

## ARDIŞIK KESİKLİ REAKTÖRDE AKTİF ÇAMURUN ÇÖKELEBİLİRLİĞİNE ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN KONSANTRASYONUNUN ETKİSİ

**Engin GÜRTEKİN**

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

### ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli Ardışık Kesikli Reaktörde (AKR) aktif çamurun çökebilirliğine çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalma ve artışın etkisi araştırılmıştır. Yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında (2-5 mg/L) düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarına (0.5-1 mg/L) oranla daha düşük çamur hacim indeksi, daha düşük çıkış suyu bulanıklık değeri ve daha yüksek çökelme hızları elde edilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani artış ve azalma, çamur hacim indeksinin artmasına neden olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ardışık Kesikli Reaktör, Çözünmüş Oksijen, Çamur Hacim İndeksi, Çökelme, Bulanıklık.

## EFFECT OF DISSOLVED OXYGEN CONCENTRATION ON ACTIVATED SLUDGE SETTLEABILITY IN SEQUENCING BATCH REACTOR

### ABSTRACT

In this study, the effects of dissolved oxygen concentration and sudden decrease and increase in dissolved oxygen concentration on the settleability of activated sludge was examined in lab-scale Sequencing Batch Reactor (SBR). Higher dissolved oxygen concentrations (2-5 mg/L) produced sludge with lower sludge volume index, lower turbidity of effluent and higher sedimentation velocity than lower dissolved oxygen concentrations (0.5-1 mg/L). The sudden increase and decrease in dissolved oxygen concentration caused higher sludge volume index.

**Keywords:** Sequencing Batch Reactor, Dissolved Oxygen, Sludge Volume Index, Settling, Turbidity.

### I. GİRİŞ

Dünyada atıksu arıtımı için en yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtım yöntemi aktif çamur prosesidir. Aktif çamur prosesinde arıtma süreci, havalandırma ve çöktürme olmak üzere iki ana temel işlemden oluşmaktadır. Havalandırma işleminde mikroorganizmalar organik maddeleri okside etmektedir. Aktif mikroorganizmalardan ve metabolik ürünlerden oluşan katılar ise çöktürme işlemi ile sudan ayrılmaktadır. Çöktürme işlemi, alıcı ortama deşarjdan

önceki son arıtma kademesi olup çıkış standartlarını sağlayacak iyi bir çıkış suyu ve havalandırma tankında yeterli konsantrasyonda aktif çamur elde edebilmek çöktürme işleminin verimli olmasına bağlıdır. Havalandırma ve çöktürme işlemi ayrı ünitelerde yapılabileceği gibi ardışık kesikli reaktörlerde olduğu gibi aynı ünite içerisinde de yapılabilmektedir. Ardışık kesikli reaktörler, aktif çamur prosesinin bir modifikasyonu olup doldur-boşalt prensibine göre çalışmaktadırlar.

Aktif çamur prosesinde normal şartlarda filamentli bakteriler ile flok oluşturan bakteriler arasında bir denge mevcuttur. Filamentli bakterilerin varlığı, iyi çökelen floklar için bir makroyapı oluşturduğundan dolayı önemlidir. Bununla beraber, şişkin çamur olarak bilinen filamentli mikroorganizmaların aşırı büyümesi aktif çamur proseslerinde karşılaşılan çökme problemlerinin başlıca nedenidir. Bu problem yarım yüzyıldır bilinmesine rağmen kesin bir çözüm bulunamamıştır.

Çeşitli işletme parametreleri şişkin çamura neden olmaktadır: Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu [1,2,3,4], yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonu [1,5], yüksek organik yük [1,6] ve düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu ile yüksek organik yükün kombinasyonu [1,7].

Çökme, aktif çamur floklarının yapısına, büyüklüğüne ve yoğunluğuna bağlıdır [2]. Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu, aktif çamurun flok yapısının bozulmasına ve daha bulanık bir çıkış suyu elde edilmesine neden olmaktadır [8]. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artmasıyla daha büyük floklar elde edilmektedir [9].

Atıksuların biyolojik olarak arıtımında geçici şartlar meydana gelebilmektedir. Bu geçici şartlar; besi maddesi ve besi elementi konsantrasyonunda değişim veya toksik bileşikler, çözünmüş oksijen, pH ve sıcaklık gibi parametrelerde meydana gelen değişimler olup, çamurun flok yapısını bozduğu bilinmektedir.

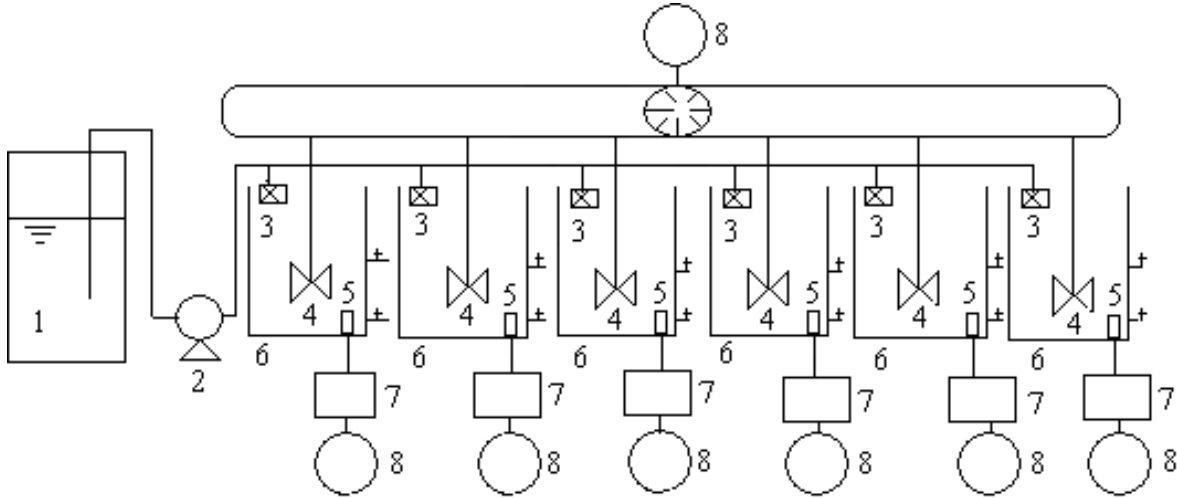
Ardışık kesikli reaktör, işletimi ve kontrolü kolay tek reaktörden ibaret bir aktif çamur prosesidir. Literatüre bakıldığında ardışık kesikli reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun aktif çamurun çökme özellikleri üzerine etkisi ile ilgili fazla çalışma olmadığı görülmektedir [2]. Bu çalışmada, ardışık kesikli reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ve çözünmüş oksijen konsantrasyonunda meydana gelebilecek ani artış ve azalmanın çökme özelliğine etkisi araştırılmıştır.

## II. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada birbirine paralel olarak işletilen 6 ardışık kesikli reaktör (AKR) kullanılmıştır (Şekil 1). Her bir AKR'nin çalışma hacmi 2 L büyüklüğündedir. Reaktörlerde sıcaklık  $19\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'dir. AKR'de her bir devir 6 saat olup, günde 4 devir yapılmıştır. Her bir devir; 10 dakika doldurma, 290 dakika reaksiyon (havalandırma), 30 dakika çökme, 15 dakika boşaltma ve 15 dakika dinlenme fazlarından oluşmaktadır. Her bir devrin başlangıcında doldurma fazı süresince reaktöre 1 L atıksu beslenmiştir. Her bir devrin sonunda ise, reaktörden 1 L atıksu çekilmiştir. Böylece tüm reaktörlerde hidrolik bekleme zamanının 12 saat olması sağlanmıştır. Tüm çalışma boyunca reaktörlerdeki çamur yaşı sabit tutulmuş olup, 10 günlük çamur yaşında çalıştırılmışlardır. Bunun için havalandırma fazının sonunda 200 mL karışım sıvısı reaktörlerden çekilmiştir. Reaktör içerisinde atıksuyun havalandırılması hava pompası ve difüzör yardımı ile yapılmıştır.

Reaktörlerin içerisinde çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının yaklaşık olarak sırasıyla; 0,5 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L ve 5 mg/L olması sağlanarak aktif çamurun çökebilirliğine etkisi araştırılmıştır. Daha sonra, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L ve 3 mg/L olan iki reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani değişikliğin çökme özelliğine etkisini tespit etmek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bunun için, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L olan reaktörde, 24 saat boyunca havalandırma yapılmamış ve bunun sonucu olarak reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0 mg/L'ye düşmüştür. Reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonu önceki değerine yani 2 mg/L'ye tekrardan yükseltilmiş ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalmanın çamur hacim indeksine etkisini belirlemek amacıyla 7 gün boyunca deneysel çalışmalara devam edilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 3 mg/L olan reaktörde ise, çözünmüş oksijen konsantrasyonu artışının çamur hacim indeksine etkisini belirlemek amacıyla 24 saat boyunca reaktöre daha fazla hava verilmiş ve bunun sonucu olarak çözünmüş oksijen konsantrasyonu 4.4 mg/L'ye yükselmiştir. Reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun tekrardan 3 mg/L olması sağlanarak 7 gün boyunca deneysel çalışmalara devam edilmiştir.



1. Su tankı, 2. Pompa, 3. Vana, 4. Karıştırıcı, 5. Difüzör, 6. Reaktör, 7. Hava pompası, 8. Zaman saati

Şekil 1. Deneysel düzeneğin şematik diyagram

## 2.2. Atıksu ve Çamur

Bu çalışmada kullanılan evsel atıksu Elazığ Evsel Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Evsel atıksuyun karakterizasyonu Tablo 1’de verilmiştir. Aktif çamur da aynı tesisten temin edilmiştir. Aktif çamurun 3 hafta süre boyunca reaktördeki çalışma şartlarına adaptasyonu sağlanmıştır.

Tablo 1. Evsel atıksuyun karakterizasyonu

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
KOİ	460
NH <sub>4</sub> -N	35
TP	16
PO <sub>4</sub> -P	8
NO <sub>3</sub> -N	0.90
AKM	120
Bulanıklık*	55

\* Birimi = NTU

## 2.3. Analitik Yöntemler

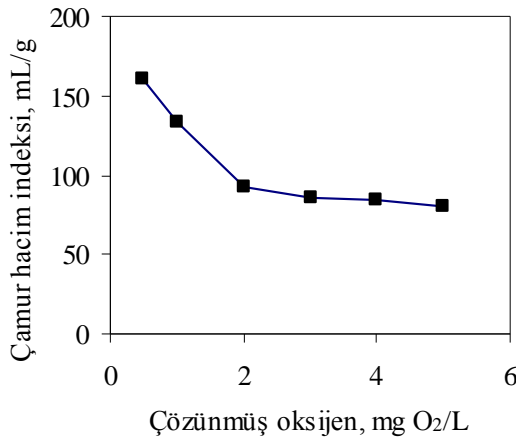
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çamur hacim indeksi, askıda katı madde (AKM) ve bulanıklık analizleri Standart Metotlara [10] göre yapılmıştır. Amonyum (Kit Kodu: 100683; Ölçüm Aralığı: 2-150 mg/l NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), Toplam fosfor

(Kit Kodu: 114729; Ölçüm Aralığı: 0.5-25 mg/l P), fosfat (Kit Kodu: 114546; Ölçüm Aralığı: 0.5-25 mg/l P), nitrat (Kit Kodu: 114773; Ölçüm Aralığı: 0.2-20 mg/l P) analizleri Standart Kit (Merck Specquorant) kullanılarak yapılmıştır. Çözünmüş oksijen analizi, WTW OXI 330 model çözünmüş oksijen cihazıyla ve prob kullanılarak yapılmıştır.

## III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çamur hacim indeksinin çözünmüş oksijen konsantrasyonuna göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L ve 5 mg/L olduğu reaktörlerde çamur hacim indeksi ortalama değerleri sırasıyla, 92 mL/g, 86 mL/g, 84 mL/g ve 80 mL/g olup, bu değerler arasında büyük farkların olmadığı görülmektedir. Ancak, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 0.5 mg/L ve 1 mg/L olduğu reaktörlerde çamur hacim indeksi ortalama değerleri sırasıyla, 160 mL/g ve 133 mL/g olup, çamur hacim indeksinde artış olduğu görülmektedir. 150 mL/g’in üzerindeki çamur hacim indeksi değerlerine sahip çamurlar şişkin çamur olarak sınıflandırılmıştır [1]. Bu çalışmada, sadece 0.5 mg/L çözünmüş oksijen değerinde çamur hacim indeksi 150 mL/g değerini aşmıştır. Laboratuvar ölçekli ardışık kesikli reaktörde yapılan çalışmada, düşük oksijen konsantrasyonunun ( $\leq 1.1$  mg O<sub>2</sub>/L) çamurun çökebilirliğine negatif yönde etki yaptığını

ve filamentli bakterilerin çoğalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir [3]. Pilot ölçekli tam karışimli havalandırmalı bir reaktör kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada ise, düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonunun filamentli mikroorganizmaların aşırı büyümesine ve gözenekli flokların oluşmasına neden olarak çökme ve su verme özellikleri kötü bir aktif çamur üretildiğini belirtmişlerdir [2]. Literatür dikkate alındığında, düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında yüksek çamur hacim indeksi değerleri elde edilmesinin başlıca nedenlerinin filamentli mikroorganizmaların aşırı büyümesi ve flok yapısının bozulması olduğu söylenebilir.

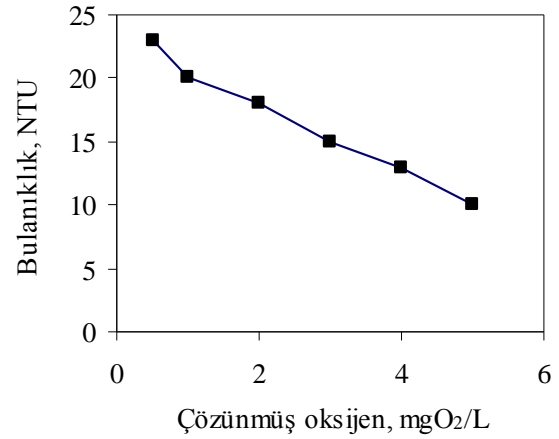


Şekil 2. Çamur hacim indeksinin çözünmüş oksijen konsantrasyonuna göre değişimi

Çamur hacim indeksi, çamurun çökme özelliğini karakterize eden en iyi parametre olarak bilinmektedir. Çamur hacim indeksi, şişkin çamur için de iyi bir indikatördür. Atıksu arıtma tesislerinde çamur hacim indeksi 30 mL/g ile 400 mL/g arasında değişen değerler alabilmektedir [11].

Çözünmüş oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilen çıkış suyu bulanıklık değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonunda çıkış suyu bulanıklık değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Giriş suyunda bulanıklık değeri 55 NTU olup, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 0.5 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L ve 5 mg/L olduğu reaktörlerde çıkış suyu ortalama bulanıklık değerleri sırasıyla, 23 NTU, 22 NTU, 18 NTU,

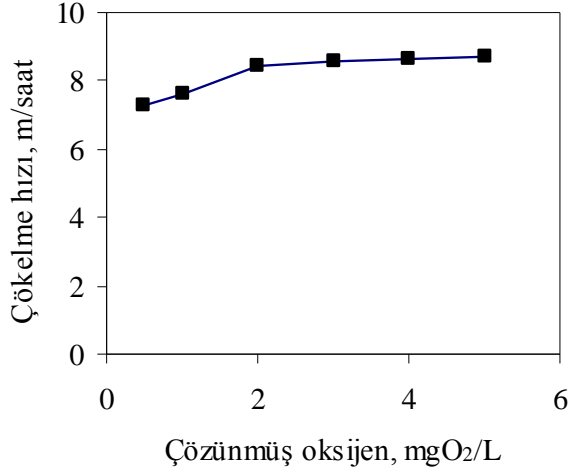
15 NTU, 12 NTU ve 10 NTU olarak bulunmuştur. Pilot ölçekli tam karışimli reaktörde yapılan çalışmada da, düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının (0.5-2 mg/L) yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonlarına (2.0-5.0 mg/L) göre daha kötü çökme özelliği ve çıkış suyunda daha yüksek bulanıklık gösterdiğini belirlemişlerdir [2].



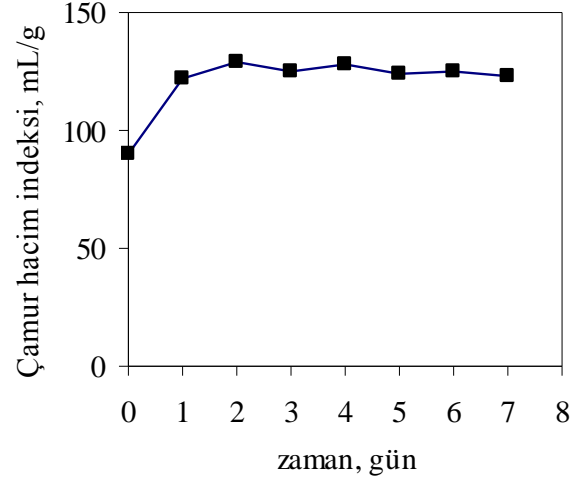
Şekil 3. Çıkış suyu bulanıklık değerlerinin çözünmüş oksijen konsantrasyonuna göre değişimi

Çökme hızı, literatürde verilen matematiksel formül ( $V_o = 28.1 (SVI)^{-0.2667}$ ) [12] kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 0.5 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L ve 5 mg/L olduğu reaktörlerde ortalama çökme hızları sırasıyla 7.26 m/saat, 7.63 m/saat, 8.41 m/saat, 8.57 m/saat, 8.62 m/saat ve 8.73 m/saat olarak hesaplanmıştır. Daha önceden yapılan çalışmalarda ortalama çökme hızları 10.5 m/saat [11], 9.9 m/saat [12] ve 7.8 m/saat [13] olarak bulunmuştur.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalmanın çamurun çökebilirliğine etkisini belirlemek amacıyla, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2 mg/L olan reaktörde, 24 saat boyunca havalandırma yapılmamış ve bunun sonucu olarak reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0 mg/L'ye düşmüştür. Reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonu önceki değerine yani 2 mg/L'ye tekrardan yükseltilmiş ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalmanın çamur hacim indeksine etkisini belirlemek amacıyla 7 gün boyunca deneysel çalışmalara devam



Şekil 4. Çökme hızlarının çözünmüş oksijen konsantrasyonuna göre değişimi

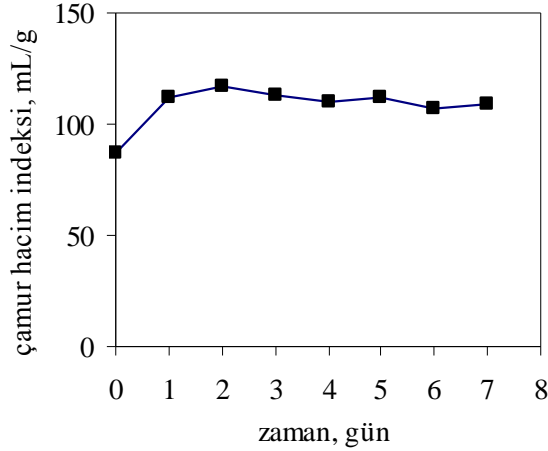


Şekil 5. Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalmanın çamur hacim indeksine etkisi

edilmiştir. Çamur hacim indeksi 90 mL/g iken yapılan şok uygulamanın ardından 1. gün sonunda 122 mL/g'ye yükselmiştir. 2. gün sonunda ise bu değer 129 mL/g'a yükselmiştir. Çamur hacim indeksi, 3. gün ile 7. gün arasında ortalama 125 mL/g değerini almıştır (Şekil 5). Deneysel çalışma sırasında, çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalmanın flok yapısını bozduğu gözlenmiştir. Bunun neticesinde de, çamur hacim indeksi değerinin arttığı tahmin edilmektedir. Literatürde de, aktif çamurun oksijen sınırlamasına ve anaerobik şartlara maruz kaldığında flok yapısının bozulduğu belirtilmektedir [2,8]. Floklar arasında anaerobik, fakültatif anaerobik bakterilerin büyümesi veya floklarda bulunan zorunlu aerobik bakterilerin büyümesinin engellenmesi de flok yapısının bozulma nedeni olarak açıklanmıştır [14]. Anaerobik şartlarda meydana gelen hücre dışı besi maddeleri matrisinde ki hidroliz, flok matrisinin de parçalanmasına neden olabilmektedir [15,16]. Anaerobik şartlarda mikroorganizmalar tarafından Fe (III)'ün biyolojik olarak [16,17] veya sülfür ile indirgenmesi [18] de flok yapısını bozmaktadır.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani artışın çamurun çökebilirliğine etkisini belirlemek için, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 3 mg/L olan reaktörde, 24 saat boyunca reaktöre daha fazla hava verilmiş ve bunun sonucu olarak çözünmüş oksijen konsantrasyonu 4.4 mg/L'ye

yükselmiştir. Reaktörde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun tekrardan 3 mg/L olması sağlanmış ve çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani artışın çamur hacim indeksine etkisini belirlemek amacıyla 7 gün boyunca deneysel çalışmalar sürdürülmüştür. Çamur hacim indeksi 87 mL/g iken, 1. gün sonunda 112 mL/g'a ve 2. gün sonunda 117 mL/g'a kadar yükselmiştir. 3. ve 7. gün arasında ortalama çamur hacim indeksi değeri 110 mL/g olmuştur (Şekil 6). Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani artış, çamur hacim indeksi değerini artırmıştır. Bu artışın, deneysel çalışma sırasında gözlenen flok parçalanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada, çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki artışın, oksijenin flok içerisinde derine nüfus etmesini sağlayarak flok matrisinde hidrolize olan mikroorganizmaları parçalayabileceği belirtilmiştir. [19].



Şekil 6. Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani artışın çamur hacim indeksine etkisi

#### IV. SONUÇLAR

Yüksek çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında (2-5 mg/L) daha düşük çamur hacim indeksi değerleri elde edilmiştir. Çıkış suyu bulanıklık değerleri düşük, çökme hızı daha yüksektir. Düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında (0.5-1 mg/L) çamur hacim indeksi değeri artmış ve 0.5 mg/L çözünmüş oksijen konsantrasyonunda çamur hacim indeksi 150 mL/g'dan daha yüksek olduğundan bu reaktördeki çamur, şişkin çamur olarak nitelendirilebilir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki ani azalma ve artış çamur hacim indeksi değerinin artmasına neden olmuştur.

#### V. KAYNAKLAR

1. PALM, J.C., JENKINS, D., PARKER, D.S. "Relationship between organic loading, dissolved oxygen concentration and sludge settleability in the completely mixed activated sludge process", *Journal Water Pollution Control Federation*, 52 (19), 2484-2506, 1980.
2. WILEN, B.M., BALMER, P. "The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs", *Water Research*, 33 (2), 391-400, 1999.

3. MARTINS, A.M.P., HEIJNEN, J.J., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. "Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 62 (5-6), 586-593, 2003.
4. GAVAL, G., PERNELL, J.J. "Impact of the repetition of oxygen deficiencies on the filamentous bacteria proliferation in activated sludge", *Water Research*, 37 (9), 1991-2000, 2003.
5. BENEFIELD, L.D., RANDALL, C.W., KING, P.H. "The simulation of filamentous microorganisms in activated sludge by high dissolved oxygen concentration", *Water Air Soil Pollution*, 5 (1), 113-123, 1975.
6. BARBUSINSKI, K., KOSCIELNIAK, H. "Influence of substrate loading intensity on floc size in sludge process", *Water Research*, 29 (7), 1703-1710, 1995.
7. PERNELLE, J.J., GAVAL, G., COTTEUX, E., DUCHENE, P. "Influence of transient substrate overloads on the proliferation of filamentous bacterial populations in an activated sludge pilot plant", *Water Research*, 35 (1), 129-134, 2001.
8. STARKEY, J.E., KARR, J.E. "Effect of low dissolved oxygen concentration on effluent turbidity", *Journal Water Pollution Control Federation*, 56 (7), 837-843, 1984.
9. KNUDSON, M.K., WILLIAMSON, K.J., NELSON, P.O. "Influence of dissolved oxygen on substrate utilization kinetics of activated sludge", *Journal Water Pollution Control Federation*, 54 (1), 52-60, 1982.
10. APHA, AWWA, WCPF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20<sup>th</sup> Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., 1998.
11. JANCZUKOWIWCZ, W., SZEWCZYK, M., KRZEMIENIEWSKI, M., PESTA, J. "Settling properties of activated sludge from a sequencing batch

- reactor (SBR)", Polish Journal of Environmental Studies, 10 (1), 15-20, 2001.
12. AKÇA, L., KINACI, C., KARPUZCU, M. "A model for optimum design of activated sludge plants", Water Research, 27 (9), 1461-1468, 1993.
  13. DAIGGER, E., ROPER, E.JR. "The relationship between SVI and activated sludge settling characteristics", Journal Water Pollution Control Federation, 57 (8), 859-866, 1985.
  14. EIKELBOOM, D.H., VAN BUIJSEN, H.J.J. "Microscopic Sludge Investigation Manual", TNO Research Institute for Environmental Hygiene, Delft, The Netherlands, 1983.
  15. RASMUSSEN, H., BRUUS, J.H., KEIDING, K., NIELSEN, P.H. "Observations on dewaterability and physical, chemical and microbiological changes in anaerobically stored activated sludge from nutrient removal plant", Water Research, 28 (2), 417-425, 1994.
  16. NIELSEN, P.H. "The significance of microbial Fe(III) reduction in the activated sludge process", Water Science and Technology, 34 (5/6), 129-136, 1996.
  17. RASMUSSEN, H., NIELSEN, P.H. "Iron reduction in activated sludge measured by different extraction techniques", Water Research, 30 (3), 551-558, 1996.
  18. NIELSEN, P.H., KEIDING, K. "Disintegration of activated sludge flocs in the presence of sulfide", Water Research, 32 (2), 313-320, 1998.
  19. ABBASI, B., DULLSTEIN, S. AND RABIGER, N. "Minimization of excess sludge production by increase of oxygen concentration in activated sludge flocs; experimental and theoretical approach", Water Research, 34 (1), 139-146, 2000.