

PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATERS BY TWO DIFFERENT
PILOT SCALE TREATMENT PROCESSES

Neslihan MANAV DEMİR^{*1,2}, Asuman YILDIRIM², Çiğdem BALÇIK²,
Tamer COŞKUN², Eyüp DEBİK²

¹*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız-İSTANBUL*

²*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL*

Received/Geliş: 11.01.2013 Accepted/Kabul: 13.05.2013

ABSTRACT

This paper presents the results of a study in which a pilot scale five-stage biological nutrient removal system with an active volume of 8.6 m³ was operated with two different processes to remove carbon and nutrients from domestic wastewaters. During the application of both processes, hydraulic retention time was 16.08 hours, MLSS concentration was between 4500 and 5500 mg/L, and sludge age was about 15 days. The sludge volume index (SVI) ranged from 50 to 150 mL/g. Both processes were evaluated in the aspect of their performances for COD, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, SS, and VSS removal efficiencies. The removal efficiencies for the first process, which is a new process (A – Modified Five-Stage Bardenpho process), were 86.5%, 85.5%, 92.7%, 88.9%, 88.1%, 93.7%, and 93.5%, respectively for COD, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, SS, and VSS, while the removal efficiencies were 86.7%, 84.0%, 92.5%, 89.5%, 87.5%, 94.8%, and 95.0%, respectively, for the second process (B – Two- Stage, Cascade Biological Nutrient Removal process). The results suggested that both processes are suitable for carbon and nutrient removal from domestic wastewaters and they can be employed in full-scale treatment plants.

Keywords: Domestic wastewater, modified 5- stage Bardenpho, cascade feeding, nutrient removal.

İKİ FARKLI PİLOT ÖLÇEKLİ ATIKSU ARITMA PROSESİNDE EVSEL ATIKSULARIN ARITILMASI

ÖZET

Bu çalışmada evsel atıksulardan karbon ve nütrient giderimi amacıyla aktif hacmi 8,6 m³ olan pilot ölçekli beş kademeli biyolojik nütrient giderme prosesi kullanılmış olup; çalışmada iki farklı proses uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan pilot ölçekli reaktörün her iki proses içinde hidrolik bekleme süresi 16,08 saat, MLSS konsantrasyonu 4500-5500 mg/L, çamur yaşı 15 gün civarında olup, çalışma süresince çamur hacim indeksi (SVI) 50-150 mL/g arasında değişmiştir. Çalışma süresince her iki proseste KOİ, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, AKM ve UAKM giderim verimleri bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmada yeni bir proses olarak uygulanan ilk proseste (A- Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi) KOİ, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla %86,5, %85,5, %92,7, %88,9, %88,1, %93,7 ve %93,5 olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında (B- İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nütrient Giderme Prosesi) ise KOİ, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla %86,7, %84,0, %92,5, %89,5, %87,5, %94,8 ve %95,0 olarak belirlenmiştir. Çalışma neticesinde her iki prosesin de evsel atıksulardan karbon ve nütrient giderimi bakımından uygun olduğu, projelendirilecek olan tam ölçekli biyolojik prosesler için önemli bir kaynak teşkil edeceği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Evsel atıksu, modifiye 5 kademeli Bardenpho, kaskat besleme, nütrient giderimi.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: nmanav@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 53 97

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun her geçen gün artmasının bir sonucu olarak atıksu miktarı da artmakta ve sınırlı su kaynaklarının kalitesinin korunması maksadıyla daha ileri teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır [1]. İçme ve kullanma suyu kaynaklarından temin edilerek birçok farklı şekilde kullanılan bu sular sonuç olarak bir alıcı ortama atıksu olarak geri döndürülmektedir [2]. Evsel atıksularda mevcut esas kirletici olarak organik kirleticiler, azot, fosfor, askıda katılar bilinmekte olup [3, 4], ayrıca insan bağırsağında yaşayan birçok patojen mikroorganizmaları da (*Salmonella*, *helminths ova*, *protozoan cysts*, *total coliforms*, *faecal coliforms*, *faecal streptococci*) içermektedir [5, 6, 7]. Ötrefikasyonda önemli rol oynamaları nedeniyle azot ve fosforun, alıcı ortama deşarj edilmeden önce atıksudan giderilmeleri gerekir. Bu amaçla kullanılan biyolojik arıtım teknikleri, kolay işletim ve yüksek kalitede çıkış suyu özelliklerinden ötürü çok geniş bir alana yayılmıştır [8].

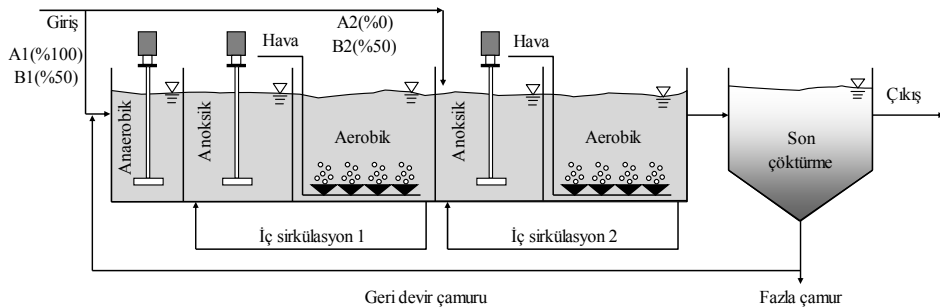
Atıksu arıtımında biyolojik prosesler yaklaşık 100 yıldır kullanılmaktadır. Evsel atıksulardan azot ve fosfor giderimini optimize etmek maksadıyla farklı işletme sistemleri geliştirilmiştir [9, 2]. Gelişen ülkelerde evsel atıksuların arıtılması için güvenilir teknolojiler geliştirilmesine büyük oranda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tesislerin basit dizayn, karmaşık olmayan ekipman, düşük yatırım-işletme maliyetleri ve yüksek arıtım verimi gibi ihtiyaçları karşılaması gerekmektedir [10].

Bu çalışmada gerçek evsel atıksuların arıtılmasında, 8,6 m³ aktif hacme sahip pilot ölçekli tesiste, iki farklı proses (Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi ve İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi) kullanılmış olup; bu iki proses organik madde ve nutrient giderme verimi açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın, pilot ölçekli olarak gerçekleştirilmiş olması ve farklı bir proses (Modifiye Beş Kademeli Bardenpho) denenmiş olması sebebiyle literatüre önemli bir kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Pilot Ölçekli Reaktör

Pilot ölçekli atıksu arıtma tesisinde bulunan arıtım üniteleri sırasıyla 0,25 m³ ön çöktürme havuzu, 0,25 m³ dağıtım havuzu, 0,5 m³ biyofosfor havuzu (anaerobik), 1,4 m³ birinci kademe denitrifikasyon havuzu (anoksik), 1,7 m³ birinci kademe nitrifikasyon havuzu (aerobik), 1,4 m³ ikinci kademe denitrifikasyon havuzu (anoksik), 1,7 m³ ikinci kademe nitrifikasyon havuzu (aerobik) ve 1,4 m³ son çöktürme havuzu şeklinde, toplam reaktör hacmi 8,6 m³ olup; 10 m³/gün debi ile çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan pilot ölçekli reaktör Şekil 1'de, tasarım değerleri ise Çizelge 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan pilot ölçekli tesis

Çizelge 1. Pilot ölçekli biyolojik atıksu arıtma tesisinin tasarım ve işletme parametreleri

Parametre	Birimi	Değer	Hidrolik Bekletme Süresi (HRT)
Atıksu Debisi	m ³ /gün	~ 10	-
A (A1 – A2)	m ³ /gün	10 – 0	-
B (B1 – B2)	m ³ /gün	5 – 5	-
Çamur yaşı	gün	~ 15	-
MLSS	mg/L	4500-5500	-
Ön Çöktürme Havuzu	m ³	0,25	0,6 saat
Dağıtım Havuzu	m ³	0,25	0,6 saat
Biyofosfor Havuzu	m ³	0,5	1,2 saat
Denitrifikasyon Havuzu 1	m ³	1,4	3,36 saat
Nitrifikasyon Havuzu 1	m ³	1,7	4,08 saat
İç sirkülasyon 1	m ³ /gün	43,2	-
Denitrifikasyon Havuzu 2	m ³	1,4	3,36 saat
Nitrifikasyon Havuzu 2	m ³	1,7	4,08 saat
İç sirkülasyon 2	m ³ /gün	47,2	-
Son Çöktürme Havuzu	m ³	1,4	3,36 saat
Geri devir	m ³ /gün	8	-
Toplam Reaktör Hacmi	m ³	8,6	20,64 saat

Çalışma süresince pilot ölçekli reaktör iki farklı proses (A- Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi, B- İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi) şeklinde, farklı dönemlerde çalıştırılmıştır. İlk proseste (A) giriş atıksuyunun tamamı (10 m³/gün) anaerobik tanka beslenmiş olup; Bardenpho Prosesi'nden farklı olarak, ilk anoksik - aerobik tanklar arasındaki iç sirkülasyona ek olarak ikinci anoksik - aerobik tanklar arasına da iç sirkülasyon hattı eklenerek modifiye edilmiştir. Diğer bir fark ise son aerobik tank hacminin ilk aerobik tank hacmi ile aynı olmasıdır. İkinci proseste (B) giriş atıksuyu iki ayrı hatta bölünmüş ve debinin %50'si (5 m³/gün) anaerobik tanka, diğer %50'si ise ikinci anoksik tanka beslenmiştir.

Çalışma süresince giriş ve çıkış kademelerinin herbirinden numune alınarak (2adet/hafta), KOİ, TKN, NH₃-N, TP, PO₄-P, AKM ve UAKM parametrelerinin analizi yapılmış olup, bu parametrelerin analizinde Standart Metotlar APHA [11]uygulanmıştır.

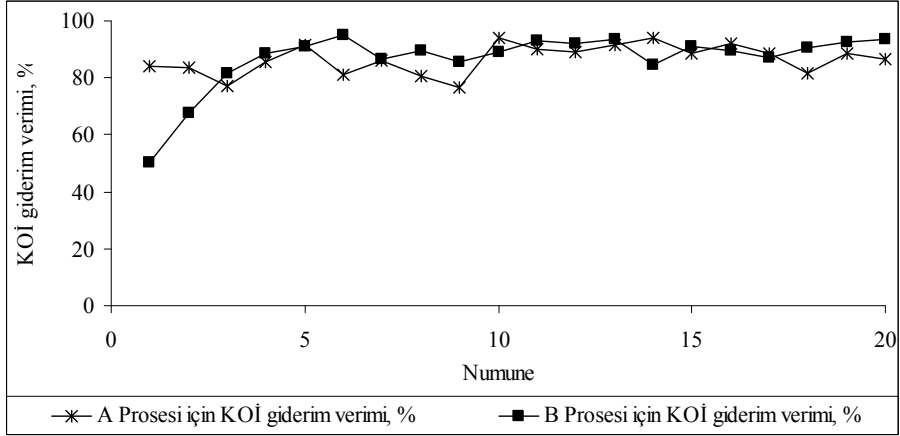
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Sonuçlar

3.1.1. KOİ Giderimi

Çalışmada iki farklı proses için elde edilen KOİ giderim verimleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi'nde kararlı hale ulaşıldıktan sonra tespit edilen çıkış KOİ konsantrasyonu maksimum 170,0 mg/L, minimum 40,0 mg/L ve ortalama 81,8 ± 30,9 mg/L olarak tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen KOİ giderim verimi minimum %76,6, maksimum %93,8 ve ortalama %86,5 ± 5,2 olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi'nde ortalama giriş KOİ konsantrasyonu 555,8 ± 60,1 mg/L olarak belirlenmiş olup, ortalama çıkış KOİ konsantrasyonu ise 75,3 ± 60,7 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu dönemde maksimum KOİ giderim verimi %95,2, minimum KOİ giderim verimi %50,4 olarak belirlenirken ortalama giderim verimi %86,7 ± 10,4 olarak tespit edilmiştir.

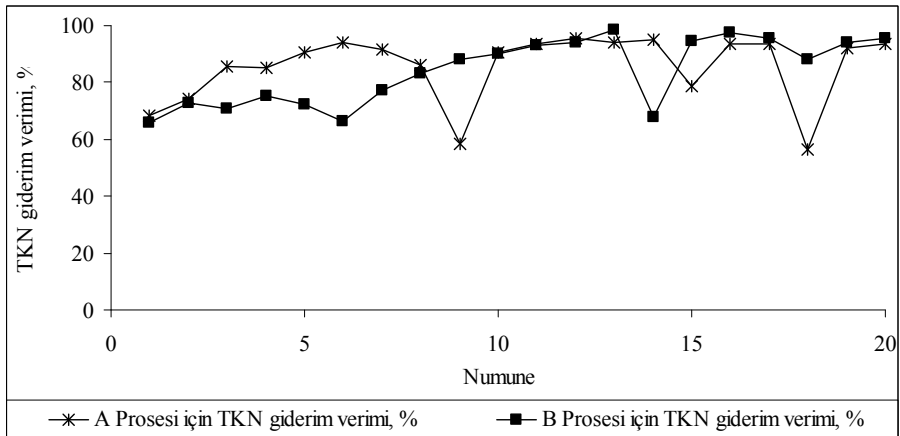


Şekil 2. İki farklı proses için elde edilen KOİ giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)

3.1.2. TKN Giderimi

Çalışmada Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi işletimi süresince atıksuyun giriş ve çıkış TKN konsantrasyonları sırasıyla $75,9 \pm 15,9$ mg/L ve $10,1 \pm 8,1$ mg/L olarak belirlenmiştir. Çalışma neticesinde reaktörde elde edilen ortalama TKN giderim verimi $\%85,5 \pm 12,1$ olarak tespit edilmiştir.

Pilot ölçekli İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi'nin işletilmesi neticesinde giriş ortalama TKN konsantrasyonu $71,8 \pm 6,8$ mg/L olarak belirlenmiş olup, çıkış ortalama TKN konsantrasyonu ise $11,9 \pm 9,3$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu dönemde maksimum TKN giderim verimi $\%98,3$, minimum giderim verimi $\%66,0$, ortalama giderim verimi $\%84,0 \pm 11,7$ olarak tespit edilmiştir. Her iki proses için belirlenen TKN giderim verimleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

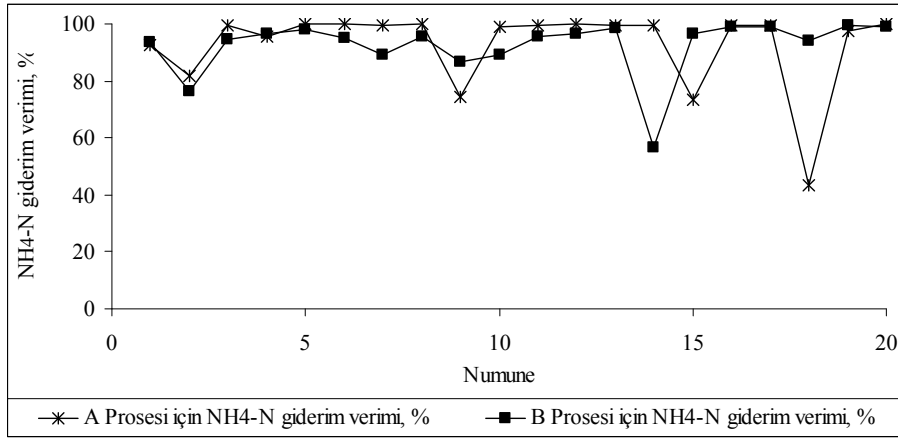


Şekil 3. İki farklı proses için elde edilen TKN giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)

3.1.3. NH₄-N Giderimi

Çalışma süresince ilk proses (A) için kararlı hal periyodunda çıkış atıksuyu NH₄-N konsantrasyonu $3,6 \pm 7,3$ mg/L olarak tespit edilmiş olup, NH₄-N giderim verimi minimum %43,3, maksimum %99,8 ve ortalama olarak $92,7 \pm 14,4$ olarak belirlenmiştir.

Çalışma süresince İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi (B) için ortalama giriş NH₄-N konsantrasyonu $44,0 \pm 6,7$ mg/L olarak belirlenmiş olup, çıkış ortalama NH₄-N konsantrasyonu ise $3,1 \pm 3,7$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu dönemde maksimum NH₄-N giderim verimi %99,6, minimum giderim verimi %56,9, ortalama giderim verimi $92,5 \pm 10,1$ olarak tespit edilmiştir. Çalışmada pilot ölçekli reaktörün işletilmesi neticesinde belirlenen NH₄-N giderim verimleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. İki farklı proses için elde edilen NH₄-N giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)

3.1.4. TP Giderimi

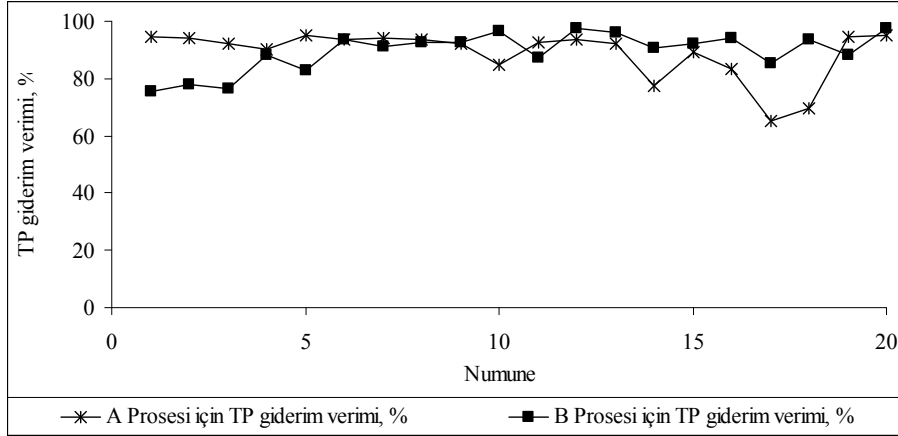
Reaktörün fosfor giderimini kontrol etmek amacıyla TP analizleri yapılmış olup; çalışma süresince giriş TP konsantrasyonu $8,3 \pm 0,8$ mg/L olarak belirlenirken, ortalama çıkış TP konsantrasyonu $0,9 \pm 0,7$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu durumda Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi’nde kararlı hale ulaşıldıktan sonra temin edilen TP giderim verimi $88,9 \pm 8,6$ olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan ikinci proseste (B) işletme süresince ortalama giriş TP konsantrasyonu $8,1 \pm 0,4$ mg/L iken ortalama çıkış TP konsantrasyonu ise $0,9 \pm 0,6$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu durumda reaktörde çalışma boyunca elde edilen maksimum, minimum ve ortalama giderim verimleri ise sırasıyla %97,5, %75,3 ve $89,5 \pm 6,8$ olarak tespit edilmiştir. Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi (A) ve İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi için elde edilen TP giderim verimlerinin değişimi Şekil 5’de gösterilmiştir.

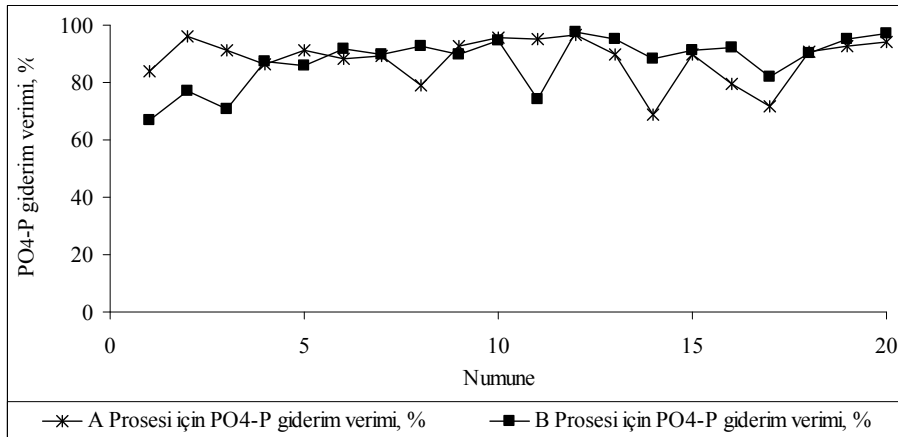
3.1.5. PO₄-P Giderimi

Çalışmanın ilk aşamasında (A), giriş PO₄-P konsantrasyonu $3,6 \pm 0,9$ mg/L olarak belirlenirken, ortalama çıkış PO₄-P konsantrasyonu $0,4 \pm 0,3$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu durumda Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi’nde kararlı hale ulaşıldıktan sonra temin edilen PO₄-P giderim verimi $88,1 \pm 7,8$ olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında (B), ortalama giriş $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonu $4,0 \pm 0,5$ mg/L iken ortalama çıkış $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonu ise $0,5 \pm 0,4$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu durumda reaktörde çalışma boyunca elde edilen maksimum ve ortalama giderim verimleri ise sırasıyla %97,4, %66,7 ve %87,5 \pm 8,8 olarak tespit edilmiştir. Proseslerde (A ve B) belirlenen $PO_4\text{-P}$ giderim verimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. İki farklı proses için elde edilen TP giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)



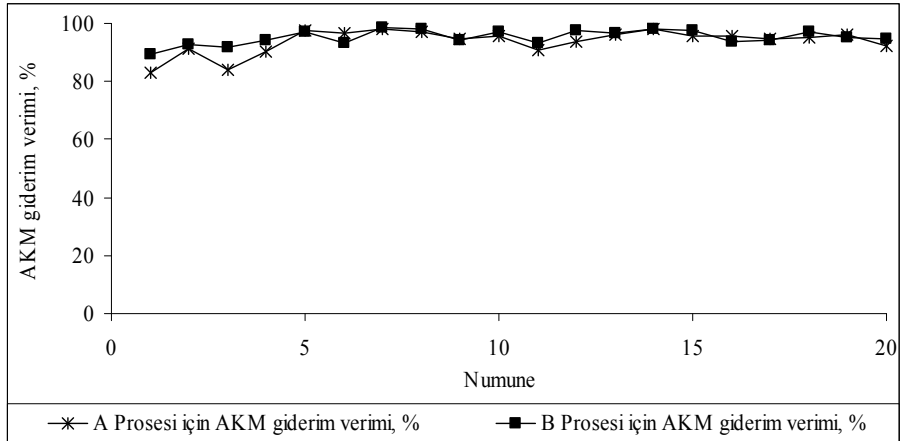
Şekil 6. İki farklı proses için elde edilen $PO_4\text{-P}$ giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)

3.1.6. AKM ve UAKM Giderimi

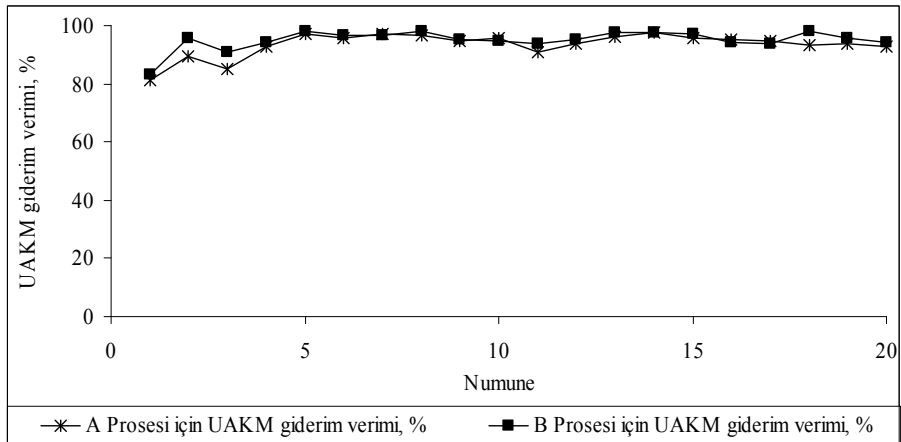
Çalışmanın ilk aşaması (A) süresince giriş AKM konsantrasyonu ortalama $264,0 \pm 81,0$ mg/L, çıkış AKM konsantrasyonu ise ortalama $14,9 \pm 7,6$ mg/L olarak belirlenirken, ortalama UAKM konsantrasyonu ise giriş ve çıkış için sırasıyla $201,7 \pm 56,2$ mg/L ve $12,2 \pm 6,1$ mg/L olarak tespit

edilmiştir. Buna göre çalışmada elde edilen ortalama AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla %93,7 ± 4,3 ve %93,5 ± 4,2 mg/L olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşaması (B) süresince ortalama giriş AKM konsantrasyonu 316,0 ± 46,9 mg/L, ortalama çıkış AKM konsantrasyonu ise 15,9 ± 8,1 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu durumda maksimum, minimum ve ortalama AKM giderim verimleri sırasıyla %98,5, %83,8 ve %94,8 ± 3,2 olarak tespit edilmiştir. İkinci aşamada ortalama giriş UAKM konsantrasyonu 230,0 ± 32,7 mg/L, ortalama çıkış UAKM konsantrasyonu ise 10,9 ± 5,9 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu durumda maksimum, minimum ve ortalama UAKM giderim verimleri sırasıyla %98,2, %83,0 ve %95,0 ± 3,4 olarak tespit edilmiştir. Çalışma süresince her iki proses için elde edilen AKM giderim verimleri Şekil 7’de, UAKM giderim verimleri ise Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. İki farklı proses için elde edilen AKM giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)



Şekil 8. İki farklı proses için elde edilen UAKM giderim verimleri (A: Modifiye Beş Kademeli Bardenpho, B: İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi)

3.2. Tartışma

Çalışma neticesinde Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi için KOİ, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla %86,5, %85,5, %92,7, %88,9, %88,1, %93,7 ve %93,5 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada İki Kademeli Kaskat Biyolojik Nutrient Giderme Prosesi'nde KOİ, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla %86,7, %84,0, %92,5, %89,5, %87,5, %94,8 ve %95,0 olarak belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma ile literatürde yapılan çalışmaların karşılaştırılması Çizelge 2'de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma literatür verileri ile karşılaştırıldığında her iki proses için de giderim verimlerinin tatmin edici seviyelerde olduğu görülmüştür. Ayrıca evsel atıksuların arıtılmasında her iki proses tipinin de kullanılabilirliği görülmüş olup, yatırım giderlerini düşürmek amacıyla Modifiye Beş Kademeli Bardenpho Prosesi'nin kullanılabilirliği belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar çoğunlukla laboratuvar ölçekli olup, çalışmanın pilot ölçekli gerçekleştirilmiş olması sebebiyle, daha tatmin edici sonuçlar verdiği ve tam ölçekli tesislerin projelendirilmesinde önemli bir kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

Çizelge 2. Yapılan çalışma ile literatür verilerinin karşılaştırılması

Ref.	Reaktör tipi	Reaktör hacmi	Atıksu tipi	HRT(s)	Giderim verimi, %					
					KOİ	TN	NH ₄ -N	TP	PO ₄ -P	AKM
A	Modifiye 5-kademeli Bardenpho	8,6 m ³	Evsel	20,64	86,5	81,8	92,7	88,9	88,1	93,7
B	İki Kademeli Kaskat	8,6 m ³	Evsel	20,64	86,7	80,3	92,5	89,5	87,5	94,8
[12]	VSMBR	1333 L	Evsel	8	96,0	74,0	-	78,0	-	100,0
[13]	Kaskat BNR	340 L	Evsel	8	81,9	-	85,3	-	63,6	-
[14]	BNR	1,7 m ³	Evsel	6	89,0	76,0	-	95,0	-	-
[15]	5-kademeli BNR	16,2 m ³	Evsel	7,5	87,0	79,0	88,0	-	87,0	90,0
[16]	AKR	68 L	Sentetik	12	94,0	86,0	-	-	65,0	-
[17]	AOA	43 L	Sentetik	8	-	70,3	93,0	-	87,3	-

VSMBR – Dikey batık membran biyoreaktör
 BNR – Biyolojik nutrient giderimi
 AOA – Anaerobik/aerobik/anoksik
 AKR – Ardışık kesikli reaktör

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Mulkerrins D., Dobson A.D.W., Colleran E., "Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters", Environment International, 30, 249-259, 2004.
- [2] Sarkar U., Dasgupta D., Bhattacharya T., Pal S., Chakroborty, T., "Dynamic simulation of activated sludge based wastewater treatment processes: Case studies with Titagarh Sewage Treatment Plant, India", Desalination, 252, 1-3, 120-126, 2010.
- [3] Wang L., Huang L.J., Yun L.J., et. al., "Removal of nitrogen, phosphorus, and organic pollutants from water using seeding type immobilized microorganisms", Biomedical and Environmental Sciences, 21, 150-156, 2008.
- [4] Chan S.Y., Tsang Y.F., Cui L.H., et. al., "Domestic wastewater treatment using batch-fed constructed wetland and predictive model development for NH₃-N removal", Process Biochemistry, 43, 297-305, 2008.

- [5] Sekaran G., Ramani K., Kumar A.G., Ravindran B., Kennedy L.J., Gnanamani A., “Oxidative destabilization of dissolved organics and E. coli in domestic wastewater through immobilized cell reactor system”, *Journal of Environmental Management*, 84, 2, 123-133, 2007.
- [6] Ellouze M., Saddoud A., Dhoub A., Sayadi S., “Assessment of the impact of excessive chemical additions to municipal wastewaters and comparison of three Technologies in the removal performance of pathogens and toxicity”, *Microbiological Research*, 164, 138-148, 2009.
- [7] Kadam A.M., Oza G.H., Nemade P.D., Shankar H.S., “Pathogen removal from municipal wastewater in Constructed Soil Filter”, *Ecological Engineering*, 33, 37-44, 2008.
- [8] Zheng X., Tong J., Li H., Chen Y., “The investigation of effect of organic carbon sources addition in anaerobic-aerobic (low dissolved oxygen) sequencing batch reactor for nutrients removal from wastewaters”, *Bioresource Technology*, 100, 9, 2515-2520, 2009.
- [9] Eschenhagen M., Schuppler M., Röske I., “Molecular characterization of the microbial community structure in two activated sludge systems for the advanced treatment of domestic effluents”, *Water Research*, 37, 3224-3232, 2003.
- [10] Li X.M., Guo L., Yang Q., et. al., “Removal of carbon and nutrients from low strength domestic wastewater by expanded granular sludge bed-zeolite bed filtration (EGSB-ZBF) integrated treatment concept”, *Process Biochemistry*, 42, 1173-1179, 2007.
- [11] Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 20th Edition, 2005.
- [12] Chae S.R., Shin H.S., “Characteristics of simultaneous organic and nutrient removal in a pilot-scale vertical submerged membrane bioreactor (VSMBR) treating municipal wastewater at various temperatures”, *Process Biochemistry*, 42, 193-198, 2007.
- [13] Ge S., Peng Y., Wang S., et. al., “Enhanced nutrient removal in a modified step feed process treating municipal wastewater with different inflow distribution ratios and nutrient ratios”, *Bioresource Technology*, 101, 9012-9019, 2010.
- [14] Kim D., Kim K.Y., Ryu H.D., et. al., “Long term operation of pilot-scale biological nutrient removal process in treating municipal wastewater”, *Bioresource Technology*, 100, 3180-3184, 2009.
- [15] Lee S.Y., Kim H.G., Park J.B., et. al., “Denaturing gradient gel electrophoresis analysis of bacterial populations in 5-stage biological nutrient removal process with step feed system for wastewater treatment”, *The Journal of Microbiology*, 42, 1, 1-8, 2004.
- [16] Sin G., Govoreanu R., Boon N., et. al., “Evaluation of the impacts of model-based operation of SBRs on activated sludge microbial community”, *Water Science & Technology*, 54, 1, 157-166, 2006.
- [17] Xu X., Liu G., Zhu L., “Enhanced denitrifying phosphorus removal in a novel anaerobic/aerobic/anoxic (AOA) process with the diversion of internal carbon source”, *Bioresource Technology*, 102, 10340-10345, 2011.