durumda olduğunun bir göstergesidir (Toprak 200b).

Mantarlar, enerjilerini organik maddelerin oksitlenmesinden sağlayan tam heterotrofik organizmalardır. Şeker, nişasta, selüloz, yüksek dereceli alkoller ve yağlar gibi karbon hidratları, enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabilirler. Proteinleri çok iyi ayrıştırabilirler. Düşük pH değerlerinde yaşayabilmeleri karakteristik özellikleridir. Atıksu içinde ve arıtım kademelerinde protozoalara nazaran daha az bulunurlar. Bazen ortama hakim olduklarında yoğunluğu az olan kabarmış çamurların oluşmasına sebep olurlar.

Rotiferler, çok yüksek miktarda bakteri tüketirler ve flok parçaları gibi katı partiküller ile beslenirler. Aktif çamurdaki en yaygın rotiferlerin boyutu 400-600 mikron arasında değişmekte ve 100X büyültme ile büyük bir şekilde görülebilir. Rotiferler, bulanık çıkış suyu ile yüksek çamur yaşında eski aktif çamurun bir göstergesidir.

ÇHİ, F/M ve çamur yaşına (θ_c) bağlı olarak sistemde baskın olan mikroorganizma türleri Şekil 2.2'de belirtilmiştir.



Şekil 2.2. F/M ve θ_c 'ye bağlı olarak mikroorganizmaların nispi baskınlıkları

2.1.3. Aktif çamur sürecinin işletim esasları

Aktif çamur prosesinde verimli bir arıtımın gerçekleştirilebilmesi için sınırlayıcı faktör olmaması gerekir. Endüstriyel atıksularda bu problemin giderilmesi için ticari olarak satılan azot ve fosfor kimyasallarının eklenmesinin yanında uygun koşullarda evsel atıksu da kullanılabilmektedir.

Aktif çamur prosesinde organik madde giderimi yapılabileceği gibi gerekli hidrolik bekletme süresi ve çamur yaşı sağlanıp ilave oksijen sisteme verilerek nitrifikasyon da gerçekleştirilebilmektedir.

Sistem temel olarak havalandırma havuzu ve son çökeltim havuzundan oluşmaktadır. Aktif çamur prosesi havalandırma havuzu tasarımında reaktör tipi, çamurun beklenen çökelme özellikleri, organik madde giderim verimi ve nitrifikasyon istenip istenmemesi dikkate alınır. Daha uzun bekletme süreleri nitrifikasyon bakterilerinin yeterli sayıda çoğalmalarını sağlar. Eğer iyi bir BOİ giderimi ve nitrifikasyon isteniyorsa, evsel atıksular için θ_c değerleri sıcak iklimlerde 5 gün civarında, ılık iklimlerde ise 10 gün civarında alınmalıdır (Toprak, 2000b).

Havalandırmada başlıca iki metot kullanılır. Mekanik havalandırma ve basınçlı havalandırma. Mekanik havalandırmada, su yüzeyi karıştırılarak çalkantı ve dalgalar oluşturulur. Bu maksatla, pervane, türbin veya döner fırçalar kullanılır. Basınçlı havalandırmada difüzör kullanılır. Difüzör havayı küçük kabarcıklar halinde suya verir. Kabarcık çapı küçüldükçe, kabarcıkların toplam yüzey alanı arttığından oksijen transfer verimi artar.

Havalandırma havuzundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu, havalandırma havuzunda, son çökeltme havuzunda ve çamur geri devir hattında sadece istenen mikroorganizmaların bulunmasını sağlayacak düzeyde olmalıdır. Pratikte çözünmüş oksijen konsantrasyonun 2-3 mg/L'den az olması, istenmeyen mikroorganizma tiplerinin baskın hale gelmesine, normal biyolojik aktivitelerin engellenmesine ve sonuçta çıkış suyu kalitesinin azalmasına neden olur. 3 mg/L'den fazla çözünmüş oksijen konsantrasyonu arıtma veriminde önemli bir artış yaratmaz, aksine elektrik enerjisinin gereksiz sarfiyatına sebep olur (Toprak, 2000a).

Aktif çamur prosesinde en yaygın karşılaşılan problemlerden biri çamur çökelme özelliklerinin bozulmasıdır. Havalandırma havuzundaki düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu, organik yükün azalması (düşük F:M oranı), ham atıksuyun septikleşmesi, sülfit, besi maddesi eksikliği, düşük pH (< 6.0) çamur kabarmasına neden olan filamentli bakterilerin oluşumunu sağlayan ve/veya hızlandıran unsurlar arasında sayılabilir.

2.2. Aktif Çamur Sürecinde Sentetik Taşıyıcı Malzemelerin Kullanımı

Klasik aktif çamur prosesi, kolay işletilmesi ve çıkış suyu kalitesinin iyi olması nedeniyle tüm dünyada en yaygın kullanılan biyolojik arıtma prosesidir. Mevcut atıksu arıtma tesislerinde, artan debiye bağlı olarak projelendirmede öngörülen hidrolik bekleme süresinin veya artan kirlilik yüküne bağlı olarak F/M oranının sağlanamamasından dolayı arıtma verimi istenilen düzeyde olmayabilmektedir. Bu atıksu arıtma tesislerinin istenilen performansta çalışmasını temin etmek üzere geliştirilen tekniklerden biri de aktif çamur sürecinde havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesidir.

Sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesiyle oluşturulan hibrid sistemde askıda büyümeye ilave olarak bağlı büyüme de gerçekleştirilmektedir. Mikroorganizma

konsantrasyonun artışı ile toplam arıtma kapasitesi arttırılmaktadır. Hibrid sistemlerin ilk tam ölçekli uygulaması 1975'te Philadelphia'da biyodiskin aktif çamur havuzuna entegre edilmesiyle oluşturulmuştur (Guarino ve ark. 1980). Daha sonraları farklı firmalarca üretilen sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak tesis iyileştirmesi ve ilave nitrifikasyon hedeflenerek çalışmalar yapılmıştır.

Sentetik taşıyıcı malzemeler aktif çamur sürecinin havalandırma havuzunda askıda halde veya sabitlenmiş olarak bulunabilmektedirler. Askıda sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı proseslere örnek olarak CAPTOR, LINPOR, HYBR, FLOCOR-RPM örnek olarak verilebilir. Sabitlenmiş sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı proseslere ise Ringlace ve Biomatrix örnek olarak verilebilir.

İngiliz firması Simon-Hartley Ltd. tarafından geliştirilen CAPTOR proses, Alman Linde AG tarafından geliştirilen LINPOR proses havalandırma havuzuna sünger sentetik taşıyıcı malzemelerin ilavesiyle, Norveç firması Anoxkaldnes tarafından geliştirilen HYBR proses ve FLOCOR-RPM proses ise polietilen plastik sentetik taşıyıcı malzemelerin havalandırma havuzuna ilavesiyle oluşturulmuştur. Japan Engineering and Trading Co. Ltd. tarafından geliştirilen RINGLACE proseste ise havuzun bir duvarı boyunca metal plakalar yerleştirilmiştir. Bu plakların etrafı ipliksi Ringlace sentetik taşıyıcı malzeme ile kaplanmıştır. Çizelge 2.1.'de aktif çamur proseslerinde kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.1. Sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri

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

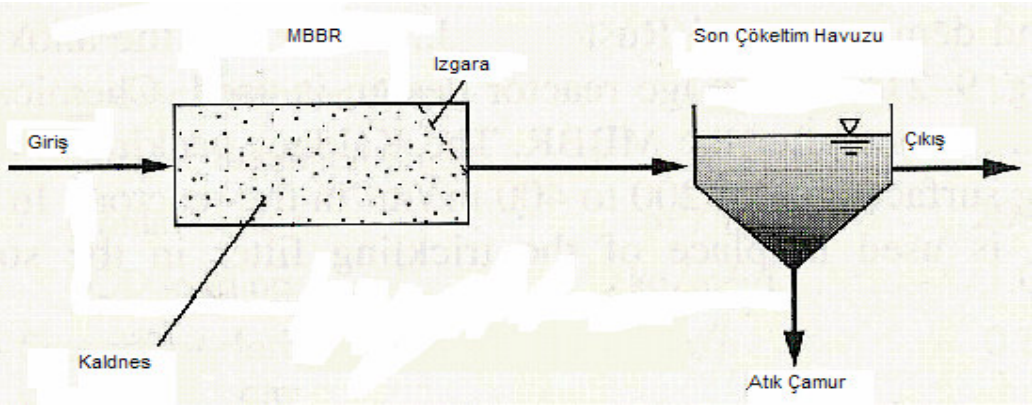
* Veri yok

2.3. Hareketli Yatak Biofilm Reaktörler (HYBR)

2.3.1. Sürecin tanıtılması

Hareketli Yatak Biofilm Reaktör (Moving Bed Biofilm Reactor, HYBR) prosesi 1980'lerin sonlarında İskandinavya'da Kaldnes Miljiteknologi (KMT) ile Norveç araştırma enstitüsü SINTEF'in işbirliğiyle geliştirilmiş ve bu teknolojiye patent alınmıştır. Şu anda 44 farklı ülkede evsel atıksu ve endüstriyel atıksu arıtımı amacıyla HYBR teknolojisi kullanılarak inşa edilmiş 400'den fazla atıksu arıtma tesisi vardır (www.waterandwastewater.com).

Bu proseslerde biofilm büyümesini desteklemek için havalandırılmış veya havalandırılmamış tankta küçük silindirik şekilli polyethylene taşıyıcı elementler kullanılmaktadır. Aerobik proseslerde taşıyıcı elementler havalandırma ile sirküle edilirken anaerobik proseslerde mekanik karıştırıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca küçük sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörde tutulabilmesi amacıyla reaktör çıkışına kullanılan malzeme boyutuna göre uygun boyutlarda elek konulmaktadır (Metcalf & Eddy, 2003). Şekil 2.3'te HYBR prosesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3. HYBR prosesinin şematik gösterimi

Hibrid sistemlerde farklı sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılabilmektedir. Kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerin şekilleri, ebatları, doluluk oranları, yüzey alanları, yoğunlukları, reaktör içindeki konumları sistem performansını doğrudan

etkilemektedir. Şekil 2.4'te bu çalışmada da kullanılan K1 sentetik taşıyıcı malzeme görülmektedir.



Şekil 2.4. K1 sentetik taşıyıcı malzeme

HYBR prosesinde kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri Çizelge 2.2.'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. HYBR prosesinde kullanılan sentetik taşıyıcı malzemelerin teknik özellikleri

Sentetik Taşıyıcı Malzeme	K1	K2	Natrix Maxi	Natrix Optima
Uzunluk (mm)	7	15	50	50
Çap (mm)	9	15	52-64	60
Korunmuş (Etkin) Yüzey Alanı (m^2/m^3)	500	350	200	300

HYBR proseslerinin en önemli iki tasarım parametresi doluluk oranı ve spesifik yüzey alanıdır. Doluluk oranı, toplam reaktör hacminin %30-70 aralığında olmalıdır. Sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörde serbest hareket edebilmesi için doluluk oranının %70'den aşağı olması gerektiği belirtilmiştir (Ødegaard, 2000). Rusten ve ark., (1992) yapıkları mikroskobik çalışmalar sonucunda sentetik taşıyıcı elementlerin dış yüzeylerinde biyofilm erezyonundan dolayı sadece korunmuş yüzeylerde biyofilmin oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

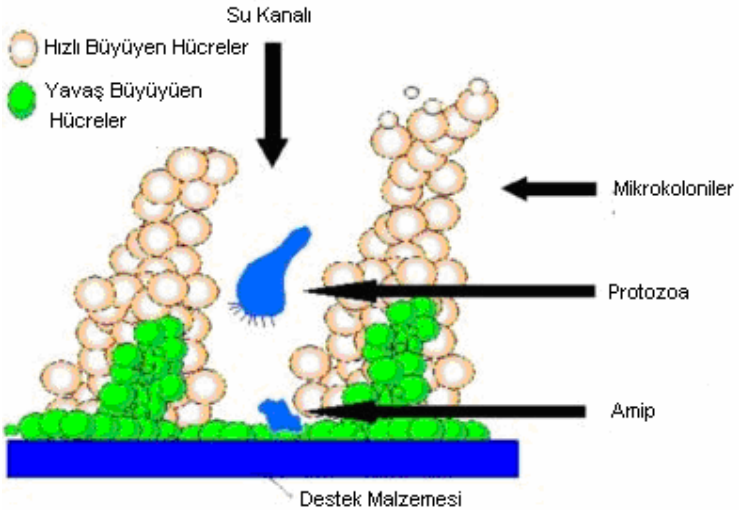
2.3.2. Biofilm yapısı

Biofilm, mikrobiyal hücreler, extraselüler polimerler ve kalıntıları içeren komplex yapılardır. Biofilm, aktif çamur ile karşılaştırıldığında daha yoğun ve kalındır. Substratın biofilm boyunca difüzyona uğraması fiziksel yapısı ile ilgilidir (Li, 2004).

Porozite ve por çapı biofilm derinliği boyunca azalır, heterotrofik biofilmlerde alt tabaka üst tabakadan 5-10 kat daha yoğundur (Zhang ve ark, 1994). Bununla birlikte, çözünmüş oksijen effektif difüzitesi üst tabakada % 50-81'den alt tabakada % 20-50 ye azalmıştır (Bishop ve ark., 1995).

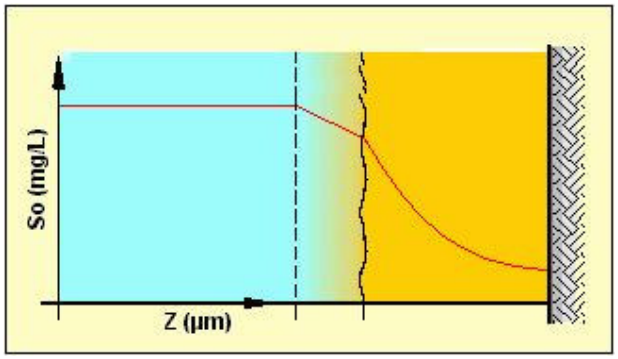
Biofilm katmanlaşması ile canlı biyokütlenin yüzdesi ve mikrobiyal akitiviteler derinlik ile azalır. Bununla birlikte, farklı bakteri türleri oksijen kullanımına ve substrat kullanımına olan eğilimlerine göre farklı derinliklerde baskın hale gelmektedir. Biofilm kalınlığı arttıkça oksijen iç kısımlara kadar tam olarak ulaşamaz. Bu da biofilmde farklı tipteki mikroorganizmaların gelişmesine olanak sağlar. Eğer yeterli oksijen olursa, en dıştaki tabakada aerobik mikroorganizmalar baskın hale gelecek ve aerobik biyolojik parçalanmayı ve nitrifikasyonu gerçekleştirecektir. En iç tabakada ise denitrifikasyon ve sulfat indirgeyen bakteriler gibi fakültatif bakteriler baskın hale gelecektir.

Oksijen için yaşanan rekabetin bir sonucu olarak biofilmde mikrobiyal populasyon uzaysal bir dağılım göstermiştir (Li, 2004). Heterotrofik bakterilerin daha yüksek büyüme hızları ve daha yüksek oksijen kullanma eğilimleri nitrifikasyon bakterilerinin aerobik tabakada baskın olmasını engellemektedir. Şekil 2.5'te mikroorganizmaların büyüme hızlarına göre destek malzeme üzerindeki yerleşimleri görülmektedir. Nitrifikasyon bakterilerine daha derinlerde rastlanmaktadır, oksijenin difüzyonu azaldığından nitrifikasyon sınırlanmaktadır. Bununla birlikte, KOİ yüklemeleri ya da KOİ/TKN oranı yüksek olduğunda, biofilmin üst tabakasında nitrifikasyon bakterilerinin heterotroflar tarafından seyreltildiği dolayısıyla da amonyak oksidasyon oranının azaldığı belirtilmektedir (Okabe ve ark., 1995).



Şekil 2.5. Biofilmde büyüme hızlarına göre mikroorganizma dağılımları

Hareketli yatak biofilm reaktörlerde hidrolik kesme kuvvetinden dolayı karışım hızına bağlı olarak biofilm kalınlığı değişmektedir. Karışım hızı arttıkça biofilm kalınlığı azalmaktadır (Rodger ve Zhan, 2003). Oksijen akısı biofilm kalınlığı ile doğru orantılıdır. Şekil 2.6'da biofilm derinliği boyunca oksijen konsantrasyonunun azalması görülmektedir.



Şekil 2.6. Oksijen konsantrasyonunun biofilm kalınlığı ile azalması

Van Loosdrecht ve ark. (1995), amonyumun substrat olarak kullanılması durumunda 50 µm'lik en dış tabakada oksijen akısının sabit kaldığını, asetat kullanılması durumunda ise oksijen akısının azaldığını bulmuştur. Bu tespitle heterotrof mikroorganizmaların 50 µm'lik en dış tabakada baskın olduğunu,

nitrifikasyon bakterilerinin ise biofilmin 50 µm'den daha derin kısmında görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Dolgu malzemelerinin yüzeyleri arttırılarak, hem yüzeysel organik yüklemeler hem de biofilm kalınlığı azaltılabilir. Bu yolla biofilmin daha derindeki tabakalarına kadar oksijenin difüzyonunu sağlar ve nitrifikasyonu destekler. Biofilmin tabakalaşması sayesinde nitrifikasyon populasyonu heterotrof tabaka sayesinde korunur. Bu sayede oluşan nitrifikasyon kolayca kaybedilmeyecektir.

Biofilmde nitrifikasyon bakterilerinin gelişimi için Daude ve Stephenson (2003) 40 günü yeterli görürken, Orantes ve ark., (2002) biofilmin tam olarak kararlı hale gelmesi için deneylere başlamadan önce 60 gün'lük hazırlık periyodu belirlemişlerdir.

2.3.3. HYBR prosesinin avantaj ve dezavantajları

HYBR prosesleri askıda büyüme ve bağlı büyüme proseslerinin avantajlarının bir araya getirildiği, dezavantajlarının ise minimize edildiği biyolojik arıtma sistemleridir. HYBR prosesinin başlıca avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Esnek reaktör dizaynı,
- ✓ Mevcut tesislerin kolay kapasite artırımı,
- ✓ İşletim ve kontrolünün kolay olması,
- ✓ Çamur geri devrine gerek olmaması,
- ✓ Mevcut durumda çökeltme havuzları üzerine olan katı yüklemesini azaltması,
- ✓ Dolgu malzemesinin varlığı ile daha küçük kabarcıklı havalandırma ekipmanı kullanma gereksinimini azaltması,
- ✓ Nitrifikasyon bakterileri için gerekli olan yüksek çamur yaşını sağlaması,
- ✓ Çamur çökelme özelliklerini iyileştirmesi,
- ✓ Çamur oluşumunu azaltması,
- ✓ Dolgu malzemesi kullanılan diğer sistemlere nazaran daha az yük kaybı artışı
- ✓ Geri yıkama gerektirmemesi.

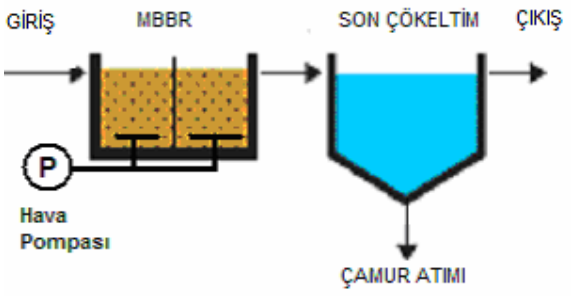
HYBR prosesinin dezavantajları arasında iri kabarcıklı havalandırma ekipmanlarının kullanılması ve havalandırma ekipmanlarının bakım gereksinimini arttırması sayılabilir.

2.3.4. HYBR prosesi uygulamaları

HYBR prosesi mevcut tesislerde kapasite arttırmak, çıkış deşarj standartlarının sağlanmasını garanti etmek ve tank ilavesi olmadan nitrifikasyonu gerçekleştirmek üzere son yıllarda özellikle Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Organik madde ve azot gideriminin hedeflendiği arıtma metotlarında oksijen en önemli tasarım parametrelerinden biridir. HYBR proseslerinde havalandırma ekipmanları uygun yerleştirilerek organik madde giderimi ve nitrifikasyon için aerobik bölge, denitrifikasyon için ise anoksik bölge oluşturulabilmektedir.

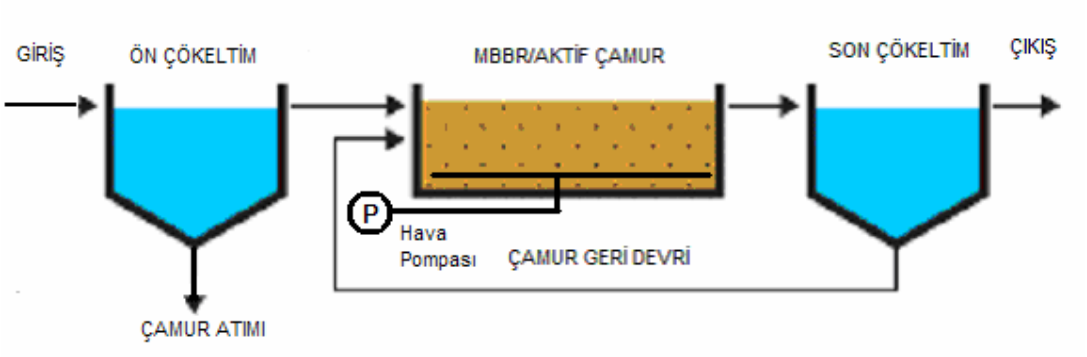
Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması amacıyla sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak oluşturulan organik madde ve azot gideriminde başarılı sonuçlar elde edilen HYBR prosesleri amaca göre farklı şekillerde tasarlanabilmektedir.

Şekil 2.7'deki tipik HYBR prosesi, hem mevcut tesislerin iyileştirilmesinde hem de yeni kurulacak tesislerin inşasında kullanılabilmektedir. İyileştirme yapılacak tesislerde esnek reaktör dizaynı nedeniyle mevcut tanka belirlenen doluluk oranında sentetik taşıyıcı malzeme ilavesi ile HYBR prosesi oluşturulabilmektedir. Bunun yanında alan ihtiyacını azaltması ve daha ekonomik çözümler sunması nedeniyle yeni tesislerin inşasında da HYBR prosesi kullanılabilmektedir.



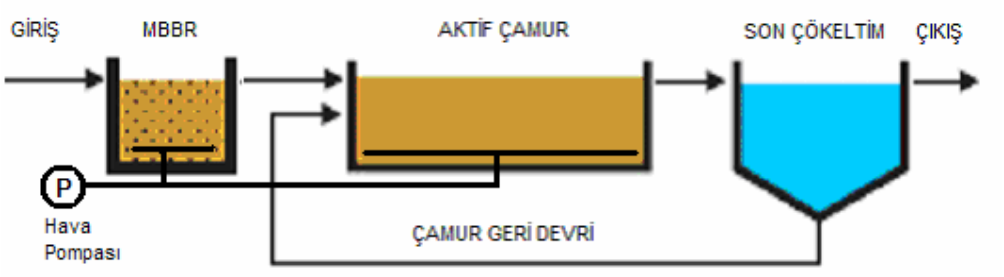
Şekil 2.7. HYBR prosesi tipik akım şeması

Hidrolik alıkonma süresi ve/veya F/M'in sağlanamadığı, ilave nitrifikasyonun istendiği aktif çamur proseslerinde havalandırma havuzuna sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilerek arzu edilen çıkış suyu kalitesi elde edilebilmektedir. Şekil 2.8.'de aktif çamur havuzuna sentetik taşıyıcı malzemenin ilavesi ile oluşturulmuş aktif çamur modifikasyonu görülmektedir.



Şekil 2.8. HYBR-Aktif çamur prosesi tipik akım şeması

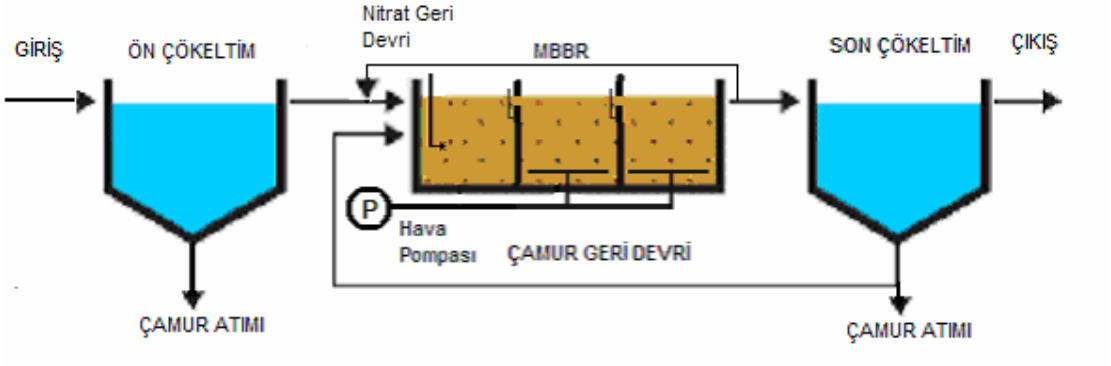
Şekil 2.9'da HYBR prosesinin aktif çamurdan önce kullanımı görülmektedir. Bu modifikasyon daha çok endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Gıda sanayi, ilaç sanayi, petrol sanayi gibi yüksek KOİ içeren atıksuların arıtılmasında aktif çamur prosesine verilmeden önce bağlı büyümenin avantajlarından yararlanılarak arıtma performansı arttırmak için HYBR prosesi ön arıtım amacıyla kullanılabilmektedir.



Şekil 2.9. Aktif çamur prosesinden önce kullanılan HYBR prosesi tipik akım şeması

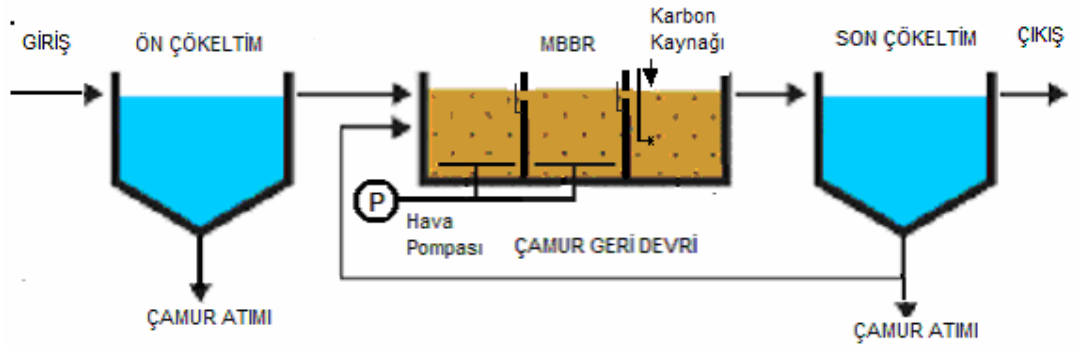
Azot giderimi için tasarlanan Şekil 2.10'daki HYBR prosesi 1 anoksik ve 2 aerobik bölgeden oluşmaktadır. Birinci aerobik bölgede karbonlu madde giderimi olurken ikinci aerobik bölgede nitrifikasyon gözlenir. Anoksik bölgeye ikinci aerobik

bölgede oluşan nitratın bir kısmı geri devrettirilir. Bu sistemde ön çökeltimden gelen atıksu içerisindeki organik maddeler denitrifikasyon için gerekli karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Denitrifikasyonun ön bölgede uygulandığı HYBR prosesi

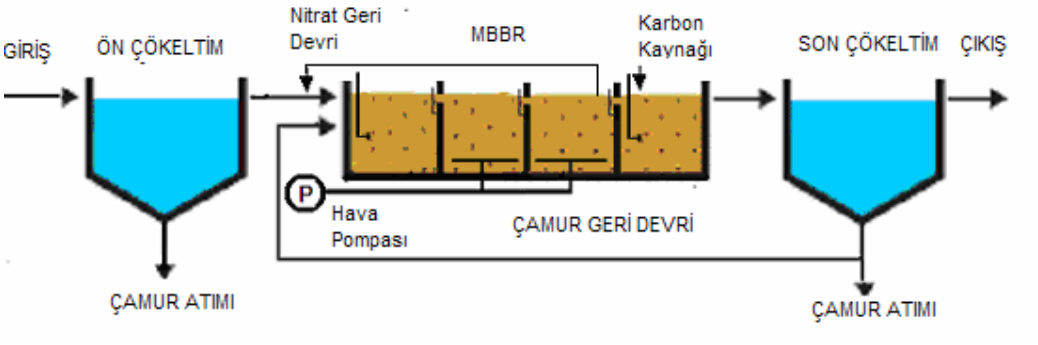
Şekil 2.11'de verilen HYBR prosesi 2 aerobik ve 1 anoksik bölgeden oluşmaktadır. Bu sistemde önce organik madde gideriminin gerçekleşmesi daha sonra ise nitrifikasyonun oluşması beklenir. Anoksik bölgede sistemdeki mevcut karbon bittiğinden dolayı oluşan nitratın denitrifikasyona uğratılması için iç solunuma ilave karbon kaynağı olarak metanol veya etanol ilave edilmektedir.



Şekil 2.11. Denitrifikasyonun son bölgede uygulandığı HYBR prosesi

Şekil 2.12'de verilen HYBR prosesi 2 anoksik ve 2 aerobik bölgeden oluşmaktadır. İlk anoksik bölmede ön çökeltimden gelen atıksu içerisindeki organik maddeler ikinci aerobik bölgede oluşan nitratın geri devrettirilen kısmının denitrifikasyonu için karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. İkinci anoksik bölgede

mevcut karbon bittiğinden dolayı karbon kaynağı olarak ilave edilen metanol veya etanol kullanılarak sonda denitrifikasyon işlemi ile verimli azot giderimi elde edilebilmektedir.



Şekil 2.12. Başta ve sonda denitrifikasyonlu HYBR prosesi

HYBR prosesi kullanılarak yapılmış pilot ölçekli ve tam ölçekli uygulamalar organik madde giderimi, nitfikikasyon ve azot gideriminde HYBR prosesinin başarı ile kullanıldığını ortaya koymuştur.

HYBR prosesleri küçük yerleşim yerlerinin atıksularının arıtımı için iyi çıkış suyu kalitesi ile uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Daude ve Stephenson (2003)'un yaptıkları çalışmada Winchester yakınlarında 85 kişi eşdeğer nüfus için tasarlanan HYBR prosesinde organik şok yükleme, hidrolik şok yükleme ve elektrik kesintisi gibi farklı işletme koşullarının karbon ve azot giderimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Başlangıç periyodundan sonra ortalama çıkış değerleri 15,6 mg/L BOİ, 65,9 mg/L KOİ, 21 mg/L AKM ve 4,7 mg/L NH_4-N olarak ölçülmüştür. 1500 mg/L KOİ içeren atıksu ile şok yükleme yapıldığında çıkış suyu kalitesinde önemli bir düşüş tespit edilmemiştir. Normal debinin 10 katı kadar hidrolik şok yükleme yapıldığında ise son çökeltme tankında katı madde kaybı olmuştur. 8 günlük elektrik kesintisinden birkaç gün sonra organik madde giderimi normale dönerken, çıkış NH_4-N 5 mg/L'nin altına yaklaşık 25 gün sonra inmiştir.

HYBR prosesi 1990 yılların başından beri Avrupa'da iyi işletilemeyen evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. İlave tank kullanılmadan düşük hidrolik alıkonma sürelerinde nitrifikasyonun oluşmasına

imkan sağlamasından dolayı bu prosesler kullanılarak iyileştirilen tesis sayısı artmaktadır.

Andreottola ve ark. (2003a) İtalya'da bulunan bir atıksu arıtma tesisinde artan organik ve hidrolik yüklerden dolayı istenilen performansın elde edilemediği aktif çamur prosesinin sentetik taşıyıcı malzeme kullanarak iyileştirilmesini çalışmışlardır. % 50 doluluk oranında 2,7 – 7,4 saat arasında değişen hidrolik alıkonma sürelerinde çalıştırılan pilot ölçekli tesisten elde edilen veriler tam ölçekli tesisin dizaynında kullanılmıştır. Pilot tesise 5,4-32 g KOİ/m^2.gün aralığında organik yükleme yapılmış ve ortalama % 79 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Tam ölçekli tesiste aktif çamur prosesi yerine iki kademeli HYBR prosesi, klasik son çökeltim havuzu yerine lamella son çökeltim havuzu kullanarak tesis iyileştirilmiştir. Tesis işletmeye alınırken HYBR prosesine 3 ay boyunca düşük organik yüklemeler yapılmış, sonraki 5 ay boyunca dizayn değerleri ve üzerinde yüklemeler yapılmıştır. Sistem kararlı hale geldiğinde HYBR prosesinin birinci kademesinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı madde miktarı 2.2 kg TKM/m^3 iken 2. kademede ise 1.3 kg TKM/m^3 olarak ölçülmüştür. Hidrolik alıkonma süresi 5,5-7 saat olduğunda başlangıç periyodu için % 78 KOİ giderimi elde edilirken, kararlı konumda % 88 KOİ giderimi olmuştur. İki kademeli HYBR prosesinin birinci kademesi organik madde giderimi için kullanılırken, ikinci kademesinde nitrifikasyon gerçekleştirilmiştir. İkinci kademede % 34-97 oranında nitrifikasyon olduğu tespit edilmiştir. Nitrifikasyondaki bu değişimin sebebi olarak başlangıç periyodunda nitrifikasyon bakterilerinin gelişememiş olması ve organik yükteki artış kabul edilmiştir. Bununla birlikte kararlı konumda % 90 nitrifikasyon verimine ulaşılmıştır.

Hvala ve ark. (2002) Slovenya'da bulunan atıksu kompozisyonunun % 45'i evsel, % 55'i endüstriyel içerikli olan bir atıksu arıtma tesisinin değişen çıkış suyu standartlarını sağlamak üzere iyileştirme çalışmalarını simülasyon programı ile desteklemiştir. Atıksu arıtma tesisinde nitrifikasyon için pilot ölçekli klasik aktif çamur ve HYBR prosesi paralel olarak işletilmiştir. Organik madde gideriminde benzer sonuçlar elde edilirken, nitrifikasyon için HYBR prosesinde daha yüksek verim gözlenmiştir. Deneysel çalışma sırasında HYBR prosesi çıkışta klasik aktif çamura göre daha düşük AKM konsantrasyonları vermiştir. Bundan dolayı HYBR prosesinden sonra daha düşük hacimli çökeltme tankı ile istenilen arıtımın

sağlanabileceği vurgulanmaktadır. Bunun yanında daha düşük sıcaklıklarda HYBR prosesinin daha iyi sonuç verebileceği ifade edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışması sonucunda tesisin iyileştirilmesinde klasik aktif çamur prosesi yerine HYBR'nin kullanılmasının uygun olacağı ileri sürülmüştür.

Biyolojik arıtımın kullanıldığı tesislerde çıkış suyu kalitesi sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bununla birlikte iyi çıkış suyu kalitesini temin etmek üzere hidrolik alıkonma sürelerinin arttırılması zorunludur. Andreottola ve ark. (2000) İtalya'nın kuzeyinde yer alan soğuk iklim koşullarının hakim olduğu bir yerleşim yerinde mevcut atıksu arıtma tesisi ile istenilen performansın sağlanamadığı ve bu problemin çözümünde biyodisklere paralel olarak çalıştırılan HYBR prosesinin kullanılabilirliğini bir yıldan fazla süre ile araştırmıştır. HYBR prosesinde sentetik taşıyıcı malzeme olarak % 50 doluluk oranında FLOCOR-RPM kullanılmıştır. Çalışma boyunca sıcaklık 5-15 ^{0}C arasında değişim göstermiştir. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çalıştırılan HYBR prosesi hidrolik alıkonma süresinin 5 saatten fazla olduğu durumlarda iyi arıtım performansı göstermiştir. Tesis ortalama 7,9 g KOİ/m^{2}gün organik yükleme ve 0,9 g NH_4-N/m^{2}gün amonyum yüklemesi ile çalıştırılmıştır. 8 ^{0}C'den düşük sıcaklıklarda tipik karbon gideriminin % 73, azot gideriminin % 72 olduğu gözlenmiştir.

HYBR prosesinde doluluk oranı en önemli parametrelerden birisidir. Sentetik taşıyıcı malzemelerin HYBR prosesinde serbestçe hareket edebilmesi için % 70 doluluk oranı ile sınırlandırılmıştır (Ødegaard, 2000). Pastorelli ve ark. (1997a) yaptıkları çalışmada, Milan yakınlarında bulunan bir atıksu arıtma tesisinde kurulmuş pilot ölçekli tesisi atıksu arıtma tesisinin ön arıtılmış atıksuyu ile beslemişlerdir. Reaktörler süspanse bağlı büyümenin gerçekleştirilebilmesi için 350 m^2/m^3 spesifik yüzey alanı olacak şekilde polietilen malzeme ile doldurulmuş, organik madde ve azot giderimi için çalışmalar yapılmıştır. Çözünmüş oksijenin 2 mg/L'nin üzerinde olduğu ve organik yüklemenin 8 g KOİ/m^{2}gün olduğu durumlarda organik yükleme ve organik madde giderimi arasında lineer bağlantı bulunmuştur. Ayrıca oksijen konsantrasyonu 2,08 mg/L'nin altında nitrifikasyon gözlenmemiştir.

Pastorelli ve ark. (1997b) farklı bir çalışmalarında bağlı biyolojik büyümenin gerçekleştirilebilmesi için % 70 oranında polietilen malzeme ile doldurulmuş HYBR

prosesinde organik madde ve azot giderimi için çalışmalar yapmıştır. Nitrifikasyon, amoyağın ve oksijenin sınırlı olması durumlarında araştırılmıştır. Sıvı film difüzyonundan dolayı nitrifikasyonun çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile daha yakından ilişkili olduğu bulunmuştur.

Sentetik taşıyıcı malzemeler havalandırma havuzunda askıda veya sabitlenmiş olarak bulunabilmektedir. Askıda sentetik taşıyıcı malzemelerin en önemli avantajı tıkanma probleminin olmaması ve biyofilm kalınlığının hidrolik kesme kuvveti ile kontrol altında tutulmasıdır. Andreottola ve ark. (2003b) yaptıkları çalışmada, sentetik taşıyıcı malzemenin askıda veya sabitlenmiş olarak tasarlandığı farklı arıtım proseslerinin performansları karşılaştırılmıştır. Atıksu, % 42 oranında 500 m^2/m^3 Kaldnes ile doldurulmuş HYBR ve % 84 oranında 140 m^2/m^3 yüzey alanına sahip BIO-ECO ile doldurulmuş FBBR ile iki ayrı hatta arıtılmıştır. Organik madde giderimi büyük benzerlik göstermiş ve HYBR'de % 72, FBBR'de % 74 oranında KOİ giderimi elde edilmiştir. İki biyofilm prosesi arasındaki en önemli fark biyofilm kalınlığıdır. HYBR prosesinde çok ince (1 mm'den az) biyofilm oluşurken, FBBR'de (1 cm'ye kadar) daha kalın biyofilm oluşmuştur. Kararlı konumda HYBR prosesinde 4 g TKM/m^2, FBBR prosesinde 13,6 g TKM/m^2 olarak ölçülmüştür. TUKM/TKM oranı HYBR'de % 86 iken, FBBR'de % 80 olarak hesaplanmıştır.

Jones ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada, 2730 m^3/gün kapasiteli Kanada'da bulunan bir atıksu arıtma tesisinde Ringlace ve Biomatrix malzemeleri kullanılarak nitrifikasyon için yaptıkları tam ölçekli arıtma çalışmalarının sonuçlarını kontrol reaktörleri ile karşılaştırmalı olarak vermiştir. 1995-1996 ve 1996-1997 olmak üzere iki farklı periyotta ölçümler yapılmıştır. 1995-1996 döneminde ortalama 10 ^{0}C'de nitrifikasyon hızı 0,42 kg/1000 m Ringlace.gün'dür. Nitrifikasyon hızında 1996-1997 döneminde önemli bir düşüş olmuş bunun sebebinin de biofilmde makroorganizmaların (kurtçuk) gelişimi olduğu ileri sürülmüştür.

Farklı organik yükleme değerleri organik madde ve nitrifikasyon üzerine etki eden önemli faktörlerdendir. Artan organik madde yükü arıtım performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Orantes ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada pilot ölçekli tesisin 2, 6, 10, 13,18, 35 g KOİ/m^2gün organik yüklemelerindeki arıtım performansını incelemişlerdir. 30 dakikalık çökeltmeden sonra en yüksek organik yüklemede % 57, en düşük yüklemede % 81 KOİ giderimi elde edilmiştir. 10 g

KOİ/m^2.gün organik yüklemelerinde 50 mg/L'nin üzerinde çıkış KOİ'si gözlenmiştir. Çamur oluşumu organik yüklemenin artmasına paralel olarak artarken, hidrolik bekletme süresinin artmasıyla azaldığı ifade edilmektedir. Çamur üretimi 2 g KOİ /m^2.gün organik yüklemede 45 g TKM/gün, 35 g KOİ /m^2gün organik yüklemesinde 979 g TKM/gün olarak gerçekleşmiştir. Sadece en düşük iki organik yüklemede gerçek nitrifikasyon gözleniştir. Bunun yanında 13 g KOİ/m^2gün organik yüklemeye kadar nispeten daha yüksek fosfor giderimleri görülmüştür.

Linpor prosesi, süngerimsi sentetik taşıyıcı malzemelerin havalandırma havuzunda kullanılması ile iyileştirme çalışmalarında HYBR gibi alternatif bir yaklaşımdır. Morper ve Wildsomer (1990) mevcut atıksu arıtma tesisinde tank hacmini arttırmadan %10 - %30 Linpor sentetik taşıyıcı malzeme kullanarak istenilen arıtma veriminin sağlandığını yapılan deneysel çalışmalarla ifade etmektedir. Sentetik taşıyıcı malzemenin olmadığı, %10 ve 30 doluluk oranlarında sistem performansı karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Sentetik taşıyıcı malzemenin doluluk oranı arttırıldıkça F/M oranı azalmaktadır. Sentetik taşıyıcı malzeme yokken 0,58 kg $BOİ_5$/kg TKM olan F/M oranı %10 doluluk oranında 0,35 kg $BOİ_5$/kg TKM, % 30 doluluk oranında 0,24 kg $BOİ_5$/kg TKM'ye kadar azalmıştır. En yüksek verim % 86 KOİ giderimi ile % 30 doluluk oranında elde edilmiştir.

HYBR prosesleri farklı biyolojik arıtım prosesleriyle birlikte kullanılabilmektedir. Rusten ve ark. (1998) Yeni Zelanda'da 200 000 nüfuslu bir yerleşim yeri için tasarlanan atıksu arıtma tesisi için pilot ölçekli HYBR ve Katı temas tankının bir arada kullanıldığı biyolojik arıtıma tesisinde 15 g $BOİ_5$/m^2gün (5 kg/m^3gün) organik yüklemede 10 mg/L'den düşük BOİ elde edilmiştir. HYBR'de toplam KOİ giderimi tüm organik yüklemelerde % 80'in üzerinde gerçekleşmiştir. HYBR prosesi filtrelenmiş çıkış suyunda 7-10 g BOİ/m^2.gün organik yüklemesinde % 95'ten daha fazla giderim verimi elde edilirken organik yüklemenin artmasıyla verim azalmış ve 30-50 gr BOİ/m^2.gün için % 81 – 84 olarak hesaplamıştır.

HYBR prosesi ardışık kesikli reaktör gibi çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar incelendiğinde verimlerde benzerlik gözlenmiştir. Commett-Ambriz ve ark. (2003) pilot ölçekli çalışmalarını iki kısımdan oluşturmuşlardır. İlk bölümde HYBR gibi çalıştırılan reaktör, ikinci bölümde 8 saatlik üç döngüden oluşturulan SBR gibi çalıştırılmıştır. Deneysel çalışmanın birinci bölümünde 15 dakikadan 1 saate kadar

farklı çökelme zamanları uygulanmış ve HYBR'de çökelme süresi arttıkça verimin arttığı gözlenmiştir. SBR sadece 1 saat çökeltme süresinde çalıştırılmıştır. Anaerobik reaktörde biyoatık çıkışı gibi spesifik bir atıksu için 4 gün gibi uzun hidrolik alıkonma süresinde HYBR'de % 53, SBR'de % 55 KOİ giderimi elde edilmiştir. Bu çalışma için KOİ gideriminin sınırlanmasının en büyük nedeni BOİ/KOİ oranının 1/3 olmasıdır. Her iki uygulamada da % 99 oranında amonyum azotu giderilmiştir. SBR'de biyokütle konsantrasyonu ortalama olarak 2,1 kg TKM/m^3 iken, HYBR'de 1,7 kg TKM/m^3 olarak ölçülmüştür. Verimdeki farklılığın iki sistemdeki biyokütle konsantrasyonu ile ilgili olduğu ileri sürülmektedir.

Nitrifikasyona sıcaklık, amonyum konsantrasyonu, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, alkalinite, çözünmüş biyolojik olarak parçalanabilen organik madde içeriği etki etmektedir. Havalandırma ekipmanlarının uygun yerleştirilmesi ile nitrifikasyon ve denitrifikasyon HYBR proseslerinde başarılı bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir.

Wang ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, kimyasal çökeltme ile HYBR prosesi evsel atıksuyun arıtımında birlikte kullanmıştır. HYBR prosesi eş zamanlı nitrifikasyon ve denitrifikasyon olacak şekilde azot giderimi için test edilmiştir. Çözünmüş oksijen değeri yaklaşık 2 mg/L olarak ayarlandığında toplam azotun % 89,9'u verimli bir şekilde giderilmiştir. Kimyasal arıtımda farklı dozlarda demir (II) sülfat dozlanmıştır. BOİ, KOİ, toplam azot giderimi önemli derecede etkilenmezken, artan dozlarla fosfor giderimi artmıştır. En uygun doz P:Fe = 1:1,3 olarak bulunmuştur.

Hem ve ark. (1994) yaptıkları çalışmada 20 L'lik laboratuar ölçekli tesisi sentetik atıksu ile, 500 L'lik pilot tesisi ise ön çökeltim ve son çökeltim çıkış suları ile besleyerek HYBR prosesinin nitrifikasyon için uygunluğunu araştırmışlardır. Oksijen sınırlayıcı faktör olduğu durumda, nitrifikasyon düzeyi üzerinde çok büyük etkisi olmuştur. Ayrıca organik yükleme arttıkça nitrifikasyon düzeyinin azaldığı görülmüştür. Organik yükleme 5 g BOİ/m^2gün'den fazla olduğunda nitrifikasyon yetersiz hale gelmiştir. HYBR son çökeltim havuzu çıkış suyu ile beslendiğinde, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 4,5 - 5 mg/L aralığında olması durumunda nitrifikasyon düzeyi 0,7 - 1,0 g NO_x (NO_3-N + NO_2-N) /m^2.gün mertebesinde ölçülmüştür.

Maurer ve ark. (2001) pilot ölçekli ve tam ölçekli olarak çalıştırdıkları tesislerde iki tür sentetik taşıyıcı malzeme kullanarak denitrifikasyon miktarlarını karşılaştırmalı olarak araştırmıştır. Pilot tesisi kesikli çalıştırarak maksimum denitrifkasyon oranı ve sıcaklığın etkisini kolay parçalanabilen asestatın karbon kaynağı olarak ilave edildiği ve ilave edilmediği durumlarda araştırmışlardır. Pilot ölçekli tüm çalışmalarda 30 mg/L nitrat, elektron alıcının sınırlayıcı olmaması için ilave edilmiştir. Asetatın ilave edildiği durumda her iki sentetik taşıyıcı malzeme için benzer sonuç bulunmuştur. Hacimsel denitrifikasyon oranları % 60 doluluk oranında plastik sentetik taşıyıcı malzeme (Kaldnes) için 441 g N/m^3.gün, sünger taşıyıcı malzeme için 420 g N/m^3.gün olarak ölçülmüştür. Karbon kaynağının ilave edilmediği durumda ise hacimsel denitrifikasyon oranları arasında önemli fark oluşmuştur. Plastik (kaldnes) için 130 g N/m^3.gün iken, sünger taşıyıcı malzeme için 194 g N/m^3.g olarak ölçülmüştür.

Kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak yapılan çalışmalarda düşük sıcaklık performansı etkileyen ana faktör olmamıştır (Andreottola ve ark., 2000). Benzer şekilde Welander ve Mattiasson (2003) yaptıkları çalışmada, 750 ml hacminde ve % 50 oranında kaldnes malzemesi ile doldurulan bir reaktörde 3 – 20 ^{0}C'de sentetik atıksu ile arıtma çalışmaları yaparak sıcaklığın denitrifikasyon hızına olan etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada maksimum denitrifikasyon hızı 15 ^{0}C'de 2,7 g NO_x-N/m^2gün olarak belirlenmiştir. 3 ^{0}C'de 8 gün 1,5 saat hidrolik alıkonma süresinde işletilen Kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme kullanılan sistemde maksimum denitrifikayon hızı 15 ^{0}C'de elde edilen dentirifikasyon hızının % 55'dir. Kaldnes sentetik taşıyıcı malzemenin kullanıldığı sistemlerde sıcaklıkla denitrifikasyon hızı arasında oldukça zayıf bir bağlantı olduğu tespit edilmiştir.

Denitrifikasyon hızına etki eden faktörlerden en önemlisi karbon kaynağıdır. Aspegren ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada İsveç'te bulunan bir atıksu arıtma tesisin biyolojik arıtıma uğramış atıksuyu pilot ölçekli HYBR prosesine beslenmiştir. Etanol ve metanol farklı karbon kaynağı olarak kullanılmış ve karbon kaynaklarının post denitrifikasyon üzerine etkisi araştırılmıştır. Pilot tesis giriş atıksuyunda C/N oranı yaklaşık 5 olarak işletilmiştir. Maksimum denitrifikasyon hızı etanol kullanıldığında 2,5 g N/m^2.gün, metanol kullanıldığında 2,0 g N/m^2.gün olarak

bulunmuştur. Akışkan yataklı reaktörlerle ve batmış filtrelerle kıyaslandığında daha düşük hacimsel denitrifikasyon oranı olduğu ifade edilmektedir.

HYBR prosesi yüksek organik yüklemelere izin vermesi, toksik yüklemelerden klasik biyolojik arıtım proseslerine göre daha az etkilenmesi, çamur çökelme özelliklerini iyileştirmesi, daha düşük hidrolik bekletme sürelerinde istenilen arıtım performansını sağlaması nedeniyle endüstriyel atıksuların arıtımında özellikle Avrupa'da tercih edilmektedir.

Broch-Due ve ark. (1997) hidrolik bekletme süresinin organik madde giderimi ve çamur oluşumu üzerine etkisini ve kimyasal ilavesiyle çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesini üç farklı kağıt endüstrisinin atıksuyunu kullanarak pilot ölçekli tesiste çalışmışlardır. 0,5 m^3'lük iki adet biyoreaktör ve 1,5 m^3'lük son çökeltmeden oluşan pilot tesiste biyoreaktörler % 70 oranında kaldnes ile doldurulmuştur. pH değeri asit veya baz ilavesiyle sürekli olarak 7'ye ayarlanmış, azot ve fosforca fakir olan kağıt endüstrisi atıksuyuna üre ve fosforik asit ilavesi ile nütrient eksikliği giderilmiştir. Hidrolik bekletme süresinin 4-5 saat olduğu durumda toplam KOİ'nin %65- %75'i, toplam BOİ'nin %85- %95 oranında giderildiği görülmüştür. Hidrolik alıkonma süresi arttırılarak KOİ giderimi %80, BOİ giderimi de %96 arttırılmıştır. Kimyasal çökeltim kullanarak %95 KOİ giderimi elde edilmiştir. Biyolojik olarak arıtılmış atıksuyun çökeltilmesi için gerekli kimyasal doz, arıtılmamış atıksuyun kimyasal arıtımı için gerekli olan kimyasal dozun sadece 1/4 ile 1/3 dür.

Jahren ve ark. (2002) pilot ölçekli reaktörde gerçekleştirilen çalışmada reaktör %58 oranında kaldnes malzeme ile doldurulmuştur. 107 gün işletilen reaktörde termofilik (55 ^{0}C) şartlarda kağıt endüstrisinin beyaz suyu üzerinde arıtma çalışmaları yapılmıştır. 2,5-3,5 kg Çözünmüş KOİ/m^3.gün aralığındaki organik yüklemelerde çözünmüş KOİ gideriminin %60-65 aralığında olduğu gözlenmiştir. Termofilik şartlarda HYBR prosesinin kağıt endüstrisi atıksularında başarılı bir şekilde uygulanabilirliği ifade edilmiştir. Termofilik HYBR prosesinden oluşan çamurların aktif çamur prosesine nazar daha iyi özellikler gösterdiği belirlenmiş ve çamur verimi 0,23 g TUKM/tüketilen çözünmüş KOİ olarak bulunmuştur.

Hansen ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada Polonya'da bulunan Avrupa'nın en büyük kağıt fabrikalarından birisinin atıksu arıtma tesisinin yüzücü sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak iyileştirilmesini çalışmışlardır. Mevcut atıksu arıtma tesisinin

aktif çamur havuzunun yarısı kullanılarak inşa edilen tesiste KOİ giderim verimi %51'den %90'a çıkarılmış ortalama KOİ giderimi %82 olmuştur. Floobed prosesi kullanılarak sistemdeki mikroorganizma oranı arttırılmıştır. Bu şekilde F/M oranı 0,7 kg $BOİ_5$/kgTKM.gün'den 0,18 kg $BOİ_5$/kgTKM.gün'e yaklaşık olarak 4 kat oranında azaltılmıştır.

Dalentoft ve Thulin (1997) kağıt endüstrisi atıksuyunun arıtımında kaldnes sentetik taşıyıcı malzemenin optimum kullanımını araştırmışlardır. Çalışmalarında bir adet pilot tesisten ve iki adet tam ölçekli tesisten elde edilen sonuçlar verilmiştir. İki kademeli kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak inşa edilen tesis ile kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme kullanılan prosesi takiben kullanılan aktif çamur prosesinden oluşan tesis karşılaştırılmıştır. HYBR prosesinin çeşitli işletim problemleri ve farklı yüklemelere karşı daha az hassas olması, çamur geri devrinin olmaması gibi avantajlara sahip olduğu ifade edilmiştir. İki kademeli kaldnes kullanılarak inşa edilen tesisin işletme maliyeti, kaldnes kullanılarak inşa edilmiş tesisi takiben kullanılan aktif çamur proesinin işletme maliyetinden % 30 daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Rusten ve ark. (1992) süt endüstrisi atıksularının arıtılması ile ilgili yaptığı çalışmada iki adet biyoreaktör ve son çökeltimden oluşan pilot ölçekli tesisi kullanmıştır. Süt endüstrisi atıksuyunun karakterizasyonunda çok fazla değişim olduğu için haftalık kompozit atıksu ile çalışılmıştır. Biyoreaktörlerde toplam hidrolik alıkonma süresi 3,5 - 11,2 saat arasındadır. 500 g KOİ/m^3.saat'e kadar olan organik yüklemelerde %85'in üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. 900 gKOİ/m^3.saat hacimsel organik yüklemede %60'lık verim elde edilmiştir. Gıda endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında oldukça kısa bir süre olarak kabul edilen 7 saat hidrolik alıkonma süresinde %85'lik giderim verimi elde edilmiştir. Biyoreaktörden aldıkları plastik elementler üzerinde mikroskopla yaptıkları gözlem sonucunda sadece (korunmuş) iç yüzey alanında biyofilme rastlanmıştır. Dış yüzeyde biyofilme rastlanmamıştır. Toplam katı madde konsantrasyonu 1. reaktörde 3,72 kg TKM /m^3, 2. reaktörde 4,22 kg TKM /m^3 olarak ölçülmüştür.

Andreottola ve ark. (2002) pilot ölçekli çalışmalarında süt endüstrisi atıksularının arıtımını HYBR prosesi kullanarak çalışmışlardır. Kullanılan sentetik taşıyıcı malzeme kaldnes'dan daha düşük yüklemelere izin veren, daha ucuz

FLOCOR-RPM'dir. 8,1 g KOİ/m^2.gün ile 52,7 g KOİ/m^2gün arasında yüzeysel yüklemeler uygulanmış, hidrolik alıkonma süresi 11,5 - 31 saat arasında değişmiş, KOİ giderimi %80,5-97,3 arasında gözlenmiştir. TKM konsantrasyonu ilk üç hafta sonunda 0,9 kgTKM/m^3 olarak gözlenirken, iki ay sonunda 5 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. 8 aylık deneysel çalışmada maksimum TKM konsantrasyonu 6 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. TUKM/TKM oranı %70 - 85 aralığında değişirken ortalama %78'dir. Azot giderim verimi nitrifikasyonu gerçekleştirecek bakterilerin sentezinden dolayı % 13,3 - % 96,2 gibi geniş bir aralıkta olmuştur.

Rusten ve ark. (1996) havalandırmalı dengeleme havuzu, iki kademeli damlatmalı filtre, çıkış fosfor konsantrasyonunu sağlamak üzere sonradan inşa edilen kimyasal arıtım ünitesi, son çökeltme tankı ve çamur depolama ünitelerinden oluşan tesisin iyileştirilmesini çalışmıştır. Peynir fabrikası atıksularının arıtımında tesis performansının biyolojik-kimyasal arıtım metodu kullanılarak arttırılabilirliği ifade edilmiştir. Mevcut kimyasal arıtım ve çökeltme havuzunda değişiklik yapmadan damlatmalı filtreler yerine iki kademeli HYBR prosesi ve ilave çökeltme havuzu inşasıyla tesiste iyileştirme yapılmıştır. Havalandırılmış dengeleme tankında (çözünmüş oksijen 2,5-5,5 mg/L) biyolojik olarak kolay parçalanabilen organik maddelerin yani toplam KOİ'nin % 30'unun giderildiği görülmüştür. Bütün biyolojik sistemlerde büyüme için nütrient gereklidir. Atıksuda fosfor mevcut olduğundan azot sınırlayıcıdır. HYBR 1'de biyolojik aktivite azot eksikliğinden dolayı sınırlanabilir. Ancak HYBR 2 de HYBR 1 den gelen fazla biyokütlenin hidrolizi gerçekleştiğinden dolayı toplam inorganik azot miktarında artış olur. Bu yüzden azot tesisin toplam arıtım performansını azaltmamaktadır. Eski tesis ortalama 250 kg KOİ/gün organik yüklemede ortalama %88 KOİ ve %95 fosfor giderimi ile çalışırken, yapılan değişikliklerle ortalama 347 kg KOİ / gün organik yüklemede ortalama %98 KOİ ve forfor giderimi ile çalışır hale gelmiştir. Kimyasal arıtımda ortalama 2 mol Al^{+3}/mol P kullanılmış, çıkış ortalama P değeri 0,36 mg/L olmuştur.

Rusten ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada kimyasal tesis atıksularının arıtımı için iki adet paralel pilot ölçekli HYBR prosesini orta ve yüksek organik yüklemelerde çalıştırmıştır. Pilot ölçekli tesis 53 g $BOİ_5$/m^2.gün'e kadar organik yüklerde çalıştırılmıştır. 25 g toplamBOİ/m^2gün'den fazla organik yüklemelerde BOİ'nin kolay parçalanabilen kısmı giderilmiştir. % 60-80 arasında BOİ giderimi

gözlenmiştir. 10-20 g toplamBOİ/m^2gün organik yüklemelerinde %95'ten daha fazla BOİ verimi elde edilmiştir.

Biyolojik ve kimyasal arıtımın bir arada kullanıldığı tesislerde HYBR ile yapılan iyileştirme çalışmaları başarılı sonuçlar vermiştir.

Ødegaard (2000) evsel atıksularda kirleticilerin büyük bir bölümünün kolloidal ve partiküler maddelerden ileri geldiğini bu amaçla kimyasal arıtım ile birlikte biyolojik arıtımın birlikte kullanılabilirliğini araştırmıştır. Sadece BOİ giderimi amaçlanıyorsa, yüksek hızlı HYBR prosesini takiben koagülasyon kademesinde katyonik polimer kullanılması durumunda maliyet açısından çok ekonomik sonuçlar verdiği bulunmuştur. Eğer nitrifikasyon hedefleniyorsa, kimyasal arıtımı takiben HYBR prosesi kullanılması alan bakımından önemli tasarruf sağlayacağı belirtilmektedir.

Ødegaard ve ark. (1993) yaptıkları çalışmada Norveç'te inşa edilmiş biyolojik ve kimyasal arıtımdan oluşan bir atıksu arıtma tesisinde HYBR ile yapılan iyileştirmenin sonuçlarını araştırmak üzere 6 hafta mevcut atıksu arıtma tesisinden numune alarak analiz yapmışlardır. Ortalama KOİ giderim verimi %92,8, ortalama azot giderimi %31,9, kimyasal arıtımın etkisiyle ortalama fosfor giderim verimi %96,7'dir. Yapılan çalışmada küçük atıksu arıtma tesisleri için HYBR proseslerinin uygun çözüm olduğu vurgulanmıştır.

Rusten ve arkadaşları (1997) yaptıkları çalışmada üç tane tam ölçekli tesiste HYBR ile yapılan iyileşmelerin yanında iki tane yeni tesisin performanslarını araştırmıştır. İyileştirme yapılan üç tesiste $BOİ_7$ giderim verimi %93,9'in üzerindedir. Fosfor giderimi için kimyasal arıtım kullanılmıştır. Tüm tesislerde %97'den fazla fosfor giderimi elde edilmiştir. Yeni inşa edilen tesislerden Steinsholt atıksu arıtma tesisinde 13 mg/L çıkış AKM konsantrasyonu elde edilmiştir. Eidsfoss atıksu arıtma tesisinde anoksik biyoreaktör ve nitrifiye olmuş atıksu geri devri olmadığı için azot giderim verimi % 20-25 arasında olduğu gözlenmiştir. Steinsholt atıksu arıtma tesisinde aerobik tankta nitrifiye olmuş atıksu anoksik tanka geri devrettilmiş ve % 40-45 oranında azot giderimi elde edilmiştir. Çamur üretimi 0,55 g TKM/gr tüketilen KOİ olarak ölçülmüştür.

Biyolojik olarak zor parçalanan atıkları, toksik maddeleri içeren atıksuların arıtımında biyofilmin askıda büyüme sistemlerine olan üstünlüğünden dolayı HYBR prosesi başarılı bir şekilde kullanılabilmektedir.

Ji ve arkadaşları (2001) yaptıkları çalışmada biyolojik olarak zor parçalanabilen nişasta, selüloz ve polivinil alkol (PVA) içeren sentetik atıksuların TUASB ve HYBR'den oluşan kombine pilot ölçekli tesiste arıtılabilirliğini incelemişlerdir. Sentetik atıksuyun sadece nişastadan oluşturulduğu ilk deney setinde 4000 mg/L KOİ içeren atıksu ile yapılan beslemede %60 KOİ giderimi olduğu görülmüştür. Bu KOİ'nin %28'ini TUASB %32'sini HYBR gidermiştir. Sentetik atıksuyun sadece selülozdan oluştuğu ikinci deney setinde 4000- 6000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuda %94-98 KOİ giderimi olduğu görülmüştür. KOİ gideriminin %90'dan fazlası TUASB'de giderilmiştir. Atıksuyun sadece PVA'dan hazırlandığı üçüncü deney setinde 2000-4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan çalışmada ilk iki deney setine nazaran çok düşük KOİ giderimi görülmüştür. TUASB'de hiç verim gözlenmezken, HYBR'de maksimum %7,7 KOİ giderimi gözlenmiştir. Ayrıca, toplam KOİ'nin değişik yüzdeleri nişasta, selüloz ve PVA'dan oluşturulan sentetik atıksular ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonuç olarak, HYBR prosesinin biyolojik olarak zor parçalanabilen KOİ'nin gideriminde başarı ile kullanılabildiği görülmüştür.

Borghei ve Hosseini (2002) toksik etkisi olan fenol ve fenol bileşiklerinin biyolojik olarak parçalanabilirliğinin araştırıldığı çalışmada fenolden kaynaklanan KOİ ile melastan kaynaklanan KOİ oranı değiştirilerek melas, mikronürientler ve fenolün faklı formları ile hazırlanmış sentetik atıksu 22 litre hacminde HYBR'ye beslenmiştir. 8 saatten 24 saate kadar 5 farklı hidrolik bekletme süresinde yapılan analizlerde KOİ giderim verimi hidrolik bekletme süresinin azalmasına bağlı olarak %96'dan %87'ye düşmüştür. Bütün hidrolik bekletme sürelerinde fenolden kaynaklanan KOİ 480 mg/L'ye kadar arttırıldığında toplam KOİ giderim verimi maksimum olmuştur. Bunun yanında 12 saatlik hidrolik bekletme süresinde işletilirken yapılan toksik ve hidrolik şok yüklemelerde 24 saat sonra kararlı konuma geldiği görülmüş ve HYBR prosesinin toksik ve hidrolik şok yüklemelere karşı dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca flamentli bakterilerin biofilmde olduğu,

karışık sıvıda bulunmadığı mikroskobik deneylerle gözlenmiş ve buna dayanarak çamur problemlerine rastlanmayacağı ifade edilmiştir.

Perron ve Welander (2004) farklı hidrolik bekletme sürelerinde, farklı sıcaklıklarda fenol ve krezol içeren sentetik atıksuyu pilot ölçekli tesis ve kontrol reaktörüne beslemişlerdir. Elde edilen sonuçlardan mantar ve bakterilerin ayrı ayrı reaktörlerde kullanıldığı iki kademeli aerobik prosesin fenol ve krezol içeren atıksuların arıtımında başarı ile kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Welander ve ark. (1997) evsel katı atık deponi sahası sızıntı sularının nitrifikasyonununda üç pilot ölçekli tesiste üç farklı sentetik taşıyıcı malzeme kullanarak düşük sıcaklık ve hidrolik alıkonma süresinin etkisini 5 ay boyunca araştırmıştır. 5 ay sonunda sentetik taşıyıcı malzeme üzerinde çıplak gözle zor görülebilen çok ince bir biyofilm tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Hidrolik alıkonma süreleri gün mertebesindedir. Nitrifikasyon 1 aylık başlangıç peryodundan sonra kararlı hale gelmiştir. Nitrifikasyonunun sıcaklıkla çok az ilgili olduğu 5 ^{0}C'de elde edilen nitrifikasyon oranının 20 ^{0}C'de elde edilenin %77'si olduğundan görülmüştür. Ayrıca hidrolik bekletme süresindeki artışın nitrifikasyon oranını olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

Rostron ve ark. (2001) 500 mg/L NH_4-N amonyak içeren atıksuyun farklı sıcaklık ve KOİ yüklemelerinde nitrifikasyon oranlarını farklı sentetik taşıyıcı malzeme kullanarak araştırmıştır. Nitrifikasyon oranları %25 doluluk oranında hacimsel olarak PVA için, 0,70 kg N/m^3.gün, kaldnes için 0,53 kg N/m^3.gün, linpor için 0,57 kg N/m^3.gün'dür. Yüzeysel nitrifikasyon oranları ise linpor için 2,28 g N/m^{2}gün, kaldnes için 4,24 g N/m^{2}gün, PVA için 3,97 g N/m^{2}gün olarak belirlenmiştir.

Sentetik taşıyıcı malzemeler biyoreaktörlerde filtre malzemesi olarak da kullanılabilmektedir. Hamoda ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada farklı organik ve hidrolik yüklemelerde karbon, azot ve fosfor giderimini incelemişlerdir. Debiye bağlı olarak; 2, 4, 6, 8 saat hidrolik alıkonma sürelerinde çalıştırılan pilot ölçekli tesiste 2,3-86,8 g BOİ/m^{2}gün arasında değişen organik yüklemeler yapılmıştır. % 90'nın üzerinde BOİ gideriminin gözlendiği tesiste azot giderimi artan hidrolik alıkonma süreleri ile artmıştır.

Liao ve ark. (2002a) yaptıkları çalışmada küçük yerleşim birimleri için toplam hidrolik alıkonma süresi 1-2 saat olan kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak inşa edilmiş birincil filtre, yüksek hızlı HYBR prosesi ve KFS'den (Kaldnes Filtralite Sand) oluşan pilot ölçekli sistem tasarlamışlardır. HYBR prosesinde Norveç'te bulunan bir atıksu arıtma tesisinin kum tutucusunı çıkışından alınan atıksu kullanılmıştır. Birincil filtrede 10-20 m/saat filtrasyon hızında kimyasal madde ilavesiz % 70-80 AKM giderimi elde edilmiştir. HYBR kullanılan sentetik taşıyıcının spesifik yüzey alanına bağlı olarak 0,5 saat ile 1 saat arasında çalıştırılmıştır. HYBR'de nitrifiye olmuş nitratça zengin atıksu birincil filtreye geri devrettirilerek ham atıksudaki organik maddenin kullanılması ile kısmi denitrifikasyona uğratılmış ve uygun dozda metal tuzu uygulanarak fosfor giderimi sağlanmıştır. Bu kombinasyon ile düşük dozda kimyasal kullanımı ile çıkış AKM konsantrasyonu 20 mg/L'den az, çıkış KOİ konsantrasyonu 80 mg/L'den az olarak elde edilmiştir.

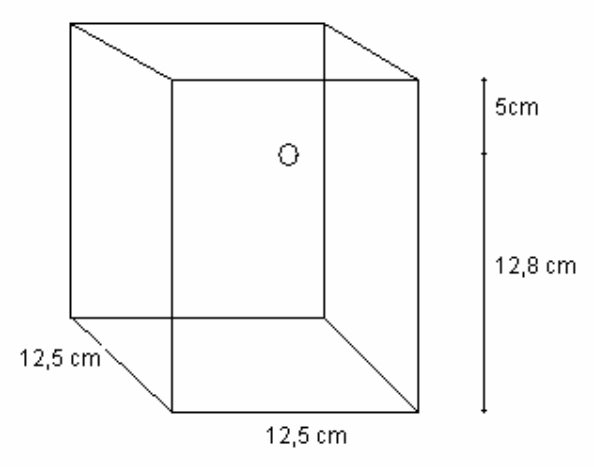
Liao ver ark. (2002b) yaptıkları pilot ölçekli çalışmada filtre malzemesi olarak HYBR proseslerinde kullanılan kaldnes sentetik taşıyıcı malzemeyi kullanmışlardır. İki farklı boyutta kullanılan malzeme ile yapılan deneyler sonucunda, ikisinin beraber kullanıldığı (dual media) durumda en iyi performans elde edilmiştir. Proses 10, 20, 30 m/sa filtre hızlarında yukarı akışlı olarak işletilmiştir. Uygun polimer dozu ve filtre hızında % 90'ın üzerinde AKM giderimi olduğu görülmektedir.

HYBR prosesleri için geliştirilmiş simülasyon programları ile en uygun çözümün bulunması amaçlanmıştır. Suzuki ve ark. (1999) sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak geliştirilmiş akışkan yataklı biyofilm prosesi ile mevcut atıksu arıtma tesislerinde ilave yapılmaksızın azot ve fosfor giderimine yönelik simülasyon modeli geliştirmiştir.

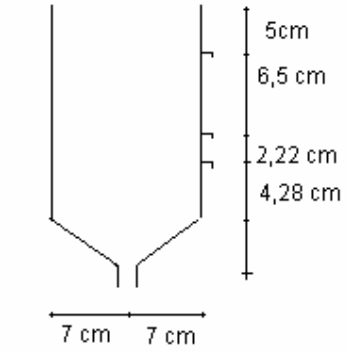
3. MATERYAL ve METOT

3.1. Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılan sistem, kullanılabilir hacmi 2 L olan HYBR reaktörü ve değişen hidrolik bekleme sürelerinde 4 saatlik hidrolik alıkonmayı sağlayacak şekilde çıkış vanaları konulmuş son çökeltme tankından oluşmaktadır. Kullanılan HYBR reaktörünün ve son çökeltme havuzunun boyutları şekil 3.1.ve şekil 3.2'de verilmiştir. Havalandırma tankına % 50 doluluk oranı sağlanacak şekilde 1018 adet Kaldnes K1 sentetik taşıyıcı malzeme ilave edilmiştir. Biyolojik aktivitenin oluşması, karışımın sağlanması amacıyla değişen organik yüklemelerde artan oksijen ihtiyacına bağlı olarak sisteme 0,5 - 2,3 mL/dakika oksijen ayarlanabilir hava pompası ile verilmiştir.



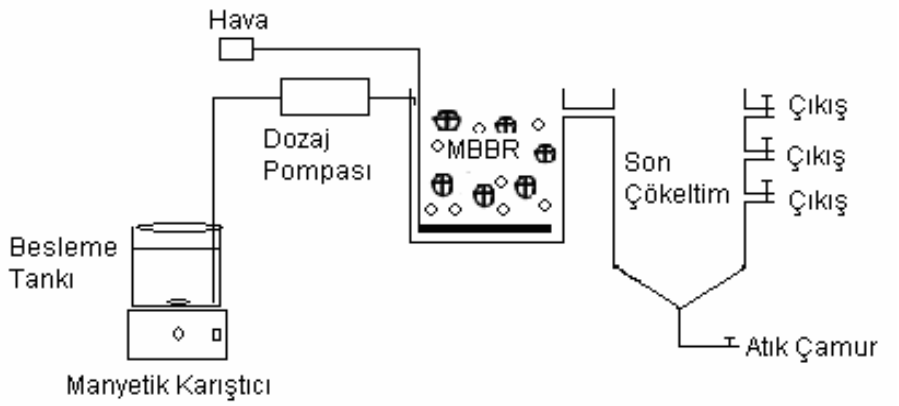
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan HYBR reaktörünün boyutları



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan son çökeltme havuzunun boyutları

Çalışmada deney setine bağlı olarak değişik KOİ konsantrasyonlarında sentetik atıksu hazırlanmıştır. Hazırlanan sentetik atıksuyun homojen özellik göstermesi ve çökelmelerin önlenmesi amacıyla sürekli olarak manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

Atıksu dozaj pompası ile HYBR reaktöre verilmiştir. HYBR reaktörde çalışma setinde gerekli bekleme süresi sağlandıktan sonra atıksu boru ile son çökeltime verilmiştir. Son çökeltim tankında katı sıvı faz ayrımının gerçekleştirilebilmesi için 4 saatlik bekleme süresi esas alınmış olup çamur geri devri yapılmamıştır. Deneylerde kullanılan HYBR prosesinin şematik gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan HYBR prosesinin şematik gösterimi

3.2. Kaldnes Sentetik Taşıyıcı Malzemenin Özellikleri

Çalışmada sentetik taşıyıcı malzeme olarak kullanılan Kaldnes K1 Norveç firması olan ve bu teknolojinin patent sahibi Anoxkaldnes firmasından temin edilmiştir. Kullanılan sentetik taşıyıcı malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Kaldnes K1 sentetik taşıyıcı malzemenin teknik özellikleri

Yoğunluk	950 kg/m^3
Korunmuş Yüzey Alanı	500 m^2/m^3
Toplam Yüzey Alanı	800 m^2/m^3
Boyutlar	H = 7 mm, D = 9 mm

Çalışmada kullanılan K1 sentetik taşıyıcı malzemesi biyofilm büyümesi ile şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan K1 sentetik taşıyıcı malzeme

3.3. Atıksu Özellikleri

Çalışma sentetik atıksu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sentetik atıksu için birçok çalışmada çeşitli belişimler verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan sentetik atıksu bileşimi Uygur ve Kargı (2003 ve 2004)'nın çalışmasında kullandıkları sentetik atıksu ile benzerlik göstermekte olup 1 L'lik hazırlanan sentetik atıksu içindeki kimyasal maddeler ve 500 mg/L KOİ için kullanılan kimyasal madde dozları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 500 mg/L KOİ içeren 1 L sentetik atıksuyun bileşenleri ve kimyasal madde dozları

Kullanılan kimyasal	**Kullanılan miktar (mg)**
Glikoz	258
Sodyum Asetat	471
NH_4CI	95,5
KH_2PO_4	22
$NaHCO_3$	295
$MgSO_4.7H_2O$	100
$CaCI_2.2H_2O$	50
$FeCI_3.6H_2O$	50

Sentetik atıksu deneysel çalışma boyunca günlük olarak hazırlanmıştır. KOİ'si 500 mg/L olan sentetik atıksuyun pH değeri 7 olarak ölçülmüş ve kullanılan kimyasal madde dozlarından stokiyometrik hesaplamalarla NH_4-N = 25 mg/L, PO_4-P = 5 mg/L, Alkanite = 345 mg/L $CaCO_3$ olarak hesaplanmıştır. KOİ / NH_4-N / PO_4-P oranı 100 / 5 / 1 olarak bulunmuştur.

Deneysel çalışma boyunca hidrolik ve organik yüklemelerde farklı sentetik atıksu hazırlama yöntemleri kullanılmıştır. Aşağıda açıklanan bu yöntemlerle hesaplanan kimyasal madde miktarları bulunmuş ve tartılarak saf suda çözdürülmüştür.

Çalışmanın 1. aşamasında 4-8-12 saat hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR reaktörü çalıştırılmıştır. Bu hidrolik yüklemelerde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu kullanılmıştır. Farklı hidrolik bekleme sürelerinde hesaplanan atıksu miktarları için Çizelge 3.2'de 1 litre başına verilen kimyasal dozlar uygun değerle çarpılarak deneysel çalışma için gerekli kimyasal madde miktarları bulunmuştur.

Organik yüklemeler, 8 saat hidrolik alıkonma süresinde 6 L sentetik atıksu kullanılarak 500 mg/L KOİ'nin katları ile yapılmıştır. Çizelge 3.2'de litre başına verilen kimyasal madde dozlarından KOİ, NH_4-N ve PO_4-P kaynakları olan Glikoz, Sodyum Asetat, Amonyum Klorür ve Potasyumdihidrofosfat 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu hazırlanması için 6, 1000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu hazırlanması için 12, 2000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu hazırlanması için 24, 4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu hazırlanması için 48, 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu hazırlanması için 96 katsayısı ile çarpılmıştır. Diğer kimyasallar tüm kimyasal madde dozları tüm organik yüklemelerde 6 katsayısı ile çarpılmıştır. Elde edilen kimyasal madde dozları tartılarak musluk suyunda çözdürülerek sentetik atıksu elde edilmiştir.

3.4. Mikroorganizma

Çalışmada kullanılan aşı mikroorganizma, Konya Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisindeki Havalandırma Ünitesinden alınmış laboratuar şartlarına adapte edilerek kullanılmıştır.

3.5. Laboratuar Çalışmaları

3.5.1. HYBR adaptasyonu

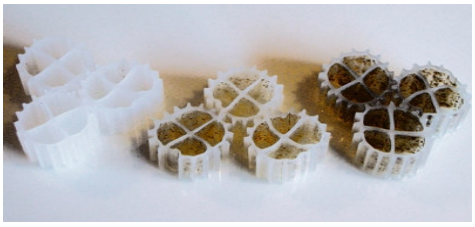
16.01.2005 tarihinde Konya Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisindeki havalandırma ünitesinden alınan 2 L karışık sıvı laboratuar ortamında HYBR reaktöre boşaltılmıştır. 1,5 ay süreyle kesikli olarak çalıştırılmıştır. Tabanda 400 ml çamur bırakılmıştır. İlk iki hafta çamurun adaptasyonu için çalıştırılmıştır. 1018 adet sentetik taşıyıcı malzeme (Kaldnes) HYBR'ye ilave edilmiştir. Sonraki 4 hafta malzeme üzerinde biyokütle oluşmasını sağlamak üzere çalıştırılmıştır. Şekil 3.5'te çamur adaptasyonundan sonra sentetik taşıyıcı malzemenin ilave edildiği ilk gün görülmektedir.



Şekil 3.5. Sentetik taşıyıcı malzemenin HYBR'ye ilave edildiği ilk gün

Sistem sürekli olarak 500 mg/L KOİ organik yükleme ile beslenmiştir. Sisteme yeterli karışımın sağlanması ve çözünmüş oksijenin 2 mg/L'nin üzerinde olması için 0,5 mL/dakika hava verilmiştir. Karışım için ilave ekipman kullanılmamıştır.

Bu süreç boyunca pH, sıcaklık, TKM, TUKM ve Çözünmüş oksijen değerleri sürekli olarak takip edilmiştir. Bu kontrol sırasında pH değeri 6,80-7,88 , sıcaklık değeri 19,2-22,4 ^{0}C, çözünmüş oksijen değeri 2,80-3,20 mg/L aralığında değişirken, AKM ve UAKM miktarlarında sürekli olarak artış gözlenmiştir. Şekil 3.6'da sentetik taşıyıcı malzeme üzerinde zamana bağlı olarak artan biyokütle miktarı görülmektedir.



Şekil 3.6. Sentetik taşıyıcı malzeme üzeride biyokütle gelişimi

3.5.2. Analiz Yöntemleri

Deneysel çalışma boyunca KOİ, AKM, UAKM, sıcaklık, pH, NH_4-N, NO_3-N analizleri yapılmıştır. Bunlardan pH, Sıcaklık ve Çözünmüş oksijen ölçümleri WTW marka Multiparameter 340i cihazı ile yapılmıştır. NH_4-N ve NO_3-N ölçümleri Thermo marka Orion 710A cihazı ile yapılmıştır. KOİ, TKM, TUKM analizleri Standart Metotlarda (APHA,2005) ifade edilen yöntemlere göre yapılmıştır.

3.5.2.1. KOİ analizi

KOİ analizleri Standart Metotlardaki (APHA, 2005) 5220.C'de belirtilen Closed Reflux, titrimetrik yönteme göre yapılmıştır.

2,5 mL numune üzerine 1,5 mL standart potasyum dikromat çözeltisi (0,0167 M) ve 3,5 mL sülfürik asit reaktifi eklenmiştir. Bu işlemler şahit içinde tekrarlanmıştır. Bunlar 148 ^{0}C'deki termostatta 2 saat süre ile kaynatılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0,1 M standart demir amonyum sülfat titrantı

(DAS) ile titrasyon yapılmıştır. Öncelikle şahit için sarfiyat "A" okunmuştur. Ardından numune için sarfiyat "B" okunmuştur. Günlük olarak DAS çözeltisinin molaritesi kontrol edilmiştir. Bunun için 2,5 mL saf su 1,5 mL standart potasyum dikromat çözeltisi ve 3,5 mL sülfürik asit reaktifi eklenmiş ve kaynatmadan titrasyon yapılıp, sarfiyat okunmuştur.

DAS Molarite = (1,5 / ml Sarfiyat) x 0,1 ……...……..(3.1)

$$\text{KOİ (mg/L)} = \frac{(A - B) \text{ x } 8000 \text{ x FASMolarite}}{\text{Numune Hacmi (ml)}} \quad \text{…….(3.2)}$$

3.5.2.2. Askıda Katı Madde Tayini

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

Filtre kağıdı (Sartorius marka 0,45 µm por çaplı, selüloz asetat filtre) 103-105 ^{0}C'de etüvde 1 saat kurutulduktan sonra 30 dakika süreyle desikatörde soğutulmuş ve sabit tartıma getirilmiş olan filtre kağıdı tartılmıştır (A).

AKM ve UAKM için HYBR reaktörden 10 adet sentetik taşıyıcı malzeme alınmış, mekanik yöntemlerle üzerinde birikmiş olan biyokütle uzaklaştırılarak saf suya geçirilmiştir. Daha sonra sıvı filtre kağıdından süzülümüştür. Filtre kağıdı 103-105 ^{0}C'de 1 saat süreyle tekrar kurutulmuştur. Desikatörde 30 dakika soğutulmuş sabit tartıma getirildikten sonra tekrar tartılmıştır (B).

AKM (gr/reaktör) = (A-B) x f …..……..……(3.3)

f = faktör (1018/10)

3.5.2.3. Uçucu Askıda Katı Madde

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

Askıda katı madde deneyi yapıldıktan sonra filtre kağıdı sabit tartıma getirilmiş krozenin içine konur ve tartılır (A). 15- 20 dakika 550 C'de fırında tutulduktan sonra sabit tartıma gelmesi için 15 dakika desikatörde tutulup birkez daha tartılır (B).

Uçucu katı maddeler aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

UAKM (gr/reaktör) = (A-B) x f …….(3.4)

f = faktör

3.5.2.4. Çözünmüş oksijen (Ç.O.)

Ölçüm WTW marka Multiparametre 340i cihazı ile yapılmıştır. Cihazın probu karışık sıvı içine daldırılmış, değer sabitlenene kadar beklenmiş ve cihazın ekranında görünen Çözünmüş Oksijen (Ç.O.) değeri okunmuştur. 2 saat aralıklarla ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin ortalaması alınarak bulunan değerler kaydedilmiştir.

3.5.2.5. NO_3-N

Ölçüm Thermo marka Orion 710A cihazı standart ile method 4500-NO_3-D 'ye göre yapılmıştır. Cihaz her kullanımdan önce istenilen ölçüm aralığına göre kalibre edilmiştir. Ekranda görünen değer sabitlendikten sonra kaydedilmiştir.

3.5.2.6. NH_4-N

Ölçüm Thermo marka Orion 710A cihazı ile standart method 4500-NH_4-D 'ye göre yapılmıştır. Cihaz her kullanımdan önce istenilen ölçüm aralığına göre kalibre edilmiştir. Ekranda görünen değer sabitlendikten sonra kaydedilmiştir.

3.5.2.5. pH

Ölçüm WTW marka Multiparametre 340i cihazı ile yapılmıştır. pH metre her hafta başında kalibre edilmiştir. Cihazın probu karışık sıvı içine daldırılmış, değer sabitlenene kadar beklenmiş ve cihazın ekranında görünen pH değeri okunmuştur.

3.5.2.6. Sıcaklık (T)

Ölçüm WTW marka Multiparametre 340i cihazı ile yapılmıştır. Cihazla Çözünmüş Oksijen ve pH ölçümleri yapılırken ekranda görülen sıcaklık değeri kaydedilmiştir.

3.6. Deneysel Çalışmalar

Çalışma iki ana bölümden oluşmaktadır. İlk olarak sabit organik yüklemede değişen hidrolik alıkonma süresinin organik madde giderimi üzerine etkisi, ikinci bölümde ise seçilen hidrolik alıkonma süresinde farklı organik yüklemelerin sistem performansı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Klasik aktif çamur prosesleri 4 - 8 saat hidrolik bekletme sürelerinde çalıştırılmaktadır. Klasik aktif çamur prosesi ile HYBR arasındaki farkı ortaya koymak amacıyla HYBR prosesi sırasıyla 4 saat, 8 saat'lik hidrolik bekletme sürelerinde çalıştırılmıştır. Bu iki deney setinden organik madde giderimi yanında artan hidrolik bekletme süresi ile proseste daha yüksek düzeyde nitrifikasyonun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Daha yüksek hidrolik bekletme süresinin sistem performansı üzerine etkisini incelemek amacıyla HYBR 12 sa'lik hidrolik alıkonma süresinde çalıştırılmıştır. Tüm bu çalışmalar 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmanın ikinci bölümünde, 8 sa'lik hidrolik alıkonma süresinde evsel atıksuyu temsilen seçilen 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. Daha sonra sistemin KOİ giderim performansının artan organik yükler karşısındaki değişimini incelemek amacıyla sırasıyla 1000, 2000, 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksular incelenen organik yükte sistemin davranışını ve genel performansını gösterene kadar devam ettirilerek HYBR prosesine beslenmiştir.

Laboratuar ortamında gerçekleştirilen çalışmada önemli sıcaklık değişimi gözlenmemiştir. Hava miktarı sürekli olarak takip edilmiş ve artan organik yüklemelerde yeterli oksijenin sağlanması amacıyla arttırılmıştır. askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde analizleri ile sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki biyokütle miktarı sürekli olarak takip edilmiştir.

Tüm deneysel çalışma boyunca sistem performansını ölçmek amacıyla çıkış suyunda filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ analizleri ve NO_3, NH_4 ölçümleri yapılmış, sistemden atılan katı madde miktarları hesaplanmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR

4.1. Hidrolik Yüklemeler

4.1.1. 4 Saat hidrolik bekletme süresinde yapılan çalışmalar

HYBR prosesi, 2 aylık adaptasyon sürecinden sonra 16 Mart 2005 ile 10 Haziran 2005 tarihleri arasında 26 gün boyunca 4 saatlik hidrolik alıkonma süresinde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. Bu deney setinde organik yükleme; hacimsel yükleme olarak 3 kg toplam KOİ/m^3.gün, yüzeysel yükleme olarak 12 gr toplam KOİ /m^2.gün'dür.

4 saatlik hidrolik alıkonma süresinde sistem performansını etkileyen sıcaklık, çözünmüş oksijen konsantrasyonu (Ç.O) ve pH 20 gün süresince ölçülmüştür. 18 gün boyunca çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde, filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ analizi, NO_3-N, NH_4-N ölçümleri, havalandırma havuzundan alınan sentetik taşıyıcı malzemeler üzerinde ise AKM, UAKM analizleri yapılmıştır. Sistemden atılan katı madde miktarı için çamur analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.1.'de 4 saatlik hidrolik alıkonma süresinde HYBR prosesi havalandırma havuzunda ölçülen sıcaklık değerleri, istenilen çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ve karışımın sağlanması amacıyla 0,5 mL/dakika debi ile sisteme verilen hava sonucunda 2 saat aralıklarla ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin ortalamaları ve ölçülen pH değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2.'de organik madde gideriminin ölçüsü olarak çökeltme havuzu çıkış KOİ değerleri, filtrelenmiş KOİ ve filtre edilmemiş KOİ olarak giderim verimleri ve çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3'te sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük çamur miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.1. 4 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	**Ort.**
Sıcaklık (^{0}C)	19,2	21,8	19,6	22,1	21,2	22,2	21,8	21,4	22,8	20,8	19,4	22,8	19,6	20,2	22,2	21,8	22,4	22,6	21,2	22,8	**21,3**
Ç.O. (mg/L)	2,97	2,94	3,02	3,02	3,15	2,99	3,03	3,08	3,16	3,10	3,10	3,12	3,13	3,04	3,04	3,04	3,08	3,13	3,08	3,06	**3,06**
pH	7,66	7,71	7,12	7,66	7,58	7,62	7,44	6,95	7,52	7,85	7,64	7,88	7,68	7,64	7,75	7,68	7,72	7,22	7,46	7,66	**7,56**

Çizelge 4.2. 4 saat hidrolik bekletme süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderme verimleri, NO_3-N ve NH_4-N değerleri

Gün		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	**Ort.**
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	19	17	22	17	15	20	14	21	14	15	14	16	15	18	21	16	19	25	**17,7**
	% Verim	96,2	96,6	95,6	96,6	97	96	97,2	95,8	97,2	97	97,2	96,8	97	96,4	95,8	96,8	96,2	95	**96,5**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	30	28	31	26	26	31	29	32	20	22	27	25	26	24	30	20	26	32	**26,9**
	% Verim	94	94,4	93,8	94,8	94,8	93,8	94,2	93,6	96	95,6	94,6	95,0	94,8	95,2	94	96	94,8	93,6	**94,6**
NO_3-N	**(mg/L)**	5,49	6,41	*	6,21	*	6,21	6,28	*	5,96	*	6,05	6,35	5,78	6,28	6,03	6,73	6,21	5,71	**6,12**
NH_4-N	**(mg/L)**	3,29	3,1	2,6	3,05	3,28	3,27	5,09	4,86	2,4	5,19	5,44	4,28	4,78	4,78	3,95	4,94	4,69	5,11	**4,11**

* Kalibrasyon problemi nedeniyle ölçüm alınamamıştır.

Çizelge 4.3. 4 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Ort.
AKM (mg/L)	3810	3080	3130	3710	4810	4320	3410	4310	3020	3570	3640	3740	3490	3610	3550	3440	3670	3730	**3668**
UAKM (mg/L)	2710	2250	2310	2630	3460	3070	2210	2710	2270	2640	2660	2740	2470	2710	2620	2480	2680	2720	**2630**
UAKM/AKM (%)	71,1	73,1	73,8	70,9	71,9	71,1	64,8	62,9	75,2	73,9	73,1	73,3	70,8	75,1	73,8	72,1	73,0	72,9	**71,8**
Atılan Katı Madde Miktarı (g/gün)	1,86	2,10	2,42	1,96	2,32	2,40	2,52	1,82	2,46	2,02	1,98	2,02	2,28	2,34	2,14	1,98	2,14	2,02	**2,15**

Şekil 4.1'de 4 saat hidrolik alıkonma süresinde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile besleme yapılan HYBR prosesindeki sıcaklık değişimleri görülmektedir. Laboratuar ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışma boyunca HYBR prosesinde sıcaklık değişiminin 19,2-22,8 ^{0}C aralığında olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.2'de çalışma boyuca 0,5 mL/dakika sabit havanın verildiği HYBR prosesi havalandırma havuzundaki Ç.O. konsantrasyonunun 2,94-3,16 mg/L aralığındaki değişimi görülmektedir. 20 gün ölçüm alınan HYBR reaktöründeki ortalama Ç.O. konsantrasyonu 3,06 mg/L'dir.

Şekil 4.3'te reaktörde ölçülen pH değerleri görülmektedir. Değişim 6,95-7,88 aralığında gerçekleşmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere HYBR prosesindeki pH ölçümleri optimum organik madde gideriminin ve optimum nitrifikasyonun gerçekleştiği pH aralığındadır. Optimum pH organik madde giderimi için 4,5-9, nitrifikasyon için 6-8 aralığında olmalıdır.

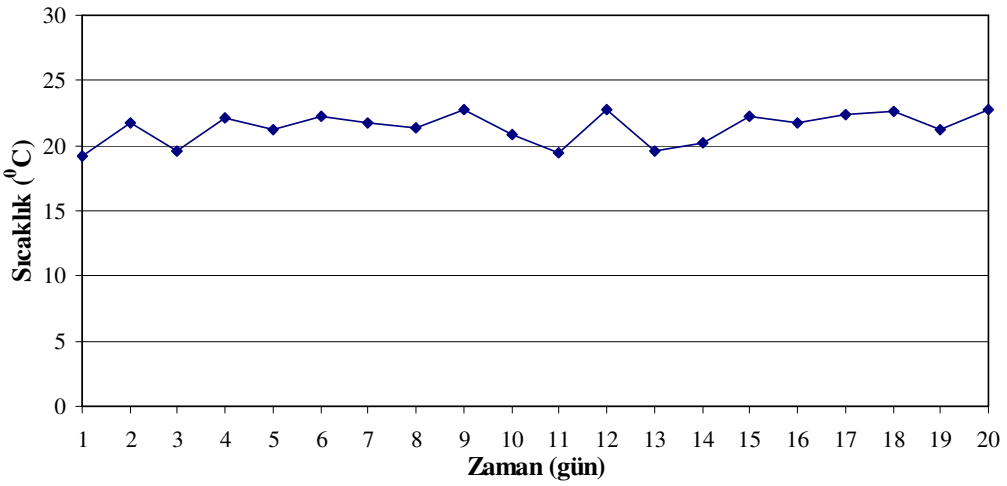
Şekil 4.4'te 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile besleme yapılan HYBR prosesinin çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde ölçülen filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri görülmektedir. Çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 14-25 mg/L arasında değişim gösterirken ortalama çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 17,7 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çıkış filtrelenmemiş KOİ değeri ise 20-32 mg/L arasında değişim göstermiş ortalama çıkış filtrelenmemiş KOİ değeri 26,9 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.5'te organik madde giderimini ifade etmek üzere takip edilen filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri görülmektedir. Çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 95.0-97,2 arasında değişirken çıkış filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri % 93,6-96.0 arasında değişmiştir. Ortalama çıkış KOİ giderim verimleri filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için sırasıyla % 96,5 ve % 94,6 olarak hesaplanmıştır.

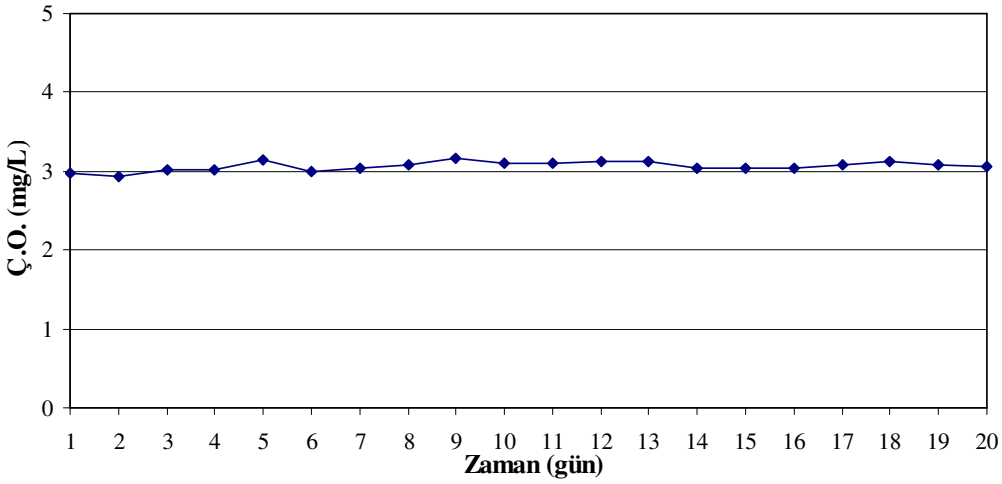
Şekil 4.6'da çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerleri 5,49-6,73 mg/L arasında değişmiştir. Girişte 25 mg/L olan NH_4-N değeri ise çıkışta 2,4- 5,44 mg/L değerleri arasında değişmiştir. Çökeltme havuzu ortalama çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri sırasıyla 6,12 mg/L ve 4,11 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.7'de HYBR reaktöründeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı madde ve uçucu katı madde değişimi görülmektedir. Değişimin AKM için 3020-4810 mg/L, UAKM için ise 2210-3460 mg/L aralığında olduğu görülmüştür. Ortalama değerler AKM ve UAKM için sırasıyla 3668 mg/L ve 2630 mg/L olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8 incelendiğinde ise UAKM / AKM oranının % 62,88-75,07 aralığında olduğu gözlenmiştir.

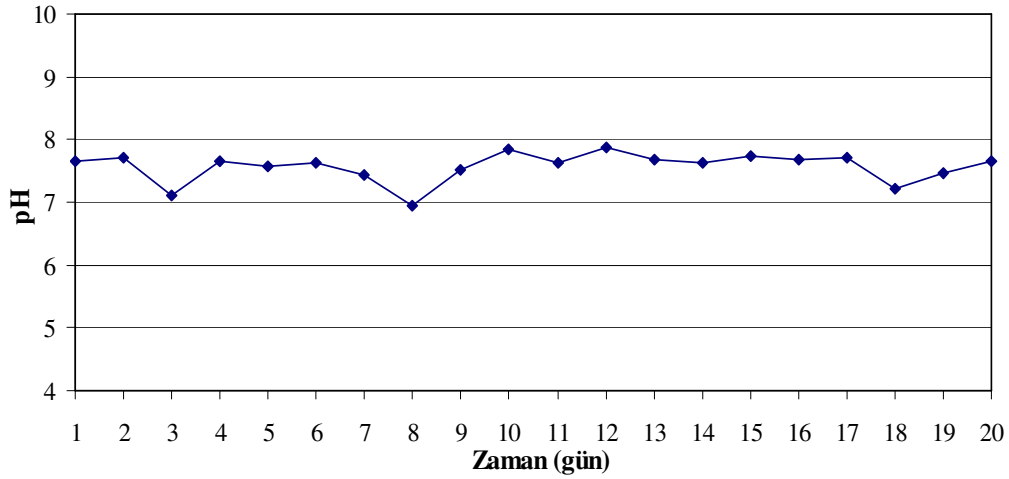
Şekil 4.9'da sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. Değişim 1,86-2,42 g/gün aralığında gerçekleşmiştir. Ortalama günlük atılan katı madde miktarı 2,16 g/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama günlük atılan katı madde miktarına ve ortalama çıkış filtrelenmemiş KOİ değerine göre Y katsayısı 0,38 g AKM/g KOİ olarak hesaplanmıştır.



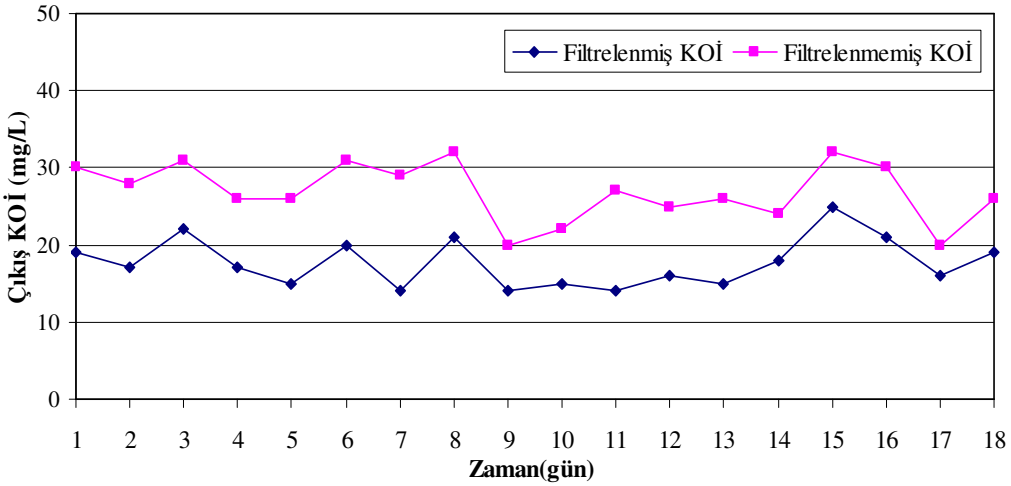
Şekil 4.1. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



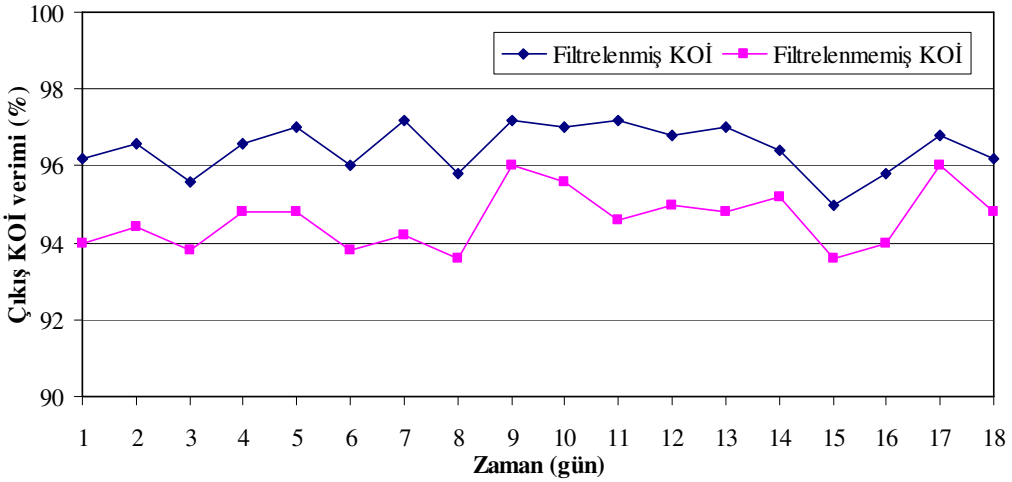
Şekil 4.2. HYBR prosesindeki ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



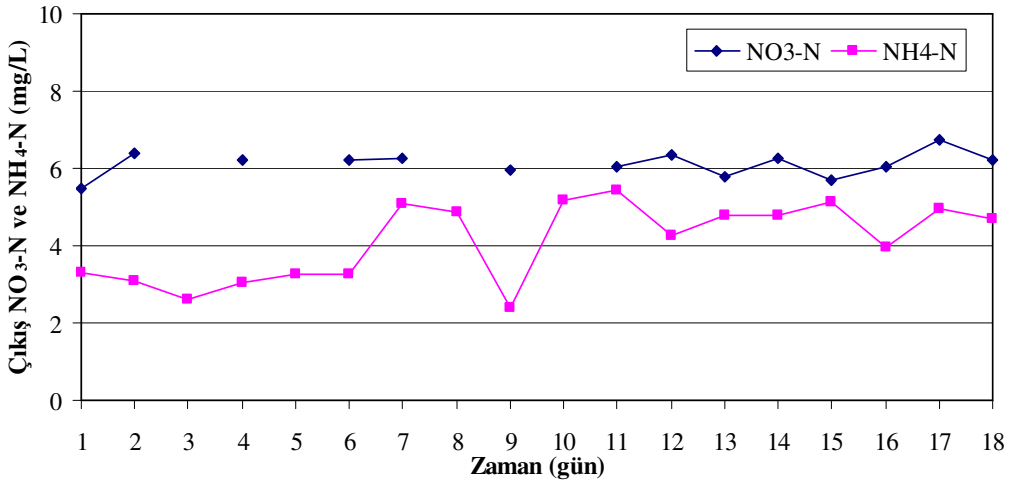
Şekil 4.3. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



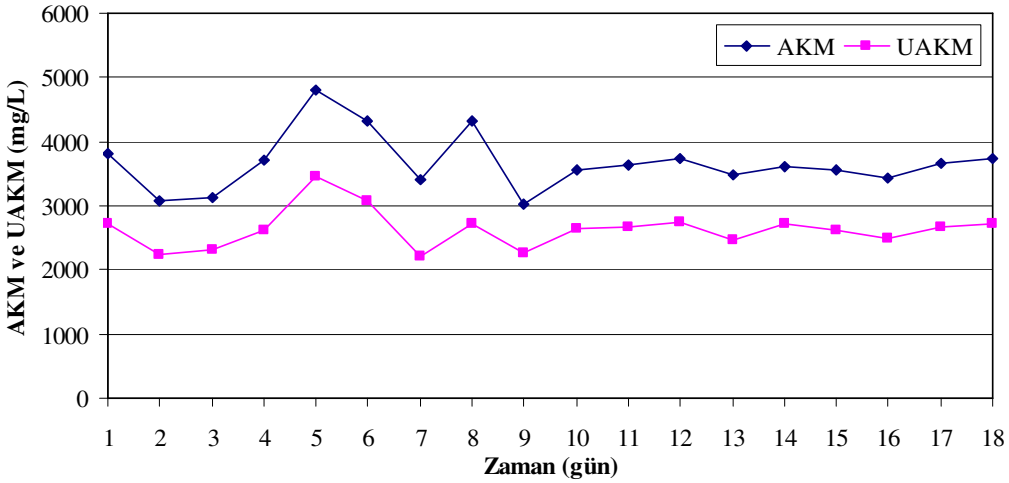
Şekil 4.4. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 4saat, KOİ = 500 mg/L)



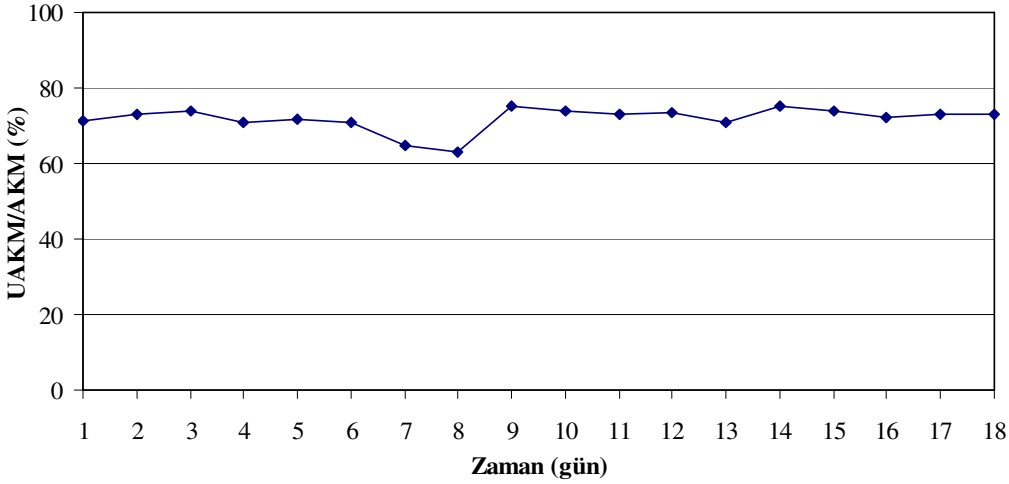
Şekil 4.5. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



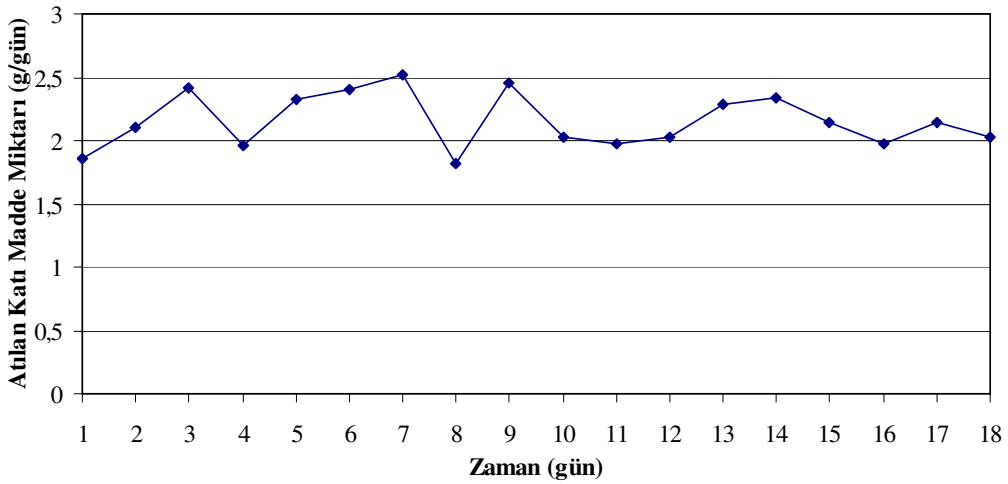
Şekil 4.6. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.7. HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.8. HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.9. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 4 saat, KOİ = 500 mg/L)

4.1.2. 8 saat hidrolik bekletme süresinde yapılan çalışmalar

HYBR prosesi 11 Haziran 2005 ile 15 Temmuz 2005 tarihleri arasında 35 gün boyunca 8 saat hidrolik bekletme süresinde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenerek çalıştırılmıştır. Sistem performansının daha iyi ifade edilebilmesi için 10 gün sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Hidrolik alıkonma süresi iki katına

çıktığı için hacimsel ve yüzeysel organik yüklemeler yarıya düşmüştür. Laboratuar ölçekli tesis 1,5 kg toplam KOİ /m^3.gün hacimsel yükleme, 6 gr toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yükleme ile çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.4'te 8 saatlik hidrolik alıkonma süresi boyunca HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık değerleri, 4 saatlik alıkonma süresinde olduğu gibi 0,5 mL/dakika debi ile sisteme verilen hava sonucunda 2 saat aralıklarla ölçülen ortalama Ç.O. değerleri ve pH değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5'te 8 saat hidrolik bekleme süresinde çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde ölçülen filtrelenmiş KOİ ve filtre edilmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri, NO_3-N ve NH_4-N değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6'te 8 saat hidrolik bekleme süresinde HYBR reaktöründe sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük çamur miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.4. 8 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	**Ort.**
Sıcaklık (^{0}C)	19,8	20,3	18,4	22,6	21,2	19,4	19,6	18,7	20,2	22,4	21,2	20,6	19,4	21,5	20,6	20,4	21,4	22,2	21,1	19,8	**20,5**
Ç.O. (mg/L)	3,03	2,94	3,02	3,12	2,95	2,96	3,00	3,01	3,17	3,03	2,88	3,02	2,97	2,96	2,94	2,94	2,98	2,97	2,98	2,99	**3,00**
pH	7,44	7,64	6,84	7,26	7,48	7,62	7,26	6,96	7,14	7,28	7,42	7,66	7,54	7,38	7,84	7,62	7,18	7,36	7,76	7,88	**7,42**

Çizelge 4.5. 8 saat hidrolik bekletme süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderme verimleri ve NO_3-N ve NH_4-N değerleri

Gün		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	**Ort.**
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	17	18	14	20	12	14	15	15	14	17	18	22	14	11	21	**16,1**
	% Verim	96,6	96,4	97,2	96	97,6	97,2	97	97	97,2	96,6	96,4	95,6	97,2	97,8	95,8	**96,8**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	25	26	22	32	19	19	22	23	22	27	28	30	20	19	34	**24,5**
	% Verim	95	94,8	95,6	93,6	96,2	96,2	95,6	95,4	95,6	94,6	94,4	94	96	96,2	93,2	**95,1**
NO_3-N	**(mg/L)**	10,16	11,29	10,84	12,19	9,03	9,71	10,84	12,19	10,84	10,39	10,84	11,06	11,74	12,19	11,52	**10,98**
NH_4-N	**(mg/L)**	1,89	2,14	2,64	3,79	3,38	2,31	1,81	3,87	5,11	3,13	0,99	1,32	1,98	1,48	1,24	**2,47**

Çizelge 4.6. 8 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Ort.
AKM (mg/L)	3850	3400	3550	3450	3350	3450	3350	3400	3400	3250	3150	3200	3100	3050	3100	**3336**
UAKM (mg/L)	2700	2550	2600	2450	2400	2500	2400	2400	2550	2600	2350	2400	2150	2200	2250	**2433**
UAKM/AKM (%)	70,1	75,0	73,2	71,0	71,6	72,5	71,6	70,6	75,0	80,0	74,6	75,0	69,4	72,1	72,6	**72,9**
Atılan Katı Madde Miktarı (g/gün)	0,44	0,34	0,36	0,38	0,34	0,36	0,32	0,34	0,32	0,40	0,34	0,32	0,32	0,34	0,32	**0,35**

Şekil 4.10'da 8 saat hidrolik alıkonma süresinde HYBR prosesinde 20 günlük sıcaklık değerleri görülmektedir. Laboratuar ortamında gerçekleştirilen deney boyunca sıcaklıkta önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Sıcaklık değişimi 18,7-22,6 ^{0}C aralığında olmuştur.

Şekil 4.11'de çalışma boyuca 0,5 mL/dakika sabit havanın verildiği HYBR havalandırma havuzundaki Ç.O. konsantrasyonunun 2,88-3,17 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmektedir.

Şekil 4.12'de reaktörde ölçülen pH değerleri verilmiştir. Sistemde ölçülen pH optimum organik madde giderimini ve nitrifikasyonu engellememiştir. Değişim 6,84-7,88 aralığındadır.

Şekil 4.13'de 8 saatlik hidrolik alıkonma süresinde 500 mg/L KOİ içen sentetik atıksu ile yapılan beslemeyle çökeltme havuzu çıkışındaki filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değişimi görülmektedir. Çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 11-22 mg/L arasındadır. Ortalama çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 4 saat hidrolik alıkonma süresinden daha düşük olup 16,1 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri ise 19-34 mg/L arasında değişirken ortalama olarak 24,5 mg/L hesaplanmıştır.

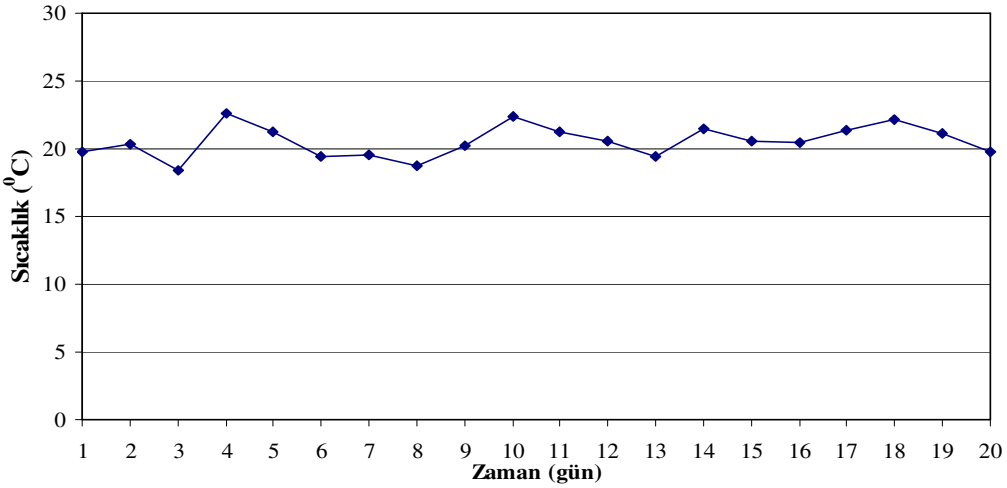
Şekil 4.14'te filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ bazında organik madde giderim verimleri görülmektedir. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 95,8-97,6 arasında değişim göstermiştir. Filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri ise % 93,2-96,2 arasında değişmiştir. Ortalama KOİ giderim verimi filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için sırasıyla %96,8 , %95,1 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.15'te çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. Girişte sıfır "0" olan NO_3-N değeri alıkonma süresinin nitrifikasyon bakterileri üzerine olumlu etkisinden dolayı çıkışta 9,03-12,19 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama NO_3-N değeri 10,98 mg/L olarak hesaplanmıştır. Girişte 25 mg/L olan NH_4-N nitrifikasyona uğrayarak çıkışta 0,99-5,11 mg/L arasında değişim göstermiştir. Ortalama NH_4-N değeri 2,47 mg/L olarak hesaplanmıştır.

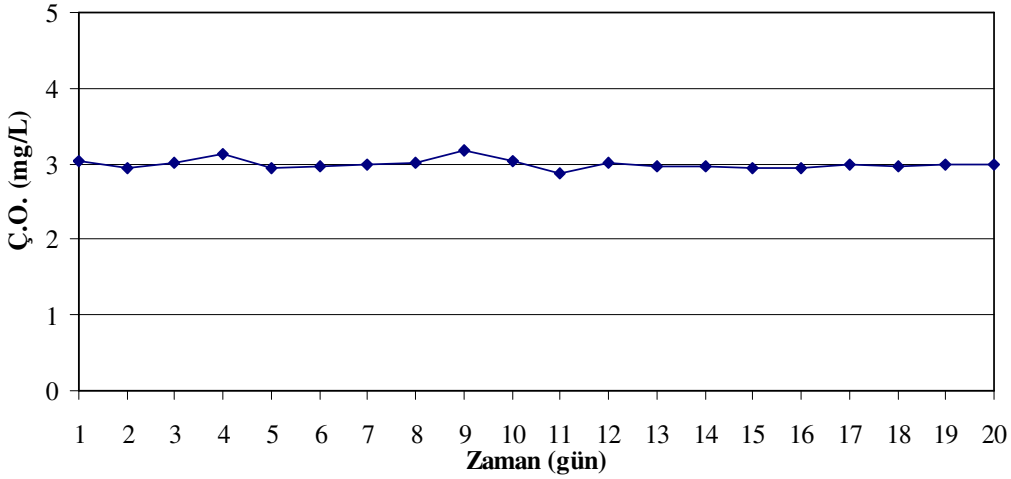
Şekil 4.16'da reaktördeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde değişimi görülmektedir. AKM'nin 3050-3850 mg/L, UAKM'nin ise 2150-2700 mg/L aralığında olduğu görülmüştür. Ortalama

değerler sırasıyla 3336 mg/L, 2433 mg/L olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.17'de UAKM / AKM değişimi % 69,4-80 aralığındadır.

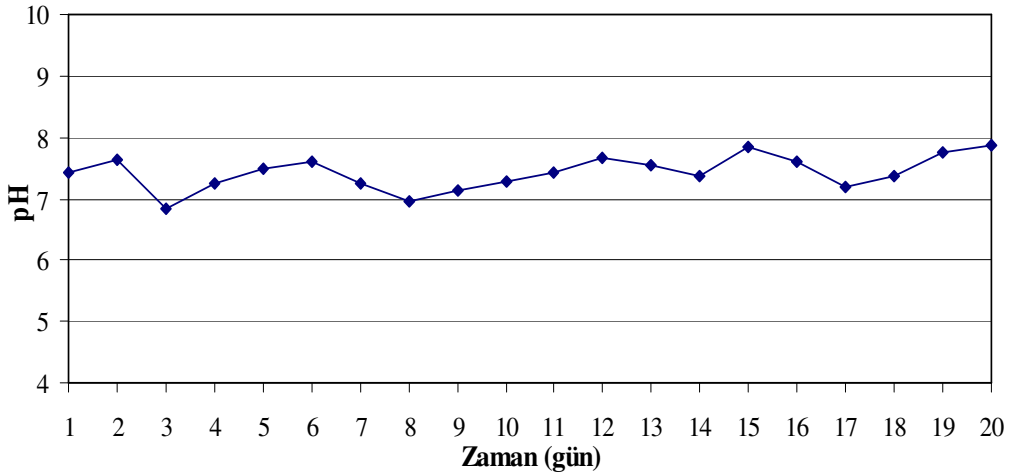
Şekil 4.18'de sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. Değişim 0,32-0,44 g/gün aralığında gerçekleşmiştir. Ortalama günlük atılan katı madde miktarı 0,35 g olarak hesaplanmıştır. Ortalama Y değeri ise 0,12 g AKM / g KOİ olarak bulunmuştur.



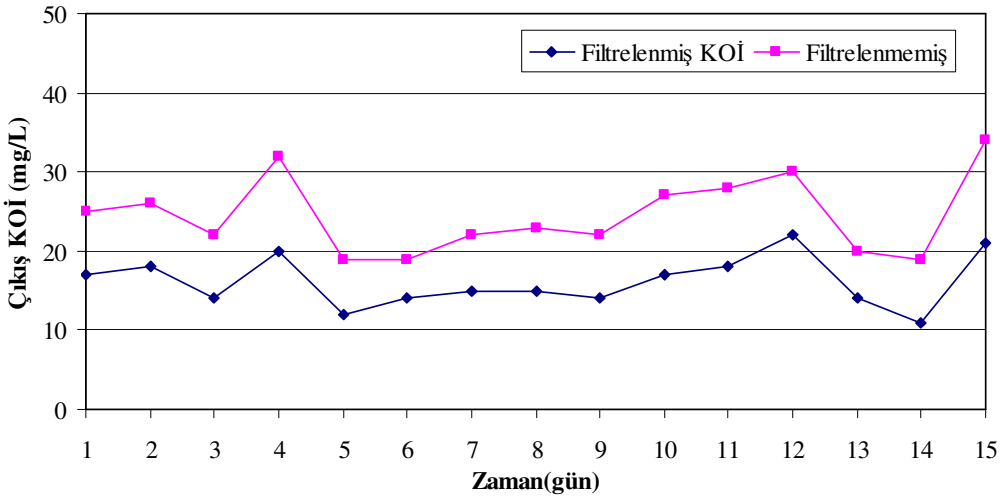
Şekil 4.10. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



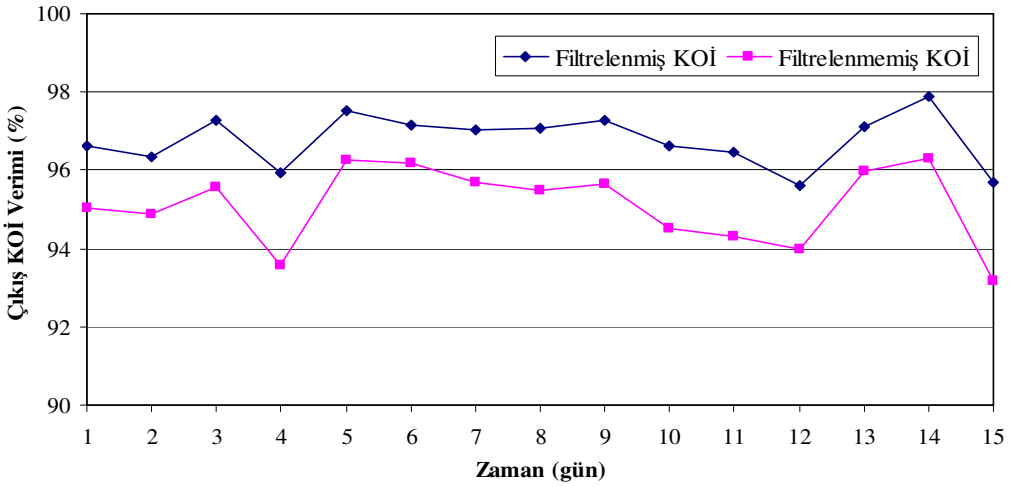
Şekil 4.11. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



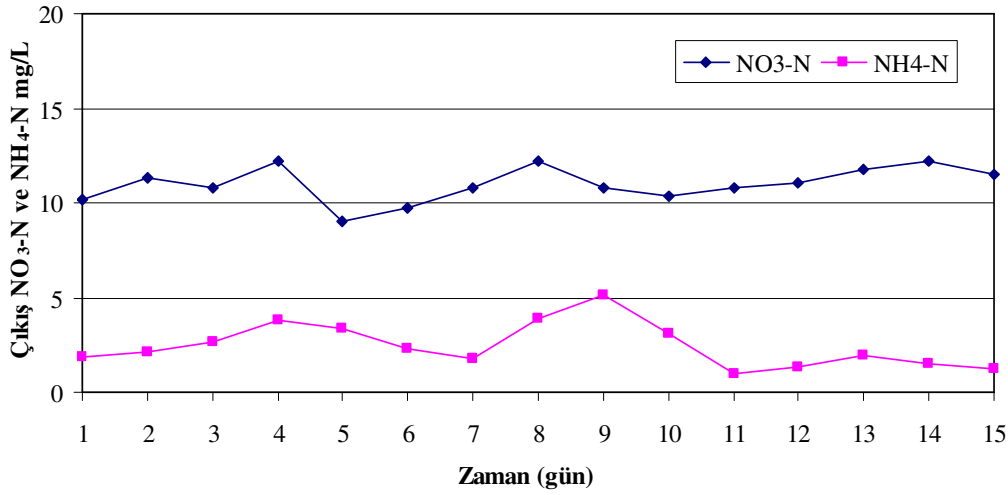
Şekil 4.12. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



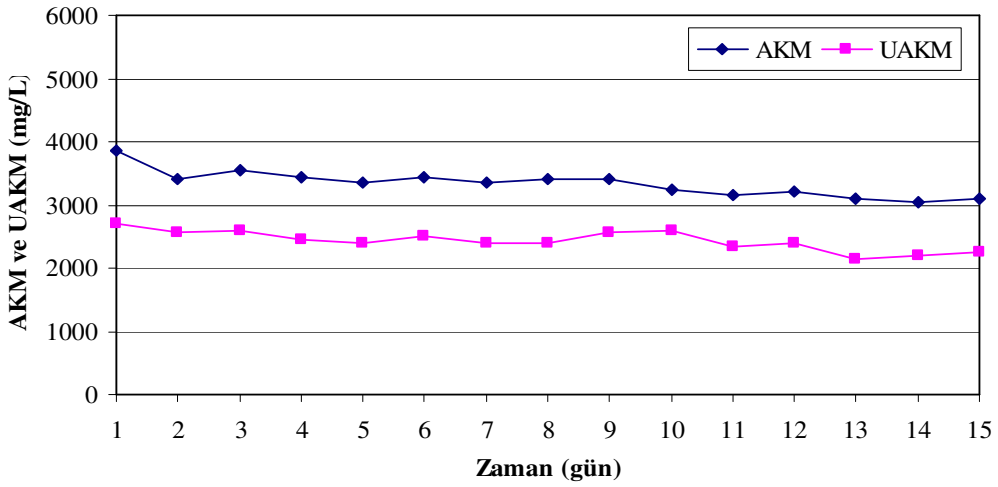
Şekil 4.13. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



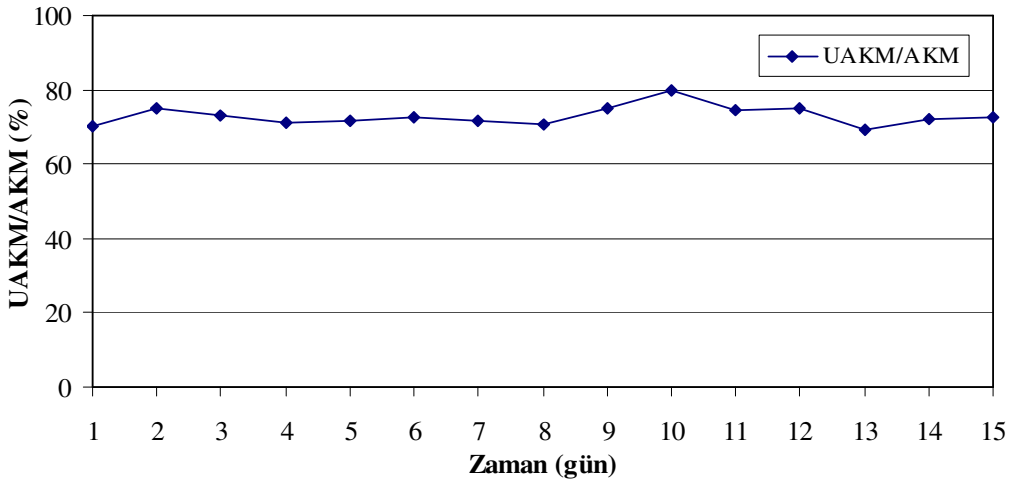
Şekil 4.14. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



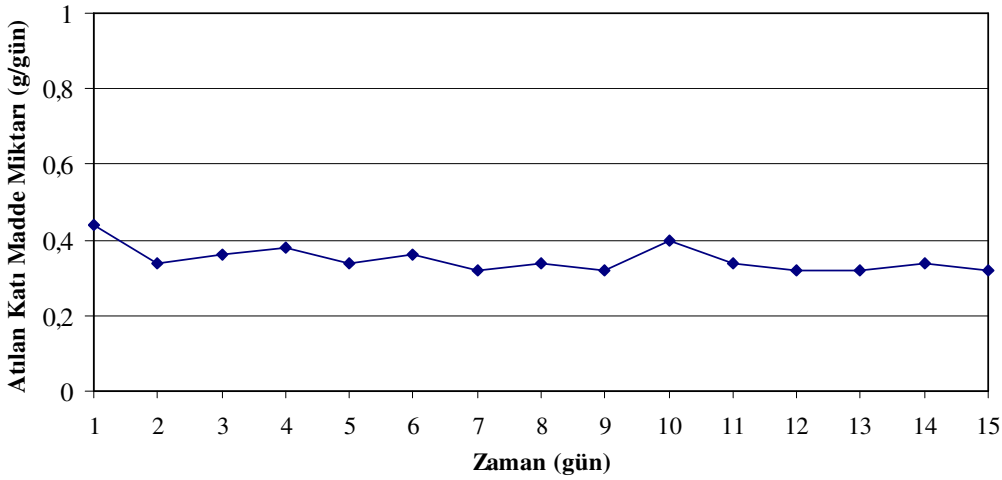
Şekil 4.15. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.16. HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.17. HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.18. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 500 mg/L)

4.1.3. 12 saat Hidrolik bekletme süresinde yapılan çalışmalar

HYBR prosesi 16 Temmuz 2005 ile 04 Ağustos 2005 tarihleri arasında 20 gün boyunca 12 saat hidrolik bekleme süresinde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenerek çalıştırılmıştır. İki haftalık adaptasyon süresinden sonra deneylere başlanmış ve 6 gün süresince deneyler yapılarak sistemin performansı izlenmiştir. Laboratuar çalışmasında hacimsel ve yüzeysel organik yüklemelerin en düşük olduğu 1 kg toplam KOİ/m^3.gün hacimsel organik yükleme, 4 g toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yükleme ile HYBR reaktörü çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.7'de 12 saatlik hidrolik alıkonma süresi boyunca ölçülen sıcaklık değerleri, yapılan yüzeysel ve hacimsel organik yükleme azaldığı için ve biyolojik parçalanma için yeterli oksijenin 4 saat ve 8 saat hidrolik alıkonma sürelerinde sağlanmasından dolayı 0,5 mL/dakika olan hava debisinde bir değişiklik yapılmadan ölçülen Ç.O. değerleri ve pH değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8'de 12 saat hidrolik bekleme süresinde çökeltme havuzu çıkışından alınan numunelerde ölçülen filtrelenmiş KOİ ve filtre edilmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri, NO_3-N ve NH_4-N değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9'da 12 saat hidrolik bekleme süresinde HYBR reaktöründe sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük çamur miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.7. 12 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Gün	1	2	3	4	5	6	Ort.
Sıcaklık (^{0}C)	21,2	20,8	19,4	22,1	19,8	20,4	**20,6**
Ç.O. (mg/L)	3,09	2,97	2,98	3,03	3,05	3,11	**3,03**
pH	6,86	6,74	7,22	7,46	7,62	7,14	**7,17**

Çizelge 4.8. 12 saat hidrolik bekletme süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderme verimleri ve NO_3-N ve NH_4-N değerleri

Gün		1	2	3	4	5	6	Ort.
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	14	17	11	17	15	21	**15,7**
	% Verim	97,2	96,6	97,8	96,6	97	95,8	**96,9**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	18	25	18	27	20	32	**23**
	% Verim	96,4	95	96,4	94,6	96,0	93,6	**95,4**
NO_3-N	**mg/L**	14,68	17,16	16,71	17,39	16,94	16,48	**16,6**
NH_4-N	**mg/L**	0,74	0,66	1,07	0,91	0,74	0,58	**0,8**

Çizelge 4.9. 12 saat hidrolik bekletme süresinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	6	Ort.
AKM (mg/L)	2760	2810	2640	2740	2750	2620	**2720**
UAKM (mg/L)	2120	2160	2080	2140	2160	1950	**2100**
UAKM/AKM (%)	76,8	76,9	78,8	78,1	78,5	74,4	**77,3**
Atılan Katı Madde Miktarı (g/gün)	0,18	0,14	0,18	0,18	0,16	0,14	**0,16**

Şekil 5.19'da 12 saat hidrolik alıkonma süresinde 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan besleme boyunca sıcaklık değişimleri görülmektedir. Sıcaklık değişimi 4 saat ve 8 saat hidrolik bekletme süresine paralellik göstermiştir. Sıcaklık değişimi 19,8-22,1 ^{0}C aralığında olmuştur.

Şekil 5.20'de çalışma boyuca 0,5 mL/dakika sabit havanın verildiği HYBR havalandırma havuzundaki çözünmüş konsantrasyonu değişiminin 2,97-3,11 mg/L aralığında olduğu görülmektedir.

Şekil 5.21'de HYBR reaktöründe ölçülen pH değerleri görülmektedir. Organik madde ve azot giderimini inhibe edebilen pH istenilen seviyededir. Değişim 6,74-7,62 aralığında gerçekleşmiştir.

Şekil 5.22'de 12 saatlik hidrolik alıkonma süresinde 500 mg/L KOİ içen sentetik atıksu ile yapılan hidrolik yüklemede çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri bir arada verilmiştir. Çıkış filtrelenmiş KOİ değişiminin 11-20 mg/L arasında olduğu gözlenirken ortalama çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 15,7 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri ise 18-30 mg/L arasında değişirken ortalama olarak çıkış filtrelenmemiş KOİ değeri 23 mg/L hesaplanmıştır.

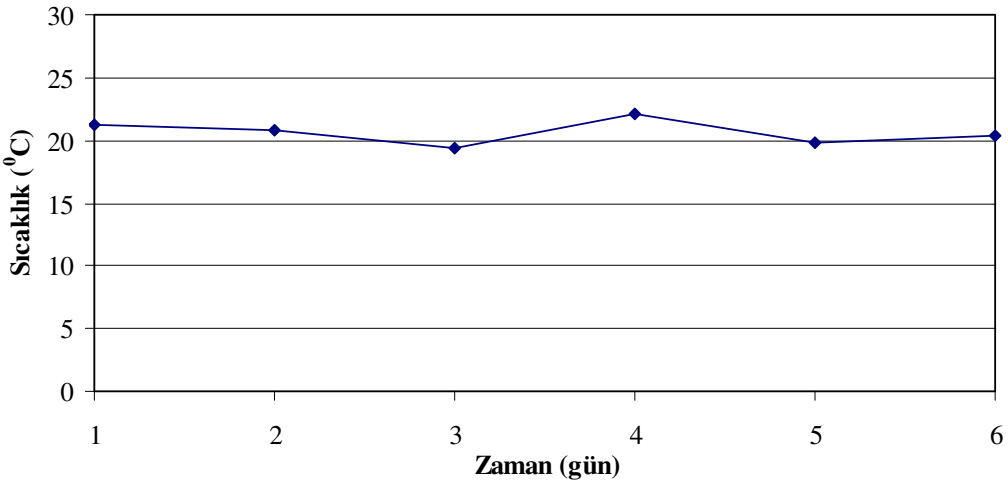
Şekil 5.22'te filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri görülmektedir. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 96-97,8 arasında değişim göstermiştir. Çıkış filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri ise %94-96,4 arasında değişmiştir. Ortalama KOİ giderim verimleri filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için en yüksek değerlerine ulaşarak sırasıyla %96,9 , %95,4 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.23'te çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. Nitrifikasyon bakterilerinin gelişmesi için yeterli alıkonma süresi sağlandığı NO_3-N değeri çıkışta 14,68-17,39 mg/L arasında değişmiştir. Çökeltme havuzu ortalama çıkış NO_3-N değeri 16,6 mg/L olarak hesaplanmıştır. Girişte 25 mg/L olan NH_4-N değeri çıkışta 0,58-1,07 mg/L değerlerine kadar inmiştir. Ortalama çıkış NH_4-N değeri en düşük değeri olan 0,8 mg/L olarak hesaplanmıştır.

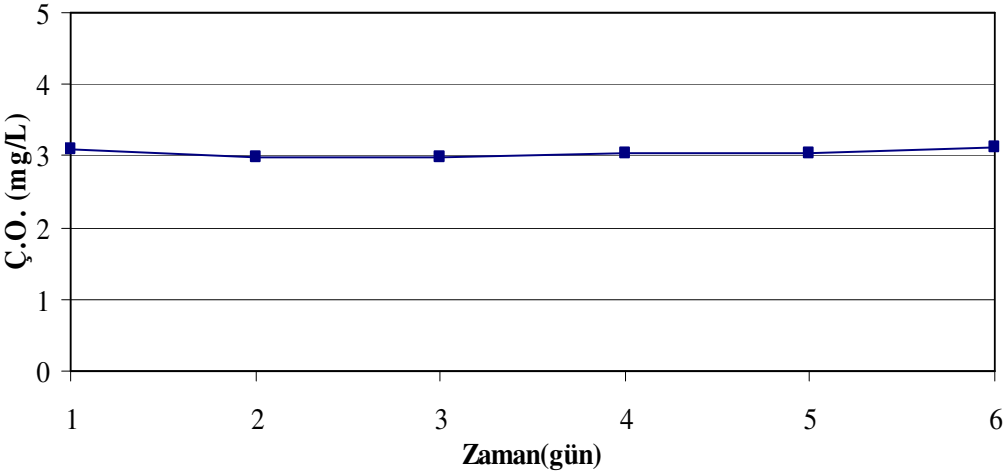
Şekil 5.25'da reaktördeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde değişimi görülmektedir. AKM'nin 2620-2810 mg/L, UAKM'nin ise 1950-2160 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. AKM ve UAKM ortalama değerleri sırasıyla 2720 mg/L, 2100 mg/L olarak hesaplanmıştır. AKM ve UAKM nin azalmasının sebebi yapılan yüzeysel ve hacimsel organik yüklemenin azalmasıdır. AKM ve UAKM değerlerinde hidrolik alıkonma süresi arttıkça azalma görülmüştür.

Şekil 5.26 incelendiğinde UAKM / AKM oranındaki değişimin diğer hidrolik alıkonma süreleri benzerlik gösterdiği görülmüştür. HYBR prosesinde değişimin %74,4-78,8 aralığında olduğu gözlenmiştir.

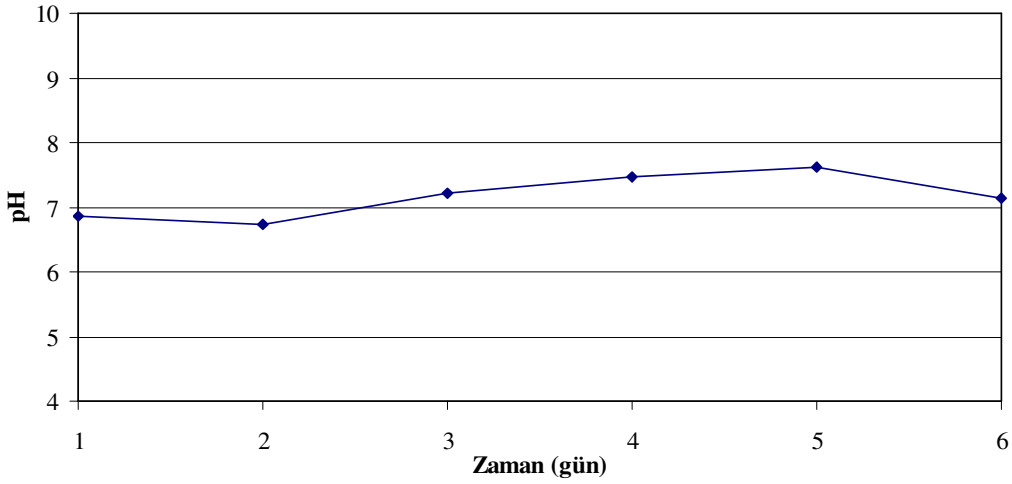
Şekil 5.27'da sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. Değişim 0,14-0,18 g/gün aralığında gerçekleşmiş ve hidrolik alıkonma süresi arttıkça sistemdeki AKM ve UAKM'deki azalma gibi sistemden atılan katı madde miktarında da azalma gözlenmiştir. Ortalama Y değeri artan hidrolik alıkonma süresi ile azalarak 0,08 g AKM/g KOİ olarak hesaplanmıştır.



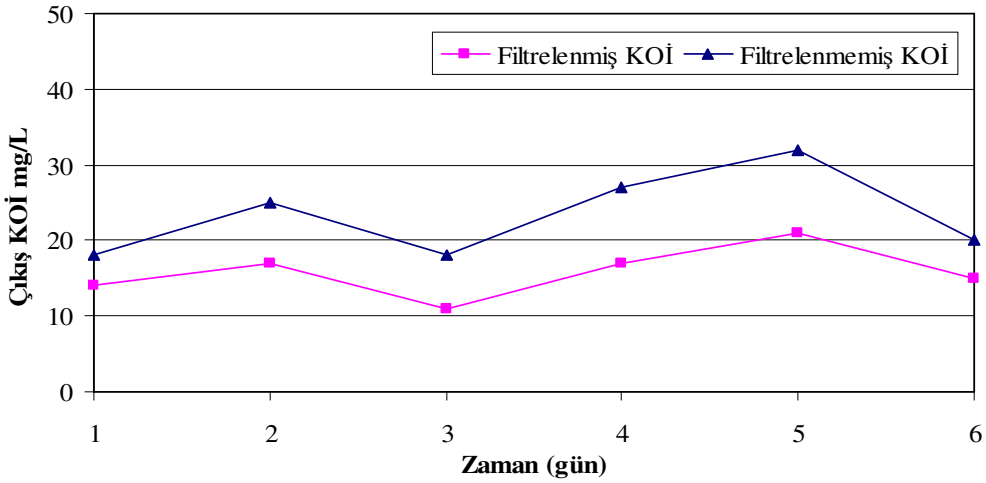
Şekil 4.19. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



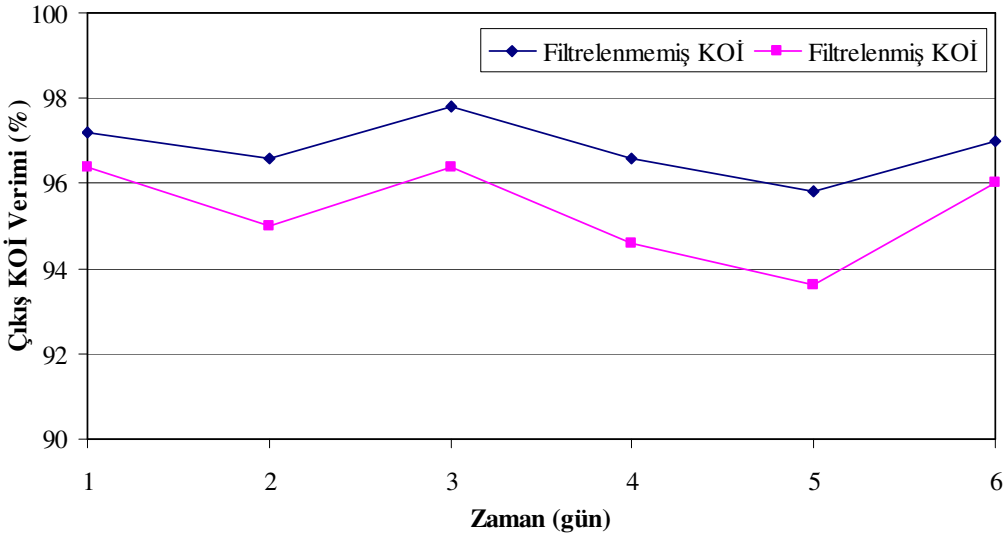
Şekil 4.20. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



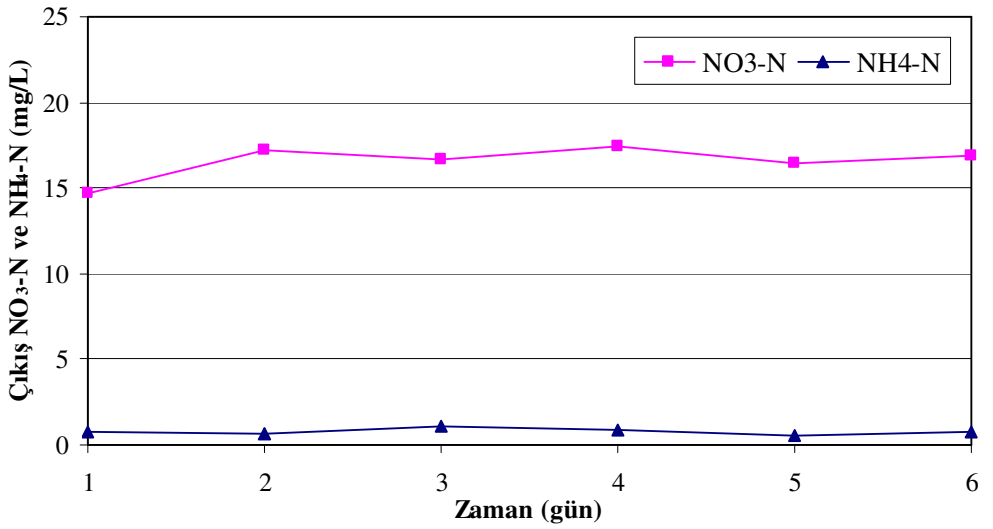
Şekil 4.21. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



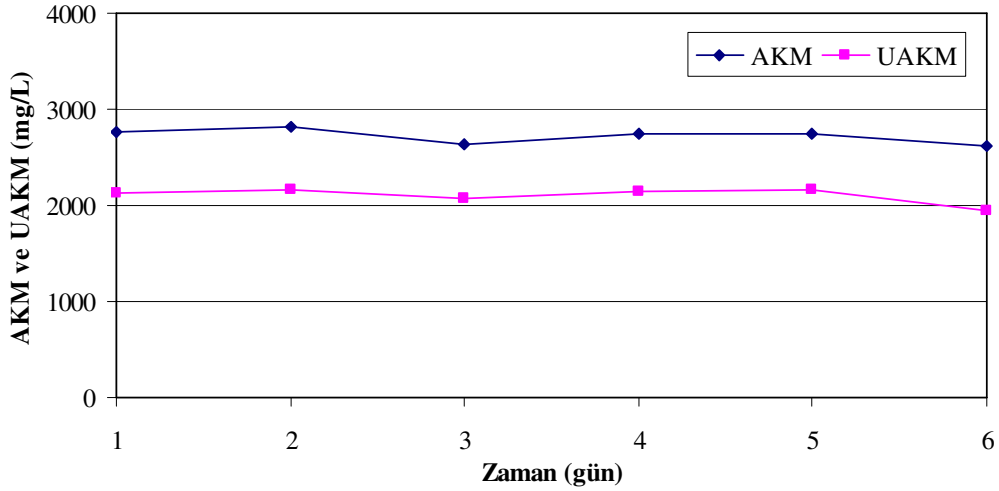
Şekil 4.22. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



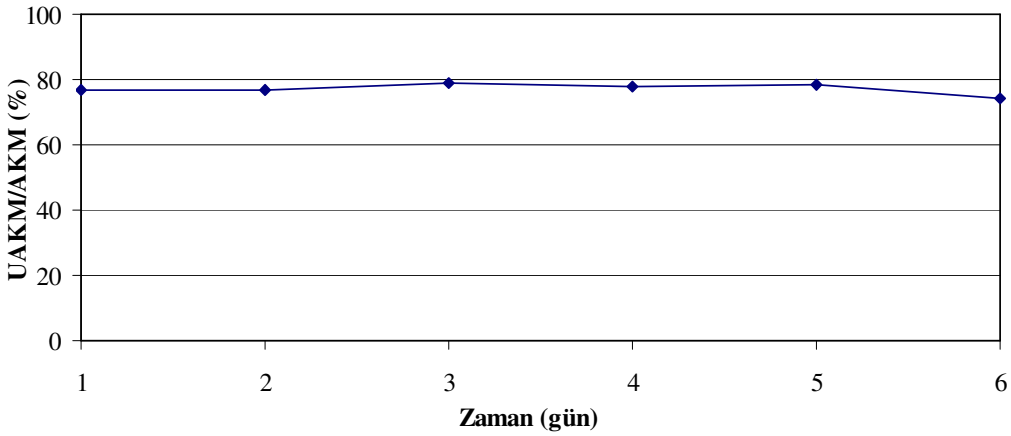
Şekil 4.23. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ verimleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



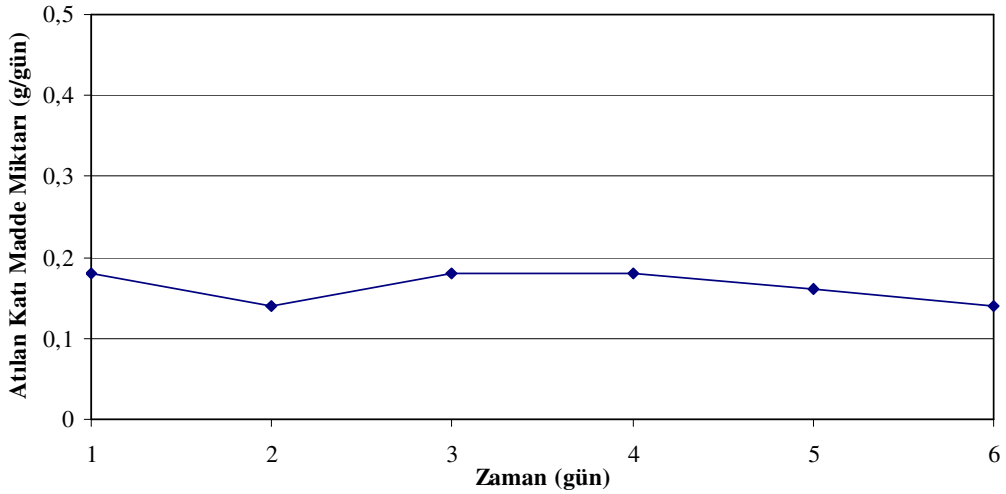
Şekil 4.24. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.25. HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.26. HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)



Şekil 4.27. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 12 saat, KOİ = 500 mg/L)

4.1.4. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR performansı

Deneysel çalışmanın birinci kısmını hidrolik yüklemelerin HYBR performansına etkisi oluşturmaktadır. Sabit organik yüklemede hidrolik alıkonma süresinin HYBR performansına etkisi 4 saat, 8 saat ve 12 saat olmak üzere üç farklı hidrolik bekletme süresinde çalıştırılarak araştırılmıştır. Hidrolik alıkonma süresinin artması ile aynı içerikte atıksu ile beslenen reaktörde hacimsel ve yüzeysel organik yüklemeler hidrolik alıkonma süresi ile doğru orantılı olarak azalmıştır.

Laboratuar çalışması boyunca sıcaklıkta önemli bir değişiklik olmamıştır. **Çizelge 4.10**'da faklı hidrolik alıkonma sürelerinde reaktörde ölçülen sıcaklık değerlerinin, 0,5 mL/dakika sabit havanın verildiği hidrolik yüklemeler boyunca 2 saat aralıklarla ölçülen Ç.O. konsantrasyonlarının değerlerinin, pH değerlerinin ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4.11'te farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.12'de farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ verimlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.13'te farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ verimlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.14'te farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.15'te farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.16'da farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.17'de farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki UAKM değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.18'de hidrolik alıkonma süresinin artması, hacimsel ve yüzeysel organik yüklemedeki azalma UAKM/AKM oranlarında önemli değişiklik olmamıştır.

Çizelge 4.19'de farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sistemden atılan günlük katı madde miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde reaktörde ölçülen ortalama sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	t = 4 saat	t = 8 saat	t = 12 saat
Sıcaklık (^{0}C)	21,3	20,6	20,6
Ç.O. (mg/L)	3,06	3,00	3,03
pH	7,57	7,42	7,17

Çizelge 4.11. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum KOİ (mg/L)	Minimum KOİ (mg/L)	Ortalama KOİ (mg/L)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	25	14	17,7	3,18
t = 8 saat	15	22	11	16,1	3,22
t = 12 saat	6	21	11	15,8	3,37

Çizelge 4.12. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum KOİ (mg/L)	Minimum KOİ (mg/L)	Ortalama KOİ (mg/L)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	32	20	26,9	3,79
t = 8 saat	15	34	19	24,5	4,85
t = 12 saat	6	32	18	23,3	5,65

Çizelge 4.13. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum Verim (%)	Minimum Verim (%)	Ortalama Verim (%)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	97,2	95	96,5	0,63
t = 8 saat	15	97,6	95,8	96,8	0,64
t = 12 saat	6	97,8	96	96,9	0,62

Çizelge 4.14. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ verimleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum Verim (%)	Minimum Verim (%)	Ortalama Verim (%)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	96	93,6	94,6	0,75
t = 8 saat	15	96,2	93,2	95,1	0,97
t = 12 saat	6	96,4	94	95,4	1,01

Çizelge 4.15. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
t = 4 saat	15	6,73	5,49	6,12	0,31
t = 8 saat	15	12,19	9,03	10,99	0,92
t = 12 saat	6	17,39	14,68	16,6	0,97

Çizelge 4.16. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	6,09	2,4	4,11	0,99
t = 8 saat	15	5,11	0,99	2,47	1,17
t = 12 saat	6	1,07	0,58	0,8	0,17

Çizelge 4.17. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	4810	3020	3668	447
t = 8 saat	15	3850	3050	3336	207
t = 12 saat	6	2810	2620	2720	74

Çizelge 4.18. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki UAKM değerleri

Hidrolik Alıkonma Süresi	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
t = 4 saat	18	3460	2210	2630	299
t = 8 saat	15	2700	2150	2430	155
t = 12 saat	6	2160	1950	2,10	80

Çizelge 4.19. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde sistemden atılan günlük katı madde miktarları

Hidrolik Alıkonma Süresi	t = 4 saat	t = 8 saat	t = 12 saat
Atılan Katı Madde Miktarı (gr/gün)	2,16	0,35	0,16

Laboratuar ortamında yapılan deneylerde sıcaklıkta önemli bir salınım olmamıştır. Şekil 4.28'de hidrolik yüklemeler boyunca ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamaları görülmektedir.

Şekil 4.29'da farklı hidrolik yüklemelerde ölçülen Ç.O. değerleri görülmektedir.

Şekil 4.30'da hidrolik alıkonma süresinin değişiminin pH üzerine etkisinin olmadığı görülmektedir.

Şekil 4.31'da farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, Şekil 4,32'de farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri görülmektedir.

4 saat hidrolik alıkonma süresinde en yüksek hacimsel ve yüzeysel organik yüklemede çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ortalama KOİ değeri % 96,5 verimle 17,7 mg/L olarak, çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş ortalama KOİ değeri 94,6 verimle 26,9 mg/L olarak hesaplanmıştır.

8 saat ve 12 saat hidrolik alıkonma sürelerinde Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'den de görüldüğü üzere hacimsel ve yüzeysel organik yüklemelerde azalma olmasına rağmen çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. En yüksek verimin elde edildiği 12 saat hidrolik alıkonma süresinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ortalama KOİ % 96,9 verimle 15,8 mg/L olarak, filtrelenmemiş ortalama KOİ % 95,4 verimle 23,3 mg/L olarak hesaplanmıştır.

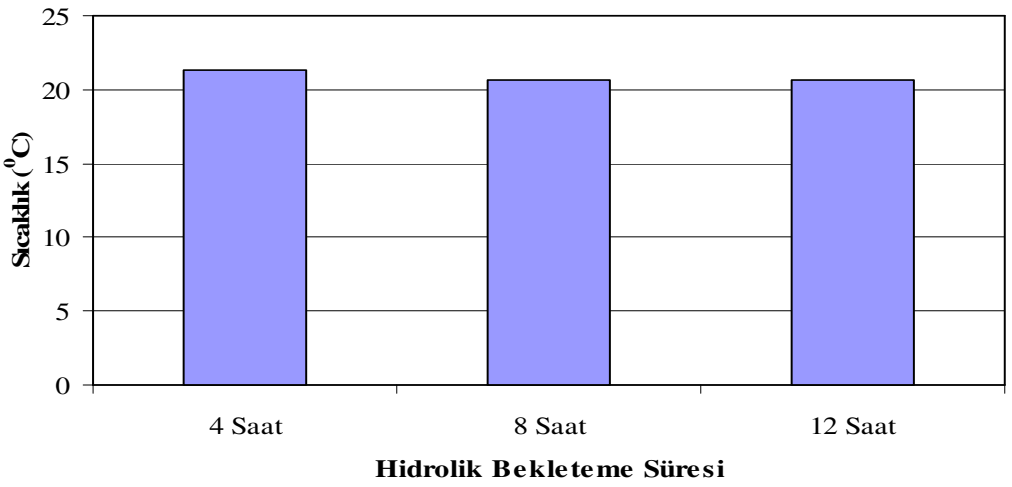
Şekil 4.33'da farklı hidrolik alıkonma sürelerinde girişteki ve çıkıştaki NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. Giriş atıksuyunda 25 mg/L NH_4-N bulunurken nitrat yoktur. Şekil 5.33'ten hidrolik alıkonma süresinin artması, organik yüklemelerin azalması nedeniyle çıkış NO_3-N konsantrasyonu arttığı, çıkış NH_4-N konsantrasyonunun ise azaldığı görülmektedir. 4 saat hidrolik alıkonma süresinde çıkış NO_3-N değeri 6,12 mg/L iken 12 saat hidrolik alıkonma süresinde 16,6

mg/L'dir. Buna karşılık 4 saat hidrolik alıkonma süresinde çıkış NH_4-N değeri 4,17 mg/L iken 12 sa hidrolik alıkonma süresinde 0,8 mg/L'ye kadar düşmüştür.

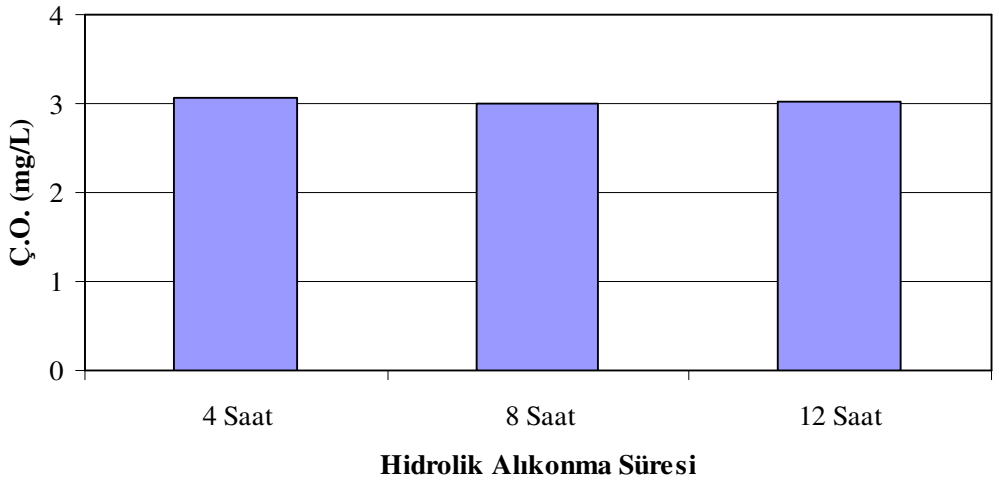
Şekil 4.34'te farklı hidrolik alıkonma sürelerinde reaktördeki AKM ve UAKM değerleri görülmektedir. Hidrolik alıkonma süresindeki artışa ve buna paralel organik yüklemedeki azalmaya bağlı olarak sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM ve UAKM miktarlarında azalma görülmüştür.

Şekil 4.35'te UAKM/AKM oranlarının değişim görülmektedir. Hidrolik alıkonma süresinin attırılması ile UAKM/AKM oranında önemli bir farklılık olmamıştır.

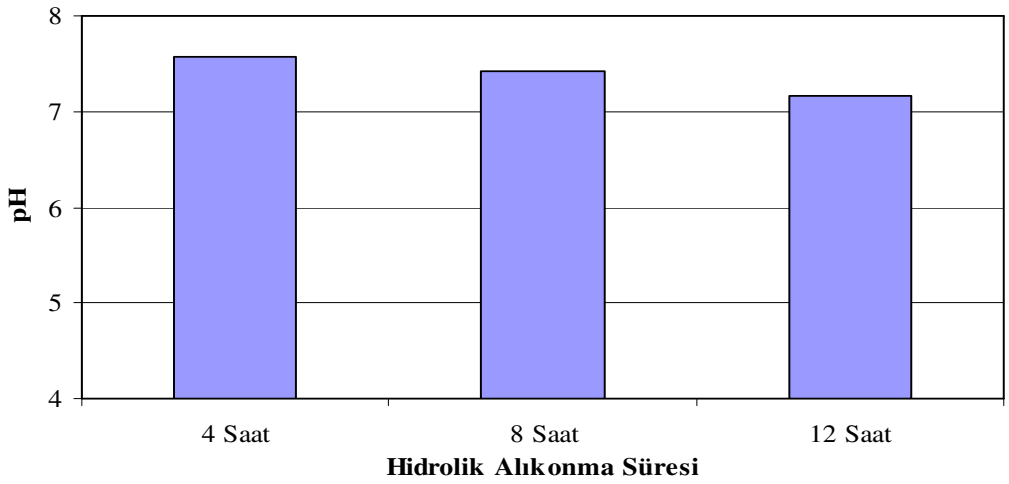
Şekil 4.36'da hidrolik alıkonma süresinin artması ile sisteme yapılan organik yüklemenin azaldığı, buna bağlı olarak sistemden atılan katı madde miktarının azaldığı görülmektedir.



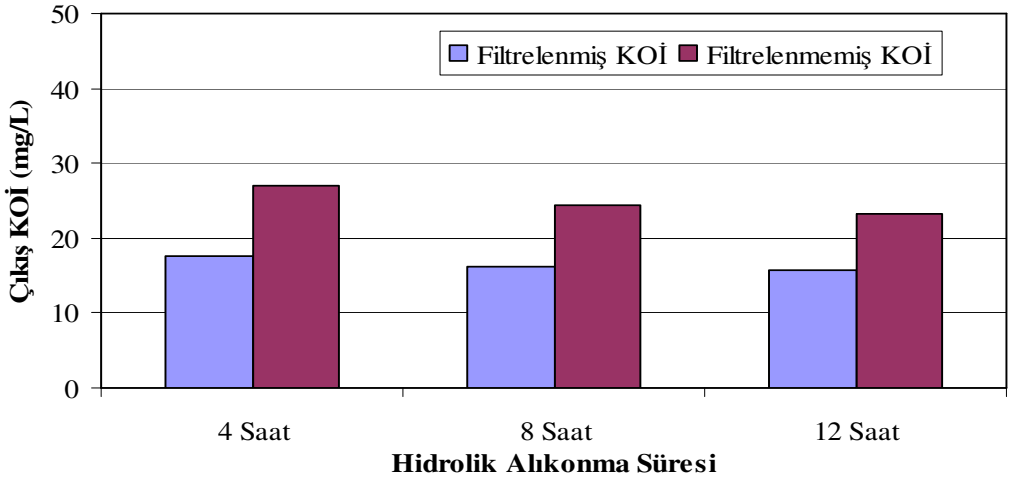
Şekil 4.28. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki ortalama sıcaklık değerleri



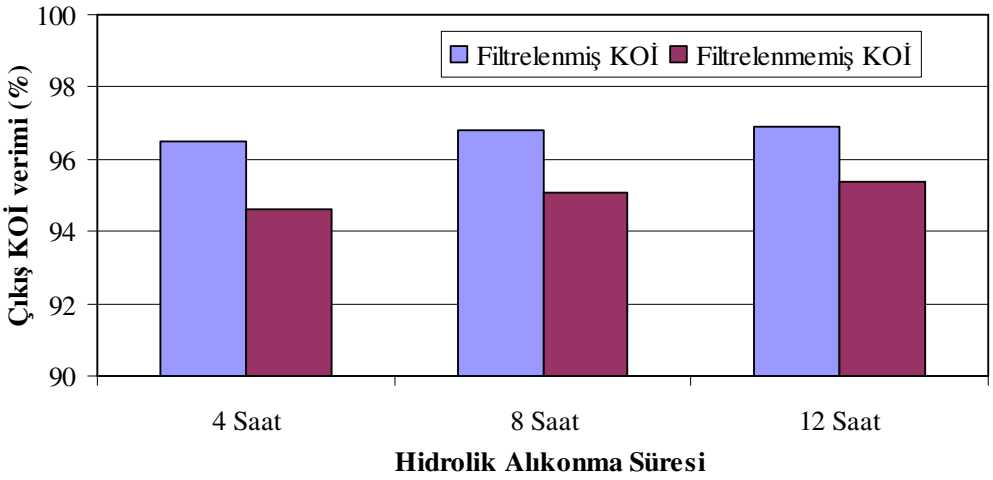
Şekil 4.29. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları



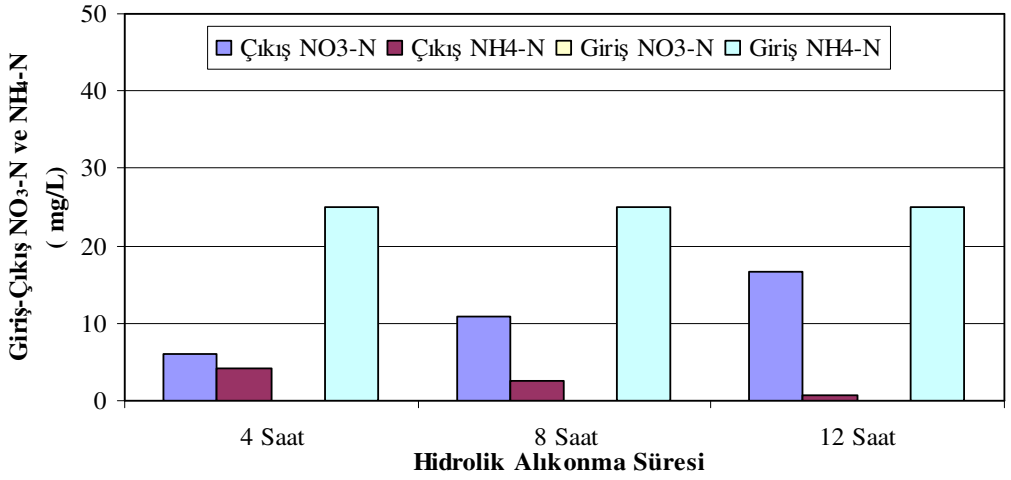
Şekil 4.30. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki ortalama pH değerleri



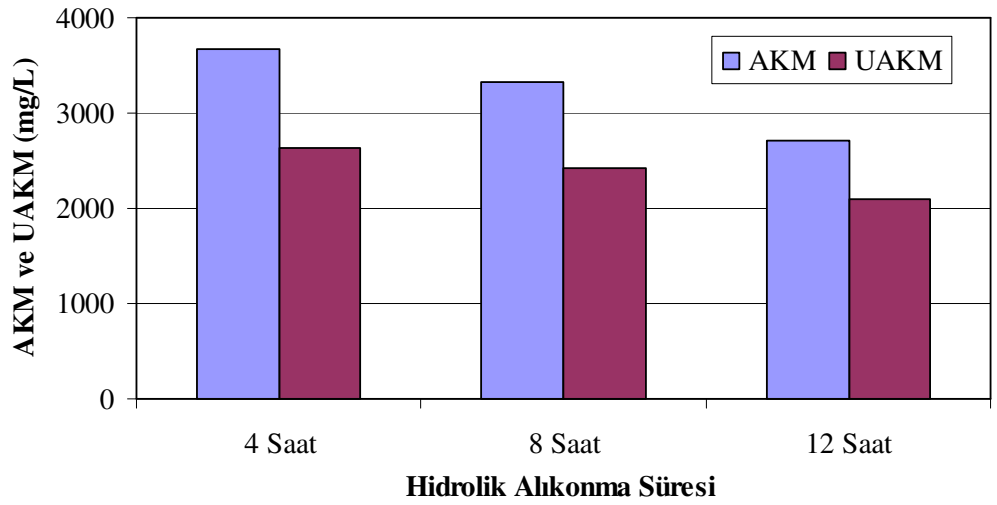
Şekil 4.31. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çıkış KOİ değerleri



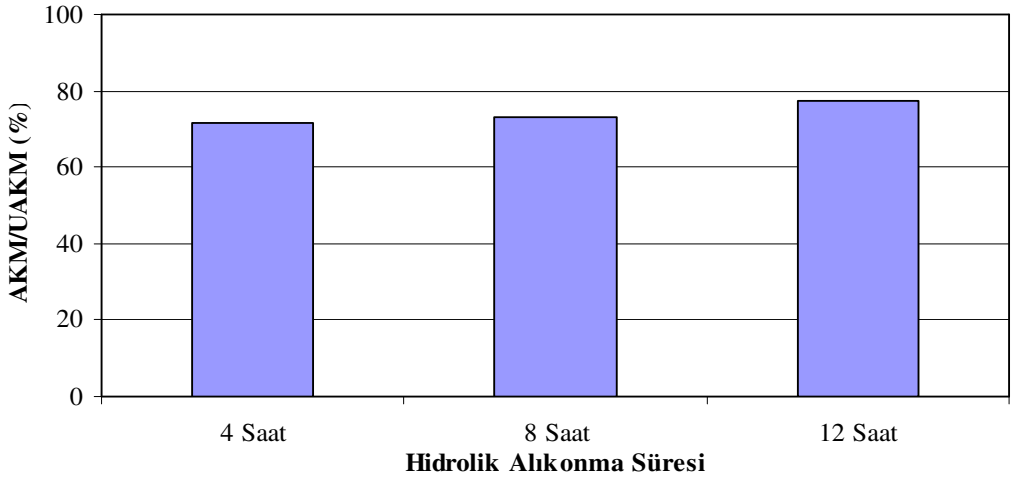
Şekil 4.32. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çıkış KOİ giderim verimleri



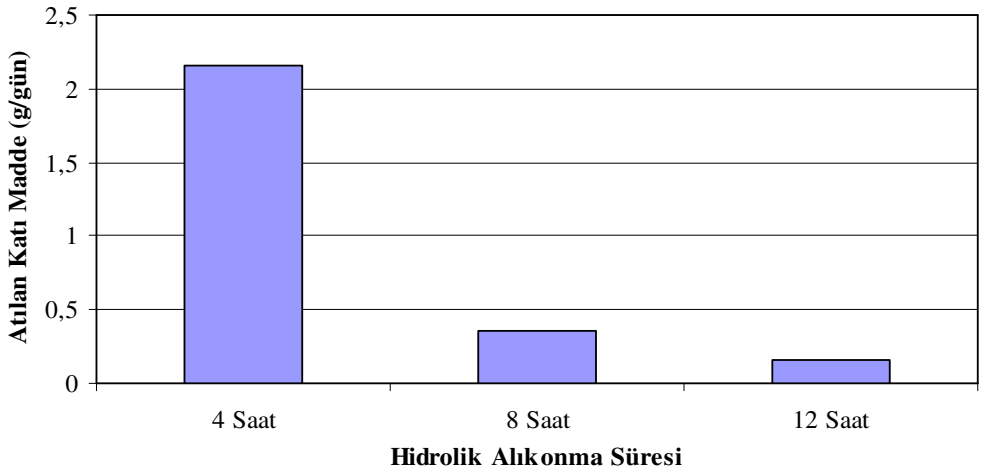
Şekil 4.33. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde giriş-çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri



Şekil 4.34. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri



Şekil 4.35. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri



Şekil 4.36. Farklı hidrolik alıkonma sürelerinde HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı

4.2. Organik Yüklemeler

4.2.1. 500 mg/L KOİ yüklemesi

Deneysel çalışmanın ikinci kısmını oluşturan organik yüklemelerde 8 saatlik hidrolik bekletme süresi seçilmiştir. 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile 20 Haziran 2005 ile 15 Temmuz 2005 tarihleri arasında gerçekleştirilen 8 saat'lik hidrolik bekletme süresinde yapılan yükleme için elde edilen değerler burada da kullanılmıştır. Yapılan hidrolik yükleme1,5 kg toplam KOİ /m^3.gün hacimsel organik yüklemeye, 6 g toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yüklemeye eşittir.

4.2.2. 1000 mg/L KOİ yüklemesi

HYBR prosesi, 05-06 Ağustos 2005 tarihlerinde 2 gün boyunca 12 saat hidrolik bekleme süresinde 1000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. 07 Ağustos 13 Ağustos tarihleri arasında 7 gün boyunca 8 saat hidrolik alıkonma süresinde 1000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. 05-08 Ağustos tarihleri arasındaki süre adaptasyon için ayrılmıştır.

Bu deney setinde 3 kg toplam KOİ /m^3.gün hacimsel organik yükleme, 12 g toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yükleme yapılmıştır.

Çizelge 4.20'de 1000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık değerleri, 2 saat aralıklarla ölçülen Ç.O. konsantrasyonunun günlük ortalama değerleri ve uygun işletme şartlarının kontrolü için yapılan pH ölçümleri verilmiştir.

Çizelge 4.21'de organik madde gideriminin ölçüsü olarak çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri, çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.22'de sistemde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı askıda madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük katı madde miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.20. 1000 mg/L KOİ yüklemesindeki HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık, Ç.O ve pH değerleri

Gün	1	2	3	4	5	Ort.
Sıcaklık (^{0}C)	20,6	22,2	21,8	20,4	23,6	**21,7**
Ç.O. (mg/L)	2,46	2,42	2,28	2,34	2,19	**2,83**
pH	7,84	7,26	7,44	7,14	7,62	**7,46**

Çizelge 4.21. 1000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri ve NO_3-N ve NH_4-N

Gün		1	2	3	4	5	Ort.
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	39	40	37	38	36	**38**
	% Verim	96,1	96	96,3	96,2	96,4	**96,2**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	54	50	52	48	50	**50,8**
	% Verim	94,6	95	94,8	95,2	95	**95**
NO_3-N	**mg/L**	1,67	1,76	2,26	1,72	1,85	**1,85**
NH_4-N	**mg/L**	8,56	5,11	8,89	12,02	6,92	**8,30**

Çizelge 4.22. 1000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	Ort.
AKM (mg/L)	2420	2220	2550	2630	2660	**24,96**
UAKM (mg/L)	1940	1780	1860	1920	1940	**1888**
UAKM/AKM (%)	80,2	80,2	72,9	73,0	72,9	**75,8**
Atılan Katı Madde Miktarı (g/gün)	2,30	1,86	2,52	2,42	2,14	**2,25**

Şekil 4.37'de HYBR prosesindeki sıcaklık değişimleri görülmektedir. Laboratuar ortamında gerçekleştirilen deney boyunca sıcaklıkta önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Sıcaklık değişimi 20,4-23,6 ^{0}C aralığında olmuştur.

Şekil 4.38'de çalışma boyuca 0,5 mL/dakika sabit havanın verildiği HYBR havalandırma havuzundaki ortalama Ç.O. konsantrasyonu 2,72-2,92 mg/L aralığında değişim göstermiştir.

Şekil 4.39'da reaktördeki pH değerleri görülmektedir. Değişim 7,14-7,84 aralığında gerçekleşmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere pH'daki değişim optimum organik madde giderimi ve nitrifikasyon için gerekli pH aralığındadır.

Şekil 4.40'ta 3 kg toplam KOİ /m^3.gün hacimsel organik yükleme, 12 gr toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yüklemede çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri görülmektedir. Çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 36-40

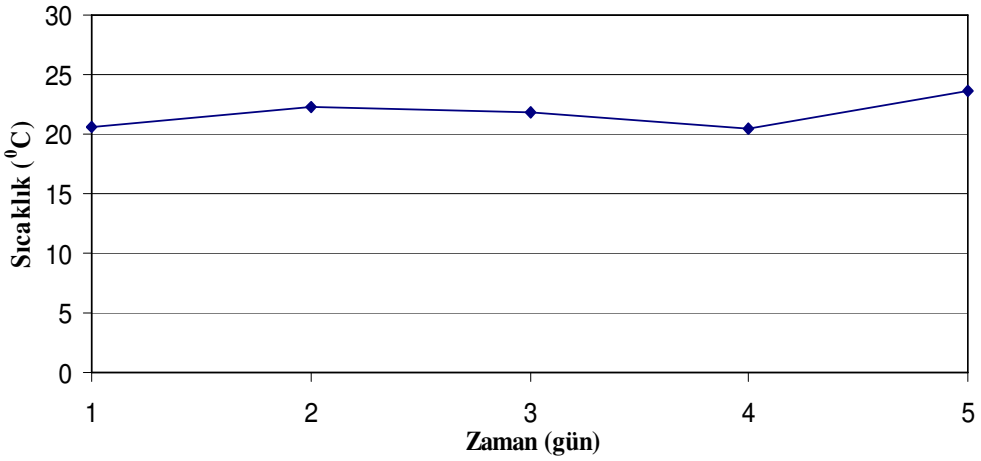
mg/L arasında değişim göstermiştir. Ortalama çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 38 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çökelme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri ise 48-54 mg/L arasında değişirken ortalama 50,8 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.41'de filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri görülmektedir. Hacimsel ve yüzeysel organik yükleme iki katına çıkarılmış ancak verimde önemli düşüş tespit edilmemiştir. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 96-96,3 arasında değişmiştir. Filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri ise % 94,6-95,2 arasında değişmiştir. KOİ giderim verimleri filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için sırasıyla % 96,2 , % 95 olarak hesaplanmıştır.

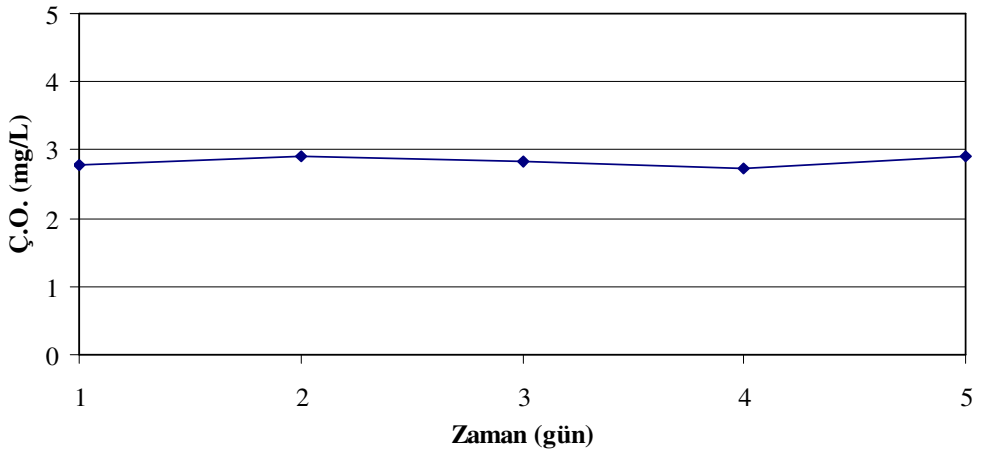
Şekil 4.42'de çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. Çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değeri çıkışta 1,67-2,26 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama çökeltme havuzu çıkış NO_3 değeri 1,85 mg/L olarak hesaplanmıştır. Girişte 50 mg/L olan NH_4-N değeri ise çıkışta NH_4-N 5,11-12,02 mg/L değerleri arasında değişmiştir. Ortalama çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değeri 8,30 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.43'te reaktördeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı madde ve uçucu katı madde değişimi görülmektedir. AKM'nin 2220-2660 mg/L , UAKM'nin ise 1780-1940 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmüştür. Ortalama değerler sırasıyla 2496 mg/L, 1888 mg/L olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.44 incelendiğinde ise UAKM / AKM oranının % 72,9-80,2 aralığında olduğu gözlenmiştir.

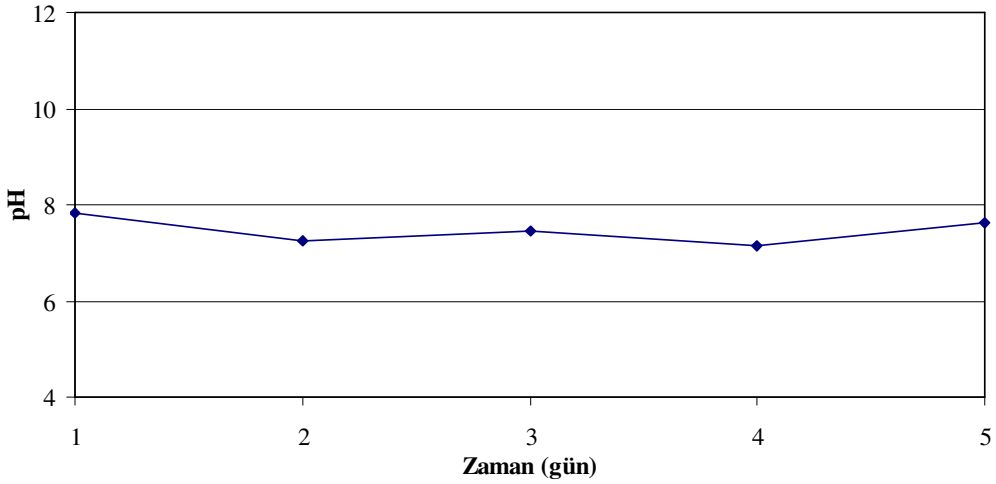
Şekil 4.45'da sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. Değişim 1,86-2,52 g/gün aralığında gerçekleşmiştir. Ortalama Y değeri 0,39 g AKM / g KOİ olarak hesaplanmıştır.



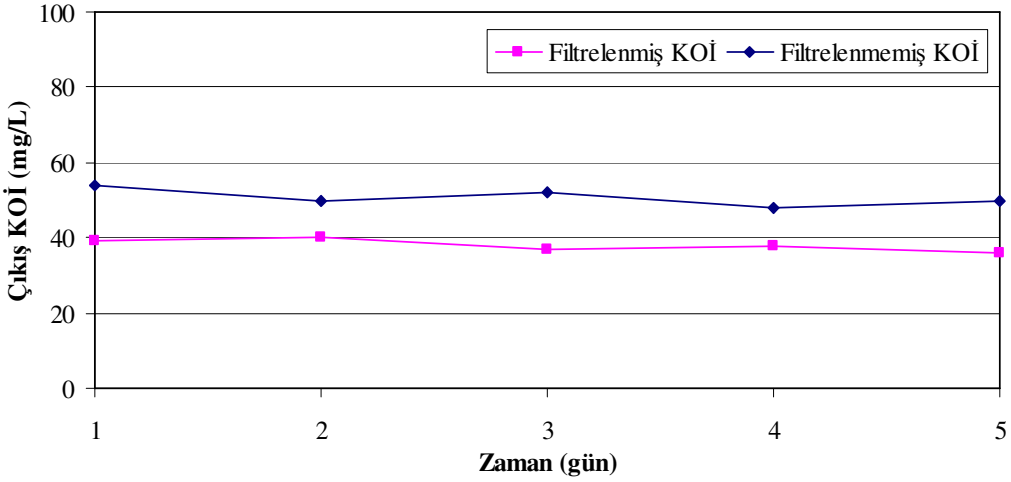
Şekil 4.37. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



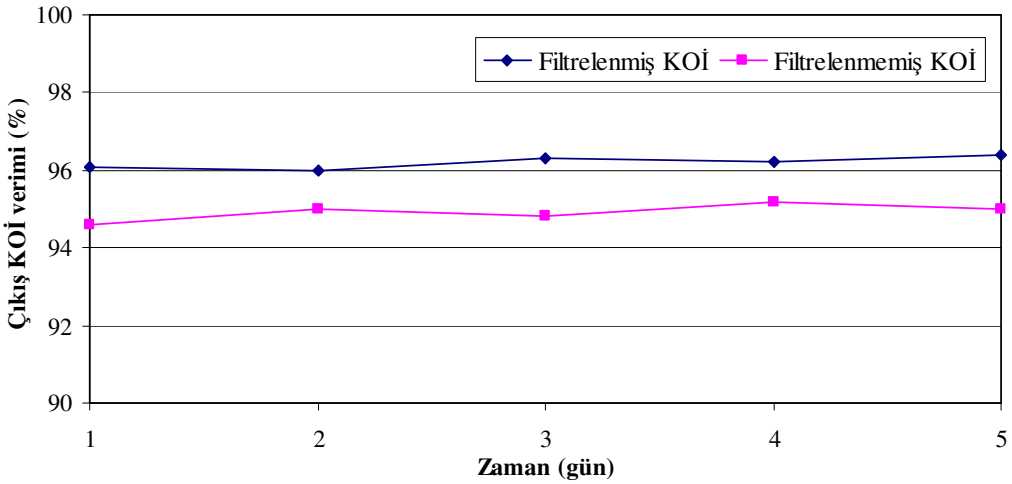
Şekil 4.38. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



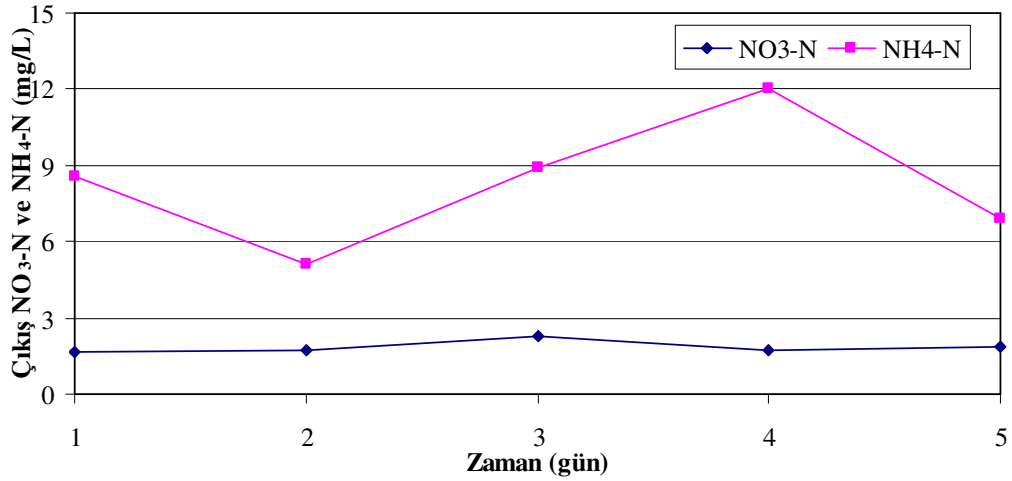
Şekil 4.39. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



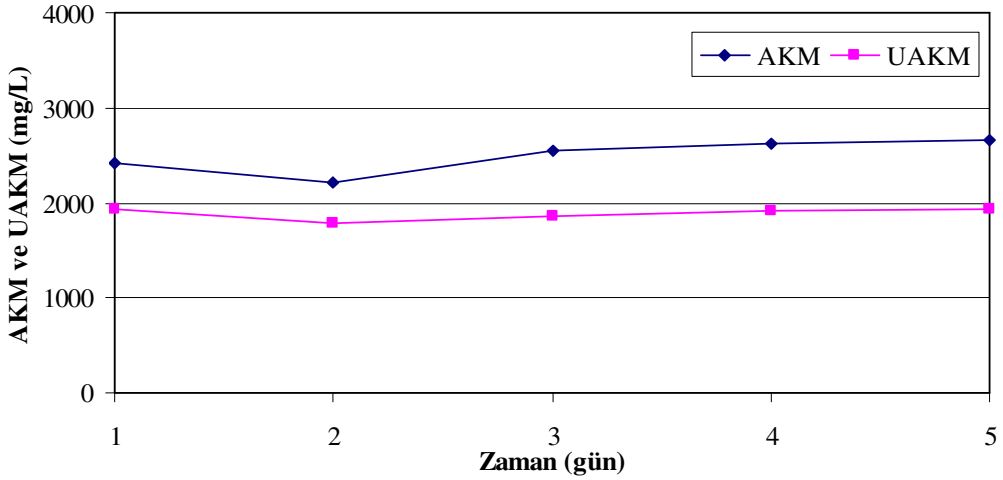
Şekil 4.40. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



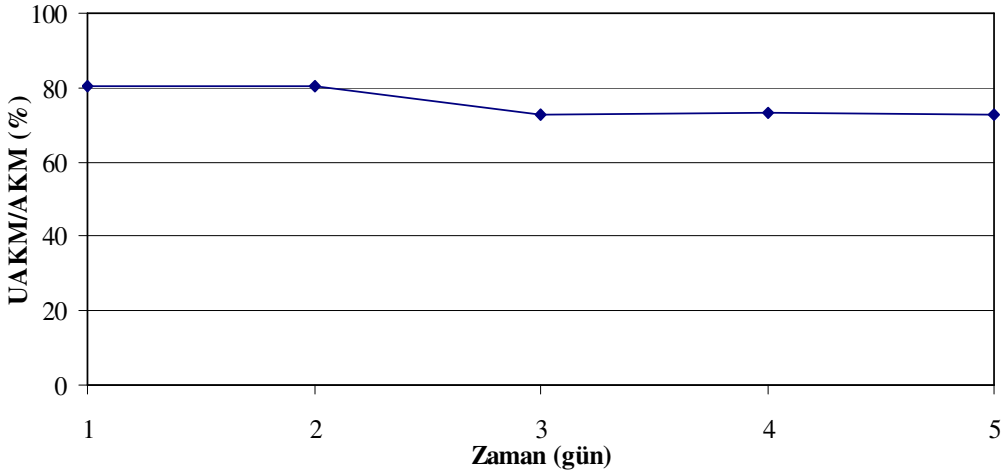
Şekil 4.41. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



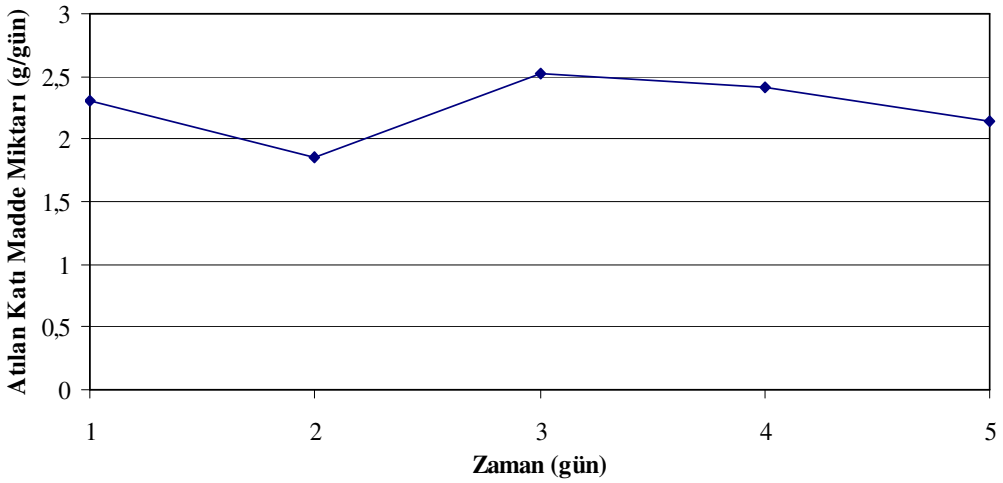
Şekil 4.42. Çökeltme havuzu çıkışı NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



Şekil 4.43. HYBR prosesinde AKM ve UAKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



Şekil 4.44. HYBR prosesinde UAKM/AKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)



Şekil 4.45. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 1000 mg/L)

4.2.3. 2000 mg/L KOİ yüklemesi

HYBR prosesi, 14 Ağustos - 01 Eylül 2005 tarihlerinde 8 sa hidrolik bekleme süresinde 2000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. 5 günlük adaptasyon sürecinden sonra deneylere başlanmıştır.

Çizelge 4.23'de 2000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık değerleri, 2 saat aralıklarla ölçülen Ç.O. konsantrasyonunun günlük ortalama değerleri ve uygun işletme şartlarının kontrolü için yapılan pH ölçümleri verilmiştir.

Çizelge 4.24'de 2000 mg/L organik yüklemesinde çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri, çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.25'de sistemde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük katı madde miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.23. 2000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	**Ort.**
Sıcaklık (^{0}C)	21,2	22,4	20,6	21,5	19,8	21,3	20,6	21,4	20,2	22,1	20,5	19,6	21,2	20,6	**20,7**
Ç.O. (mg/L)	2,42	2,64	2,56	2,62	2,48	2,53	2,38	2,44	2,56	2,63	2,66	2,45	2,48	2,53	**2,53**
pH	7,24	6,94	7,44	7,36	7,61	7,27	7,45	6,88	7,04	6,72	7,12	7,16	7,66	7,42	**7,24**

Çizelge 4.24. 2000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri ve KOİ giderim verimleri

Gün		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	**Ort.**
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	200	191	174	130	150	110	125	113	220	230	122	102	128	114	**150**
	% Verim	90,0	90,5	91,3	93,5	92,5	94,5	93,8	94,4	89,0	88,5	93,9	94,9	93,6	94,3	**92,5**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	244	228	244	178	192	144	163	136	424	450	160	146	148	138	**214**
	% Verim	87,8	88,6	87,8	91,1	90,4	92,8	91,9	93,2	78,8	77,5	92	92,7	92,6	93,1	**89,3**
NO_3-N	**mg/L**	0,68	1,04	0,95	0,81	0,86	0,72	0,99	0,88	0,90	0,72	0,79	0,75	0,81	0,93	**0,85**
NH_4-N	**mg/L**	26,68	22,89	15,32	21,58	19,85	17,54	18,53	19,52	20,92	17,95	18,86	19,02	20,67	19,93	**19,95**

Çizelge 4.25. 2000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	**Ort.**
AKM (mg/L)	2710	2820	2720	2690	2760	2870	2730	2640	2710	2680	2910	2770	2840	2730	**2755**
UAKM (mg/L)	1960	2060	2120	2030	2160	2180	2090	1910	2080	2120	2260	2190	2170	2080	**2100**
UAKM/AKM (%)	72,32	73,05	77,94	75,46	78,26	75,96	76,56	72,35	76,75	79,10	77,66	79,06	76,41	76,19	**76,22**
Atılan Katı M. Miktarı (g/gün)	3,84	3,88	4,08	4,04	3,84	4,24	3,96	4,08	3,64	3,52	4,20	4,28	4,16	3,84	**3,99**

Şekil 4.46'da 8 sa hidrolik alıkonma süresinde 2000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesindeki sıcaklık değişimleri görülmektedir. Sıcaklık değişimi 19,6-22,1 ^{0}C aralığında olmuştur.

Şekil 4.47'de organik yükteki artışa bağlı olarak hava miktarı arttırılmıştır. 1,8 mL/dakika sabit havanın verildiği HYBR havalandırma havuzundaki ortalama Ç.O. konsantrasyonu 2,38-2,66 mg/L aralığında değişim göstermiştir.

Şekil 4.48'de pH değerleri görülmektedir. Değişim 6,72-7,66 aralığında gerçekleşmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere pH'daki değişim optimum organik madde giderimi ve nitrifikasyon için gerekli pH aralığındadır.

Şekil 4.49'da yapılan organik yüklemede çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri görülmektedir. Çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 102-230 mg/L arasında değişirken ortalama 150 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çökelme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri ise 136-450 mg/L arasında değişirken ortalama 213 mg/L olarak hesaplanmıştır. 8. günde yaşanan çıkış KOİ değerlerindeki artış elektrik kesintisinden dolayıdır. 11. günde sistem tekrar kararlı hale gelmiştir.

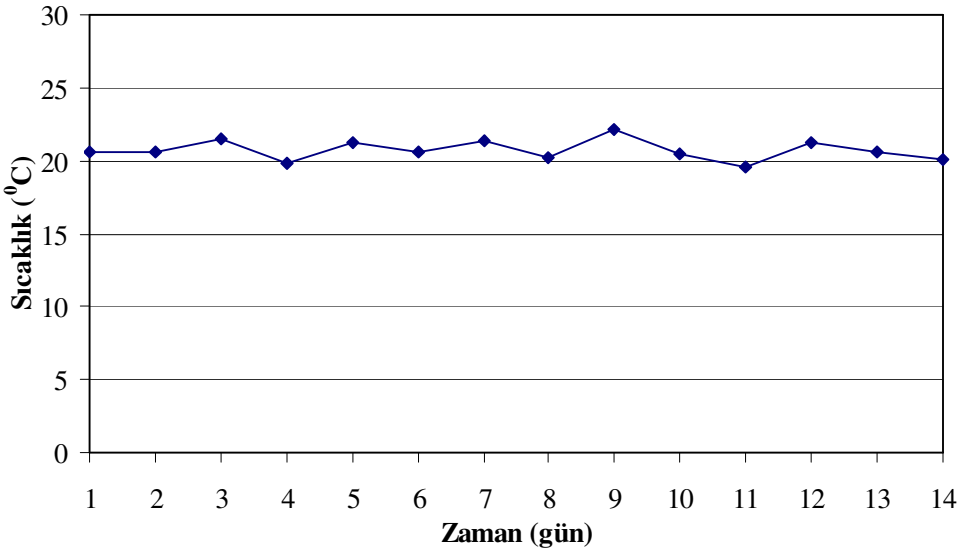
Şekil 4.50'de filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri görülmektedir. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 88,5-94,9 arasında değişirken filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri % 77,5-93,2 arasında değişmiştir. KOİ giderim verimleri filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için sırasıyla % 92,4 , % 89,3 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.51'de çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. NO_3-N değeri organik yükün artması ve nitrifikasyon bakterilerinin gelişimi için yeterli adaptasyon süresinin olmaması nedeniyle çıkışta en düşük seviyesine inmiştir. Çıkışta 0,68-1,04 mg/L arasında değişen NO_3-N ortalama 0,85 mg/L olarak hesaplanmıştır. Girişte 100 mg/L olan NH_4-N değeri çıkışta 15,32-26,68 mg/L değerleri arasında değişirken ortalama 19,95 mg/L olarak hesaplanmıştır.

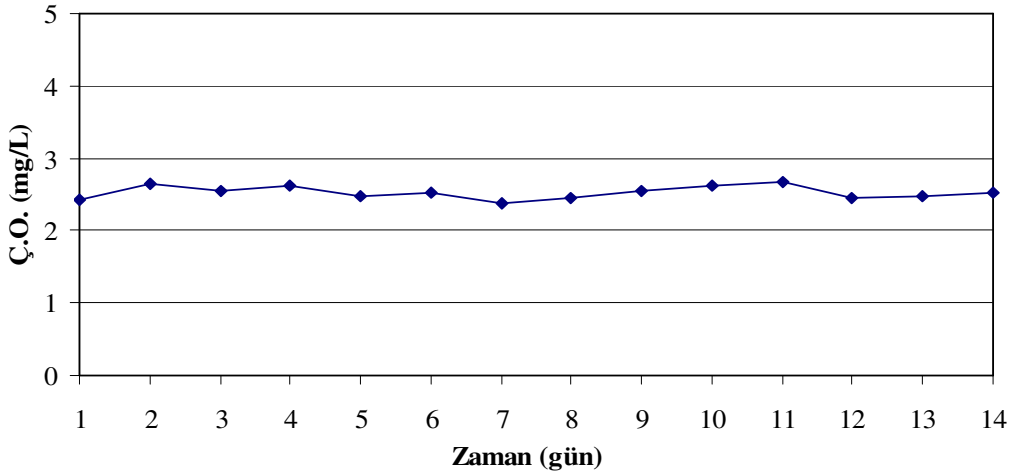
Şekil 4.52'te reaktördeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı madde ve uçucu katı madde değişimi görülmektedir. Organik yüklemenin arttırılması ile sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki AKM ve UAKM miktarlarında artış tespit edilmiştir. AKM'nin 2640-2910 mg/L , UAKM'nin ise 1910-2260 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmüştür. Ortalama değerler sırasıyla 2760 mg/L, 2100 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.53 incelendiğinde ise UAKM/AKM oranının tüm deney setlerinde olduğu gibi önemli bir değişim olmamıştır. UAKM/AKM'nin % 72,32-79,10 aralığında değişim gösterdiği gözlenmiştir.

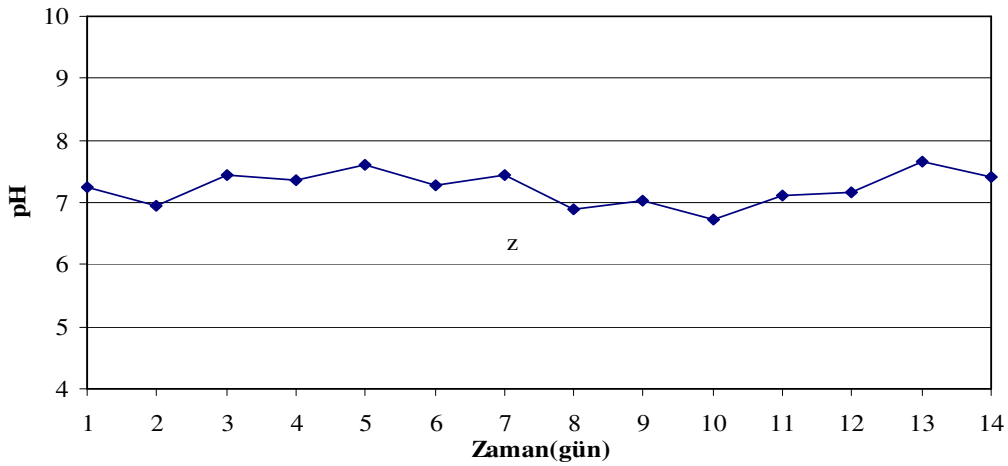
Şekil 4.54'te sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. Organik madde artışına bağlı olarak sistemden atılan katı madde miktarında artış olmuştur. Deneysel çalışmada 3,52-4,28 gr/gün aralığında değişim gözlenmiştir. Ortalama Y değeri 0,37 g TAKM / g KOİ olarak hesaplanmıştır.



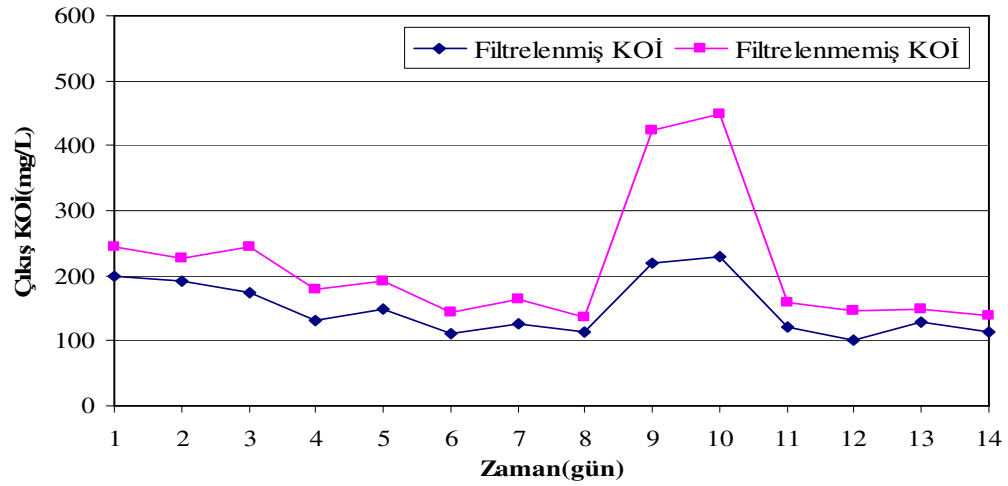
Şekil 4.46. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



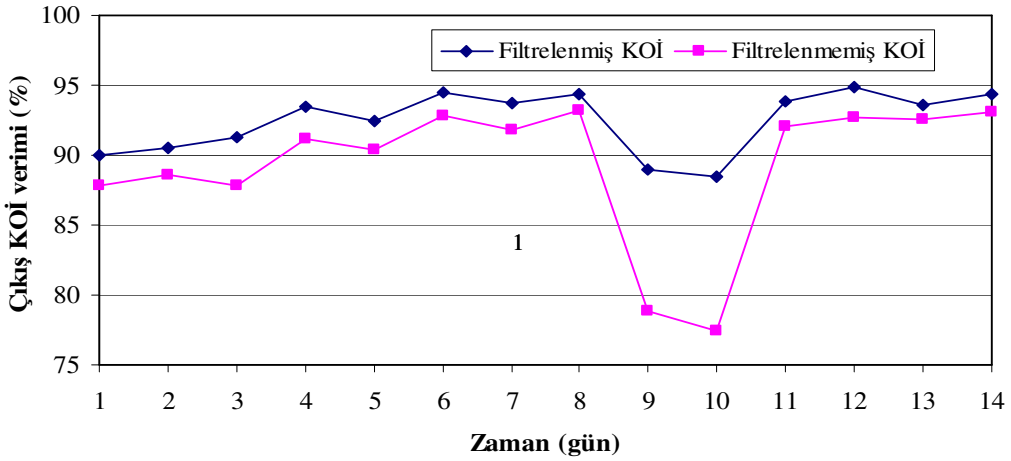
Şekil 4.47. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



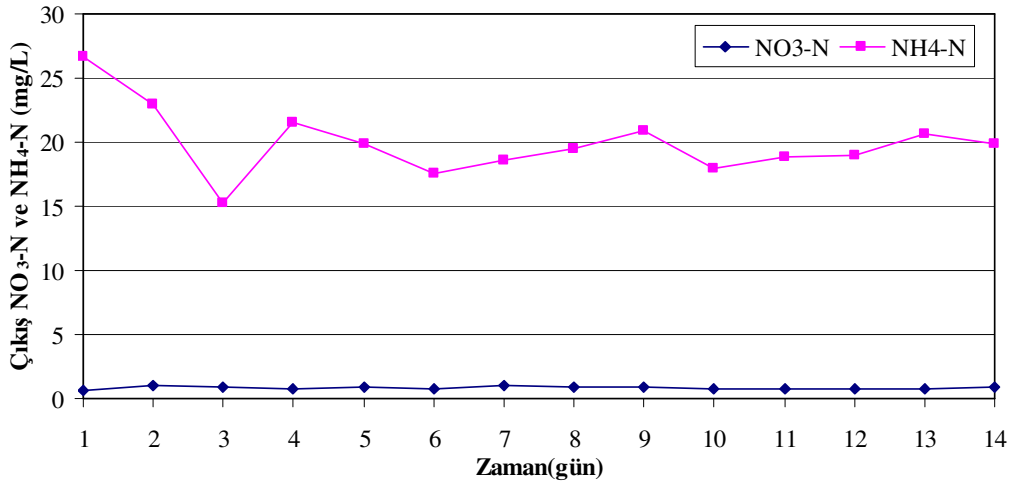
Şekil 4.48. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



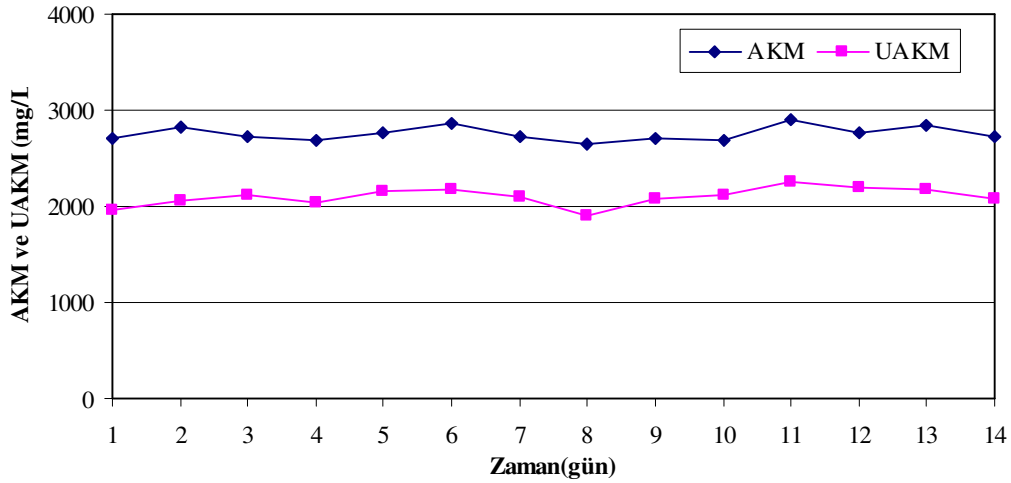
Şekil 4.49. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



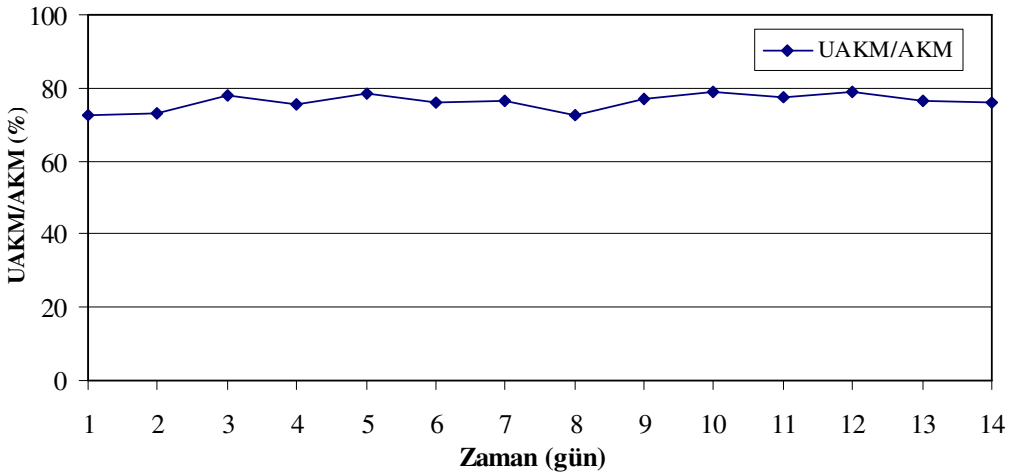
Şekil 4.50. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



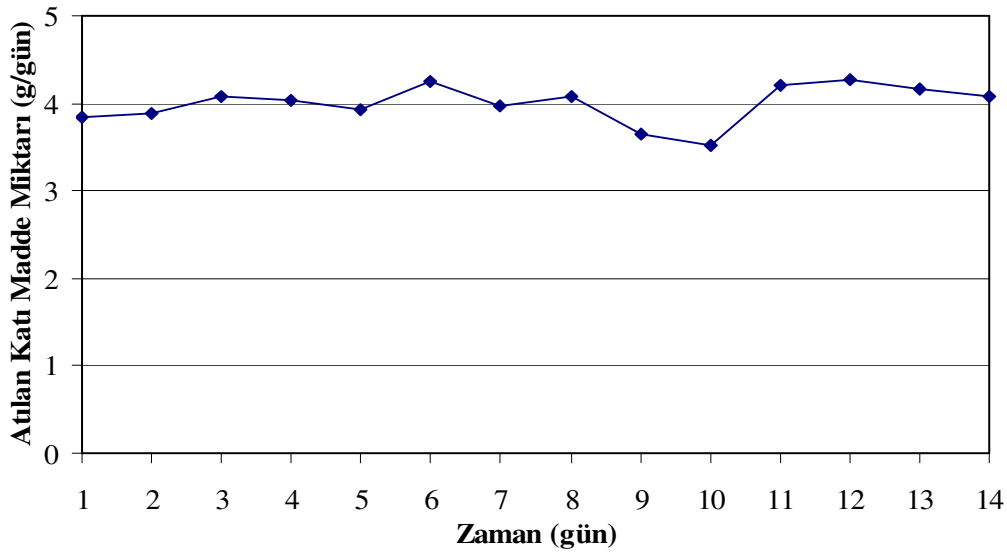
Şekil 4.51. Çökeltme havuzu çıkışı NO_3-N ve NH_4-N değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



Şekil 4.52. HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



Şekil 4.53. HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)



Şekil 4.54. HYBR prosesindeki atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 2000 mg/L)

4.2.4. 4000 mg/L KOİ Organik Yüklemesi

HYBR prosesi, 02 Eylül - 22 Eylül 2005 tarihlerinde 8 sa hidrolik bekleme süresinde 4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenmiştir. 7 günlük adaptasyon sürecinden sonra deneylere başlanmıştır.

Çizelge 4.26'da 4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık değerleri, 2 saat aralıklarla ölçülen Ç.O. konsantrasyonunun günlük ortalama değerleri ve uygun işletme şartlarının kontrolü için yapılan pH ölçümleri verilmiştir.

Çizelge 4.27'de 4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan beslemede organik yüklemesinde çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri verilmiştir.

Çizelge 4.28'de 4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen sistemde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük katı madde miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.26. 4000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ort.
Sıcaklık (^{0}C)	21,2	20,4	19,4	20,8	19,2	18,6	19,1	20,2	19,4	19,8	18,6	19,1	19,4	**19,6**
Ç.O. (mg/L)	0,76	0,94	0,62	1,12	0,85	0,91	0,77	0,84	0,83	0,92	0,75	0,86	0,69	**0,84**
pH	7,62	7,48	6,92	7,22	7,14	7,52	7,36	6,94	7,42	7,66	7,38	7,82	7,58	**7,39**

Çizelge 4.27. 4000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri ve verimleri

Gün		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ort.
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	1314	1122	967	834	767	942	1024	1086	1065	1157	1245	1083	1316	**1071**
	% Verim	67,15	71,95	75,83	79,15	80,83	76,45	74,40	72,85	73,38	71,08	68,88	72,93	67,10	**73,23**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	1512	1305	1156	1101	896	1083	1198	1216	1214	1329	1475	1278	1522	**1253**
	% Verim	62,20	67,38	71,10	72,48	77,60	72,93	70,05	69,60	69,65	66,78	63,13	68,05	61,95	**68,68**

Çizelge 4.28. 4000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ort.
AKM (mg/L)	3220	3260	3250	3150	3250	3250	3180	3240	3220	3250	3260	3210	3250	**3230**
UAKM (mg/L)	2250	2440	2460	2430	2550	2520	2480	2450	2510	2520	2550	2460	2420	**2460**
UAKM/AKM (%)	69,88	74,85	75,69	77,14	78,46	77,54	77,99	75,62	77,95	77,54	78,22	76,64	74,46	**76,31**
Atılan Katı M. Miktarı (g/gün)	6,82	6,76	7,24	7,28	7,44	7,12	6,88	6,84	6,92	6,72	6,88	6,64	6,76	**6,94**

Şekil 4.55'de 8 sa hidrolik alıkonma süresinde 4000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesindeki sıcaklık değişimleri verilmiştir. Gözlenen sıcaklık değerleri 18,6-21,2 ^{0}C aralığında olmuştur.

Şekil 4.56'da çalışma boyuca 1,8 ml/dakika sabit havanın verildiği HYBR havalandırma havuzunda organik yükteki artışa bağlı olarak ortalama Ç.O. konsantrasyonu 0,62-1,12 mg/L aralığında değişmiştir.

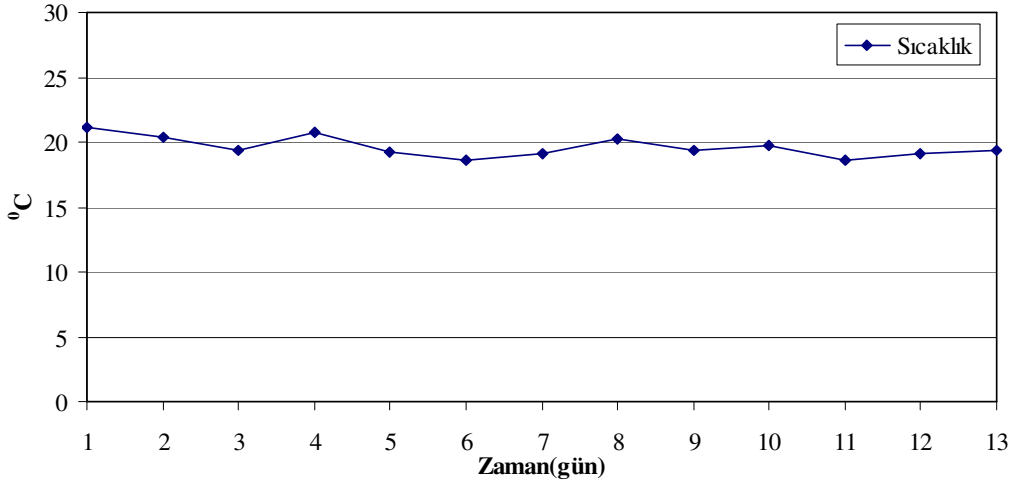
Şekil 4.57'de reaktördeki pH değerleri görülmektedir. Değişim 6,92-7,82 aralığında olup organik madde giderimi için elerişlidir.

Şekil 4.58'de 12 kg toplam KOİ/m^3 hacimsel organik yükleme, 48 gr toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yükleme ile deneysel çalışmada çıkış KOİ Çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 767-1316 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama çıkış filtrelenmiş KOİ 1071 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çökelme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri ise 896-1522 mg/L arasında değişmiştir. Ortalama çıkış filtrelenmemiş KOİ 1253 mg/L olarak hesaplanmıştır.

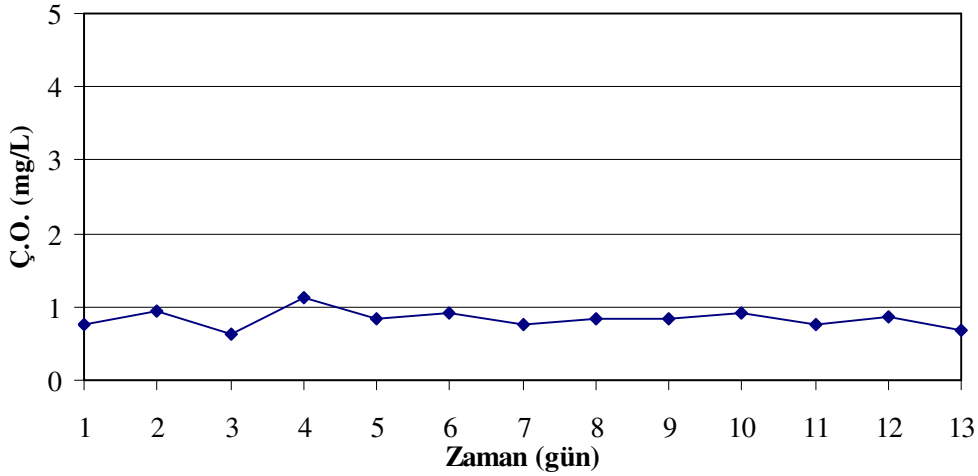
Şekil 4.59'da filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ bazında organik madde giderim verimleri görülmektedir. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 67,10-80,83 arasındadır. Filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri ise % 61,95-77,6 arasında değişmiştir. KOİ giderim verimleri filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için sırasıyla % 73,23 , 68,68 olarak hesaplanmıştır. Diğer organik yüklemelerden elde edilen sonuçlara bakıldığında KOİ giderim veriminde azalama görülmüştür.

Şekil 4.60'ta reaktördeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı madde ve uçucu katı madde değişimi görülmektedir. Organik yüklemedeki artışa bağlı olarak AKM'nin 3150-3260 mg/L, UAKM'nin ise 2250-2550 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmüştür. Ortalama değerler sırasıyla 3230 mg/L, 2460 mg/L olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.61 incelendiğinde ise UAKM / AKM oranının % 69,88-78,46 aralığında olduğu gözlenmiştir.

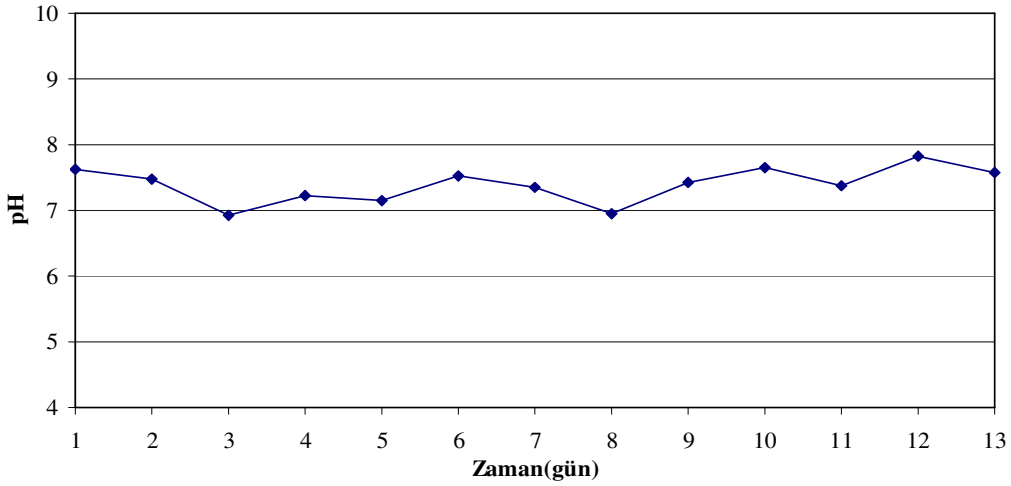
Şekil 4.62'de sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. Değişim 6,64-7,44 gr/gün aralığında gerçekleşmiştir. Y değeri 0,42 g AKM / g KOİ olarak hesaplanmıştır.



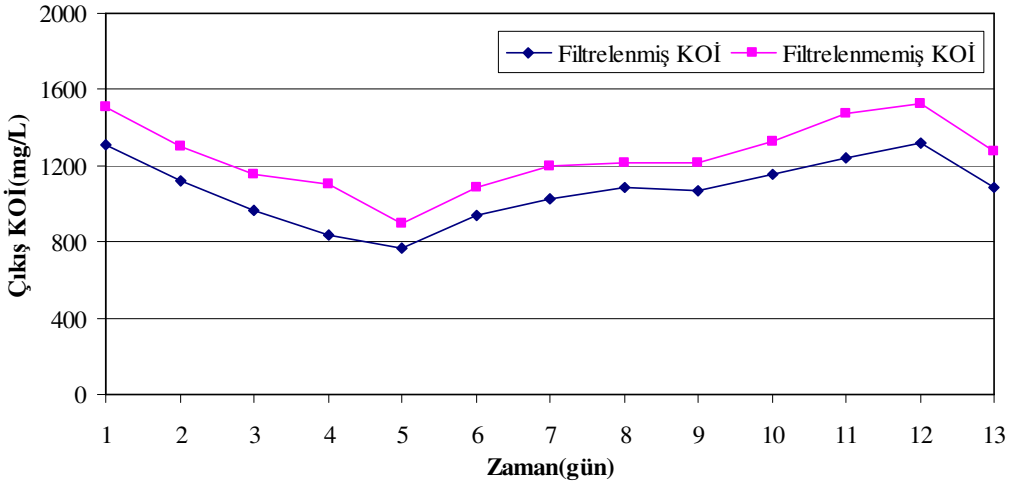
Şekil 4.55. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



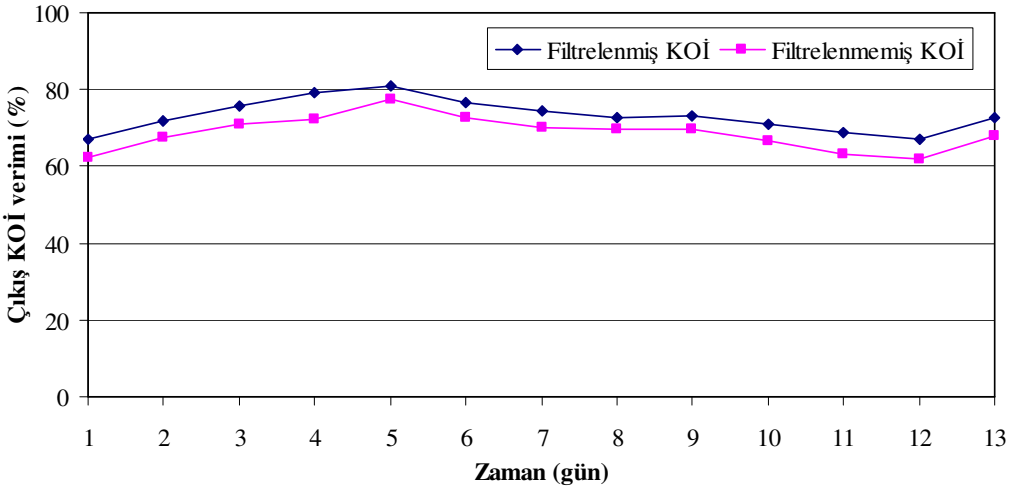
Şekil 4.56. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



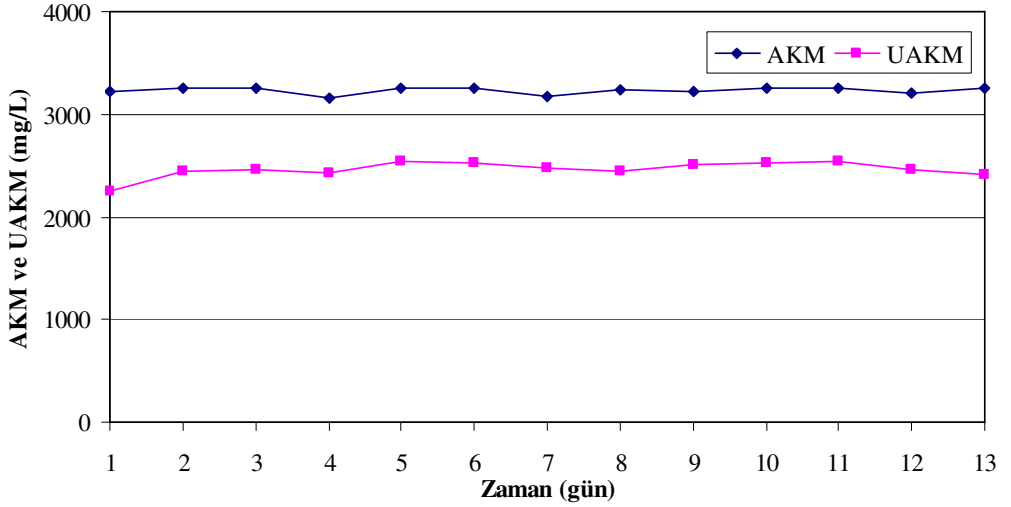
Şekil 4.57. HYBR prosesinde pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



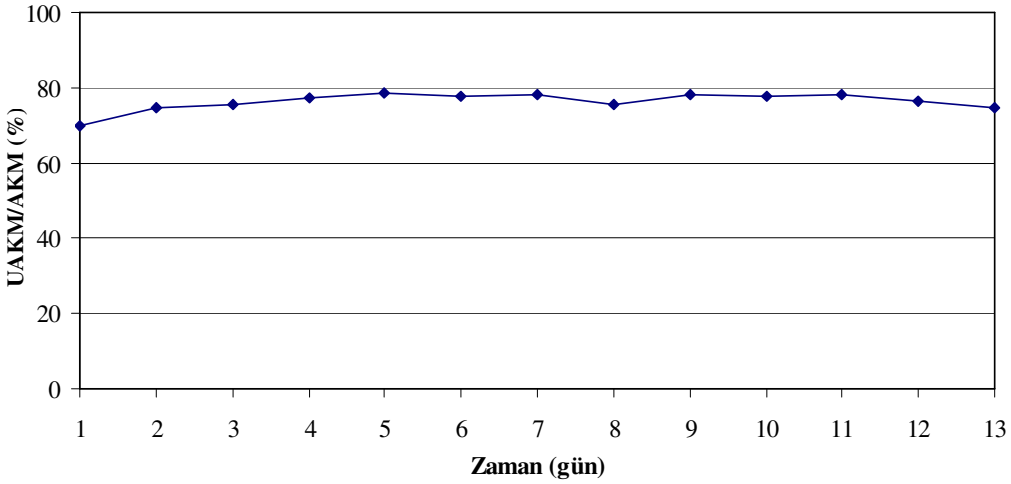
Şekil 4.58. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



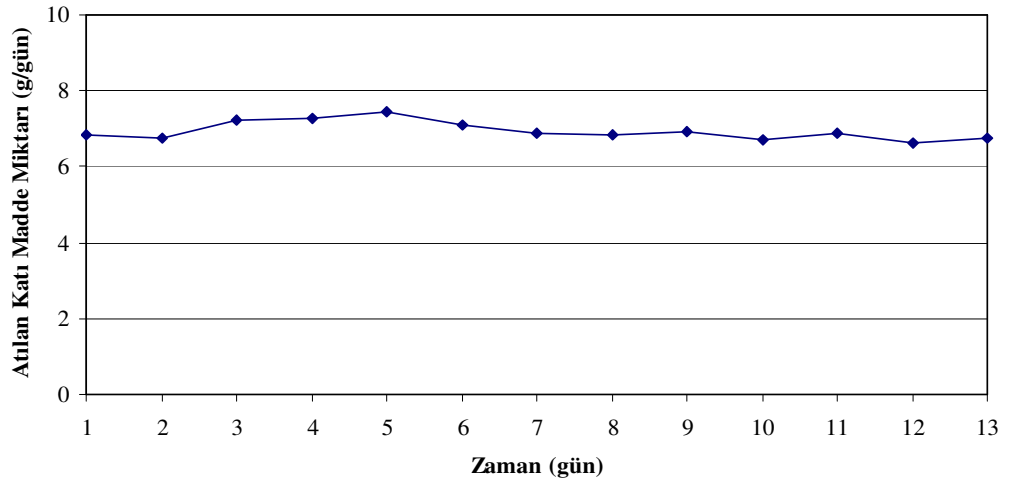
Şekil 4.59. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



Şekil 4.60. HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



Şekil 4.61. HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)



Şekil 4.62. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 4000 mg/L)

4.2.5. 8000 mg/L KOİ Organik Yüklemesi

HYBR prosesi, 23 Eylül - 07 Ekim 2005 tarihlerinde 8 sa hidrolik bekleme süresinde 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile 24 kg toplam KOİ/m^3.gün hacimsel organik yükleme ve 96 gr toplam KOİ/m^2.gün yüzeysel organik yüklemeyle işletilmiştir. Yapılan en yüksek organik yüklemede HYBR'nin performansı takip edilmiştir. 5 günlük adaptasyon sürecinden sonra deneylere başlanmıştır.

Çizelge 4.29'da 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık değerleri, 2 saat aralıklarla ölçülen Ç.O. konsantrasyonunun günlük ortalama değerleri ve uygun işletme şartlarının kontrolü için yapılan pH ölçümleri verilmiştir.

Çizelge 4.30'da 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan beslemede organik yüklemesinde çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri, KOİ giderim verimleri verilmiştir.

Çizelge 4.31'de 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen sistemde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarı ile sistemden atılan günlük katı madde miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.29. 8000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR prosesinde ölçülen sıcaklık, Ç.O. ve pH değerleri

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
Sıcaklık (^{0}C)	19,2	19,4	20,6	18,6	19,1	18,4	18,8	19,6	19,2	19,4	**19,2**
Ç.O. (mg/L)	0,24	0,32	0,18	0,22	0,26	0,21	0,18	0,18	0,21	0,22	**0,22**
pH	7,63	7,81	7,52	6,96	7,14	7,48	7,62	7,25	7,32	7,16	**7,39**

Çizelge 4.30. 8000 mg/L KOİ yüklemesinde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri ve KOİ giderim verimleri

Gün		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
Filtrelenmiş KOİ	**mg/L**	3694	3862	4156	3748	3982	3612	3864	3595	3723	3626	**3786**
	% Verim	53,83	51,73	48,05	53,15	50,23	54,85	51,70	55,06	53,46	54,68	**52,67**
Filtrelenmemiş KOİ	**mg/L**	4364	4482	4565	4428	4576	4284	4366	3982	4472	4292	**4381**
	% Verim	45,45	43,98	42,94	44,65	42,80	46,45	45,43	50,23	44,10	46,35	**45,24**

Çizelge 4.31. 8000 mg/L KOİ yüklemesinde HYBR reaktöründe ölçülen AKM, UAKM ve sistemden atılan katı madde miktarları

Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
AKM (mg/L)	3240	3310	3360	3240	3350	3260	3190	3240	3310	3270	**3277**
UAKM (mg/L)	2038	2540	2560	2440	2480	2310	2280	2350	2440	2440	**2388**
UAKM/AKM (%)	73,46	76,74	76,19	75,31	74,03	70,86	71,47	72,53	73,72	74,62	**72,84**
Atılan Katı Madde Miktarı (g/gün)	12,36	11,88	11,46	12,42	12,24	12,48	12,15	12,66	12,45	12,42	**12,25**

Şekil 4.63'te 8 sa hidrolik alıkonma süresinde 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesindeki sıcaklık değişimleri görülmektedir. Laboratuar ortamında gerçekleştirilen deney boyunca sıcaklıkta önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Sıcaklık değişimi 18,4-20,6 ^{0}C aralığında olmuştur.

Şekil 4.64'te artan organik yüklemede sisteme verilen hava miktarı, biyolojik aktivitenin sürdürülebilmesi için arttırılmıştır. 2,3 ml/dakika sabit havanın verildiği HYBR havalandırma havuzundaki ortalama Ç.O. konsantrasyonu 0,18-0,32 mg/L aralığında değişim göstermiştir.

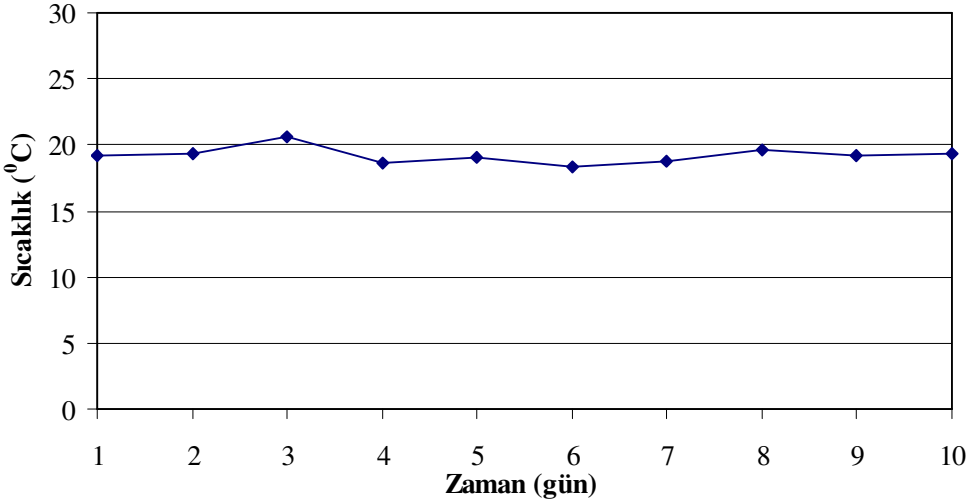
Şekil 4.65'te reaktörde ölçülen pH değerleri görülmektedir. Değişim 6,96-7,81 aralığında gerçekleşmiştir.

Şekil 4.66'da en yüksek organik yüklemede organik madde giderminin ölçüsü olarak kabul edilen çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri görülmektedir. Çıkış filtrelenmiş KOİ değeri 3595-4156 mg/L arasında değişirken ortalama KOİ değeri 3786 mg/L olarak hesaplanmıştır. Çökelme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri ise 3982-4576 mg/L arasında değişirken ortalama KOİ değeri 4381 mg/L olarak hesaplanmıştır.

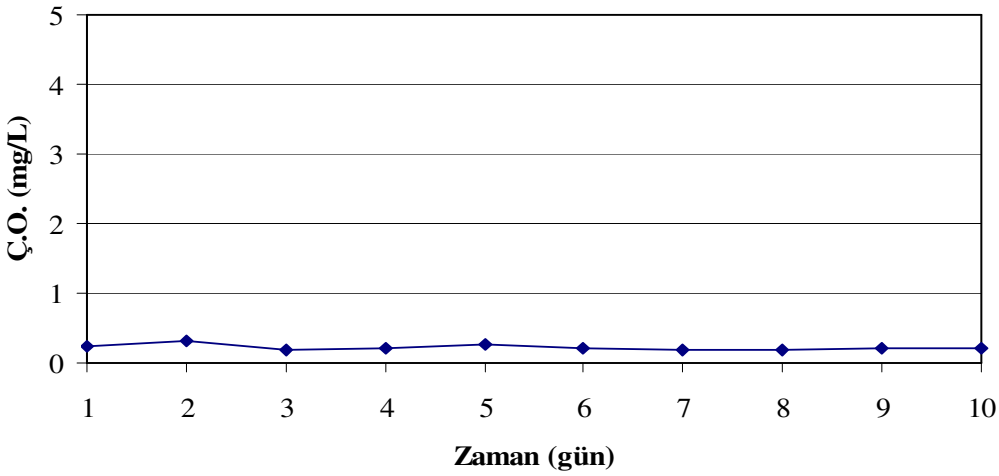
Şekil 4.67'de filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ bazında organik madde giderim verimleri görülmektedir. KOİ giderim verimi organik yüklemedeki artışa bağlı olarak azalmıştır. Çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri % 48,05-55,06 arasında değişirken filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri % 42,8-50,23 arasında değişmiştir. KOİ giderim verimleri filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ için sırasıyla % 52,67 , 45,24 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.68'de reaktördeki sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki katı madde ve uçucu katı madde değişimi görülmektedir. AKM'nin 3190-3360 mg/L, UAKM'nin ise 2280-2560 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmüştür. Ortalama değerler sırasıyla 3277 mg/L, 2420 mg/L olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.69 incelendiğinde ise UAKM / AKM oranının % 70,86-76,74 aralığında olduğu gözlenmiştir.

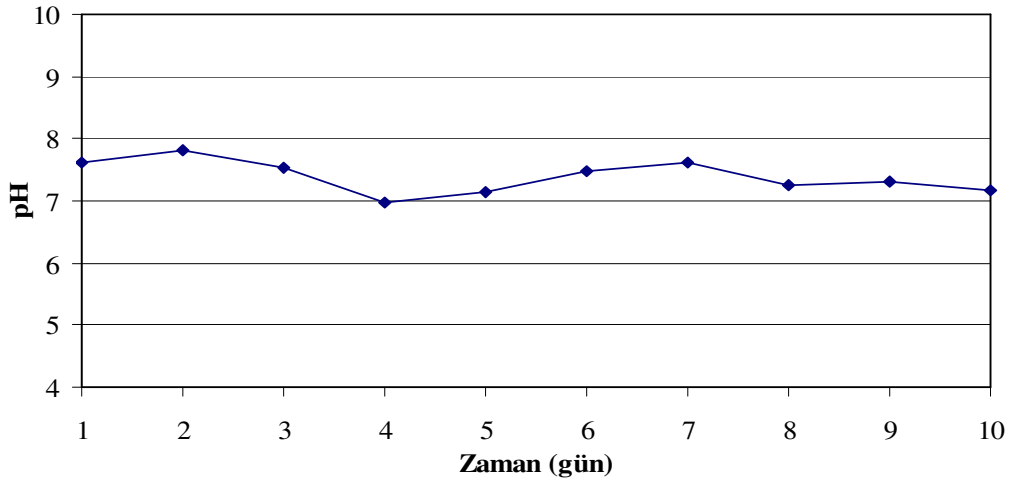
Şekil 4.70'de sistemden atılan günlük katı madde miktarının değişimi görülmektedir. En yüksek organik yüklemede sistemden atılan katı madde miktarı maksimum olmuştur. Değişim 11,46-12,48 g/gün aralığında gerçekleşmiştir. Ortalama Y değeri 0,56 g AKM / g KOİ olarak hesaplanmıştır.



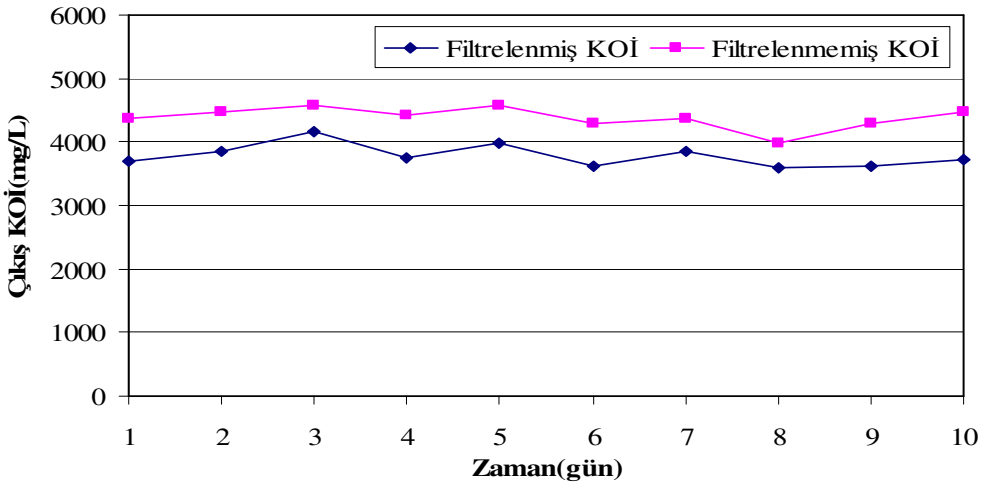
Şekil 4.63. HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



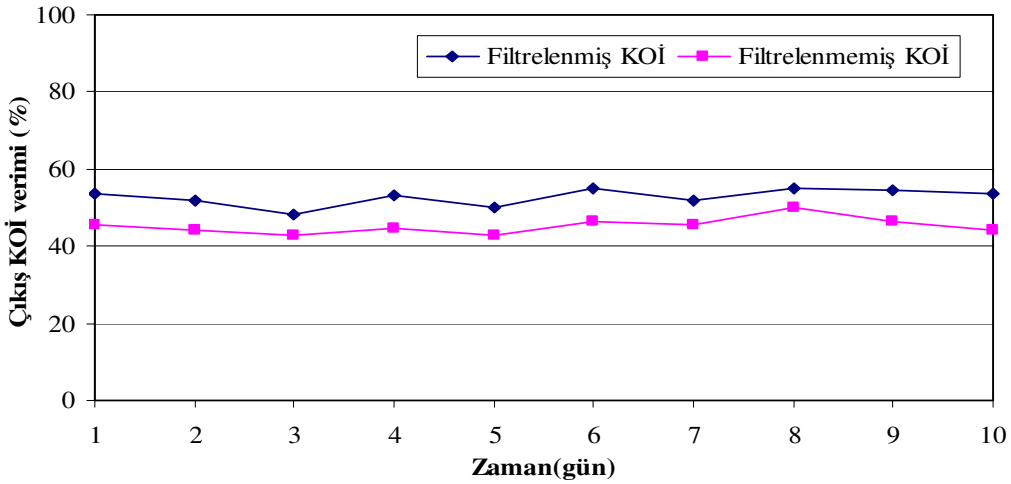
Şekil 4.64. HYBR prosesindeki günlük ortalama çözünmüş oksijen değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



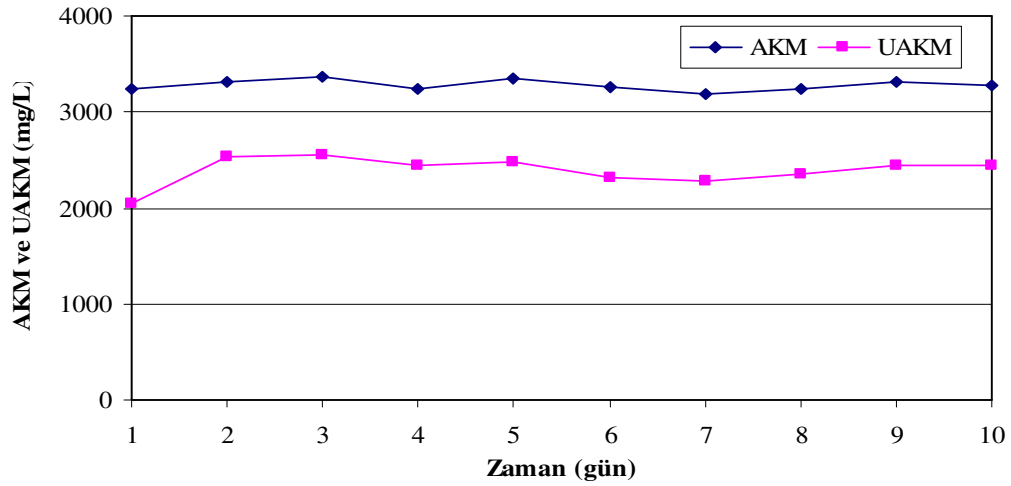
Şekil 4.65. HYBR prosesindeki pH değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



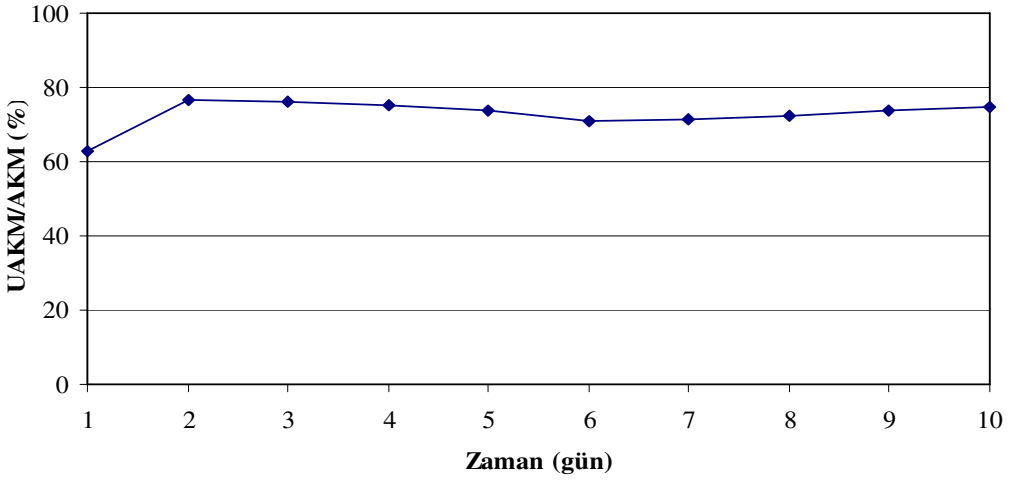
Şekil 4.66. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



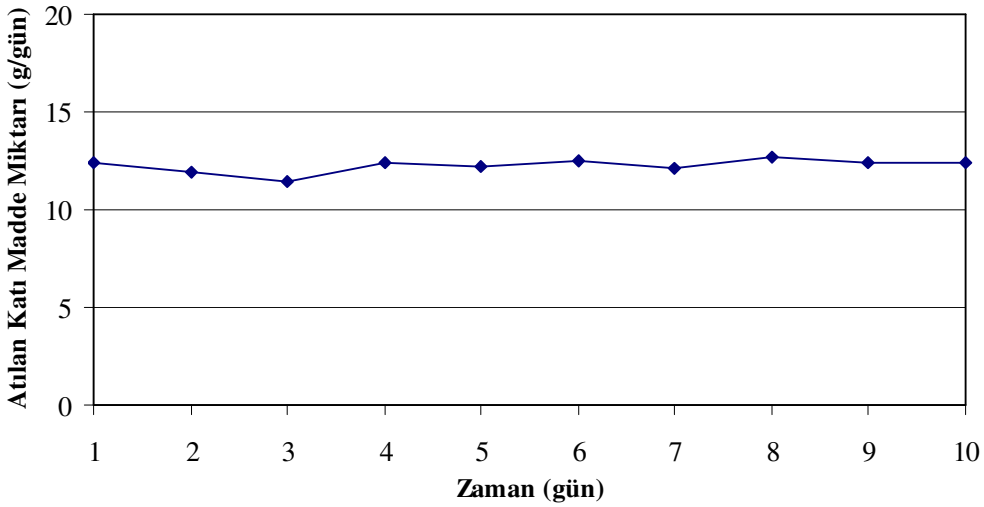
Şekil 4.67. Çökeltme havuzu çıkışı filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



Şekil 4.68. HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



Şekil 4.69. HYBR prosesindeki UAKM/AKM değerleri (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)



Şekil 4.70. HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı (HRT = 8 saat, KOİ = 8000 mg/L)

4.2.6. Farklı organik yüklemelerde HYBR performansı

Deneysel çalışmanın ikinci kısmını organik yüklemelerin HYBR performansına etkisi oluşturmaktadır. 8 sa sabit hidrolik alıkonma süresinde farklı organik yüklemelerin HYBR performansına etkisi 2 L reaktöre 500, 1000, 2000, 4000, 8000

mg/L KOİ içeren sentetik atıksu beslenerek incelenmiştir. Organik yükleme, hacimsel olarak 1,5 kg toplam KOİ/m^3.gün'den 24 kg toplam KOİ/m^3.gün'e, yüzeysel organik yükleme 6 g toplam KOİ/m^2.gün'den 96 g toplam KOİ/m^2.gün'e kadar arttırılmıştır.

Çizelge 4.32.'de farklı organik yüklemeler boyunca reaktörde ölçülen sıcaklık, Ç.O. konsantrasyonu ve pH değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.33'te farklı hacimsel ve yüzeysel organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.34'te farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.35'de farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.36'da farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ giderim verimlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.37'de farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.38'de farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.39'da farklı organik yüklemelerde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.40'ta farklı organik yüklemelerde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki UAKM değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.61'de farklı organik yüklemelerde sistemden atılan günlük katı madde miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.32. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki ortalama sıcaklık, ortalama çözünmüş oksijen konsantrasyonları ve pH değerleri

Organik Yük	(kg toplam KOİ/ m^3.gün)	1,5	3	6	12	24
	(g toplam KOİ/ m^2.gün)	6	12	24	48	96
Sıcaklık (^{0}C)		20,5	21,7	20,7	19,6	19,2
Çözünmüş Oksijen (mg/L)		2,99	2,83	2,53	0,84	0,22
pH		7,42	7,46	7,24	7,39	7,39

Çizelge 4.33. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ değerleri

Organik Yük	Numune Sayısı	Maksimum KOİ (mg/L)	Minimum KOİ (mg/L)	Ortalama KOİ (mg/L)	Standart Sapma
1,5 kg toplam KOİ/ m^3.gün 6 gr toplam KOİ/ m^2.gün	15	22	11	16,1	3,22
3 kg toplam KOİ/ m^3.gün 12 gr toplam KOİ/ m^2.gün	5	40	36	38	1,58
6 kg toplam KOİ/ m^3.gün 24 gr toplam KOİ/ m^2.gün	14	230	102	150	44
12 kg toplam KOİ/ m^3.gün 48 gr toplam KOİ/ m^2.gün	13	1316	767	1071	168
24 kg toplam KOİ/ m^3.gün 96 gr toplam KOİ/ m^2.gün	10	4156	3595	3786	181

Çizelge 4.34. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri

Organik Yük	Numune Sayısı	Maksimum KOİ (mg/L)	Minimum KOİ (mg/L)	Ortalama KOİ (mg/L)	Standart Sapma
1,5 kg toplam KOİ/ m^3.gün 6 gr toplam KOİ/ m^2.gün	15	34	19	24,5	4,85
3 kg toplam KOİ/ m^3.gün 12 gr toplam KOİ/ m^2.gün	5	54	48	50,8	2,28
6 kg toplam KOİ/ m^3.gün 24 gr toplam KOİ/ m^2.gün	14	450	136	213	102
12 kg toplam KOİ/ m^3.gün 48 gr toplam KOİ/ m^2.gün	13	1522	896	1253	180
24 kg toplam KOİ/ m^3.gün 96 gr toplam KOİ/ m^2.gün	10	4576	3982	4381	173

Çizelge 4.35. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ giderim verimleri

Organik Yük	Numune Sayısı	Maksimum Verim (%)	Minimum Verim (%)	Ortalama Verim (%)	Standart Sapma
1,5 kg toplam KOİ/ m^3.gün 6 gr toplam KOİ/ m^2.gün	15	97,6	95,8	96,8	0,64
3 kg toplam KOİ/ m^3.gün 12 gr toplam KOİ/ m^2.gün	5	96,3	96	96,2	0,16
6 kg toplam KOİ/ m^3.gün 24 gr toplam KOİ/ m^2.gün	14	94,9	88,5	92,4	2,19
12 kg toplam KOİ/ m^3.gün 48 gr toplam KOİ/ m^2.gün	13	80,8	67,1	73,2	4,20
24 kg toplam KOİ/ m^3.gün 96 gr toplam KOİ/ m^2.gün	10	55,1	48,1	52,7	2,26

Çizelge 4.36. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri

Organik Yük	Numune Sayısı	Maksimum Verim (%)	Minimum Verim (%)	Ortalama Verim (%)	Standart Sapma
1,5 kg toplam KOİ/ m^3.gün 6 gr toplam KOİ/ m^2.gün	15	93,2	96,2	95,1	0,97
3 kg toplam KOİ/ m^3.gün 12 gr toplam KOİ/ m^2.gün	5	95,2	94,6	95	0,23
6 kg toplam KOİ/ m^3.gün 24 gr toplam KOİ/ m^2.gün	14	93,2	77,5	89,3	5,09
12 kg toplam KOİ/ m^3.gün 48 gr toplam KOİ/ m^2.gün	13	77,6	61,9	68,7	4,52
24 kg toplam KOİ/ m^3.gün 96 gr toplam KOİ/ m^2.gün	10	50,2	42,8	45,2	2,16

Çizelge 4.37. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N değerleri

Organik Yükleme KOİ (mg/L)	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
500	15	12,19	9,03	10,99	0,92
1000	5	2,26	1,67	1,85	0,24
2000	14	0,68	1,04	0,85	0,11
4000	13	*	*	*	*
8000	10	*	*	*	*

* Nitrifikasyon inhibe olduğundan ölçüm yapılmamıştır.

Çizelge 4.38. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerleri

Organik Yükleme KOİ (mg/L)	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
500	15	5,11	0,99	2,47	1,17
1000	5	5,11	12,02	8,30	2,57
2000	14	26,68	15,32	19,95	2,68
4000	13	*	*	*	*
8000	10	*	*	*	*

*Nitrifikasyon inhibe olduğundan ölçüm yapılmamıştır.

Çizelge 4.39. Farklı organik yüklemelerde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM değerleri

Organik Yükleme KOİ (mg/L)	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
500	15	3850	3050	3326	207
1000	5	2660	2220	2494	180
2000	14	2910	2640	2755	78
4000	13	3260	3150	3230	33
8000	10	3360	3190	3277	54

Çizelge 4.40. Farklı organik yüklemelerde sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki UAKM değerleri

Organik Yükleme KOİ (mg/L)	Numune Sayısı	Maksimum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Ortalama (mg/L)	Standart Sapma
500	15	2700	2150	2430	155
1000	5	1940	1780	1888	69
2000	14	2260	1910	2100	93
4000	13	2550	2250	2460	78
8000	10	2560	2280	2387	153

Çizelge 4.41. Farklı organik yüklemelerde sistemden atılan günlük katı madde miktarları

Organik Yük	(kg toplam KOİ/ m^3.gün)	1,5	3	6	12	24
	(g toplam KOİ/ m^2.gün)	6	12	24	48	96
Atılan Katı Madde Miktarı		0,35	2,24	4,00	6,94	12,25

Şekil 4.71 incelendiğinde sıcaklıkta önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. Ortalama sıcaklıkların değişimi 19,2-21,7 ^{0}C aralığındadır.

Şekil 4.72'de organik yüklemeler arttırıldıkça Ç.O. konsantrasyonunun hava miktarı arttırılmasına rağmen azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.73'te hidrolik alıkonma sürelerinde olduğu gibi organik yüklemelerde de pH'daki değişim organik madde ve azot giderimini inhibe etmeyecek şekilde olmuştur.

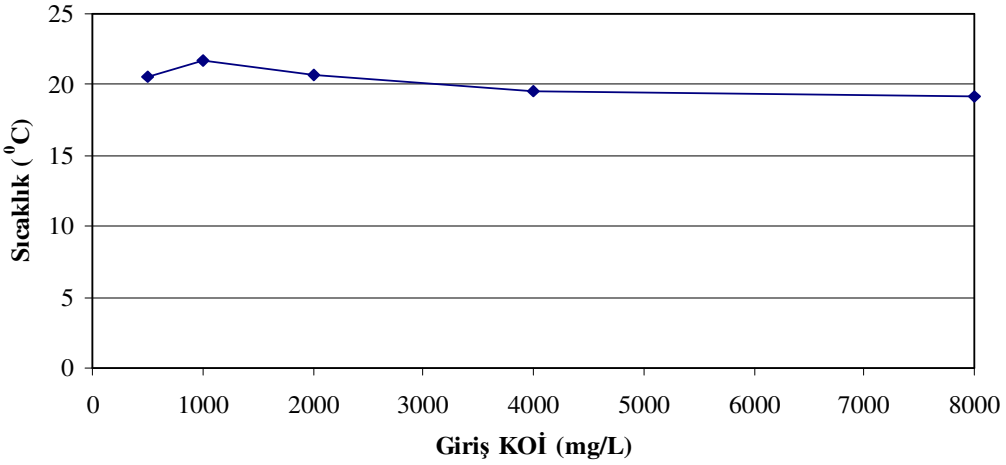
Şekil 4.74'te çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri görülmektedir. Artan organik yüklemelerle çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri artmaktadır.

Şekil 4.75'te çıkış filtrelenmiş ve filtrelenmemiş verimlerinde organik yüklemedeki artış ile azalma meydana gelmiştir. 8 saat hidrolik alıkonma süresinde 2000 mg/L'ye kadar verimli olduğu görülmektedir.

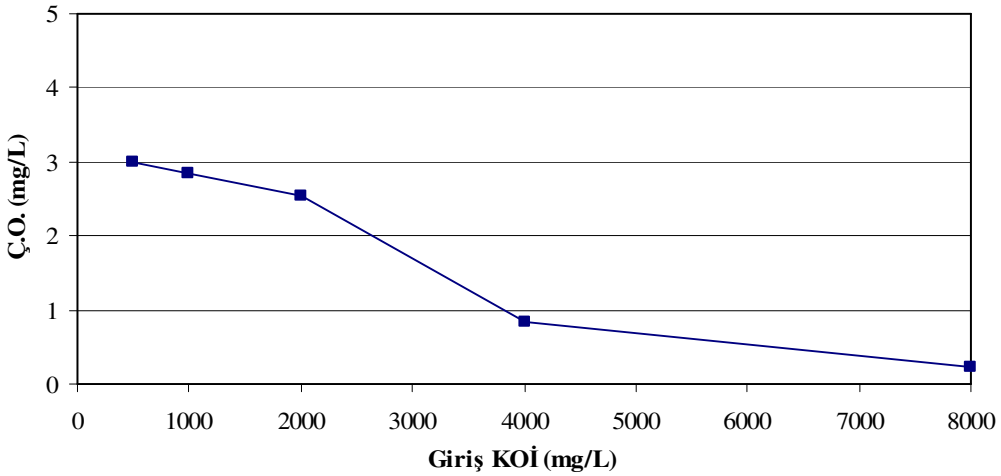
Şekil 4.76'da çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri görülmektedir. 2000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan organik yüklemede çıkış NO_3-N değerinden nitrifikasyonun inhibe olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan organik yüklemelerde NO_3-N ve NH_4-N ölçümleri yapılmamıştır.

Şekil 4.77'de sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM ve UAKM değerleri görülmektedir. Artan organik yüklemelerle HYBR reaktöründeki AKM ve UAKM değerlerinde artış olmuştur. 1,5 kg toplam KOİ/m^3.gün hacimsel organik yüklemesi ile 3 kg toplam KOİ hacimsel yüklemesi arasında 1 kg toplam KOİ/m^3.gün hacimsel yüklemesi 12 saat hidrolik alıkonma süresinde yüklenmiştir. Bundan dolayı sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki AKM ve UAKM miktarlarında azalma tespit edilmiştir.

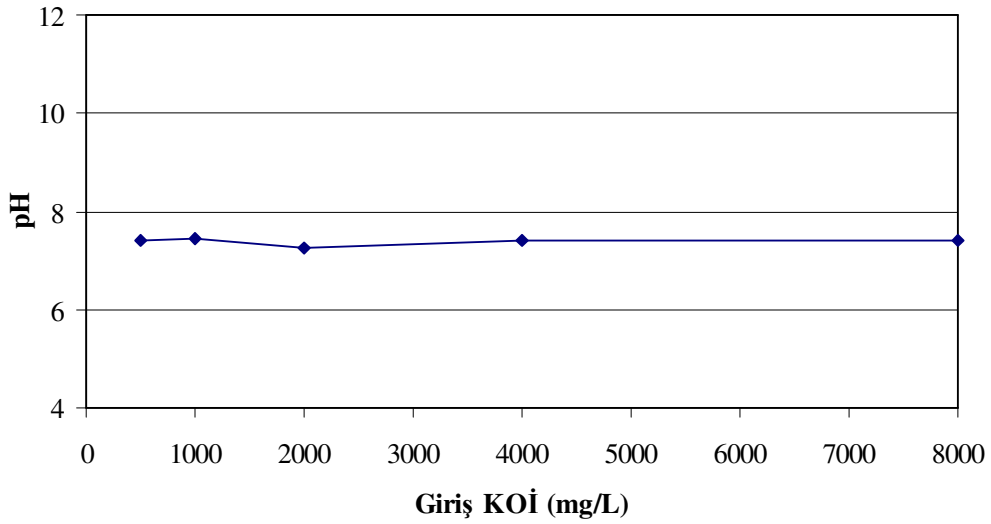
Şekil 4.78'de artan organik yüklerle sistemden atılan katı madde miktarında artış olmuştur.



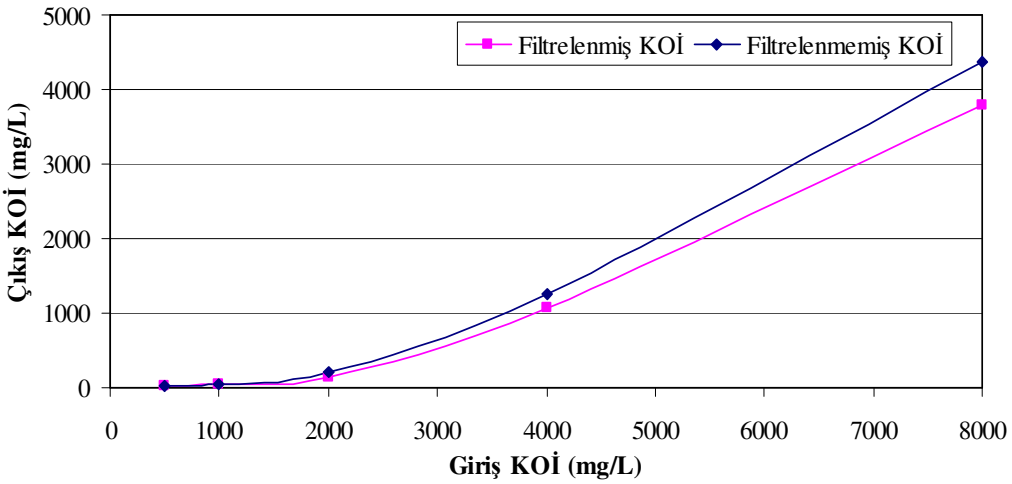
Şekil 4.71. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki sıcaklık değerleri



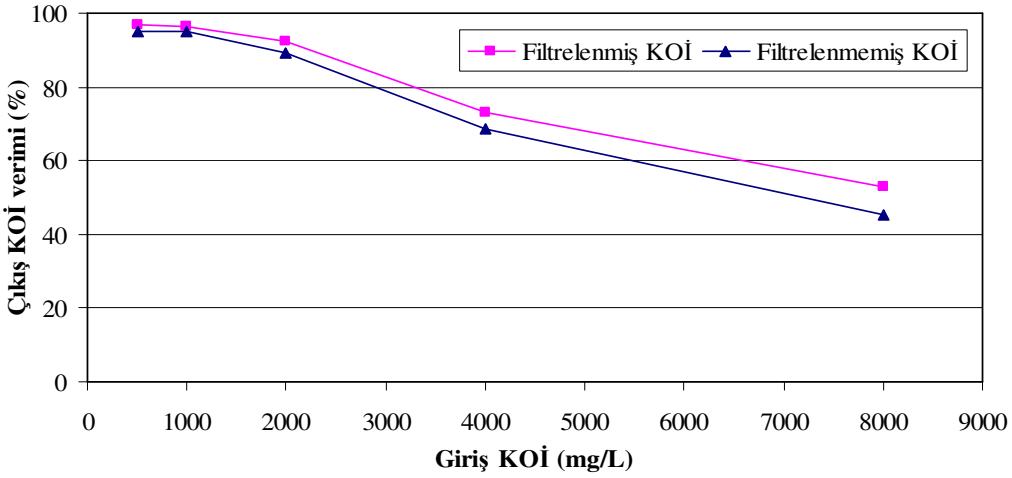
Şekil 4.72. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonları



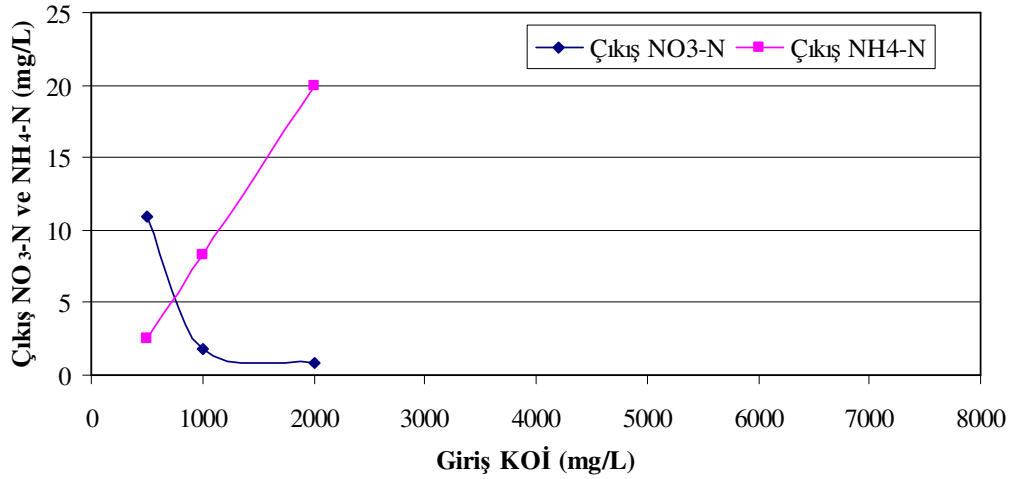
Şekil 4.73. Farklı organik HYBR prosesindeki pH değerleri



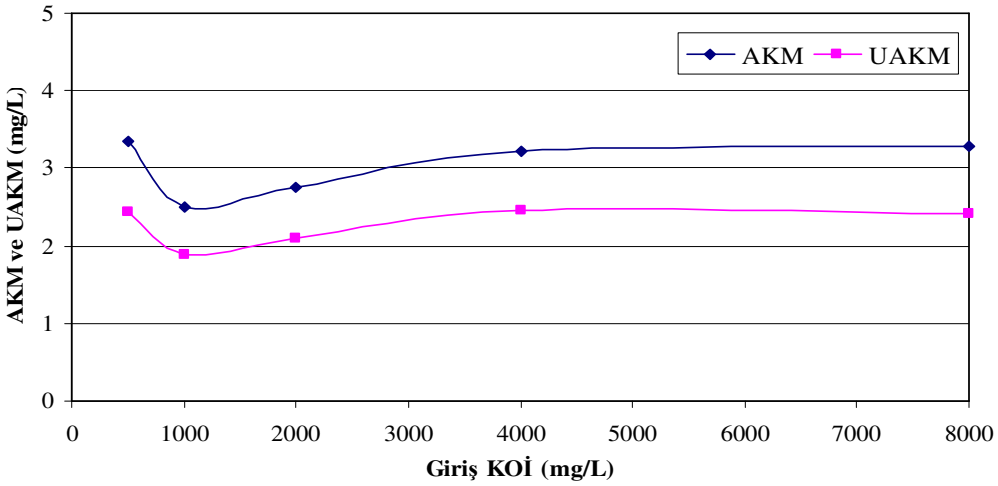
Şekil 4.74. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu ortalama çıkış KOİ değerleri



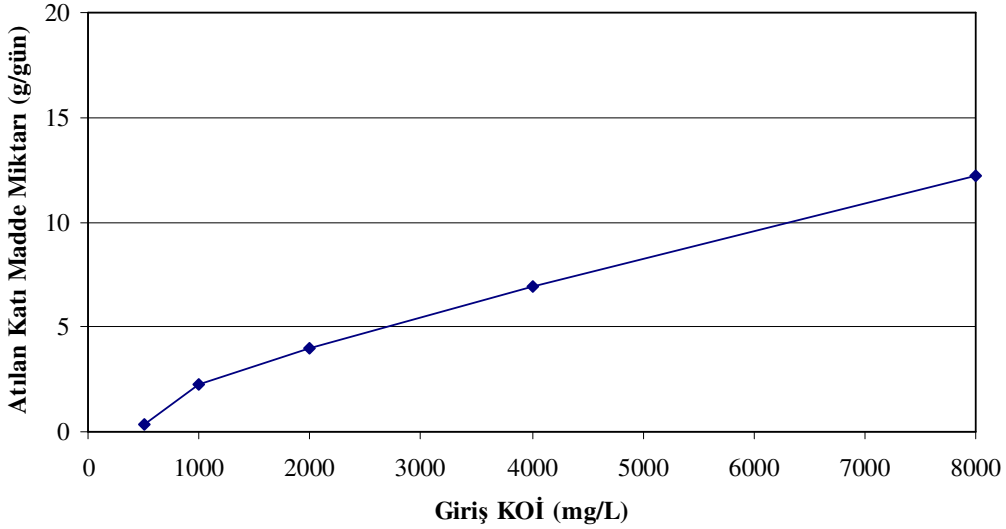
Şekil 4.75. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu ortalama çıkış KOİ giderim verimleri



Şekil 4.76. Farklı organik yüklemelerde çökeltme havuzu çıkış NO_3-N ve NH_4-N değerleri



Şekil 4.77. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesindeki AKM ve UAKM değerleri



Şekil 4.78. Farklı organik yüklemelerde HYBR prosesinden atılan günlük katı madde miktarı

4.3. Tartışma

HYBR proseslerinde evsel atıksu (Andreottola ve ark., 2000; Daude ve Stephanson, 2003; Pastorelli ve ark.,1997a, Rusten, 2006), endüstriyel atıksu (Rusten ve ark., 1992; Jahren ve ark., 2002; Hansen ve ark., 1999) ve sentetik atıksu (Hem ve ark., 1994; Welander ve ark., 2003) ile yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada, farklı işletme koşullarında HYBR performansının değişimini daha iyi ifade etmek ve atıksu kompozisyonun değişiminden kaynaklanacak ve sistem performansının izlenmesini zorlaştıracak problemlerin önüne geçmek amacıyla HYBR reaktörü KOİ / NH_4-N / PO_4-P oranı 100:5:1 olan sentetik atıksu ile beslenmiştir. Sentetik atıksuda bulunan substratlar çözünmüş haldedir ve biyolojik olarak tamamen parçalanabilmektedir.

Askıda büyümeye ilave olarak bağlı büyümenin gerçekleştirildiği hibrid sistemlerde; sistem performansını doğrudan etkileyen spesifik yüzey alanları, ebatları, doluluk oranları, yoğunlukları farklı sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılmaktadır. Kaldnes (Daude ve Stephanson, 2003; Rusten ve ark., 1997), Flocor-RPM (Andreottola ve ark., 2000), Linpor (Morper ve ark., 1990), Ringlace (Jones ve ark., 1998) gibi farklı sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak yapılmış arıtma çalışmaları bu sistemlerin kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

HYBR proseslerinde doluluk oranı arttıkça sistemdeki bağlı biyokütle miktarı artmaktadır. Ancak sistemin çalışma prensibi uyarınca sentetik taşıyıcı malzemelerin reaktörde serbestçe hareket edebilmesi için doluluk oranının % 70'ten az olması gerektiği belirtilmiştir (Ødegaard, 2000). Rodgers ve Zhan (2003) yaptıkları çalışmada HYBR proseslerinde doluluk oranı % 30-70 arasında olması gerektiğini ifade etmiştir.

Sentetik taşıyıcı malzemeler havalandırma havuzunda askıda veya sabitlenmiş olarak bulunabilirler. Askıda sentetik taşıyıcı malzemeler kullanılarak inşa edilmiş sistemlere HYBR, Flocor-rpm, Linpor örnek olarak verilebilirken, sabitlenmiş sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı sistemlere Ringlace ve Biomatrix örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada; 800 m^2/m^3 toplam, 500 m^2/m^3 korunmuş spesifik yüzey alanlı kaldnes K1 taşıyıcı malzeme doluluk oranı (Andreottola ve ark., 2000; Daude ve Stephanson, 2003) olduğu gibi % 50 olarak seçilmiş ve HYBR prosesinde biyofilm oluşumunun tamamlanabilmesi amacıyla ilk 60 gün başlangıç periyodu olarak kabul edilmiştir (Orantes ve ark., 2002).

500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan beslemelerde hidrolik alıkonma süresinin artması ile organik madde giderimi ve nitrifikasyonda artış tespit edilmiştir.

8 saat hidrolik alıkonma süresindeki organik yüklemelerde ise artan organik yükleme ile çıkış KOİ veriminde azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte artan organik yüklemelerde nitrifikasyonunun azaldığı ve 2000 mg/L'de bitme noktasına geldiği gözlenmiştir.

Bu proseslerde nitrifikasyon oluşabilmesi için çözünmüş oksijen değeri 2-3 mg/L'nin üzerinde olmalıdır (Ødegaard ve ark., 1994). Pastorelli ve ark. (1997b), nitrifikasyon için en düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2,08 mg/L olduğunu ifade etmiştir. Hidrolik yüklemelerde 3 mg/L civarında çözünmüş oksijen sistemde mevcutken ve organik yüklemelerde çözünmüş oksijen değeri hava miktarının arttırılmasına rağmen organik maddenin oksitlenmesine bağlı olarak azalmıştır. 500, 1000 ve 2000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan yüklemelerde çözünmüş oksijen sistemi inhibe edecek 2 mg/L'nin altına inmemiştir. 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksular ile yapılan organik yüklemlerde nitrifikasyon için sınır oksijen değerinin altında kalınmıştır.

Biyolojik arıtımın kullanıldığı tesislerde çıkış suyu kalitesi sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Düşük sıcaklık olması durumunda iyi çıkış suyu kalitesini temin etmek üzere hidrolik alıkonma sürelerinin arttırılması zorunludur. Bu çalışmada sıcaklık değişimi laboratuar ortamında 20-30 ^{0}C aralığında yani optimum şartlardadır. Bununla birlikte yapılan literatür çalışmaları sıcaklığın HYBR performansını doğrudan etkilemediğini ortaya koymaktadır (Andreottola ve ark. 2000; Welander ve Mattiasson, 2003).

pH değişimi 6,72 - 7,88 aralığındadır. pH organik madde gideriminden ziyade nitrifikayon için önemlidir. Zira nitrifikasyon sırasında pH düşme eğilimindedir

optimum nitrifikasyon için pH 6,5-8 aralığında olmalıdır. Nitrifikasyonun inhibe olmaması için sentetik suda yeterli alkalinite sağlanmıştır.

Biyofim sistemlerinde yüzeysel yükleme değerinin heterotrof mikroorganizmaların aşırı gelişmesinden sakınmak için 4-6 g $BOİ_5/m^2$.gün'den fazla olmaması gerektiği ifade edilmiştir (Rittman ve Mc Carty, 2001; Henze ve ark., 2002). 6 g $KOİ/m^2$.gün yüzeysel yüklemeden sonra nitrifikasyonda önemli bir azalmanın meydana geldiği organik yüklemeler sırasında belirlenmiştir.

4-5 g çözünmüş $BOİ/m^2$.gün den büyük yüzeysel yüklemelerde nitrifikasyonun gerçekleşmediğini pilot ölçekli çalışmada ortaya konmuştur (Rusten ve ark., 1995). Ancak bu çalışmada 24 g $KOİ/m^2$.gün yüzeysel organik yüklemede az da olsa nitrifikasyonun gözlendiği görülmüştür.

Nitrifikasyon sistemleri nispeten düşük F/M oranlarında çalıştırılırlar. Maksimum biyokütle konsantrasyonu klasik aktif çamur proseslerinde çamurun son çökeltme havuzundaki çökelme özelliklerinin sınırlayıcılığından ötürü en çok 5 gr MLSS/L olabilmektedir (Hanel, 1998). Bu yüzden klasik biyoloji arıtma sistemleri daha büyük hacimlerdeki tanklarda nitrifikasyonu gerçekleştirmektedir (Li, 2004). HYBR proseslerinde biyokütle havalandırma havuzunda kaldığından son çökeltmeye olan katı yüklemesi azalmaktadır. Buda sistemin daha düşük F/M oranında çalışmasını sağlar ve son çökeltime olan katı yüklemesi nispeten az olduğundan çökelme problemleri yaşanmaz.

Kaldnes sentetik taşıyıcı malzeme kullanılarak yapılmış çalışmada maksimum organik madde giderimi yaklaşık 50 kg $KOİ/m^3$.gün organik yükleme kağıt endüstrisi atıksularının arıtımında denenmiştir (Rusten ve ark., 1994). Bu çalışmada 24 kg KOİ $/m^3$.gün organik yüklemede verim % 50'nin altına indiğinden daha yüksek hacimsel organik yükleme yapılmamıştır.

Morper ve ark. (1990) yaptıkları çalışmada Linpor sentetik taşıyıcı malzemeleri kullanarak mevcut tesisin 2/3 ünü iyileştirmişlerdir. % 10 doluluk oranı ile 5 g/L, % 30 doluluk oranı ile 6,6 g/L biyokütleye ulaşmışlardır. Artan biyokütle ile klasik sisteme nazaran iki kat organik yüklemeyi karşıladığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada % 50 doluluk oranı sabit kabul edilmiş ve biyokütledeki değişim hidrolik kesme kuvveti ve yapılan organik yüklemeye bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada laboratuar ölçekli diğer çalışmalardan farklı olarak, farklı hidrolik ve organik yüklemelerin HYBR performansı üzerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma iki bölümden oluşturulmuştur. Birinci bölümde farklı hidrolik alıkonma sürelerinde çalıştırılan HYBR prosesi, ikinci bölümde farklı organik yüklemelerde çalıştırılmıştır.

Birinci bölümde HYBR prosesi evsel atıksuyu temsil etmek üzere 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenerek 4, 8 ve 12 saat hidrolik bekletme sürelerinde çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 4, 8 ve 12 saat hidrolik bekletme sürelerinde ortalama çökeltme havuzu çıkış filtrelenmemiş KOİ değerleri sırasıyla 26,9 mg/L, 24,5 mg/L ve 23,3 mg/L olarak hesaplanırken ortalama çökeltme havuzu çıkış filtrelenmiş KOİ değerleri sırasıyla 17,7 mg/L , 16,1 mg/L ve 15,8 mg/L olarak hesaplanmıştır. Artan hidrolik bekletme sürelerinde sırasıyla ortalama filtrelenmemiş KOİ giderim verimi %94,6, %95,1, %95,4 iken ortalama filtrelenmiş KOİ verimleri sırasıyla %96,5, %96,8 , %96,9'dur.
- Uygulanan hidrolik alıkonma sürelerinde filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ giderim verimlerinde önemli bir farklılık gözlenmemiştir. 8 saat ve 12 saat hidrolik bekletme sürelerinde aynı miktardaki atıksuyun arıtım için gerekli tank hacmi ve elde edilen verim göz önüne alındığında 500 mg/L KOİ içeren sentetik atıksuyun arıtımında 4 saatlik hidrolik alıkonma süresinin yeterli olduğu tespit edilmiştir.
- 4 saat hidrolik alıkonma süresinde klasik biyolojik arıtma sistemlerinde nitrifikasyon bakterilerinin düşük büyüme hızları nedeniyle nitrifikasyon gözlenememektedir. Ancak 4 saat hidrolik bekletme süresinde bu proseste NO_3-N değeri çökeltme havuzu çıkışında 6,12 mg/L olarak ölçülmüştür.
- Nitrifikasyonda hidrolik alıkonma süresinin artışı ile artış gözlenmiştir. Sırasıyla çıkış NO_3-N değerleri 6,12 mg/L, 10,99 mg/L ve 16,6 mg/L iken

çökeltme havuzu çıkış NH_4-N değerleri nitrifikasyona bağlı olarak azalmış ve sırasıyla 4,11 mg/L, 2,47 mg/L ve 0,8 mg/L olarak ölçülmüştür.

- Sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki katı madde miktarı artan hidrolik bekleme süresindeki artışa bağlı olarak 3668 mg/L'den 2720 mg/L'ye azalma göstermiştir. Yapılan hacimsel ve yüzeysel organik yüklemenin azalması sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki katı madde birikimini azaltmıştır.
- Sentetik taşıyıcı malzeme üzerindeki uçucu katı madde miktarı ise artan hidrolik bekleme süresine bağlı olarak 2630 mg/L'den 2100 mg/L'ye organik yüklemedeki azalmaya paralel olarak azalma tespit edilmiştir.
- Sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde miktarının azalmasının sebebi yapılan yüzeysel ve hacimsel yüklemenin hidrolik alıkonma süresi ile azalmasıdır.
- Hidrolik alıkonma sürelerinin değiştirildiği birinci bölümde UAKM/AKM % 62,88 ile 80 arasında değişmiştir.
- Sistemden atılan günlük katı madde miktarı yapılan yüzeysel ve hacimsel yüklemenin azalmasıyla sırasıyla 2,16 g/gün, 0,35 g/gün ve 0,16 g/gün olarak hesaplanmıştır.
- Y değerleri ise yüzeysel ve hacimsel organik yüklemenin azalması ve artan hidrolik bekleme süresiyle iç solunumun artması sonucu Y değerlerinde azalma gözlenmiştir. Ortalama Y değerleri sırasıyla 0,38 g AKM / g KOİ, 0,12 g AKM / g KOİ ve 0,08 g AKM / g KOİ olarak hesaplanmıştır.

İkinci bölümde HYBR prosesi 8 saat hidrolik alıkonma süresinde artan organik yüklemelerde çalıştırılmıştır. 500, 1000, 2000, 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile beslenen HYBR prosesinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- En düşük organik yükleme 1,5 kg toplam KOİ/ m^3.gün hacimsel yüklemeye eşdeğer 6 g toplam KOİ/ m^2.gün yüzeysel yükleme ile yapılmış ve çökeltme havuzu çıkış ortalama filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri sırasıyla 16,1 mg/L ve 24,5 mg/L olarak hesaplanmıştır. En yüksek organik yükleme 24 kg toplam KOİ/ m^3.gün hacimsel yüklemeye eşdeğer 96 g toplam KOİ/ m^3.gün

yüzeysel yükleme ile yapılmış ve çökeltme havuzu çıkış ortalama filtrelenmiş ve filtrelenmemiş KOİ değerleri sırasıyla 3786 mg/L ve 4381 mg/L olarak hesaplanmıştır.

- Artan organik yüklemeler ile KOİ giderim veriminde azalmalar tespit edilmiştir. Ortalama filtrelenmiş KOİ giderim verimleri sırasıyla % 96,8 , %96,2 , %92,4 , %73,2 ve %52,7 olarak hesaplanırken ortalama filtrelenmemiş KOİ giderim verimleri sırasıyla %95,1 , %95 , %89,3 , %68,7 ve %45,2 olarak hesaplanmıştır.
- 6 kg toplam KOİ/ m^3.gün hacimsel yüklemeye eşdeğer 24 g toplam KOİ/ m^2.gün yüzeysel yüklemeye kadar sistem % 90'a yakın verimle çalışmaktadır. Bu sonuca dayanarak 8 hidrolik alıkonma süresinde HYBR prosesi evsel atıksu niteliğindeki 2000 mg/L sentetik atıksuyun arıtılmasında başarılı bir şekilde kullanılabilir.
- 12 kg toplam KOİ/ m^3.gün hacimsel yüklemeye eşdeğer 48 g toplam KOİ/ m^2.gün yüzeysel yüklemede HYBR prosesi iki kademeli biyolojik arıtımın birinci kademesi olarak kullanılabilir.
- En yüksek organik yüklemede 24 kg toplam KOİ/ m^3.gün hacimsel yüklemeye eşdeğer 96 g toplam KOİ/ m^3.gün yüzeysel yüklemesinde sistem % 50'nin altında performans gösterdiğinden uygulanabilir değildir.
- Artan organik yükleme ile nitrifikasyonun azaldığı tespit edilmiştir. Sırasıyla çıkış NO_3-N değerleri 10,99 mg/L, 1,85 mg/L ve 0,85 mg/L olarak ölçülmüştür. Artan amonyak yüklemesine karşın çıkış NO_3–N değeri sürekli olarak azalmıştır. 4000 ve 8000 mg/L KOİ içeren sentetik atıksu ile yapılan organik yüklemede nitrifikasyona rastlanmamıştır.
- Sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki katı madde konsantrasyonu organik yüklemeler boyunca artmıştır. Sırasıyla sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki ortalama AKM değerleri 3240 mg/L, 250 kg/m^3, 2,76 kg/m^3, 3,23 kg/m^3 ve 3,28 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. En düşük organik yüklemede AKM değerinin 3,24 kg/m^3 olmasının nedeni 8 saat hidrolik alıkonma süresinde tekrardan organik yüklemenin yapılmamasıdır.

- AKM ye benzer şekilde UAKM değerlerinde de organik yüklemeye bağlı olarak artış tespit edilmiştir. UAKM değerleri 2,43 kg/m^3, 1,89 kg/m^3, 2,10 kg/m^3, 2,46 kg/m^3 ve 2,42 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.
- Sentetik taşıyıcı malzemeler üzerindeki katı madde ve uçucu katı madde miktarı karıştırma yani hidrolik kesme kuvvetinin kontrolü altındadır.
- UAKM/TAKM değerleri organik yüklemeler boyunca % 69 ile % 80 arasında değişmiştir.
- Sistemden atılan günlük katı madde miktarı artan organik yükleme ile artmıştır. Sırasıyla 0,35 g/gün, 2,24 g/gün, 4,00 g/gün, 6,94 g/gün ve 12,16 g/gün olarak hesaplanmıştır.
- Y değerleri ise sırasıyla 0,12 TAKM / gr KOİ, 0,39 TAKM / gr KOİ, 0,37 g AKM / g KOİ, 0,42 g AKM / g KOİ ve 0,56 g AKM / g KOİ olarak hesaplanmıştır. Arıtma verimi azaldıkça Y değerinde artış tespit edilmiştir.

Sonuç olarak HYBR prosesi farklı hidrolik ve organik yüklemelerde çalıştırılmış ve sistem performansı ortaya konmuştur. Hidrolik yüklemelerde KOİ giderim verimi açısından önemli bir farklılık gözlenmezken, artan hidrolik alıkonma sürelerinde nitrifikasyonun arttığı tespit edilmiştir.

5 farklı organik yüklemenin denendiği ikinci bölümde KOİ giderim verimi ve nitrifikasyon artan organik yüklerle azalmıştır. 4000 mg/L ve 8000 mg/L KOİ yüklemelerinde nitrifikasyona rastlanmamıştır.

KAYNAKLAR

Andreottola, G., Damlani, E., Foladori, P., Nardelli, P., Ragazzi, M., 2003a. Treatment Of Mountain Refuge Wastewater By Fixed And Moving Bed Biofilm Systems. Water Science and Technology 48(11-12) : 169-177

Andreottola, G., Fladori, P., Gatti, G., Nardelli, P., Pattena, M., Ragazzi, M., 2003b. Upgrading Of A Small Overloaded Activated Sludge Plant Using A MBBR System. Journal Of Environmental Science & Health 38(10) : 2317-2328

Andreottola, G., Fladori, P., Ragazzi, M., 2000. Upgrading Of A Small Wastewater Treatment Plant In A Cold Climate Region Using A Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) System Water Science and Technology 41(1) : 177-185

Andreottola, G., Foladori, P., Ragazzi, M., Villa, R., 2002. Dairy Wastewater Treatment In A Moving Bed Biofilm Reactor. Water Science and Technology 45(12) : 321-328

Aspegren, H., Nyberg, U., Andersson, B., Gotthardsson, S., Jansen, J., 1998. Post Denitrification In A Moving Bed Biofilm Reactor Process. Water Science and Technology 38(1) : 31-38

Bishop, P. L., Zhang, T. C., Fu, Y., 1995. Effects of Biofilm Structure, Microbial Distributions And Mass Transport On Biodegradation Processes. Water Science and Technology 31(1) : 143-152

Borghei, S. M., Hosseini, S. H., 2002. The Application Of Moving Bed Biofilm Reactor For Biodegradation Of Phenolic Wastewater. 5th Specialised Conference On Small Water And Wastewater Treatment Systems, İstanbul-Turkey, 24-26 September 2002

Broch-Due, A., Andersen, R., Opheim, B., 1997. Treatment of Integrated Newsprint Mill Wastewater In Moving Bed Biofilm Reactors. Water Science and Technology 35 (2-3) : 173 – 180

Commett-Ambriz I., Gonzalez-Martinez, S., Wilderer, P., 2003. Comparison Of The Performance Of MBBR And SBR Systems For The Treatment Of Anaerobic Reactor Biowaste Effluent. Water Science and Technology 47(12) : 155-161

Dalentoft, E., Thulin, P., 1997. The Use Of Kaldnes Suspended Carrier Process In Treatment Of Wastewaters From The Forest Industry. Water Science and Technology 35(2-3) : 123-130

Daude, D., Stephenson, T., 2003. Moving Bed Biofilm Reactors: A Small-Scale Treatment Solution. Water Science and Technology 48(11-12) : 251-257

Guarino, C. F., Nelson, M. D., Lozanoff, M., Wilson, T. E., 1980. Upgrading Activated Sludge Plants Using Rotary Biological Contactor. Water Pollution Control 79 : 255-268

Hamoda, M. F., Bin-Fahad, R. A., 2002. Performance Of Various Growth-support Media In A Bioreactor Treating Domestic Wastewater. 5th Specialised Conference On Small Water And Wastewater Treatment Systems, İstanbul-Turkey, 24-26 September 2002

Hanel, K., 1998 Biological Treatment Of Sewage By The Activated Sludge Process. 1998 English Edition, Ellis Horwood Limited, Great Britain.

Hansen, E., Zadura, L., Frankowski, S., Wachowicz, M., 1999. Upgading Of An Activated Sludge Plant With Floating Biofilm Carriers At Frantschach Swiecie S. A. To Meet The New Demands Of Year 2000. Water Science and Technology 40(11-12) : 207 – 214

Hem, J. L., Rusten, B., Ødegaard, H., 1994. Nitrification In A Moving Bed Biofilm Reactor. Water Research 28(6) : 1425-1433

Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J. L. C., Arvin, E., 2002. Wastewater Treatment: Biological And Chemical Processes. 3rd Edition, Springer, Germany.

Hvala, N., Vrecko, D., Burica, O., Strazar, M., Levstek M., 2002. Simulation Study Supporting Wastewater Treatment Plant Upgrading Water Science and Technology 46(4-5) : 325-332

Jahren, S.J., Rintala, J.A., Ødegaard, H. 2002. Aerobic Moving Bed Biofilm Reactor Treating Thermomechanical Pulping Whitewater Under Thermophilic Conditions. Water Research 36: 1067-1075

Ji, M., Yu, J., Chen, H., Yue, P. L., 2001. Removal Of Slowly Biodegradable COD In Combined Thermophilic UASB And MBBR Systems. Environmental Technology 22 : 1069-1079

Jones, R. M., Sen, D., Lambert, R., 1998. Full Scale Evaluation of Nitrification Performance In An Integrated Fixed Film Activated Sludge Process. Water Science and Technology 38(1) : 71-78

Li, C., 2004. Dynamic Variations of Carbonaceous and Nitriying Activities In Hybrid Reactors With Different Operating Conditions. D. Thesis. Hon Kong University of Science and Technology, Hon Kong.

Liao, Z., Odegaard, H., 2002. Coarse Media Filtration For Enhanced Primary Treatment Of Municipal Wastewater. 5th Specialised Conference On Small Water And Wastewater Treatment Systems, İstanbul-Turkey, 24-26 September 2002

Liao, Z., Rasmussen, V., Odegaard, H., 2002. A High-rate Secondary Treatment Based On Moving Bed Biofilm Reactor And Multimedia Filters For Small Wastewater Treatment Plants. 5th Specialised Conference On Small Water And Wastewater Treatment Systems, İstanbul-Turkey, 24-26 September 2002

Maurer, M., Fux, C., Graff, M., Siegrist, H., 2001. Moving-Bed Biological Treatment (MBBT) Of Municipal Wastewater:Denitrification. Water Science and Technology 43(11) : 337-344

Metcalf & Eddy, 2003. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, Fourth Edition, McGraw-Hill International Editions.

Morper, M., Wildsomer, A., 1990. Improvement Of Exsiting Wastewater Treament Plants' Efficiencies Without Enlargement Of Tankage By Apllication Of The Linpor-Process-Case Studies. Water Science and Technology 22(7-8) : 207-215

Ødegaard, H., 2000. Advanced Compact Wastewater Treatment Based On Coagulation And Moving Bed Biofilm Process. Water Science and Technology 42(12) : 33-48

Ødegaard, H., Rusten, B., Badin, H., 1993. Small Wastewater Treatment Plants Based On Moving Bed Biofilm Reactors. Water Science and Technology 28 (10) : 351-359

Okabe, S., Hiratia, K., Watanabe, Y., 1995 Dynamic Changes In Spatial Microbial Distribution In Mixed-population Biofilms: Experimental Results And Model Simulation. Water Science and Technology 32(8) : 67-74

Orantes, J.C.and Gonzalez-Martinez, S., 2002. A New Low-Cost Biofilm Carrier For The Treatment Of Municipal Wastewater In A Moving Bed Reactor. 5th Specialised Conference On Small Water And Wastewater Treatment Systems, İstanbul-Turkey, 24-26 September 2002

Pastorelli, G., Andreottola, G., Canziani, R., De Fraja Frangipane, E., De Pascalis, F., Gurrieri, G., Rozzi, A., 1997a. Pilot-Plant Experiments With Moving-Bed Biofilm Reactors. Water Science and Technology 36(1) : 43-50

Pastorelli, G., Andreottola, G., Canziani, R., Darriulat, C., De Fraja Frangipane, E., Rozzi, A., 1997b. Organic And Nitrogen Removal In Moving-Bed Biofilm Reactors. Water Science and Technology 35(6) : 91-99

Perron, N., Welander, U., 2004. Degradation Of Phenol And Cresols At Low Tempreratures Using A Suspended-Carrier Biofilm Process. Chemosphere 55 : 45-50

Randall, W., Sen, D., 1996. Full Scale Evaluation Of An Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) Process For Enhance Nitrogen Removal. Water Science and Technology 33(12): 155-162

Rittmann, B. E., McCarty, P. L., 2001. Environmental Biotechnology: Principle And Applications. International Edition. McGraw-Hill Book Co., Singapore.

Rodgers, M., Zhan, X. M. 2003. Moving-medium Biofilm Reactors. Environmental Science and Bio/Technology 2 : 213-224

Rostron, W. M., Stuckey, D. C., Young, A. A., 2001. Nitrification Of High Strength Ammonia Wastewaters: Comparative Study Of Immobilisation Media. Water Research 35(5) : 1169-1178

Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes,Y., Lygren, E., (2006). Design And Operations Of The Kaldnes Moving Bed Biofilm Reactors. Aquacultural Engineering, 34 (3) : 322-331

Rusten, B., Johnson, H. C., Devall, S., Davoren, D., Cashion, S. B., 1999. Biological Pretreatment Of A Chemical Plant Wastewater In High-Rate Moving Bed Biofilm Reactors. Water Science and Technology 39(10-11) : 257-264

Rusten, B., Kolkinn, O., Ødegaard, H., 1997. Moving Bed Biofilm Reactors And Chemical Precipitation For High Efficiency Treatment Of Wastewater From Small Commuities. Water Science and Technology 35(6) : 71-79

Rusten, B., McCoy, M., Proctor, R., Siljudalen J. G., 1998. The Innovative Moving Bed Biofilm Reactor/Solids Contact Reaeration Process For Secondary Treatment Of Municipal Wastewater. Water Environment Research 70(5) : 1083-1089

Rusten, B., Ødegaard, H., Lundar, A., 1992. Treatment Of Wastewater In A Novel Moving Bed Biofilm Reactor. Water Science and Technology 26(3-4) : 703-711

Rusten, B., Siljudalen J. G., Strand, H., 1996. Upgrading of A Biological-Chemical Treatment plant For Cheese Factory Wastewater. Water Science and Technology 34(11) : 41-49

Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater, American Public Health Association (APHA). 2005. Washington, DC, U.S.A.

Sriwiriyarat, T., 1999. Computer Program Development for The Design of IFAS Wastewater Treatment Process. M.S. Thesis Viriginia Tech., Blacksburg

Suzuki, Y., Takahashi, M., Haesslein, M., Seyfried C. F., 1999. Development Of Simulation Model For A Combined Activated Sludge and Biofilm Process To Remove Nitrogen And Phosphorus. Water Environment Research 71(4) 388-397

Toprak, H., 2000a. Aktif Çamur Sürecinin İşletilmesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir

Toprak, H., 2000b. Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt-1, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir

Uygur, A., Kargı, F., 2003. Salt Inhibition On Biological Nutrient Removal From Saline Wastewater In Sequencing Batch Reactor. Enzyme and Microbial Technology 34: 313-318

Uygur, A., Kargı, F., 2004. Phenol Inhibition Of Biological Nutrient Removal In Four-Step Sequencing Batch Reactor. Process Biochemistry 39(12) : 2123-2128

Van Loosdrecht, M. C. M., Tijhuis, L., Wijdieks, A. M. S., Heijnen, J. J. 1995. Population Distribution In Aerobic Biofilms On Small Suspended Particles. Water Science and Technology 31(1) : 163-171

Wang, X. J., Xia, S. Q., Chen, L., Zhao, L. F., Renault, N. J., Chovelon, J. M., 2006. Nutrients Removal From Municipal Wastewater By Chemical Precipitation In A Moving Bed Biofilm Reactor. Process Biochemistry 41: 824-828

Welander, U., Henrysson, T., Welander, T., 1997. Nitrification Of Leachate Using Suspended-Carrier Biofilm Technology. Water Research 31(9) : 2351-2355

Welander, U., Mattiasson, B., 2003. Denitrification At Low Temperatures Using A Suspended Carrier Biofilm Process. Water Research 37 : 2394-2398

www.waterandwastewater.com/www_services/news_center/publish/printer_00473.shtml

Zhang, T. C., Bishop, P. L., 1996. Evaluation Of Substrate And pH Effects In A Nitrifying Biofilm. Water Environmental Research. 68 (7) : 1107-1115

EK-1

Effects of organic loads on organic matter removal in a moving bed biofilm reactor

Ahmet AYGUN, Bilgehan NAS, Tuba ERTUGRUL, Ali BERKTAY

Department of Environmental Engineering, Selcuk University, 42075, Konya, Turkey

e-mail: bnas@selcuk.edu.tr

Abstract A moving bed biofilm reactor (MBBR), where biomass is attached to small carriers elements that move freely along with the water in the reactor, has been tested for organic matter removal at five various organic loads. A lab-scale reactor with volume of 2L was constructed and fed continuously with synthetic wastewater. Oxidation reactor was filled with the kaldnes biomedia K1 to 50% of the volume of empty reactor. The HRT in the oxidation tank and in the settler was adjusted 8 and 4 hours, respectively. A start-up period of about 4 weeks for biofilm growth on the carrier was followed by 10 weeks testing period. By changing the wastewater flow, the operation of the system was adjusted, one after the other, to five various organic loading rates: 6,12,24,48 and 96 g COD/m^2.d. By increasing organic loads, organic removal efficiencies were decreased and totCOD removal efficiencies were calculated as 95%, 94%, 91%, 69% and 45%, respectively. In the MBRR reactor biofilm reached an average concentration of 3.28 kg TSS/m^3 in the highest organic load. The ratio between the TSS production and the totCOD removal resulted equal to 0.38 kg TSS/kg totCOD while influent totCOD 1000 mg/l.

Keywords Biofilm, moving bed biofilm reactor, organic carbon removal, organic load, wastewater

Introduction

The patented moving bed biofilm reactor (MBBR) has been developed in Scandinavia in the late 1980s by the Norwegian company Kaldnes MiljØteknologi (KMT), in cooperation with the SINTEF research organization. Currently more than 300 plants, using the MBBR process for treatment of industrial or municipal wastewater, are in operation worldwide (Wessman et al., 2004). It has been a huge success world-wide for treatment of wastewaters (Rusten et al., 2005).

The Kaldnes MBBR is a completely mixed continuously operated biofilm reactor where the biomass is grown on small carrier elements that move along with the water in the reactor. The interest for MBBR is justified by the following advantages: high sludge age, no sludge recycling, less bulking troubles. In the case of upgrade of an existing plant, the MBBR solution does not increase head loss significantly, allows a continuous feed, does not present clogging problems and does not require backwashing. MBBRs allow applying higher loads compared to those applied to the conventional activated sludge, in case the specific surface is sufficiently high (Rusten et al., 2005; Andreottola et al., 2003; Andreottola et al., 2002).

The biofilm carrier elements are made of polyethylene (density 0.92-0.96 g/cm^3) and shaped like small cylinders with a cross inside the cylinder and longitudinal fins on the outside. Two basic sizes - K1 and K2- are available. In order to keep the biofilm carriers in the reactor, a sieve is placed at the outlet of the reactor. The filling ratio and the specific area of the biofilm carriers are the two main design parameters. The filling ratio ranges from 30-70% of the total reactor volume. It is recommended that the filling fractions should be below 70% so as to be able to move the carriers freely (Ødegaard, 2000).

MBBRs have been already used in the treatment of dairy wastewater (Rusten et al., 1992; Andreottola et al. 2002), forest industry wastewater (Dalentoft and Thulin, 1997), cheese factory wastewater (Rusten et al., 1996), potato chips wastewater (Ødegaard et al. 1994), newsprint mill wastewater (Broch-Due et al., 1997), thermo mechanical pulping whitewater (Jahren et al., 2002), municipal wastewater (Ødegaard et al. 1993; Orantes and González-Martinez, 2002), and for nitrification (Rusten et al., 1995; Walender et al., 1997) and denitrification (Rusten et al., 1995; Aspegren et al., 1998; Maurer et al., 2001; Walender and Mattiasson, 2003)

MBBR is a good process for upgrading current wastewater treatment systems. Many authors mentioned examples of new plant construction or of existing plants upgrading with satisfactory results in relation to the removal both organic matter and nutrients (Ødegaard et al. 1993; Hem et al. 1994; Orantes et al. 2002; Daude and Stephenson 2003; Andreottola et al. 2003). Andreottola et al. (2000), found that hydraulic retention time (HRT) affected the COD removal in MBBR processes and suggested that the HRT should be higher than 5 h. Another study performed by Andreottola et al.

(2003), they evaluated the application of MBRR system for the upgrading of an overloaded MWWTP. A preliminary experimentation at pilot-scale was carried out in order to evaluate the efficiency of the system in the removal of organic matter using a high loaded MBBR. KMT plastic media was applied with a filling ratio of 50%. The applied surface loads ranged between 5.4 and 32 gtotCOD/ m^2.d

The aim of this research is to investigate the removal of organic carbon in synthetic wastewater by using the kaldnes biomedia K1, which is used in the patented Kaldnes Moving Bed™ biofilm process, in various high organic loads (6 to 96 g totCOD/ m^2.d).

Methods

Carriers

The Kaldnes K1 biofilm carrier elements are made of polyethylene and shape like small cylinders (a nominal diameter of 9,1 mm and a nominal length of 7,2 mm) with a cross inside the cylinder and longitudinal fins on the outside. The Kaldnes carriers had a specific gravity of 0,96 and a specific biofilm surface area of 500 m^2 per m^3 bulk volume of carriers. With a filling ratio of 50%, the available surface area (referred to the reactor volume) was 250 m^2/m^3 (considering only the internal surface of cylinders, as biofilm does not grow on the external surface because of collisions among the elements).

Lab-scale reactor and wastewater

In this study, the system consisted of an oxidation reactor (volume equal to 2 l) followed by a final settler (volume equal to 1.2 l) according to the scheme in Figure 1. Oxidation reactor was filled with the kaldnes biomedia K1 to 50% of the volume of empty reactor. No sludge recycle was implemented. Membrane diffusers were adopted for oxygen supply and mixing.

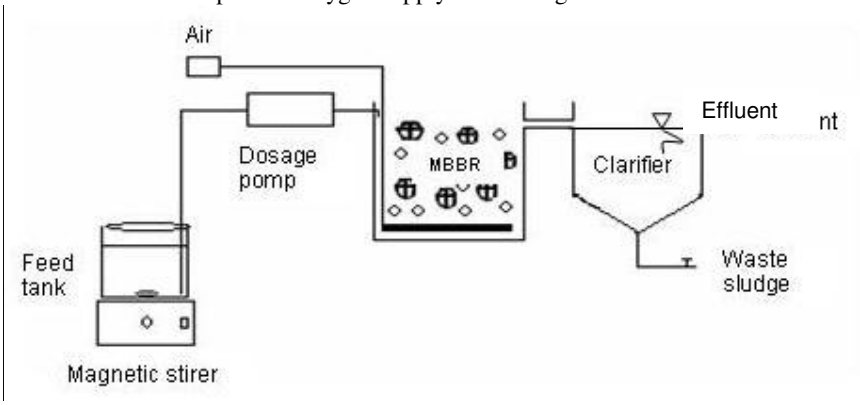


Figure 1 Simplified flow-sheet of the lab-scale MBBR.

Activated sludge were obtained from a local municipal WWTP. The MBBR was fed with a dosage pump. The theoretical hydraulic retention time (HRT) in the oxidation tank and in the settler was adjusted 8 hours and 4 hours, respectively. The settled sludge was removed from bottom of settler.

Synthetic wastewater was used to provide a source of carbon, nitrogen, phosphorus and trace metals required for biomass growth. It was prepared daily with deionized water to reach a total Chemical Oxygen Demand (totCOD) of 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 mg/l. Synthetic wastewater composed of glucose (258 mg/l), sodium acetate (471 mg/l), NH_4Cl (95.5 mg/l), KH_2PO_4 (22 mg/l), $NaHCO_3$ (295 mg/l), $MgSO_4.7\ H_2O$ (100 mg/l) and as trace element $CaCl_2.2\ H_2O$ (50 mg/l), $FeCl_3$. 6 H_2O (50 mg/l) were used for 500 mg/l COD. Other concentrations were prepared according to this composition. The calculated COD/N/P ratio of the synthetic wastewater is 100/5/1.

A start-up period of about 4 weeks for biofilm growth on the carrier was followed by 10 weeks testing period. Steady-state conditions were resumed for a minimum of one week before the next trial commenced. The dissolved oxygen (DO) concentrations in the MBRR ranged from 0.3 to 3.1 mgO_2/l depending on the influent organic load. The temperature and pH in the reactor varied in the range of 18.4 to 23.6 ^{0}C, 6.72 to 7.88, respectively. Table 1 shows operational conditions for the reactor during all the experimental periods.

Table 1 Operational conditions of MBBR reactor

Influent totCOD (mg/l)	500	1000	2000	4000	8000
Volumetric load (kg totCOD/ m^3.d)	1.5	3	6	12	24
Surface load (g totCOD/ m^2.d)	6	12	24	48	96
TSS (kg/m^3)	2.34	2.5	2.76	3.23	3.28
VSS (kg/m^3)	1.73	1.89	2.10	2.46	2.42
Air (l/min)	0.5	0.5	1.8	1.8	2.3
Dissolved oxygen (mg/l)	3.1	2.8	2.5	0.8	0.3
Operation (days)	15	10	14	13	10

Analyses

To measure the performance of the lab-scale MBBR, samples were taken from the biofilm reactor and the final effluent. Total COD, filtered COD (on membrane of 0.45-µm porosity), TSS, VSS, N-NO_3, N-NH_4, DO and pH were measured on samples every day.

Closed reflux colorimetric method (Method 5220 D) was used for COD analysis as specified in the Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1998). TSS and VSS concentrations referred to the fixed biomass in the MBBR were also measured. TSS analysis of fixed biomass was obtained detaching the biomass from 10 KMT elements, diluting the biomass in a known amount of demineralized water, referring the values to the surface of an element and taking into account the number of elements per litre (Andreottola et al. 2000; Andreottola et al. 2003). N-NO_3 and N-NH_4 were analyzed with Orion 710A advanced ion selective meter with Method 4500-NO_3-D nitrate and 4500-NH_4-D ammonia-selective electrode method (APHA, AWWA, WEF, 1998). DO and pH measurements were done by using the WTW Multiparameter 340i.

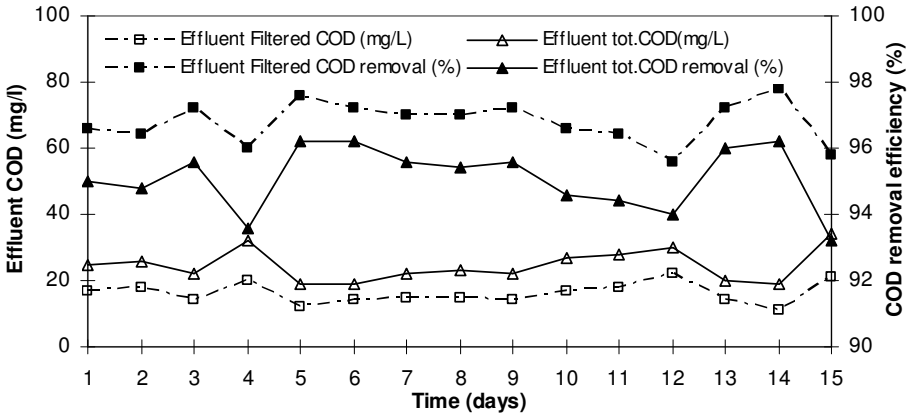
Results and Discussion

Experimental work in the laboratory was carried out in order to evaluate the efficiency of the system in the removal of organic matter using a high loaded MBBR. During the experimental of five different organic loads were applied to the reactor. Surface organic load was between 6 and 96 g totCOD/m^2.d (corresponding to the range 1.5-24 kg totCOD/m^3.d).

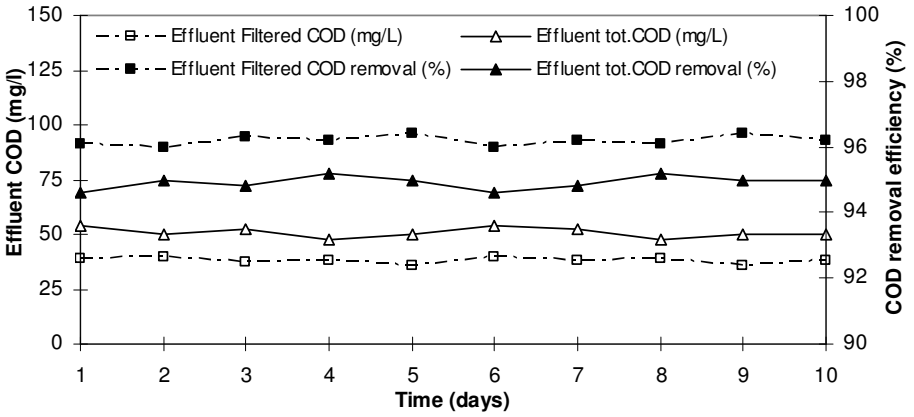
Effluent totCOD and filtered COD concentrations and COD removal rates versus time are shown in Figure 2. At the lowest organic load (Figure 2a.), average effluent totCOD concentration was 25 mg/l and average totCOD removal efficiency was 95%. At 12, 24, 48 and 96 gCOD/m^2.d organic loads average effluent totCOD concentrations were 51, 172, 1253, 4381 mg/l respectively, while the average totCOD removal efficiencies were 94%, 91%, 69%, and 45%.

Average effluent filtered COD concentrations were 16, 38, 135, 1070, and 3786 mg/l respectively, while the average filtered COD removal efficiencies were 97%, 96%, 93%, 73%, and 53%. Figure 3 shows effluent totCOD of MBBR at the five different organic loads. As shown in the Figure 3, in general with increasing organic loads, COD removal efficiencies were decreased.

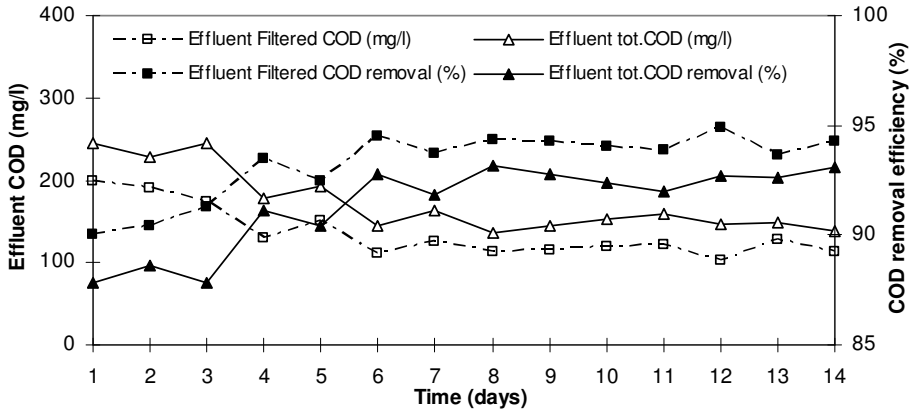
The DO was measured on the reactor every day with 2 hours interval. The average DO levels in the MBBR ranged from 0.3 to 3.1 mgO_2/l depending on the influent organic load. Although the amount of air increased to 1.8 and 2.3 l/min, DO levels decreased to average 0.8 mg/l and 0.3 mg/l when 48 and 96 g totCOD/ m^2.d surface organic loads applied, respectively. Low DO concentrations could be affected COD removal efficiency at 48 and 96 g totCOD/ m^2.d surface organic load.


Effluent Filtered COD (mg/L)
Effluent tot.COD(mg/L)
Effluent Filtered COD removal (%)
Effluent tot.COD removal (%)
Effluent COD (mg/l)
COD removal efficiency (%)
Time (days)

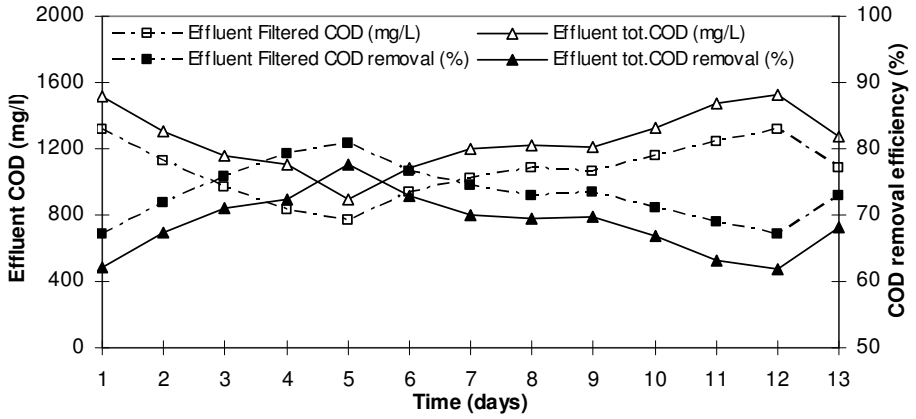
(a)


Effluent Filtered COD (mg/L)
Effluent tot.COD (mg/L)
Effluent Filtered COD removal (%)
Effluent tot.COD removal (%)
Effluent COD (mg/l)
COD removal efficiency (%)
Time (days)

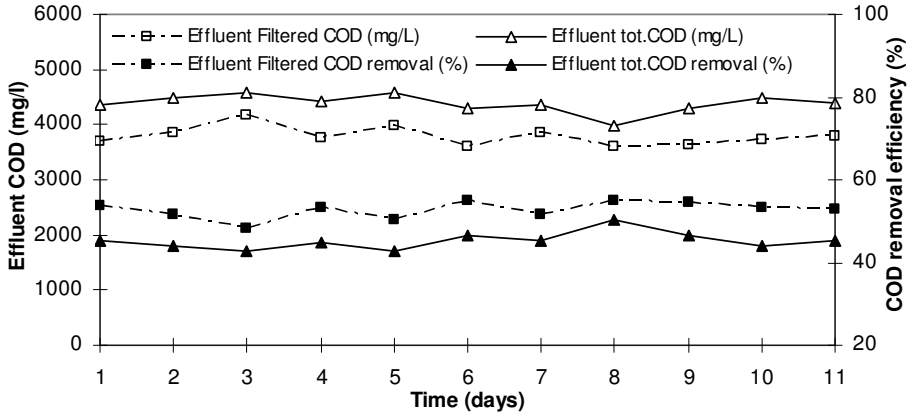
(b)


Effluent Filtered COD (mg/l)
Effluent tot.COD (mg/l)
Effluent Filtered COD removal (%)
Effluent tot.COD removal (%)
Effluent COD (mg/l)
COD removal efficiency (%)
Time (days)

(c)



(d)



(e)

Figure 2 Effluent totCOD, filtered COD and COD removal efficiencies a) 6 gCOD /m^2.d organic load b) 12 gCOD /m^2.d organic load c) 24 gCOD /m^2.d organic load d) 48 gCOD /m^2.d organic load e) 96 gCOD /m^2.d organic load.

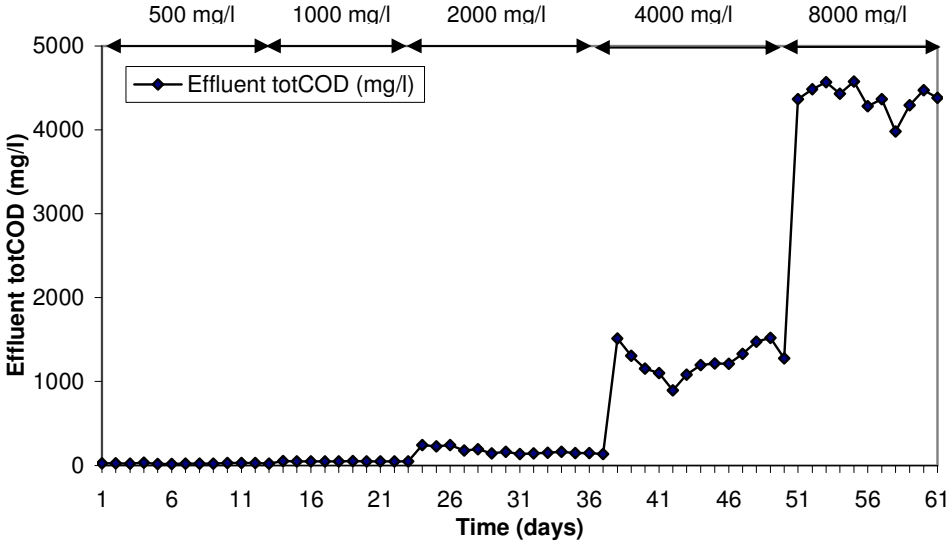


Figure 3 Effluent totCOD of MBBR at the various organic loads.

Figure 4 shows the removal efficiency versus volumetric and surface applied loads. By applying a surface organic load between 6 and 24 g totCOD/m^2.d (corresponding to the range 1.5-6 kg totCOD/m^3.d) it was possible to obtain the highest removal efficiency of the totCOD in the MBRR. However, removal efficiency of the totCOD was significantly decreased to 45% when 96 g totCOD/ m^2.d surface organic load applied.

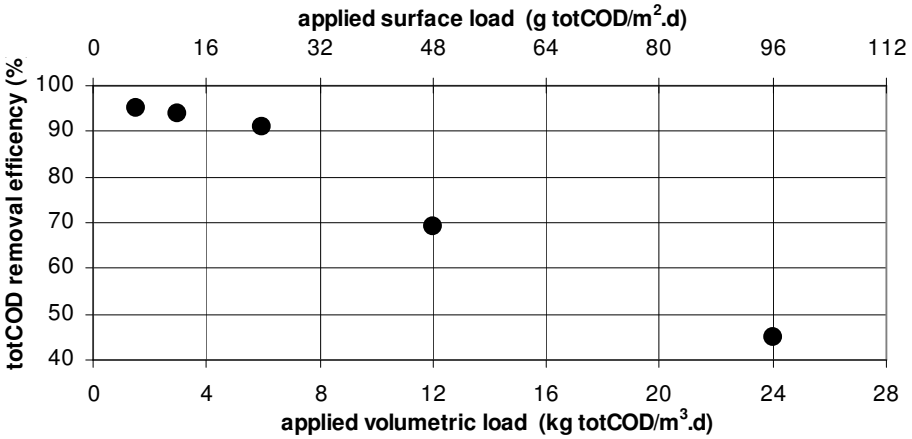


Figure 4 Total COD removal efficiency versus applied organic load.

The amount of biomass attached to the carrier material increased as the organic load increased (Figure 5). In the MBBR reactor biofilm reached an average concentration between 2.34 and 3.28 kgTSS/m^3 at various organic loads. The ratio of VSS/TSS came to between 69% and 80% in the carriers.

The ratio of the amount of biomass produced to the amount of substrate consumed (g biomass/g substrate) is defined as the biomass yield. The observed solids yield accounts for the actual sludge production that would be measured for the system. The sludge production (or solid yield) in the MBBR was calculated by measuring the sludge volume extracted from the settler and the TSS concentration in the sludge, in a period with an average totCOD concentration in the influent and in the effluent of 1000 and 172 mg/l respectively and a flowrate of 6 l/d. Sludge production resulted equal to 1.9 g TSS/d in correspondence of totCOD removal in the plant of about 4.97 g totCOD/d. Therefore, the ratio between the TSS production and the totCOD removal resulted equal to 0.38 kg TSS/kg totCOD. Observed yields, calculated as average for the each test period and resulted equal to 0.12, 0.38, 0.37, 0.42, and 0.56 kg TSS/kg totCOD, for influent totCOD 500, 1000, 2000, 4000, and 8000 mg/l, respectively. Therefore, solid yields increased with the organic loads increased.

Rusten et al. (1994) and Andreottola et al. (2003) found the same value of 0.36 kg TSS/ kg totCOD for a full-scale plant designed for nitrification and postdenitrification and upgraded a small activated sludge plant, respectively.

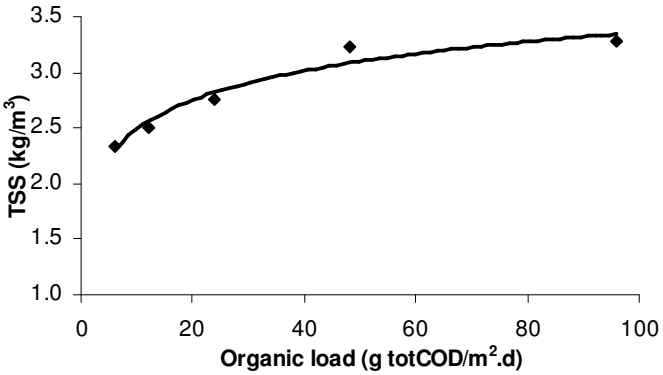


Figure 5 Solid attached to the biofilm carrier.

Conclusion

There are several advantages of the Kaldnes MBBR process compared with the conventional activated sludge process. It could be possible to operate the MBBR at very high organic loads with obtaining high COD removal, for instance at organic load up to 24 kg totCOD/ m^3.d applied in this study.

Various organic loads applied to MBBR process studies showed that MBBR process can be operated organic loads up to 6 kg totCOD/ m^3.d (corresponding to 2000 mgCOD/l) providing a removal efficiency of 91% with HRT of 8 h. In concentrations higher than 2000 mgCOD/l, COD removal efficiencies significantly decreased down to 45% at 8000 mgCOD/l. Observed yields, calculated as average for the each test period and resulted equal to 0.12, 0.38, 0.37, 0.42, and 0.56 kg TSS/kg totCOD, for influent totCOD 500, 1000, 2000, 4000, and 8000 mg/l, respectively.

MBBR process could be an efficient alternative process to the conventional biological treatment processes for organic matter removal at high organic loads or of existing plants upgrading with satisfactory results

Acknowledgments

This study is supported by Selcuk University Scientific Research Fund with project No: 2004/085. The authors wish to thank Kaldnes MiljØteknologi AS for supplying the KMT-biofilm carriers.

References

Andreottola, G., Foladori, P., Ragazzi M., (2000). Upgrading of a small wastewater treatment plant in a cold climate region using a moving bed biofilm reactor (MBBR) system. *Water Science and Technology*, **41**(1), 177-185.

Andreottola, G., Foladori, Ragazzi M., Villa, R., (2002). Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, **45**(12), 321-328.

Andreottola, G., Foladori, P. Gatti, G., Nardelli P., Pettena M., Ragazzi M., (2003). Upgrading of a small overloaded activated sludge plant using a MBBR system. *Journal Of Env. Science And Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering,* **A38**(10), 2317–2328.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.

Aspegren, H., Nyberg, U., Andersson, B., Gotthardsson, S., Jansen, J., (1998). Post denitrification in a moving bed biofilm reactor process. *Water Science and Technology*, **38**(1), 31-38.

Broch-Due, A., Andersen, R., Opheim, B., (1997). Treatment of integrated newsprint mill wastewater in moving bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, **35**(2-3), 173-180.

Daude, D., Stephenson, T., (2003). Moving Bed Biofilm Reactors: a small-scale treatment solution. *Water Science and Techonology*, **48**(11-12), 251-257.

Jahren, S.J., Rintala, J.A., Ødegaard, H. (2002). Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions. *Water Research,* **36**, 1067-1075.

Jones, R.M., Sen, D., Lambert R., (1998). Full scale evaluation of nitrification performance in an integrated fixed film activated sludge process. *Water Science and Technology,* **38**(1), 71-78.

Maurer, M., Fux, C., Graff, M., Siegrist, H., (2001). Moving-bed biological treatment (MBBT) of municipal wastewater: denitrification. *Water Science and Technology*, **43**(11), 337-344.

Orantes, J.C., González-Martinez, S., (2002). *A new low-cost biofilm carrier for the treatment of municipal wastewater in a moving bed reactor*. 5th specialized conference on small water and wastewater treatment systems, Istanbul-Turkey.

Ødegaard, H., Rusten, B., Badin, H., (1993). Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, 28(10), 351-359.

Ødegaard, H., Rusten, B., Westrum, T., (1994). A new moving bed biofilm reactor- applications and results. *Water Science and Technology*, **29**(10-11), 157-165.

Pastorelli, G., Andreottola, G., Canziani, R., Darriulat, C., Frangipane de E., and Rozzi, A., (1997). Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, **35**(6), 91-99.

Randall, W., Sen, D., (1996). Full scale evaluation of an integrated fixed-film activated Sludge (IFAS) process for enhance nitrogen removal. *Water Science and Technology*, **33**(12), 155-162.

Rusten, B., Ødegaard, H., Lundar, A., (1992). Treatment of dairy wastewater in a novel moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology,* **26**(3-4), 703-711.

Rusten, B., Siljudalen, J.G., Nordeidet, B., (1994). Upgrading to nitrogen removal with KMT moving-bed biofilm process. *Water Science and Technology*, **29**(12), 185-195.

Rusten, B., Hem, L.J., Ødegaard, H., (1995). Nitrification of municipal wastewater in moving-bed biofilm reactors. *Wat.Env.Res,* **67**(1), 75-86.

Rusten, B., Siljudalen, J.G., Strand, H., (1996). Upgrading of a biological-chemical treatment plant for cheese factory wastewater. *Water Science and Technology,* 34(11), 41-49.

Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes,Y., Lygren, E., (2005). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering,* In Pres.

Welander, U., Henrysson, T., Welander, T., (1997). Nitrification of landfill leachate using suspended-carrier biofilm technology. *Water Science and Technology*, **31**(9), 2351-2355.

Welander, U., Mattiasson, B., (2003). Denitrification at low temperatures using a suspended carrier biofilm process. *Water Research*, **37**, 2394-2398.

Wessman, F.G., Yuegen, E.Y., Zheng, Q., Walender, T., Rusten, B., (2004). Increasing the capacity for treatment of chemical plant wastewater by replacing existing suspanded carrier madia with Kaldnes Moving Bed media at a plant in Singapore. *Water Science and Technology*, **49**(11-12),199-205