

SU KİRLİLİĞİ KONTROLÜNDE BİYOLOJİK PROSESLER

(CİLT 1)

Yazar
Bilal TUNÇSİPER



© Copyright 2025

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kayıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN 978-625-375-832-5 (Tk) 978-625-375-833-2 (1.c)	Sayfa ve Kapak Tasarımı Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı Su Kirliliği Kontrolünde Biyolojik Prosesler (Cilt 1)	Yayıncı Sertifika No 47518
Yazar Bilal TUNÇSİPER ORCID iD: 0000-0002-6268-7237	Baskı ve Cilt Vadi Matbaacılık
Yayın Koordinatörü Yasin DİLMEN	Bisac Code SCI088000
	DOI 10.37609/akya.3962

Kütüphane Kimlik Kartı
Tunçsiper, Bilal.
Su Kirliliği Kontrolünde Biyolojik Prosesler (Cilt 1) / Bilal Tunçsiper.
Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2025.
c. <1> (357 s.) : tablo, şekil. ; 160x235 mm.
Kaynakça var.
ISBN 9786253758332
9786253758325 (Tk).

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Su kirliliği kontrolünde biyolojik prosesler isimli eserin birinci ciltinde atıksuların biyolojik özellikleri ve atıksuların aerobik arıtımında kullanılan biyolojik prosesler ile birlikte reaksiyon kinetikleri, reaktörlerdeki akım modelleri ve havalandırma prosesleri ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Eserde, temel olarak biyolojik atıksu arıtma sistemlerinde atık su arıtımının teorisi ve pratiği verilmiştir. Eserin pratik ve öğretici yönünü güçlendirmek için ayrıca bazı bölümlere ve sonlarına tasarım örnekleri eklenmiştir.

Bu eserin akademik kurumlarda ders kitabı olarak kullanılmasının yanı sıra, çevre mühendisleri, çevre bilimcileri, biyologlar, kimyagerler ve çevre ajanslarında çalışan profesyoneller için önemli bir referans olabileceği düşünülmektedir.

Prof.Dr. Bilal TUNÇSİPER

Aralık 2025

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

KİRLİTİCİLER, MİKROORGANİZMALAR, REAKSİYON KİNETİĞİ VE REAKTÖRLERDE AKIM MODELLERİ

1

1.1. GİRİŞ

1

1.2. KİRLİTİCİLER.....

3

1.2.1. Organik Bileşikler.....

3

1.2.2. Azotlu Bileşikler.....

21

1.2.3. Fosforlu Bileşikler

24

1.2.4. Organik Madde Kirliliğinin Ölçülmesi

26

1.2.4.1. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ).....

26

1.2.4.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

33

1.2.4.3. Toplam oksijen ihtiyacı (TOİ)

36

1.2.4.4. Toplam organik karbon (TOK)

36

1.3. MİKROORGANİZMALAR.....

37

1.3.1. Bakteriler

43

1.3.2. Bitkiler

76

1.3.3. Funguslar (Mantarlar)

79

1.3.4. Protozoalar.....

80

1.3.5. Rotiferler Ve Nematodlar

81

1.4. REAKSİYON KİNETİĞİ.....

86

1.4.1. Homojen Reaksiyonlar

87

1.4.2. Tersinir Olmayan Reaksiyonlar

87

1.4.3. Paralel Ve Seri Reaksiyonlar

87

1.4.4. Tersinir Reaksiyonlar

88

1.4.5. Heterojen Reaksiyonlar

88

1.4.6. Reaksiyon Hızları Ve Reaksiyon Dereceleri

88

1.4.6.1. Sıfırıncı dereceden reaksiyon.....

90

1.4.6.2. Birinci dereceden reaksiyon

92

1.4.6.3. İkinci dereceden reaksiyon

94

1.4.6.4. Zahiri ya da yalancı n.dereceden reaksiyon.....

96

1.4.7. Reaksiyon Kinetiğini Etkileyen Faktörler

97

1.5. MİKROBİYAL BÜYÜME KİNETİĞİ (DOYGUNLUK BİYOKİNETİĞİ)	97
1.5.1. Enzimler.....	105
1.5.1.1. Enzimlerin fonksiyonlarına göre sınıflandırılması	105
1.5.1.2. Enzimlerin yapısı.....	109
1.5.1.3. Enzimlerin kinetiği.....	111
1.5.2. Mikrobiyal Büyüme Kinetikleri Üzerine İnhibitörlerin Etkisi	127
1.5.3. Mikrobiyal Büyüme Kinetikleri Üzerine Substrat İnhibisyonunun Etkisi.....	129
1.5.4. Mikrobiyal Büyüme Biyokinetiklerinin Uygulanması.....	131
1.5.4.1. Geri devirsiz tam karışımli reaktörlerde biyokinetiklerin uygulanması.....	131
1.5.4.2. Geri devirli tam karışımli reaktörlerde biyokinetiklerin uygulanması.....	135
1.5.4.3. Piston akımlı reaktörlerde biyokinetiklerin uygulanması.....	155
1.6. REAKTÖRLERDE AKIM MODELLERİ	160
1.6.1. İdeal Piston Akım	161
1.6.2. İdeal Tam Karışımli Akım.....	162
1.6.3. Dağılımlı (Dispersif) Akım.....	163
Örnek Problemler	175
Kaynaklar	207

BÖLÜM 2

AEROBİK (OKSİJENLİ) ATIKSU ARITIMI	209
2.1. AEROBİK (OKSİJENLİ) ATIKSU ARITIMI.....	209
2.1.1. Askıda Büyümeli (Suspended Growth) Aerobik Prosesler.....	212
2.1.1.1. Tam karışımli aktif çamur sistemi.....	231
2.1.1.2. Uzun havaladırmalı aktif çamur sistemi	232
2.1.1.3. Piston akımlı aktif çamur sistemi	233
2.1.1.4. Saf oksijenli aktif çamur sistemi.....	235
2.1.1.5. Temas stabilizasyonu	236
2.1.1.6. Kraus prosesi	238
2.1.1.7. Ardışık kesikli reaktör (AKR)	239
2.1.1.8. Oksidasyon hendeği	248
2.1.1.9. Derin şaft ya da derin kuyu reaktörü.....	249
2.1.1.10. Mekanik havalandırmalı lagünler	251
2.1.2. Yüzeyde Büyümeli (Attached Growth) Prosesler	254
2.1.2.1. Damlatmalı filtre	255
2.1.2.2. Askıda veya sabit halde dolgulu (attached packing) yüzeyde büyümeli aerobik prosesler.....	283
2.1.2.3. Captor ve linpor	283

2.1.2.4. Kaldnes prosesi.....	283
2.1.2.5. Ringlace ve/ve ya biomatrix prosesi	285
2.1.2.6. Biocarbonate prosesi	287
2.1.2.7. Biofor prosesi	287
2.1.2.8. Akışkan yataklı biyoreaktör.....	290
2.1.2.9. Biostyr prosesi	291
2.1.2.10. Döner biyolojik disk (RBC: Rotating Biological Contactor)	292
Örnek Problemler	302
Kaynaklar	317

BÖLÜM 3

HAVALANDIRMA.....	321
3.1. HAVALANDIRMA.....	321
3.1.1. Atıksulardaki Oksijen Transferi Ve Oksijen Kullanım Hızı.....	326
3.1.2. Havalandırma Sistemleri	332
3.1.2.1. Difüzörlü (basınçlı) havalandırıcılar	332
3.1.2.2. Mekanik havalandırıcılar	337
Örnek Problemler	347
Kaynaklar	349

BÖLÜM 1

KİRLETİCİLER, MİKROORGANİZMALAR, REAKSİYON KİNETİĞİ VE REAKTÖRLERDE AKIM MODELLERİ

1.1. GİRİŞ

Çevre mühendisliği kapsamında ikincil ya da daha ileri kademe olarak kullanılan biyolojik arıtma prosesleri daha ziyade birincil kademede giderilemeyen çözünmüş ve partiküler biyolojik ayrışabilir bileşenleri ve azot ve fosfor gibi besinlerin giderimlerini sağlamaktadır.

Genel olarak canlı organizmalara dayalı süreçleri içeren aktif çamur sistemleri ve modifikasyonlarında atıksuların arıtılmasında en başta tek hücreli mikroorganizmalardan bakteriler ve arkeler olmak üzere kısmen de protistalar (*Mastigophora*, *Sporozoa*, *Sarcodina*, *Ciliata*), algler, fotosentetik mavi-yeşil algler, mayalar ve mantarlar (fungiler) rol oynamaktadır. Bununla birlikte, doğal sistemlerle atıksuların arıtılmasında mikroorganizmaların yanı sıra çok hücreli makroskobik organizmalardan bitkiler de rol oynamaktadır. Katı atıkların ayrıştırılması süreçlerinde ise yine mikroorganizmalar ile birlikte rotiferler ve nematodlar (kurtçuklar) da rol oynamaktadır. Hem evsel hem de endüstriyel kaynaklı atıksuların biyolojik yollarla arıtılmalarının ana hedefleri şunlardır;

- Ayrıştırılmayan maddeleri (kolloidler) ve gravitasyonla çökelemeyen katıları biyolojik floklar içerisine hapsederek sonraki çöktürme tanklarında çöktürülerek giderilmelerini sağlamak.
- İleri kademelerde azot ve fosforun giderilmesini sağlamak.
- Ağır metallerin ve toksik eser (iz) elementlerin giderilmesini sağlamak.
- İnsan ve çevre sağlığına zararlı olabilecek mikroorganizmaların (Fekal Koliformlar) giderimlerini sağlamak.
- Arıtılmış atıksuların yeniden kullanımını sağlamak.
- Bazı durumlarda doğal biyolojik atıksu arıtma sistemlerinde olduğu gibi; yüzeysel ve yeraltı suyu kaynaklarının korunumunu ve yeraltı suyu kaynaklarının beslenmesini sağlamak, yeşil alanların korunumunu sağlamak ve ayrıca atıksu arıtımının yanında ticari doğal ürünler de sağlamak.

Biyolojik atıksu arıtımı alanında kullanılan bazı terimler ve tanımlamaları Tablo 1.1' de özetlenmiştir.

Kaynaklar

- Arceivala, S.J. 1998. Wastewater treatment for pollution control, McGraw Hill Book Company.
- Bitton, G. (2011). Wastewater Microbiology, Fourth Ed. Wiley-Liss, GWiley Series in Ecological and Applied Microbiology, Ralph Mitchell: Series Editor, Gainesville, Florida.
- Boyd, R.F. (1988). General Microbiology. 2nd Ed., Times Mirror/C.V. Mosby, St. Louis, MO.
- Gerardi, M.H. (2002). Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process. A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New York.
- Gerardi, M.H. (2006). Wastewater Bacteria, Wastewater Microbiology Series, Wiley, New Jersey.
- Gujer, W., Henze, M., Mino, T., van Loosdrecht, M. C. M. (1999). Activated Sludge Model No. 3, Wat. Sci. Tech. 39 (1), 183-193.
- Hoover, S. R., Porges, N. 1952 Assimilation of Dairy Wastes by Activated Sludge. II. The equation of Synthesis and Oxygen Utilization. Sewage and Industrial Wastes.
- Kestioğlu, K. 2001. Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler, Cilt-1, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:170, Vipaş A.Ş. Yayın No: 46.
- Korkmaz, H., Tunkılıç, N., Özen, T., Güder, A. 2015. Biyokimya-1.Ders Notları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları No:138, Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü.
- Lawrence, A. W., McCarty, P.L. (1970). A Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation, J. Sanitary Eng. Div., ASCE, 96, SA3, 1970.
- Leis, A., H., Flemming, C. . (2002) . Activity and carbon transformations in biofilms , pp. 81 – 92 . In: Encyclopedia of Environmental Microbiology , G. Bitton , editor - in - chief, Wiley - Interscience, New York .
- Lisa A. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky and Rebecca B. Orr. (2021). Campbell Biology. 12 th ed., Pearson publishing, USA.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M. (2002). Brock Biology of Microorganisms, Eleventh Edition, Benjamin Cummings, Pearson.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Stahl, D.A., Clark, D.P. (2012). Brock Biology of Microorganisms, Thirteenth Edition, Benjamin Cummings, Pearson.
- Manahan, Stanley E., 2001. Fundamentals of Environmental Chemistry Boca Raton: CRC Press LLC.
- Metcalf ve Eddy, 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, Fourth Edition, McGraw Hill Companies, Inc., New York.
- McCarty, P.L. 1972. Energetics of Organic Matter Degradation. R.Mitchell (Ed.), Water Pollution Microbiology, Wiley Interscience, New York.
- McCarty, P.L. 1975. Stoichiometry of Biological Reactions. Progress in Water Tech.7, 157-172.
- Norton, C.F. (1986). Microbiology. 2nd Ed., Addison-Wesley, Reading, MA, 860 pp.
- OpenStax, 2016. Microbiology. The textbook of the Rice University. ASM press. OpenStax Publication. Houston, Texas.

- Polprasert, C. and K. Bhattarai (1985). Dispersion Model for Waste Stabilization Pond, ASCE, Vol. 111.
- Qasim, S.R., Zhu, G. 2018. Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples, Taylor & Francis Group, FL, USA.
- Sedlak, R.I. 1991. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: principles and practice. Second Ed., The Soap and Detergent Association, New York.
- Shuler, M.L., Kargi, F. 2002. Bioprocess Engineering: Basic Concepts. Second Edition, Prentice-Hall Inc., NJ.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed. APHA, AWWA, WPCF, 1998.
- Srinivas, T. 2008. Environmental Biotechnology, New Age International Limited Publishers, New Delhi, India.
- Tchobanoglous, G., Schroeder, E.D. (1985) Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification. Addison-Wesley Publishing Company, Reading MA.
- Tortora, G.J., Funke, B.R., Case, C.L. (2019). Microbiology: An Introduction. Benjamin/ Cummings, Thirteenth Edition, Pearson, Boston.
- Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. T., Shamma, N. K. (2009). Biological Treatment Processes, Handbook of Environmental Engineering, Volume 8, Humana Press, NY, USA.
- von Sperling, C., de Lemus Chernicharo, C.A. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK.

BÖLÜM 2

AEROBİK (OKSİJENLİ) ATIKSU ARITIMI

2.1. AEROBİK (OKSİJENLİ) ATIKSU ARITIMI

Biyolojik atıksu arıtma proseslerinde atıksulardaki çözünür ve indirgenebilir organik maddeler oksijenli (aerobik) ya da oksijensiz (anaerobik) koşullarda giderilirler. Organik madde giderimi birçok sayıda askıda ya da yüzeyde büyümeliler aerobik arıtma prosesleri ile başarılmaktadır.

Hem askıda hem de yüzeyde büyümeliler aerobik arıtma sistemlerde günlük üretilen aşırı biyokütle uygun bir operasyon ve performans için uzaklaştırılır. Biyokütle graviteyle ayırma yöntemiyle (gravity separation) veya daha ileri bir uygulama olan membran ayırma yöntemiyle arıtılmış olan çıkış suyundan uzaklaştırılırlar. Bu proseslerdeki aerobik heterotrofik bakteriler biyolojik flokları oluşturan ekstrasellüler biyopolimerleri üretebilir. Biyolojik floklar graviteyle çökeltilerek çok düşük konsantrasyonlardaki serbest bakterileri ve askıdaki katılar olarak arıtılmış atıksudan uzaklaştırılırlar.

Protozoalar aerobik biyolojik arıtma proseslerinde önemli bir rol oynarlar. Bunlar serbest bakterileri ve kolloidleri tüketerek çıkış suyunun temizlenmesini (clarification) sağlarlar. Bunlar aerobik heterotrofik bakterilerden daha uzun bir çamur yaşına ihtiyaç duyarlar, 1.0 mg/L'nin üzerindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonlarını tercih ederler ve toksik materyallere duyarlıdır. Bundan dolayı, bunların ortamda bulunmaları sorunsuz bir proses operasyonunu gösterir. Bunlar boyutlarından dolayı 100-200 büyültmeli bir ışık mikroskopunda kolaylıkla gözlemlenebilirler.

Rotiferler ve nematodlar (omurgasızlar) daha uzun çamur yaşlarında mevcuttur, fakat bunların atıksu arıtımındaki önemleri henüz tam anlaşılamamıştır. Biyofilm kalınlığına bağlı olarak aerobik yüzeyde büyümeliler prosesler bakterileri, mantarlar, protozoaları, rotiferleri, bazı durumlarda halkalı solucanları, yassı kurtları ve nematodları içeren

Kaynaklar

- Al-Layla, M.A, Ahmad, S., Middlebrooks, E. J. (1980). Handbook of wastewater collection and treatment: principles and practice. New York: Garland STPM Press.
- Albertson, O.E. (1995). Excess Biofilm Control by Distributor Speed Modulation, J. Environ. Eng. 121 (4), pp 330-336.
- Albertson, O.E. (1987). The Control of Bulking Sludges: From the Early Innovators to Current Practice, J. WPCF. 59 (4), pp 172-182.
- Albertson, O.E., Okey, R.N. (1988). Trickleing Fillers Need to Breath Too, Paper presented at the Jowa Water Pollution Control Federation Meeting, Des Moines, Iowa.
- Albertson, O.E., Davies, G. (1984). Analysis of Process Factors Controlling Performance of Plastic Bio-Packing: Proceedings of the 57th Annual Water Pollution Control Federation Conference, New Orleans.
- Arceivala, S.J. 1998. Wastewater treatment for pollution control, McGraw Hill Book Company.
- Aryan, A.F., Johnson, S.H. (1987). Discussion of a Comparison of Trickleing Filter Packing, J. WPCF. 59 (10), pp 915-918.
- Borregaard, V R. (1997). Experience with Nutrient Removal in a Fixed-Film System at Full-Scale Wastewater Treatment Plants, Water Sci. Technol. 36 (1), pp 129-137.
- Bruce. A. M., Merckens, J.C. (1973). Further Studies of Partial Treatment of Sewage by High-Rate Biological Filtration, J. Institute Water Pollution Control 72 (5), pp 449-523.
- Bruce, A.M., Merckens, J.C. (1970). Recent Studies of High Rate Biological filtration, Water Pollution Control. 72 (113), pp 499-523.
- Canler, J.P., Perret, J.M. (1994). Biological aerated filters: Assessment of the process based on 12 sewage treatment plants. Water Sci. Technol. 29(10), pp 13-22.
- Crites R., Tchobanoglous, G. (1998) Small and Decentralized Wastewater Management Systems. McGraw-Hill: New York.
- Daigger, G.T., Norton, L.E., Watson, R.S., Crawford, D., Sieger, R.B. (1993). Process and Kinetic Analysis of Nitrification in Coupled Trickleing Filter/Activated Sludge Processes, Water Environ. Res. 65 (6), pp 750-758.
- de Barbadillo, C., Rogalla, F., Tarallo, S., Boltz, J.P. (2010). Factors Affecting the Design and Operation of Biologically Active Filters, WEF/IWA Biofilm Reactor Technology Conference.
- Droste, R.L. (1997). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Eckenfelder Jr, W.W. (1961). Trickleing Filter Design and Performance, ASCE Proceedings. J.San.Eng.Div.87, SA4, Part 1, pp 33-45.
- Eckenfelder, W.W., Barnhart, E.L.(1963). Performance of High Rate Trickleing Filter Using Selected Media, J. W PCF. 35 (12), pp 1535-1551.
- Grady Jr, C. P. L., Daigger, G.T., Love, N.G., Filipe, C.D.M. (2011) Biological Wastewater Treatment, 3rd ed., CRC Press, Boca Ratoa, FL.
- Harremoes, P. (1982). Criteria for Nitrification in Fixed Film Reactors, Water Sci. Technol. 14 (1-2), pp 167-187.
- Harrison, J.R., Daigger, G.T. (1987). A Comparison of Trickleing Filter Media, J. WPCF. 59 (7), pp 679--685.
- Hawkes, H.A. (1963). The Ecology of Waste Water Treatment. Macmillan. New York.

- Higgins. I.J., Burns, R.O. (1975). *The Chemistry and Microbiology of Pollution*, Academic Press, London.
- Hinton, S.W., Stensel, H.D. (1994). Oxygen Utilization of Trickling Filter Biofilms, *J. Environ. Eng.* 120 (5), pp 1284-1297.
- Howland, R.H. (1958). *Greek Lamps and Their Survivals*. The Athenian Agora 4. The American School of Classical Studies at Athens, New Jersey.
- Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G. T. (2004). *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems*, 3rd ed., Lewis Publishers, Ann Arbor, MI.
- Kissel, J.C., McCarty, P.L., Street, R.L. (1984). Numerical Simulatory of Mixed-Cultures Biofilm, *J. Environ. Eng. Div., ASCE*. 110 (2), pp 393-411.
- Lazarova, V., Perera, J., Bowen, M., Shields, P. 2000. Application of Aerated Biofilters For Production of High Quality Water for Industrial Reuse In West, *Water Sci Technol.* 41, 417-424.
- Lazarova, V., Perera, J., Bowen, M., Shields, P. (2000). Application of Aerated Biofilters for Production of High Quality Water for Industrial Reuse In West Berlin, *Water Sci Technol.* 41 (4-5), pp 417-424.
- Lee, C.C., Lin, S.D., 1999. *Handbook of Environmental Engineering Calculations*, A Division of The McGraw-Hill Companies, USA.
- McWhirter, J. R. (1978). *The Use of High-Purity Oxygen in the Activated Sludge Process*, vol. 1 and III, CRC Press, West Palin Beach, FL.
- Metcalf ve Eddy, 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Forth Edition, McGraw Hill Companies, Inc., New York.
- Ninassi, M.V., Peladan, J.G., Pujol, R. (1998). Predenitrification of Municipal Wastewater: The Interest of Upflow Biofiltration, *Proceedings of the WEF 79th ACE*, Orlando, FL.
- Pano, A., Middlebrooks, E.J. (1982). Ammonia nitrogen removal in facultative wastewater stabilization ponds, *Journal of the Water Pollution Control Federation* 54 (4), pp 344-351.
- Parker, D.S., Kinnear, D.J., Wahlberg, E.J. (2001). Review of Folklore in Design and Operation of Secondary Clarifiers, *J. Environ. Eng.* 127 (6), pp 476-484.
- Parker, D. S., Richards, T. (1986). Nitrification in Trickling Filters, *J. WPCF.* 58 (9), pp 896-892.
- Parker, D.S., Jacobs, T., Bower, E., Stowe, D.W., Farmer, G. (1997). Maximizing Trickling Filter Nitrification Through Biotilm Control: Research Review and Full Scale Application: *Water Sci. Technol.* 36 (1), pp 255-262.
- Parkin, G. F., McCarty, P. L. (1981). Sources of Soluble Organic Nitrogen in Activated Sludge Efltuents, *J.WPCF.* 53(1), pp 89-98.
- Payraudeau, M., Paffoni, C., Gousailles, M. (2000). Tertiary Nitrification in an Upflow Biofilter on Floating Media: Influence of Temperature and COD Load, *Water Sci. Technol.* 41 (4-5), pp. 21-27.
- Pujol, R., Hamon, M., Kendel, X., Lemmel, H. (1994). Biofilters: Flexible, Reliable Biological Reactors, *Water Sci. Technol.* 29 (10-11), pp 33-38.
- Qasim, S.R., Zhu, G. 2018. *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples*, Taylor & Francis Group, FL, USA.
- Randall, C.W., Barnard, J.L., Stensel, H.D. (1992). *Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal*, Technomic Publishing Co, Lancaster, USA.

- Randall, C.W. Sen, D. (1996). Full-Scale Evaluation of an Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) Process for Enhanced Nitrogen Removal, *Water Sci. Technol.* 33 (12), pp 155-162.
- Rittmann, B.E., McCarty, P. L. (2001). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill International Editions, Biological Sciences Series, ISBN: 0072345535, NY, USA.
- Rittman, B.E., McCarty, P.L.(1980). Model of Steady-State-Biofilm Kinetics, *Biotechnol. Bioeng.* 22 (11), pp 2343-2357.
- Rusten, B., Hellstrom, B.G., Hellstrom, F., Sehested, O., Skjelfoss, E., Svendsen, B. (2006). Design and Operations of the Kaldnes Moving Bed Biofilm Reactors, *Aquacult. Eng.* 24 (3), pp 322-331.
- Saez, P.B., Rittman, B.E. (1992). Accurate Pseudo-Analytical Solution for Steady-State Biofilms, *Biotech. Bioeng.* 39 (7), pp 790-793.
- Schroeder, E. D.; Tchobanoglous, G. (1976) Mass Transfer Limitations on Trickling Filter Design. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 48, 772.
- Shao, Y. J., Starr, M., Kaporis, K., Kim, H.S, Jenkins, D. (1997) "Polymer Addition as a Solution to Nocardia Foaming Problems, *Wat. Environ. Res.* 69 (1), pp 25-27.
- Stenquist, R.J., Kelly, R.A. (1980) Converting Rock Trickling Filters to Plastic Packing-Design and Performance, EPA-600/2-80-120, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Stenquist, R.J., Parker, D.S., Dosh, J.J. (1974). Carbon Oxidation-Nitrification in Synthetic Packing Trickling Filters, *J. WPCF.* 46 (10), pp 2327-2339.
- Suidan, M.T., Wang, Y.T. (1985). Unified Analysis of Biofilm Kinetics, *J. Environ. Eng.* 111 (5), pp 634-646.
- Schulze, K.L. (1960). Load and Efficiency in Trickling Filters, *J. WPCF.* 33 (3), pp 245-260.
- Srinivas, T. 2008. *Environmental Biotechnology*, New Age International Limited Publishers, New Delhi, India.
- Timpany P. L., Harrison, J. R. (1989). Trickling Filter Solids Contact Performance from the Operator's Perspective, *Proceedings of the WEF 62nd, ACE*, San Francisco, CA.
- U.S.EPA. (1984). Design Information on Rotating Biological Contactors, EPA-600/2-84-106, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- U.S.EPA. (1975). Process Design Manual for Nitrogen Control, U.S. EPA Technology Transfer, EPA-625/1-77-007, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- U.S.EPA. (1974). Process Design Manual for Upgrading Existing Wastewater Treatment Plants. Office of Technology Transfer, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- U.S.EPA. (1985). Summary of Design Information on Rotating Biological Contactors, EPA-430/9-84-008, Office of Water Program Operations (WH-546), Washington, DC.
- Velz, C.J. (1948). A Basic Law for the Performance of Biological Beds, *Sewage Works J.* 20 (4), pp 607-617.
- von Sperling, M., de Lemus Chernicharo, C.A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*, IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK.

- Wanner, J. (1994). Activated Sludge Bulking and Foaming Control, Technomi.
- Wanner, O., Gujer, W. (1986). A Multispecies Biofilm Model, *Biotechnol. Bioeng.* 28 (3), pp 314-328.
- Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y.T., Shammas, N.K. 2009. Biological Treatment Processes, Handbook Of Environmental Engineering, Volume 8, Humana Press.
- WEF (Water Environment Federation), ASCE (American Society of Civil Engineers). (1992). Design and construction of urban Stormwater management systems.
- WEF (Water Environment Federation). (2000). Aerobic Fixed-Growth Reactors; A Special Publication, Water Environment Federation, Alexandria, VA.
- WEF (Water Environment Federation). (2010). Biofilm Reactors, Manual of Practice No.35, WEF Press, USA.
- WEF (Water Environment Federation). (1998). Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, vol. 2, WEF Manual of Practice No. 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No 76, Water Environment Federation, Alexandria, VA.
- Williamson, K., McCarty, P.L. (1976). A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films, *J.WPCF*.48 (1), pp 9-24.
- Wood, D.K., Tchobanoglous, G.1975. Trace Elements in Biological Waste Treatment, *Journal of Water Pollution Control Federation.* 47(7):1933-45.
- WPCF. (1988). Aeration, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 68 and WPCF Manual of Practice, No. FD-13, American Society of Civil Engineering and Water Pollution Control Federation.

BÖLÜM 3

HAVALANDIRMA

3.1. HAVALANDIRMA

Havalandırma, aerobik ya da fakültatif biyolojik arıtma sistemlerinde büyük öneme sahip temel bir işlemdir. Havalandırma sistemi ile havadan atık suya oksijen aktararak hem biyokütlenin oksijen ihtiyacı hem de havalandırma havuzunda yeterli karışım sağlanmış olur. Oksijen temininin biyokütle kullanım hızıyla uyumlu bir şekilde gerçekleşebilmesi için doğal süreci hızlandıracak şekilde bir yapay havalandırma gerekir. Bilhassa, aktif çamur sistemleri ve modifikasyonları, havalandırma lagünleri ve havalandırma biyofiltreleri gibi atıksu arıtma sistemlerinde yapay havalandırma yapılır.

Aktif çamur sistemlerinin havalandırma tanklarında organik materyallerin ve varsa amonyumun ve hidrojen sülfür (H_2S)'ün oksitlenmesi için oksijen transferi yapılır. Havalandırıcılar tarafından havalandırma tankındaki atıksuyun çalkalanmasından kaynaklanan türbülans, çamur floklarını süspansiyon halinde tutmak için yeterli olmalıdır.

Askıda büyümeli aerobik reaktörlerde biyokütlenin reaktörde homojen dağılımını sağlamak için çok iyi bir karıştırma ve aynı zamanda biyolojik faaliyetler için de gerekli oksijen temini gereklidir. Bu gereksinimler, basınçlı havanın atıksuya batmış difüzörlerle, mekanik yüzey havalandırması ile veya mekanik karıştırma ve saf oksijen sistemleri ile sağlanır.

Gazların doğal sulardaki çözünürlüğü dört faktöre bağlıdır;

- (1) sıcaklık.
- (2) basınç veya yükseklik.
- (3) üzerini örten atmosferdeki gaz fraksiyonu.
- (4) tuz konsantrasyonu veya toplam çözünmüş katılar.

Kaynaklar

- Hammer, M. J. (1986). Water and wastewater technology. New York: John Wiley.
- Lee, C.C., Lin, S.D. (1999). Handbook of Environmental Engineering Calculations, A Division of The McGraw-Hill Companies, USA.
- Metcalf ve Eddy, 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, Forth Edition, McGraw Hill Companies, Inc., New York.
- Qasim, S.R., Zhu, G. 2018. Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples, Taylor & Francis Group, FL, USA.
- WPCF. (1988). Aeration, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 68 and WPCF Manual of Practice, No. FD-13, American Society of Civil Engineering and Water Pollution Control Federation.