



ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE TEMEL İŞLEMLER VE SÜREÇLER



EFİL YAYINEVİ



ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE TEMEL İŞLEMLER VE SÜREÇLER

İkinci Baskı

Tom D. Reynolds, Ph. D., P. E.

*Texas A&M Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Emekli Profesör.*

Paul A. Richards, Ph. D., P. E.

*Southwestern Louisiana Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Profesör.*

Çeviren: Prof. Dr. Ülker Bakır Öğütveren

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE TEMEL İŞLEMLER VE SÜREÇLER

Genel Yayın Nu.: 123

ISBN: 978-605-4334-91-9

1. Basım, Ekim 2011

©1982,1996 Cengage Learning

Yayın hakları kapsamında; bu kitabın herhangi bir kısmı fotokopi, kayıt, tarama, sayısallaştırma, yazma da dahil herhangi bir mekanik ya da elektronik araçla yeniden basılamaz,aktarılamaz,kaydedilemez veya herhangi bir şekilde kullanılamaz. Yayın hakları devredilmedikçe bilgi ağı, bilgi saklanması ve erişim sistemleri ya da herhangi bir diğer araçla Web ortamında dağıtılamaz, TÜM HAKLARI SAKLIDIR.

Unit Operations and Processes in Environmental Engineering,
Second edition Tom D. Reynolds, Paul A. Richards

© 1982, 1996 Cengage Learning

EFLATUN Basım Dağıtım Yayıncılık Danışmanlık Yatırım ve Tic. Ltd. Şti.©2011

Efil©2011

Bu kitabın tüm hakları saklıdır.
Herhangi bir şekil ya da yöntemle çoğaltılamaz.

Sertifika Nu.: 12131

Sayfa Tasarımı: Türkan Sarı

Kapağı Düzenleyen: Zehra Yıldırım

Baskı ve Cilt: Ayrıntı Basımevi



EFL YAYINEVİ

EFLATUN Basım Dağıtım Yayıncılık Danışmanlık Yatırım ve Tic. Ltd. Şti.

Ahmet Rasim Sokak 18/2 Çankaya/Ankara, Türkiye

Tel : (+90) 312 442 52 10

GSM : (+90) 541 232 00 96

Faks : (+90) 312 442 52 12

www.efilyayinevi.com



İçindekiler

Önsöz	xi
Çevirmenin Önsözü	xv

1	KİMYASAL KAVRAMLAR	1
	İnorganik Kimya	1
	Fiziksel Kimya	7
	Organik Kimya	13
	Öncelikli Kirleticiler	17
	Sorular	18

2	BİYOLOJİK KAVRAMLAR	20
	Bakteriler	20
	Diğer Mikroplar ve Bazı Daha Büyük Canlılar	29
	Hastalık Yapıcı Mikroplar ve Sudan Bulaşan Hastalıklar	30
	Bakteri Analizi	31
	Biyokimyasal Kinetikler; Üreme Kinetikleri Ve Sıcaklığın Etkisi	32
	Sorular	37

3	KÜTLE DENKLİKLERİ, AKIŞ MODELLERİ VE REAKTÖRLER	38
	Kütle Denklikleri	38
	Akış Modelleri	42
	Reaktörler	48
	Sorular	67

4	SU MİKTARLARI VE SUYUN NİTELİĞİ	70
	Su Miktarları	70
	Suyun Niteliği	81
	Sorular	94

5	ATIKSU MİKTARLARI VE ATIKSUYUN NİTELİĞİ	95
	Atıksu Miktarları	95

Atıksuyun Niteliği	103
Atık Organik Maddelerin Miktarlarının Belirlenmesi	108
Çıkış Suyu Gereksinimleri	113
Sorular	115

6 SU VE ATIKSU ARITIM TESİSLERİ 116

Su Arıtım Tesisleri	116
Atıksu Arıtım Tesisleri	121
Tasarım Akış Hızları Ve Değişkenleri	127

7 ÖN TEMEL İŞLEMLER VE SÜREÇLER 130

Su Arıtımı	130
Atıksu Arıtımı	136
Sorular	167

8 PIHTILAŞTIRMA VE YUMAKLAŞMA 170

Pihtılaştırmanın Kuramı	170
Pihtılaştırıcılar	177
Pihtılaşmaya Yardımcı Araçlar	182
Yumaklaşma Deneyleri	182
Kimyasal Beslemeler	183
Hızlı Karıştırma ve Yumaklaşma	184
Kireç-Soda İle Yumuşatma	213
Su Arıtımında Pihtılaştırma ve Yumaklaşma	216
Atıksu Arıtımında Pihtılaştırma Ve Yumaklaşma	218
Sorular	222

9 ÇÖKELTME 225

I. Tip Çökeltme	226
II. Tip Çökeltme	238
III. Tip ve IV. Tip Çökeltme	248
Gerçek Çökeltme Havuzları	257
Su Arıtım Tesislerinde Çökeltme	264
Atıksu Arıtım Tesislerinde Çökeltme	266
Eğimli Çökeltme Araçları	274
Giriş ve Çıkış Hidrolikleri	277
Sorular	287

10

SÜZME 294

- Tek Ortamlı Filtreler 294
- Çok Ortamlı Filtreler 318
- Filtre Yerleşimi, Ek Donanım ve Ayrıntılar 320
- Su Arıtımında Süzme 327
- Atıksu Arıtımında Süzme 329
- Yukarı Akışlı Süzme 333
- Diğer Filtreler 334
- Sorular 336

11

AMONYAK GİDERİMİ 339

- Fiziksel İşlemler 339
- Kimyasal Süreçler 347
- Biyolojik Süreçler 348
- Sorular 360

12

SOĞURMA (ADSORBSİYON) 362

- Yüzeyde Tutma (Adsorbsiyon) 362
- Kolon Temas Teknikleri ve Donanım 365
- Sabit Yataklı Soğurma Kolonları 370
- Zıt Akımlı Hareketli Yatak Soğurma Kolonları 380
- Akışkan Yataklar 383
- Deney Kolonları 383
- Tasarım İlkeleri 383
- Sorular 386

13

İYON DEĞİŞİMİ 389

- İyon Değişiminin Kuramı 390
- Temas Teknikleri ve Donanım 393
- Tasarım Süreci 394
- Yumuşatma ve İyon Uzaklaştırma 394
- Amonyak Giderimi 397
- Tasarım İlkeleri 404
- Sorular 406

14

ZAR (MEMBRAN) SÜREÇLERİ 409

- Zarla Ayırma (Diyaliz) 409

Elektrodiyaliz 411
Ters Geçişim (Ozmoz) 414
Sorular 423

15

AKTİF ÇAMUR 424

Mikrocanlılar 428
Biyokimyasal Kinetik 431
Besin/Mikrop (B/M) Oranı ve Ortalama Hücre Kalış Süresi (θ_c) 437
Tıkaç Akım ve Dağılmış Tıkaç Akım Reaktörleri 440
Tam Karıştırmalı Reaktörler 448
Diğer Aktif Çamur Süreç Çeşitleri 453
Saf Oksijen Aktif Çamur Süreci 461
Sıcaklığın Etkisi 462
Diğer Kinetik Bağlıntılar 464
Hacim Yükü İlişkileri 472
Deneysel ve Gözlemsel İlişkiler 473
Tepkime Havuzları 474
Biyokimyasal Denklikler 476
Çamur Üretimi 480
Oksijen Gereksinmesi 481
Nitratlaştırma 484
Aktif Çamur Katsayıları 488
Sürekli Akışlı Biyolojik Reaktörlerden Elde Edilen Hız Sabitleri ve Katsayılar 492
İşletme Sorunları 498
Sorular 503

16

OKSİJEN AKTARIMI VE KARIŞTIRMA 512

Oksijen Aktarımı 512
Karıştırma 523
Hava Sıkıştırma Araçları İçin Güç Gereksinmesi 523
Sorular 532

17

DAMLATMALI FİLTRELER VE DÖNER BİYOLOJİK TEMAS REAKTÖRLERİ 537

Damlatmalı Filtreler 537
Biyolojik Süzme 542
Filtrenin İşletme Verimi 544
Orta ve Yüksek Hızlı Damlatmalı Filtre Tesislerinin Akım Şemaları 555
Filtre Ayrıntıları 556
İşletme Sorunları 558

Döner Biyolojik Temas Reaktörleri 558
Sorular 570

18

YÜKSELTGENME (STABİLİZASYON) HAVUZLARI VE HAVALANDIRMALI HAVUZLAR 574

Yükseltgenme Havuzları 575
Havalandırmalı Havuzlar 581
Sorular 588

19

HAVASIZ ORTAMDA ÇÜRÜTME 591

Sürecin Temelleri 592
Düşük Hızlı Çürütücüler 596
Yüksek Hızlı Çürütücüler 601
İki Basamaklı Çürütücüler 602
Yumurta Şeklinde Çürütücüler 603
Çürütücünün İşletilmesi 606
Çürütücü Hacmi 606
Nem-Ağırlık İlişkileri 610
Çamur Miktarları ve Katı Derişimleri 611
Çürütücünün Isı Gereksinmesi 614
Çürütücü Gazı Kullanımı 618
Kuru Çamurun Gübre Değeri 619
Çamurun Akışkan Özellikleri 619
Çamur Koyulaştırma 622
Çamurun Suyunun Giderilmesi 623
Sorular 625

20

HAVALI ORTAMDA ÇÜRÜTME 630

Havali Ortamda Biyokimyasal Denklikler 633
Havali Ortamda Biyolojik Yükseltgeme Kinetiği 634
Tasarım İlkeleri 635
Sorular 646

21

KATILARIN YÖNETİMİ 649

Atıksu Arıtım Tesisi Çamurları (Organik) 649
Atıksu Arıtım Tesisi Çamurları (Kimyasal) 678
Su Arıtım Tesisi Çamurları 679
Sorular 684

22**EVSEL ATIKSULARIN VE ÇAMURLARIN ARAZİDE ARITIMI 688**

Atıksu Arıtımı 688

Çamur Arıtımı 728

Kompost (Gübre) Yapımı 737

Sorular 740

23**DİĞER TEMEL İŞLEM ve SÜREÇLER 744**

Su Arıtımı 744

Atıksu Arıtımı 746

Sorular 761

24**DEZENFEKSİYON (MİKROP GİDERME) 762**

Klorlama 765

Ozonlama 771

Klor Dioksit 773

Mor Ötesi Işıma 774

Yüksek pH'ta Arıtım 775

*Ek A Dönüşümler ve Ölçüler 779**Ek B Elementlerin Uluslararası Atom Ağırlıkları 782**Ek C Suyun Yoğunluğu ve Vizkozitesi 784**Ek D Suda Çözünmüş Oksijen Doygunluk Değerleri 786**Ek E Laboratuvarında Biyolojik Arıtım Çalışmaları 788***SÖZLÜK 791****SÖZLÜK KAYNAKLARI 803****BAZI SORULARIN YANITLARI 804****DİZİN 815**



Önsöz

Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Süreçler, İkinci Baskı, çevre mühendisliğinde ileri bir lisans dersi ya da bir lisans üstü ders içindir. Öncelikle inşaat/çevre mühendisliği ders programı için yazılmış olmakla birlikte su ve atıksu arıtımının öğretildiği, kimya mühendisliği gibi, diğer alanlarda da kullanılabilir. Bu kitapta su ve atıksu arıtımı, temel işlem ve süreç yaklaşımı kullanılarak tek kitapta sunulmuştur. Her bölümde ilk olarak her işlem ve sürecin temeli verilmiş, daha sonra su ve atıksu arıtımında uygulamalarından söz edilmiştir. Bazı işlemler ya da aktif çamur gibi bazı süreçler, yalnızca bir alanda kullanılır ve bu doğrultuda sunulmuştur. Kimya, matematik, ve akışkanlar mekaniğinde yeterli bir inşaat mühendisliği alt yapısı ve çevre mühendisliğinde önceki bir giriş dersi, öğrenciyi kitabı kullanması için yeterli derecede hazırlar. Hemen hemen tüm bölümlerde, bir mühendislik alanı soru çözülerek daha hızlı öğrenildiği için bölümün sonundaki uygulama soruları ile birlikte çok sayıda örnek soru da verilmiştir. Kitap, ilkelere dayanan mühendislik tasarımı-na yöneliktir.

1. Bölümden 5. Bölüme kadar, kimyasal kavramlar, biyolojik kavramlar, kütle denklileri, akış modelleri, reaktörlerin temel ilkeleri, su miktarları, atıksu miktarları ve atıksuyun niteliği sunulmuştur. Dersi veren kişi, öğrencilerin alt yapısına göre bu bölümlerin içeriğinin derinliğini değiştirebilir. 6. Bölümde su, atıksu ve ileri atıksu arıtım tesislerinin genel olarak kullanılan akım şemaları verilmiştir. 6. Bölümden sonraki bölümlerin bir sıra izlemesi gerekmez, her bölüm kendi içinde bir bütün olarak yazılmıştır. Böylece dersi veren kişinin bölümleri ya da bölümdeki kısımları istediği sırada seçmesi sağlanmaktadır. Eğer, dönemin ilk kısmında su arıtımı, ikinci kısmında atıksu arıtımının öğretilmesi düşünülürse bölümler ya da bölümdeki kısımlar bu doğrultuda sıralanabilir. Bir su arıtımı yaklaşımı, bir atıksu arıtımı yaklaşımı ve bir ileri atıksu arıtımı yaklaşımında kapsam aşağıdaki bölümler, bölümlerin kısımları ya da ana başlıklardan oluşacaktır.

Dersi veren kişi fiziksel, kimyasal ya da biyolojik gibi temel ilkelere dayalı bir kapsam belirlemek isterse bölümleri bu doğrultuda seçebilir. Bu yaklaşımla kapsam aşağıdaki bölümler, bölümlerin kısımları ya da ana başlıklardan oluşacaktır.

Çamur yönetimi, fiziksel ve kimyasal arıtım gerektirdiğinden ayrı bir kapsamda ele alınmıştır.

Kitabı kullanırken üçüncü yaklaşım konuları kitaptaki sırayla izlemektir. Bu sırada en çok kullanılan arıtım konuları önce, daha az kullanılanlar daha sonra sunulmuştur. Bu yöntemin izlenmesinde de dersi veren kişi başlıkların sırasını istediği gibi seçebilir.

Kitapta, bir dönemde üç saatlik bir ders için uygun olabilecek bir kapsamdan daha fazlası vardır, bu nedenle bazı konuların içerikleri sınırlanabilir. Ders kapsamı dışında kalan kısımlar da değerli bir başvuru kaynağı olarak öğrenciler tarafından yararlanılabilir.

Su Arıtımı

Bölüm	Başlık
7	Izgaralar, Önçökeltme, Havalandırma, Soğurma, Önklorlama
8	Pıhtılaştırma ve Yumaklaşma
9	Çökeltme
10	Süzme
12	Soğurma
24	Dezenfeksiyon (Mikrop Giderme)
13	İyon Değişimi
14	Zar Süreçleri
21	Çamur Yönetimi
23	Demir ve Mangan Giderimi, Yer altı Suyundan Uçucu Kirletici Giderimi

Atıksu Arıtımı

Bölüm	Başlık
7	Izgaralar, Ögütme, Kum Tutucular, Akış Dengeleme, Kalite Dengeleme
9	Çökeltme
15	Aktif Çamur
16	Oksijen Aktarımı ve Karıştırma
17	Damlatmalı Filtreler ve Döner Biyolojik Temas Reaktörleri
18	Stabilizasyon Havuzları ve Havalandırılmalı Havuzlar
24	Dezenfeksiyon (Mikrop Giderme)
19	Havasız Ortamda Çürütme
20	Havalı Ortamda Çürütme
21	Çamur Yönetimi
22	Evsel Atıksuların ve Çamurların Arazide Arıtımı
23	Yüzdürme, Yağ Ayırma, Çürütme Tankı, Toprak Soğurma Sistemleri

Birinci baskı kullanıcılarından alınan geri beslemeler temelinde tüm ödev soruları gözden geçirilmiştir. Bazıları silinmiş, bazıları değiştirilmiş ve çok sayıda yeni soru eklenmiştir. İkinci baskıdaki soruların %60'ından fazlası yenidir. Birinci baskıda 100 soruya karşın ikinci baskıda 300'den fazla ödev sorusu bulunmaktadır.

Sözlük, çevre mühendisliğine giriş dersi kapsamındaki terimlerin çoğunu içermektedir. Eklerde, genel dönüşüm katsayıları, atom sayıları ve ağırlıkları, suyun özellikleri, çeşitli sıcaklıklarda çözülmüş oksijen derişimleri, hava basınçlarına göre klorür derişimleri ve

laboratuvar ölçeğindeki biyolojik arıtım reaktörleri ile ilgili temel bilgilerle üç çizim verilmektedir.

İleri Atıksu Arıtımı

Bölüm	Başlık
8	Pıhtılaştırma ve Yumaklaşma
9	Çökeltme
11	Amonyak Sıyırma
10	Süzme
12	Soğurma
14	Zar Süreçleri
13	İyon Değişimi
11	İyon Değişimi, Kırılma Noktası Klorlaması ve Biyolojik Yolla Amonyak Giderimi
23	Havasız Temas Süreçleri, Suya Daldırılmış Havasız Filtre, Biyolojik Fosfor Giderimi, Sucul Sistemler

Fiziksel Arıtım

Bölüm	Başlık
7	Izgaralar, Önçökeltme, Havalandırma, Soğurma, Izgaradan geçirme ve Öğütme, Kum Tutucular, Akış Dengeleme, Nitelik Dengeleme
9	Çökeltme
11	Amonyak Sıyırma
10	Süzme
12	Soğurma
14	Diyaliz ve Ters Geçişim
16	Oksijen Aktarımı ve Karıştırma
23	Yeraltı Suyundan Uçucu Kirletici Giderimi, Yüzdürme, Yağ Ayırma, Çürütme Tankları
24	Mor Ötesi Işıma ile Dezenfeksiyon

Kitap, bir ders kitabı olarak düşünülse de alanda çalışan mühendisler için kaynak kitap olarak da yararlı olacaktır. Amerikan Birimleri (Ç. N) (Uluslararası Birimler) ile verilen örnekler hem öğrencilerin hem de mühendislerin bu birim sisteminin kullanımına alışmasını sağlayacaktır.

Kimyasal Arıtım

Bölüm	Başlık
7	Nötralleştirme
8	Pıhtılaştırma ve Yumaklaşma
13	İyon Değişimi
14	Elektrodiyaliz
24	Dezenfeksiyon
11	İyon Değişimi ve Kırılma Noktası Klorlaması ile Amonyak Giderimi
24	Klor ve Ozonla Dezenfeksiyon

Biyolojik Arıtım

Bölüm	Başlık
15	Aktif Çamur
17	Damlatmalı Filtreler ve Döner Biyolojik Temas Reaktörleri
18	Stabilizasyon Havuzları ve Havalandırmalı Havuzlar
19	Havasız Ortamda Çürütme
20	Havalı Ortamda Çürütme
11	Nitratlaştırma-Nitrat Giderme ile Amonyak Giderimi
22	Eysel Atıksuların ve Çamurların Arazide Arıtımı
23	Havasız Temas Süreçleri, Suya Daldırılmış Havasız Filtre, Biyolojik Fosfor Giderimi, Sucul Sistemler, Çürütme Tankları ve Toprak Soğurma Sistemleri

Ders verenler için tüm ödev sorularının çözümünü içeren Çözüm Kitabı da sunulmuştur.

Yazarlar Çözüm Kitabını hazırlayan Dana L. Montet'e teşekkür eder. Yazarlar, aşağıda isimleri verilen kişileri de taslağı okudukları ve değerli katkıları için teşekkürle anar:

Frederic C. Blanc <i>Northeastern University</i>	Richard O. Mines, Jr. <i>University of South Florida</i>
Robert P. Carnahan <i>University of South Florida</i>	Vito Punzi <i>Villanova University</i>
Ronald A. Chadderton <i>Villanova University</i>	Aarne Vesilind <i>Duke University</i>
John D. Dietz <i>University of Central Florida</i>	Irvine W. Wei <i>Northeastern University</i>

*Tom D. Reynolds
Paul A. Richards*



Çevirmenin Önsözü

Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Süreçler (Tom D. Reynolds & Paul A. Richards, 2. Basım), çevre mühendisliğinde su ve atıksu arıtımında kullanılan tüm temel işlem ve süreçlerin tek kitapta sunulması açısından önemlidir. Kitabın Türkçe çevirisi de, çevre mühendisliği alanında su ve atıksu arıtımında kullanılan tüm temel işlem ve süreçleri kapsayan Türkçe bir kaynağın olmaması nedeniyle özel bir önem taşımaktadır. Kitabın çevirisi yapılırken, tam anlamıyla bir Türkçe çeviri olması için çaba gösterilmiş, bu nedenle kavramlar anlamlarını yitirmemelerine özen gösterilerek olabildiğince Türkçeleştirilmeye çalışılmıştır.

Kitapta 1. Bölümden 5. Bölüme kadar, kimyasal kavramlar, biyolojik kavramlar, kütle denklilikleri, akış modelleri, reaktörlerin temel ilkeleri, su miktarları, atıksu miktarları ve atıksuyun niteliği gibi su ve atıksu arıtımı temel işlem ve süreçlerinin tasarımına alt yapı oluşturacak konular sunulmuştur. 6. Bölümde su, atıksu ve ileri atıksu arıtım tesislerinin genel olarak kullanılan akım şemaları verilerek su ve atıksu arıtımında kullanılan temel işlem ve süreçlere giriş yapılmıştır.

7. Bölümde su ve atıksu arıtımında ön arıtım için kullanılan temel işlem ve süreçlerden söz edilmiş, ızgaralar, kum tutucular, debi ve nitelik dengeleme ve nötralleştirme birimlerinin tasarımı ayrıntılı olarak işlenmiştir. 8. Bölümde, su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan pıhtılaştırma ve yumaklaşma, kuramsal olarak incelendikten sonra pıhtılaştırma ve yumaklaşma birimlerinin tasarım ilkeleri anlatılmıştır. Su ve atıksu arıtımında en çok kullanılan pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcılar, suyla verdikleri tepkimeler de bu bölümün kapsamı içinde incelenmiştir. Çökeltme ya da çökeltme tüm yönleriyle 9. Bölümde verilmiştir. Çökeltme tipleri, çökeltme hızları, çökeltici tasarım yöntemleri, gerçek çökeltme tanklarının yapısı, çökeltmenin su ve atıksu arıtımında kullanımı, eğimli çökeltme birimleri ve çökelticinin su giriş ve çıkış yapıları ve tasarımı bu bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Özellikle su arıtımında ve ileri atıksu arıtımında uygulamaları olan süzme (filtrasyon), süzmede kullanılan filtreler ve filtre ortamları, süzme ve yıkama işlemi süresince suyun ve filtre yatağının davranışı, su yapıları, filtrelerde yük kaybının belirlenmesi gibi konular 10. Bölümde yer almıştır. Suda 3 mg/L'den büyük derişimlerde bulunduğu balıklara zehir etkisi ve nitrat oluşturan bakterilerce alıcı sudaki oksijen kullanılarak nitrate dönüştürülmesi, bunun da sularda yosun patlamasına neden olması gibi gerekçelerle atıksulardan amonyağın giderilmesi önemlidir. 11. Bölümde amonyak giderim yöntemleri ve birimlerin tasarımı anlatılmakta, fiziksel, kimyasal ve biyolojik amonyak giderim işlem ve süreçlerinden söz edilmektedir. 12. Bölümde su, ileri atıksu ve bazı endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan aktif karbonda soğurma (adsorbsiyon), tasarımda kullanılan laboratuvar ya da deneme ölçekli deneyler, kolon temas teknikleri ve donanımı, tasarım

yaklaşımları gibi konularla anlatılmaktadır. 13. Bölümde suyun sertliğinin giderilmesinde ve minerallerinden tümüyle ya da kısmen arındırılmasında yaygın olarak kullanılan, özellikle amonyak ve ağır metal giderimi gibi atıksu arıtımı uygulamaları olan iyon değişiminin kuramı, kullanım alanlarına göre tasarım yöntemleri anlatılmaktadır. Çevre mühendisliği uygulamalarında yaygınlaşmamış olmakla birlikte son yıllarda daha fazla ilgi çeken zar (membran) süreçleri de 14. Bölümde verilmektedir. 15. Bölümde atıksu arıtımında yaygın bir şekilde kullanılan aktif çamur süreçleri incelenmektedir. Aktif çamur konusu, temel kavramlar, biyokimyasal tepkime hızları, aktif çamur süreçlerinde kullanılan reaktörler ya da havuzlar, tüm aktif çamur süreçleri, ilkeleri ve tasarım yöntemleri, tüm kinetik bağıntılar, biyokimyasal denklıklar, üretilen çamur miktarı, havalandırma için oksijen gereksinmesinin belirlenmesi, nitrataştırma koşulları, aktif çamur katsayılarının belirlenmesi, hız sabitlerinin belirlenmesi şeklinde özetlenebilecek bir kapsamda verilmektedir. Biyolojik süreçlerde havalandırmanın ve karıştırmanın önemi nedeniyle oksijen aktarımı ve karıştırma ayrı bir bölümde (16. Bölüm) incelenmektedir. Bu bölüm oksijen aktarımının kuramı, aktarım yolları, karıştırma ve hava sıkıştırma araçlarının kapasitesinin belirlenmesi konularını kapsamaktadır. 17. ve 18. Bölümlerde, havalı ortamda biyolojik yükseltgemedeki kullanılan damlatmalı filtreler, döner biyolojik temas reaktörleri, yükseltgeme (stabilizasyon) havuzları ve havalandırılmalı havuzlar tüm yönleriyle anlatılmaktadır. 19. ve 20. Bölümler, özellikle atıksu arıtım tesislerinde sorun oluşturan organik madde içeren çamurların havasız ve havalı ortamda çürütülerek arıtımını kapsayan bölümlerdir. 19. Bölümde havasız ortamda çürütme sürecinin temelleri verildikten sonra kullanılan çürütücüler, çürütücülerin işletilmesi ve hacimlerinin hesaplanması, gaz üretimi ve çürütücünün ısı gereksinmesi, çamurun pompalanması, koyulaştırma gibi konular anlatılmakta, 20. Bölümde havalı ortamda gerçekleşen tepkimeler, havalı ortamda çürütme hız sabitinin belirlenmesi gibi konular işlenmektedir. Su ve atıksu arıtımında ortaya çıkan çamurlar için tüm yönetim süreçlerini kapsayan çamur yönetimi 21. Bölümde tüm yönleriyle anlatılmaktadır. Atıksuların ve çamurların arazide arıtımı, atıksu ve çamurlar için arıtım yöntemleri, tasarım ilkeleri 22. Bölümde verilmektedir. 23. Bölüm de kitapta diğer bölümlerde anlatılmayan ya da yalnızca adı geçen işlem ve süreçleri özet şeklinde kapsamaktadır. Su arıtımında florür eklenmesi ve giderimi, demir ve mangan giderimi, yer altı suyundan uçucu kirletici bileşenlerin giderilmesi yanında atıksu arıtımında yüzdürme ve yağ ayırımı süreçleri bu bölümde yer almaktadır. Ayrıca biyolojik fosfor giderim süreçleri ve sucul arıtım sistemleri ve tasarım yöntemleri de bu bölümün kapsamı içinde ele alınmaktadır. Son bölümde (24. Bölüm), su ve atıksu arıtımında, hastalık yapıcı mikropların giderilmesi için kullanılan yöntemler ve uygulama ilkeleri verilmektedir.

Tüm bölümlerde, bölümün sonundaki sorular yanında örnek uygulamaları içeren çok sayıda çözülmüş soru da bulunmaktadır. Örnek sorular, öğrencilerin her iki birim sistemini kullanabilmesini sağlamak amacıyla hem Uluslararası birimler (SI birim sistemi) hem de Amerikan birimleri ile çözülmüştür. Kitabın sonunda yer alan sözlük, çevre mühendisliği ile ilgili terimlerin çoğunu içermektedir. Eklerde, genel dönüşüm katsayıları, atom sayıları

ve ağırlıkları, suyun özellikleri, çeşitli sıcaklıklarda 760 mmHg basınçta belirli klorür derişimlerine göre çözünmüş oksijen derişimleri ve laboratuvar ölçęindeki biyolojik arıtım tepkime kapları ile ilgili temel bilgilerle üç çizim verilmektedir.

Kitabın, alanındaki büyük bir boşluğu dolduracağı, çevre mühendisliği eğitimi alan öğrenciler için önemli, su ve atıksu arıtımı konusuna ilgi duyan diğer mühendislik dallarındaki öğrenciler için de yararlı bir Türkçe kaynak olacağı düşünülmektedir. Kitap, iş yaşamlarını su ve atıksu arıtımı alanında sürdüren tüm mühendisler için ayrıntılı bir Türkçe kaynak kitap özelliği de taşımaktadır.

Bu kitabın büyük bir kısmının elektronik ortama aktarılmasında emeği geçen ve böylece kitabın daha kısa sürede basıma hazırlanmasında katkısı bulunan Efil Yayınevi'nden Türkan Sarı ve Meryem Kocabay'a (1-14. Bölüm), Anadolu Üniversitesi'nden çalışma arkadaşlarım Yusuf Yavuz, Özgül Gerçel, Ümran Tezcan Ün, Serdar Göncü, Aysun Özkan, Filiz Bayrakçı Karel, Ebru Önder Kılıç ve Zehra Yiğit'e (15-24. Bölüm ve Sorular) teşekkür ediyorum.

Yaşamım boyunca ve akademik çalışmalarımda bana güç veren ve destekleyen çok değerli aileme ve eşime de bu vesile ile teşekkürlerimi sunuyorum.

Prof. Dr. Ülker Bakır Öğütveren



KİMYASAL KAVRAMLAR

Bu bölümün amacı, su ve atıksu arıtımı ile ilişkileri nedeniyle temel inorganik kimyayı gözden geçirmek, fiziksel kimya ve organik kimyaya bir giriş yapmaktır.

İNORGANİK KİMYA

Tüm bileşikleri oluşturan temel kimyasal birimler elementlerdir. Çeşitli kimyasal elementler birbirlerinden atom kütleleri, büyüklükleri ve kimyasal özellikleriyle farklılık gösterirler. Elementlerin simgeleri, kimyasal formüllerin ve denklemlerin yazılması için kullanılır. **Atom kütlesi** bir elementin, atom kütlesi 12 olan C-12'ye göre kütesidir. **Değerlik**, değeri 1 kabul edilen hidrojen atomunun gücüne göre, bir elementin toplam gücünü gösterir. Buna göre +3 değerliğindeki bir element, bir bileşikte üç hidrojen atomu ile yer değiştirebilir ve değeri -3 olan bir element üç hidrojen atomu ile tepkimeye girebilir. **Bir elementin eşdeğer kütlesi** atom kütesinin değerliğine bölünmesiyle bulunur. Örneğin, kalsiyumun (Ca^{+2}) eşdeğer kütlesi, 40,0 g'ın +2'lik değerliğe bölünmesiyle elde edilen 20,0 g'dır.

Bir bileşiğin mol kütlesi bileşiği oluşturan elementlerin atom kütlelerinin toplamına eşittir ve genellikle gram şeklinde ifade edilir. **Bir bileşiğin eşdeğer kütlesi** mevcut 1 gram atom hidrojen ya da kimyasal eşdeğerini içeren bileşiğin kütesidir. Eşdeğer kütle, mol kütesinin, değeri kimyasal özelliğe bağlı sıfırdan büyük bir sayı olan Z 'ye bölünmesiyle elde edilir. Asitler için Z , 1 mol asitten elde edilebilen H^+ mol sayısına eşittir. H_2SO_4 için $Z = 2$ 'dir ve eşdeğer kütle de $[(1 \times 2) + 32 + (16 \times 4)/2] = 49,0$ gramdır. Bazlar için Z değeri, 1 mol bazın tepkimeye girdiği H^+ mol sayısına eşittir. Buna göre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ için $Z = 2$ 'dir. Tuzlar için Z iyonların yükseltgenme basamağı ya da değerliğidir. BaCl_2 için, $Z = 2$ 'dir çünkü Ba^{+2} 2 mol H^+ 'e eşdeğerdir. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ için, $Z = 6$ 'dır çünkü 2Al^{+3} 6 mol H^+ 'e eşdeğerdir. Yükseltgen ya da indirgenler için Z yükseltgenme basamağı ya da değerlikteki değişime eşittir. Asidik koşullarda $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ için yükseltgenme basamağındaki değişim 3×2 ya da $Z = 6$ 'dır.

Büyük sayıda farklı molekülde, belli bir grup atom birlikte bir birim gibi davranır ve bu birim **kök (radikal)** olarak adlandırılır. Tanımlanmaları için bu köklere özel isimler verilir. Su ve atıksu mühendisliğinde karşılaşılan bazı bilinen kökler hidroksil (OH^-), bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}), ortofosfat (PO_4^{3-}), sülfat (SO_4^{2-}), amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) ve hipoklorit (OCl^-)'dir. Hidroksil (OH^-) grubu en sık karşılaşılanlardan biridir. Kök bir bileşik değildir, fakat diğer elementlerle bileşik oluşturmak üzere birleşebilir.

Derişim Birimleri

Çözeltideki iyonların ya da kimyasal bileşiklerin derişimleri, genellikle suyun 1 litresindeki element ya da bileşik kütlesi, kısaca mg/L şeklinde ifade edilir. Bazen, mg/L yerine milyonda kısım (parts per million, ppm) terimi kullanılır. Eğer özgül ağırlık 1'e eşitse bu ikisi arasındaki dönüşüm (1 mg/L) (mL/1000 mg) (L/1000 mL) ya da 1: 10⁶ olur. Buna göre 1 mg/L milyonda 1 kısma (1 ppm'e) eşittir. Genellikle özgül ağırlık 1'e çok yakın olduğundan bu dönüşüm kabul edilebilir. Kimyasal madde miktar ölçüsü genellikle milyon galonda pound (milyon litrede kilogram) şeklinde ifade edilmekle birlikte eski kitaplarda grain/galon'a da rastlanır. 1 grain/galon 17,2 mg/L'ye eşittir.

Elementlerin derişimleri miligram cinsinden verilir ve genellikle çözeltinin o elementin belirtilen miligramını içerdiği anlamına gelir. Örneğin, 36,2 mg/L sodyum içeren bir suyun litresinde kütlece 36,2 mg sodyum iyonu (Na⁺) vardır. Derişimin özel bir element için ifade edilmediği özel durumlar da vardır. Örneğin, Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarından kaynaklanan sertlik sıklıkla CaCO₃'ün birim ağırlığı cinsinden verilir. Bu,sertliğin söz konusu olduğu hesaplamaların, Ca⁺² ve Mg⁺² için ayrı ayrı yapılması yerine,tek terim kullanılarak yapılmasına olanak sağlar. Suyun alkalitesi HCO₃⁻, CO₃⁻² ve OH⁻ iyonlarından biri ya da daha fazlasından kaynaklanır. Bunlar da hesaplamaları basitleştirmek için sıklıkla mg/L CaCO₃ olarak ifade edilir. Tüm azotlu bileşikler- amonyak,nitrit ve nitrat-genellikle mg/L azot, yani mg/L-N şeklinde gösterilir. Yine tüm fosfatlar mg/L fosfor, yani mg/L-P olarak ifade edilir. Bazı durumlarda derişimler litrede mili eşdeğer kütle (meşd/L) cinsinden de ifade edilir. mg/L, mili eşdeğer kütle-yaani miligram olarak ifade edilen eşdeğer kütle- bölünerek elde edilir.

Deneyleri standartlaştırmak için genel yöntemler kullanılır. Sürekli yapılan analizlerde *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1992) adlı kitap kullanılır (Ç. N: 21. Basım, APHA, 2005)

Hidrojen İyonu Derişimi

Saf su,derişimi 10⁻⁷ mol/L'ye eşit hidrojen iyonları oluşturmak üzere düşük derecede iyonlaşır. İyonlaşma



ile gösterilir.

Su, her hidrojen iyonu (H⁺) başına bir hidroksil iyonu (OH⁻) vermek üzere iyonlaştığına göre 10⁻⁷ mol/L de hidroksil iyonu oluşur. Saf suda hidroksil iyonlarının miktarı hidrojen iyonlarının miktarına eşit olduğuna göre saf suyun nötral olduğu düşünülür. Suyun asidik ya da bazik doğası, hidrojen iyonlarının derişimi ile ilişkilidir ve pH simgesi ile gösterilir:

$$\text{PH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} \text{ 'tır.} \quad (1.2)$$

log 1/[10⁻⁷] = 7 olduğuna göre nötrallik durumunda pH 7 olur. Suyun zayıfça ayrışması

$$[H^+][OH^-] = K_{su} = 10^{-14} \quad (1.3)$$

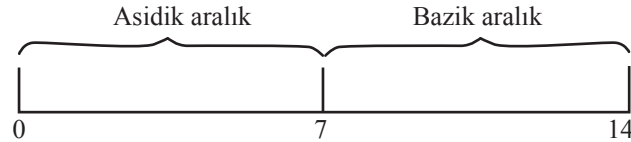
şeklinde gösterilir.

K_{su} , saf suyun iyonlaşma sabitidir. Suya bir asit eklendiğinde, suda iyonlaşır ve hidrojen iyonu derişimi artarak daha düşük bir pH oluşur. Sonuçta, hidroksil iyonu derişimi azalır. Örneğin, $[H^+]$ derişimi 10^{-2} olacak şekilde asit eklenirse pH 2 olur ve

$$[10^{-2}][OH^-] = 10^{-14} \quad (1.4)$$

eşitliğine göre de $[OH^-]$, 10^{-12} 'ye düşmelidir.

Benzer şekilde $[OH^-]$ derişimi 10^{-3} olacak şekilde bir baz eklenirse $[H^+]$, 10^{-11} 'e düşer ve pH=11 olur. Çözelti ne kadar asidik ya da ne kadar bazik olursa olsun $[H^+]$ ve $[OH^-]$ 'in hiçbir zaman sıfır olamayacağı unutulmamalıdır. pH ölçeği 0'dan 14'e değişir ve bu ölçekte pH'nın 0 ile 7 arası değerleri asidik, 7 ile 14 arası değerleri ise baziktir.



Bazik kısım sıklıkla “alkali” şeklinde ifade edilir. pH, bir elektronik elektrot ya da belirlenmiş renk değişimi gösteren bir belirteç (indikatör) ile ölçülür. pH ayarlaması, pıhtılaştırma (koagülasyon), yumuşatma ve dezenfeksiyon tepkimelerinin en uygun koşullarda gerçekleştirilmesinde ve aşınma (korozyon) kontrolünde kullanılır. Atıksu arıtımında pH, en uygun biyolojik faaliyet için uygun bir aralıkta olmalıdır.

Kimyasal Denge

Çoğu kimyasal tepkime belli bir dereceye kadar tersinirdir ve tepkimeye girenler ve ürünlerin derişimleri son dengeyi belirler.

A, B = tepkimeye girenler

C, D = ürünler olmak üzere



şeklinde bir denklik düşünüldüğünde; A ya da B'de bir artış tepkimeyi sağa, C ya da D'de bir artış ise sola kaydırır. İlişki, kütlelerin etkisi denkliği ile gösterilir.

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K \quad (1.6)$$

Burada

[] = molar derişimler,

K = denge sabitidir.

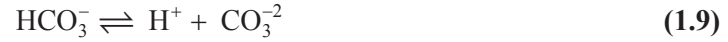
Güçlü asit ya da bazların iyonlaşması seyreltik çözeltilerde % 100'e yaklaşırken zayıf asit ya da bazlar çok az iyonlaşır. Su kimyasında çok önemli olan bir denge ilişkisi, karbonik asit-bikarbonat-karbonat sistemidir. Karbonik asit



denkleminde göre iyonlaşır ve bu sistem için 25°C'de kütlelerin etkisi denkleği

$$\frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = K_1 = 4,45 \times 10^{-7} \text{ 'dir.} \quad (1.8)$$

Bikarbonat iyonu $[HCO_3^-]$ aşağıdaki şekilde iyonlaşır:



ve bu sistem için 25°C'de kütlelerin etkisi denkleği;

$$\frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = K_2 = 4,69 \times 10^{-11} \text{ 'dir.} \quad (1.10)$$

Şimdiye kadar anlatılanlar, tüm tepkimeye giren ve ürünlerin aynı fiziksel durumda olduğu **tek evreli (homojen) kimyasal dengeye** ilişkindir. **Çok evreli (heterojen) denge** ise iki ya da daha fazla halde olan bileşikler arasında gerçekleşir. Örneğin, pH 10'dan büyük olduğunda sudaki katı kalsiyum karbonat çözeltideki kalsiyum ve karbonat iyonları ile



ayrışma denkleğine göre bir dengeye ulaşır.

Katı haldeki bir bileşiğin kristalleri ve çözeltideki iyonları arasındaki denge, tekevriymiş gibi düşünülerek matematiksel olarak ele alınabilir. (1.11) denkleği için kütlelerin etkisine göre denge denkleği

$$\frac{[Ca^{+2}][CO_3^{-2}]}{[CaCO_3]} = K \text{ şeklindedir.} \quad (1.12)$$

Kütlelerin etkisi denkleğinde bir katı maddenin derişimi K_s sabiti şeklinde alınabilir. Buna göre $[CaCO_3] = K_s$ olarak yazılırsa 25°C’de eşitlik

$$[Ca^{+2}][CO_3^{-2}] = K_s K = K_{\text{çç}} = 5 \times 10^{-9} \text{ olur.} \quad (1.13)$$

$K_{\text{çç}}$ sabiti **çözünürlük çarpımı sabiti** olarak tanımlanır.

İyonların molar derişimlerinin çarpımı çözünürlük çarpımı sabitinden ($K_{\text{çç}}$) küçükse çözümlenir “doymamış”, büyükse “aşırı doymuş” olduğu söylenir. Son durumda kristaller oluşur ve iyon derişimleri “doymuş çözelti” derişimlerine ulaşana dek çökme sürer. (1.13) denkleğinden kalsiyum karbonatın çözünürlüğünün yaklaşık 7 mg/L olduğu çıkarılabilir.

Dengenin Kaydırılması

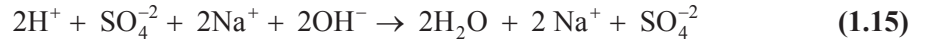
Su ya da atıksu arıtımında kimyasal tepkimeler, istenen değışiklikler ya da istenen sonuçlara ulaşmak için dengeyi kaydırılmasına dayanır. Dengenin kaydırılmasının en bilinen yolu, çözümlenmeyen maddelerin, zayıfça iyonlaşan bileşiklerin ya da gaz halinde son ürünlerin üretilmesi ve yükseltgenme-indirgenme tepkimeleridir.

Çözünmeyen bir bileşiğın oluşmasına örnek olarak suyun yumuşatılmasında Ca^{+2} iyonlarının uzaklaştırılması için $Ca(OH)_2$ ’nin eklenmesi gösterilebilir:



Yumuşatmada başka tepkimeler de gerçekleşir fakat bu tepkime çözünmeyen bir bileşiğın üretilmesini gösterir. $CaCO_3$ ’ın çözünürlük çarpımı sabiti 25°C’de 5×10^{-9} ’dur.

Zayıfça iyonlaşan bileşiklerin üretilmesine örnek asit ya da bazik atıkların nötralleştirilmesidir. Birçok doküman tesisi atıksuyunda NaOH vardır ve



tepkimesine göre H_2SO_4 kullanılarak nötralleştirilir. $[H^+]$ ve $[OH^-]$ su oluşturur ve bu da düşük derecede iyonlaşır.

Gaz halinde bir ürünün üretilmesi kırılma noktasında klorun eklenmesiyle gösterilebilir:



Burada gaz halinde azotun (N_2) üretilmesi tepkimenin tamamlanmasına yol açar.

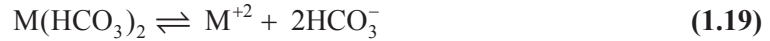
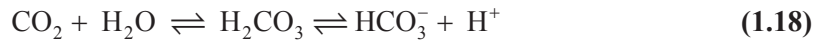
Tepkimenin tamamlanması için yükseltgenme-indirgenme tepkimelerinin kullanılmasına bir örnek, elektrokaplama atıklarında siyanür iyonuna (CN^-) klorun eklenmesidir:



Bu tepkime, siyanür iyonları CO_2 ve H_2O 'ya yükseltgenir ve klorür indirgenirken tamamlanır. Bu tepkime bir gaz ürün (N_2) olduğu için de tamamlanır.

pH ve Alkalinite

Alkalinite, suyun asitleri nötrleştirme kapasitesinin, yani belirgin bir pH değişimi olmadan hidrojen iyonlarını soğurmasının bir ölçüsüdür. Alkalinite, laboratuvarında su, derişimi ayarlanmış sülfürik asit çözeltisi (genellikle 0,02 N H_2SO_4) ile titre edilerek belirlenir. Doğal sularda alkaliniteye neden olan üç kimyasal yapı bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}) ve hidroksil (OH^-) iyonlarıdır. HCO_3^- , CO_3^{2-} ve OH^- ;



şeklindeki denge eşitlikleri ile gösterildiği gibi CO_2 ve H^+ iyon derişimlerine (ya da pH'a) bağlıdır (Sawyer et al., 1994). Bu eşitliklerden, tüm eşitlikler HCO_3^- içerdiğine göre CO_2 ve alkalinitenin üç şeklinin hepsinin, dengede olan bir sistemin parçaları olduğu görülebilir. Sistemin herhangi bir üyesinin derişimindeki değişim dengede bir kaymaya ve diğer iyonların derişiminde bir değişime neden olacak ve pH'ta bir değişimle sonuçlanacaktır. Yine pH'ta bir değişim de dengeyi kaydıracak ve diğer iyonların derişiminde bir değişime yol açacaktır. Şekil 4.6'da, su ve atık su mühendisliğinde genellikle rastlanılan pH aralığında, toplam alkalinitesi CaCO_3 olarak 100mg/L olan bir suda CO_2 ve üç alkalinite şekli arasındaki ilişki gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, doğal suların çoğunda pH 5-8,5 aralığındadır ve buna göre alkalinitenin büyük kısmını HCO_3^- içeriği temsil eder.

pH değişimine direnç gösteren bileşikler **tampon** olarak adlandırılır. Doğal sularda ve atıksularda pH aralığı yaklaşık 5-8,5 olduğuna göre başlıca tampon sistemi bikarbonat-karbonat sistemidir. Bir asit eklenirse H^+ iyonlarının bir kısmı iyonlaşmamış H_2CO_3 oluşturmak üzere HCO_3^- 'la birleşir ve sadece kalan serbest H^+ pH'ı etkiler. Eğer bir baz eklenirse OH^- iyonlarının bir kısmı CO_3^{2-} oluşturmak üzere HCO_3^- 'la tepkimeye girer ve sadece kalan serbest OH^- pH'ı etkiler. Hem kimyasal tepkimeler hem de biyolojik süreçler pH değişikliklerini kontrol eden doğal tamponlama etkisine bağlıdır. Pıhtılaştırmada doğal alkalinite yeterli değilse pıhtılaştırıcı ile tepkime verecek alkaliniteyi sağlamak üzere kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) eklenebilir.

**FİZİKSEL
KİMYA****Kimyasal
Kinetikler**

Su ve atıksu mühendisliğinde kullanılan temel fiziksel kimya alanları kimyasal kinetikler, gaz yasaları ve koloidal dağılımla ilişkilidir.

Kimyasal kinetikler, tepkimelerin gerçekleştiği hızlarla ilişkilidir. Bu bölümde işlenecek tepkimeler, tepkimeye girenlerin sıvının her yerine eş oranda dağıldığı tek evrede gerçekleşen tersinmez tepkimelerdir. Tersinmez tepkimelerde, tepkimeye girenlerin orantılı bileşimi hemen hemen tümüyle ürünlere dönüşüm sağlar. Su ve atıksu mühendisliğindeki bir çok tepkime, deneysel verilerin kinetik yorumu için bu kabule izin verecek derecede tersinmezdir. Bu kitaptaki tepkimelerden su ve atıksu mühendisliğinde en sık gerçekleşenler birinci dereceden kinetiklerdir.

Sıfırıncı dereceden tepkimeler, tepkimeye giren ya da ürünün derişiminden bağımsız bir hızda gerçekleşir ve tepkimeye giren bileşikler zamanla doğrusal olarak tükenir. Tek tepkimeye girenin tek ürüne dönüştüğü



tepkimesinde C, A'nın derişimini gösterirse, A'nın zamana göre tükenme hızı

$$\frac{-dC}{dt} = k = -r \quad (1.23)$$

Burada

$$\frac{dC}{dt} = r = A \text{ 'nın derişiminin zamanla değişme hızı (mg/L-gün ya da saat)}$$

k = tepkime sabiti (mg/L-gün ya da saat)

(1.23) eşitliğinin integral için yeniden düzenlenmesiyle

$$\int_{C_0}^C dC = -k \int_0^t dt \quad (1.24)$$

elde edilir

Burada

C = herhangi bir t anında A'nın derişimi, mg/L

C_0 = A'nın başlangıç derişimi, mg/L

t = zaman, gün ya da saat

Eşitliğin integrali alınırsa

$$C \Big|_{C_0}^C = -kt \quad (1.25)$$

ya da

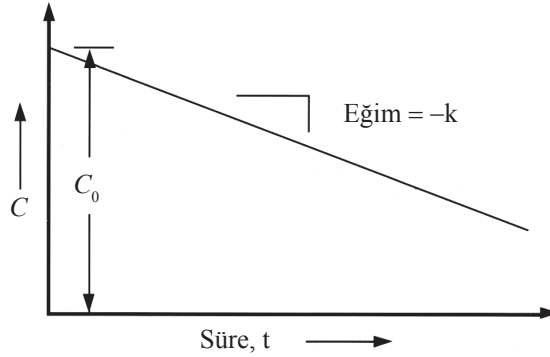
$$C - C_0 = -kt \quad (1.26)$$

veya

$$C = C_0 - kt \quad (1.27)$$

elde edilir.

(1.27) eşitliği $y = mx + b$ şeklinde doğrusal bir eşitliktir ve bir grafik kağıdında Şekil 1.1'de gösterildiği gibi bir doğru verecektir. Eğer veriler bir doğru oluşturursa tepkime sıfıncı derecedendir ve doğrunun eğimi k 'ya eşittir.



ŞEKİL 1.1 Sıfıncı Dereceden Bir Tepkimenin Grafiği

Birinci dereceden tepkimeler, tepkimeye giren bir bileşiğin derişimiyle orantılı bir hızda gerçekleşir. Yine tek tepkimeye girenin tek ürüne dönüştüğü

A (tepkimeye giren) \rightarrow B (ürün) tepkimesinde C, A'nın herhangi bir andaki derişimini gösterirse, A'nın tükenme hızı

$$\frac{-dC}{dt} = kC = -r \quad (1.28)$$

ile gösterilir.

Burada

$$\frac{dC}{dt} = r = A \text{ 'nın derişiminin zamanla değişme hızı (mg/L-gün ya da saat)}$$

$$k = \text{tepkime sabiti (gün}^{-1} \text{ ya da saat}^{-1})$$

$$C = A \text{ 'nın herhangi bir andaki derişimi, mg/L}$$

(1.27) eşitliğinin integral için yeniden düzenlenmesiyle

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -k \int_0^t dt \quad (1.29)$$

elde edilir.

Buradan

$$\ln C \Big|_{C_0}^C = -kt \quad (1.30)$$

ya da

$$\ln C - \ln C_0 = -kt \quad (1.31)$$

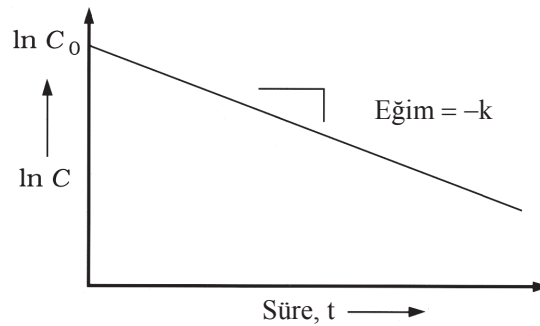
eşitliği yeniden düzenlenerek

$$\ln C = \ln C_0 - kt \quad (1.32)$$

elde edilir.

Bu $y = mx + b$ şeklinde doğrusal bir eşitliktir ve birinci dereceden veriler bir yarı logaritmik grafik kağıdında Şekil 1.2’de gösterildiği gibi bir doğru verecektir. Eğer veriler bir doğru oluşturursa tepkime birinci derecedendir ve doğrunun eğimi k ’ya eşittir. (1.32) eşitliğinin diğer bir bilinen şekli

$$\frac{C}{C_0} = e^{-kt} \quad (1.33)$$



ŞEKİL 1.2 *Birinci Dereceden Bir Tepkimenin Grafığı*

İkinci dereceden tepkimeler tek ürüne dönüşen tek tepkimeye girenin derişiminin karesi ile orantılı bir hızda gerçekleşir. Yine tek tepkimeye girenin tek ürüne dönüştüğü



tepkimesinde C, A'nın herhangi bir t anındaki derişimini gösterirse, A'nın tükenme hızı

$$\frac{-dC}{dt} = kC^2 = -r \quad (1.34)$$

Burada

$$\frac{dC}{dt} = r = A \text{ 'nın derişiminin zamanla değişme hızı (mg/L-gün)}$$

k = tepkime sabiti (L/mg-gün)

C = A'nın herhangi bir andaki derişimi (mg/L)

(1.34) eşitliğinin integrali ve yeniden düzenlenmesi

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt \quad (1.35)$$

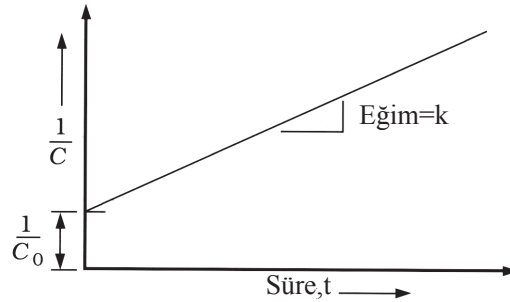
eşitliğini verir.

Bu $y = mx + b$ şeklinde doğrusal bir eşitliktir. Buna göre ikinci dereceden veriler bir grafik kağıdında Şekil 1.3'te gösterildiği gibi bir doğru verecektir. Eğer veriler gösterildiği gibi bir doğru oluşturursa tepkime ikinci derecedendir ve doğrunun eğimi k 'ya eşittir.

Bir çok kimyasal tepkimenin hızı, yüksek sıcaklıkların tepkimeye giren bileşiği ya da katalizörü etkilememesi koşuluyla sıcaklığın artmasıyla artar. Sıcaklık ve kimyasal tepkimelerin tepkime-hız sabitleri arasındaki temel ilişki 1889'da Arrhenius tarafından geliştirilmiştir. Arrhenius eşitliği geliştirilip basitleştirildiğinde hız sabitinin sıcaklığa bağlılığı için

$$k_2 = k_1 \theta^{T_2 - T_1} \quad (1.36)$$

genel eşitliğine ulaşılır.



ŞEKİL 1.3 İkinci dereceden bir tepkimenin grafiği

Burada

$k_1 = T_1$ sıcaklığındaki hız sabiti

$k_2 = T_2$ sıcaklığındaki hız sabiti

θ = sıcaklık katsayısı, boyutsuz

T_1, T_2 = sıcaklıklar, °C

Bu eşitlik belli bir sıcaklıktaki hız sabiti değerinin farklı bir sıcaklığa dönüştürülmesine olanak tanır. Sıcaklık katsayısı θ , su ve atıksu arıtım süreçlerinde genellikle karşılaşılan dar bir sıcaklık aralığında göreceli olarak sabittir. θ 'nın tipik değeri 1, 072'dir ve bu değerle sıcaklıktaki 10°C'lik artış tepkime hızını iki kat artırır.

Gaz Yasaları Gaz yasaları ve özellikle gazların sıvılarda çözünmesi ya da uzaklaştırılması üzerine etkileri çevre mühendisleri için önemlidir.

Genel gaz yasası, bir gazın hacmi, basıncı ve sıcaklığı arasındaki ilişkiyi, iki farklı koşul için

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1.37)$$

şeklinde gösterir.

Burada

P_1, P_2 = mutlak gaz basınçları

V_1, V_2 = gaz hacimleri

T_1, T_2 = mutlak gaz sıcaklıkları, °R, °K

Genel gaz yasası özellikle çamur gazı ve havalandırmada sıkıştırılmış hava hesaplamalarında yararlıdır.

Dalton yasası hava gibi bir gaz karışımında, her gazın diğerlerinden bağımsız bir basınç gösterdiğini ifade eder. Her gazın kısmi basıncı o gazın karışımındaki hacim yüzdesi ile orantılıdır. Yani kısmi basınç, karışımın hacmine eşit hacmi yalnız işgal ettiğinde gazın göstereceği basınca eşittir.

Henry yasası bir sıvının belli bir hacminde çözünen herhangi bir gazın ağırlığının, sabit sıcaklıkta gazın sıvı üzerinde gösterdiği basınçla doğrudan orantılı olduğunu ifade eder. Eşitlik olarak

$$C_s = (\text{Sabit}) (p_g) \text{ şeklinde verilir} \quad (1.38)$$

Burada

C_s = sıvıda çözünen gazın dengedeki basıncı

Sabit = gaz için belli bir sıcaklıkta Henry yasası sabiti

P_g = sıvı üzerindeki gazın kısmi basıncı

Dalton ve Henry yasaları sıvıya ve sıvıdan gaz aktarımının olduğu soruların çözümünde kullanılır. Örneğin oksijen için 20°C'de suda Henry yasası sabiti 43,8 mg/L-atm'dir. Hava hacimce % 20,9 oksijen içerdiğine göre, Dalton yasasına göre toplam hava basıncı 1 atm olduğunda havada oksijenin kısmi basıncı 0,209 atm olur. Buna göre 20°C'de ve 1atm havanın varlığında suda oksijenin denge derişimi $43,8 \times 0,209 = 9,15$ mg/L'dir. 2000 ft (610m) yükseklikte toplam hava basıncı 706 mm Hg'dir. 1 atm 760 mm Hg olduğuna göre, toplam hava basıncı $706/760 = 0,929$ atm olacaktır. Oksijenin çözünürlüğü de $43,8 \times 0,209 \times 0,929 = 8,50$ mg/L olacaktır.

Çevre mühendisliğinde bir gazın bir sıvıya aktarımına ilişkin sorunların çoğu mikroorganizmalar için havalı koşulları korumak üzere havalandırmayla oksijenin eklenmesini gerektirir. Sıvılardan gazların uzaklaştırılması da herhangi bir havalandırma aygıtı ile sağlanır. Genellikle bu tür süreçler, hava basıncında ya da bu basınca yakın basınçlarda sıvıdan geçen hava kabarcıklarından gazın aktarımı, havadan düşen sıvı damlacıkları ya da havaya açık yüzeylerden akan ince sıvı katmanları ile gerçekleştirilir. Henry yasası, denge koşulunda geçerli olsa da bir gaz-sıvı sisteminin dengeden ne kadar uzak olduğunu göstermeye yarar. Oksijenin çözünme hızı, Henry yasasında verilen denge derişimi ile sıvıdaki gerçek derişim arasındaki farkla orantılıdır, yani

$$\frac{dC}{dt} \propto (C_s - C_a) \quad (1.39)$$

Burada

$\frac{dC}{dt}$ = oksijenin çözünme hızı

C_s = oksijenin denge derişimi

C_a = oksijenin gerçek derişimi

Bu kavram, aktif çamur süreçleri gibi havalı koşullardaki atık arıtım süreçlerinde ve göl ve akarsuların yeniden havalanma yetisinin değerlendirilmesinde kullanılan mühendislik hesaplamaları için temeldir.

Karbon dioksit ve hidrojen sülfür gibi istenmeyen gazların sudan uzaklaştırılmasında genellikle bazı havalandırma yöntemleri kullanılır. Gaz giderimi için C_a , C_s 'den büyüktür ve giderim hızı $C_a - C_s$ farkı ile orantılıdır.

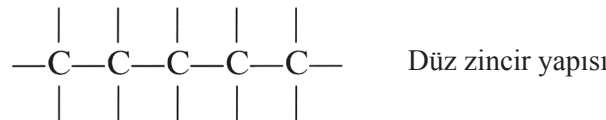
**Çok Küçük
Madde (Koloit)
Dağılımları**

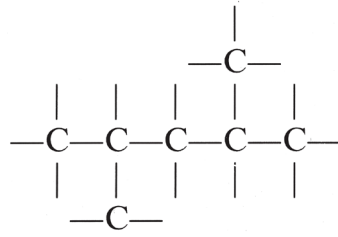
Su arıtım tesislerinde yüzey sularından uzaklaştırılan askıda maddelerin çoğu **koloitlerdir**. Yine atıksu arıtma tesislerinde atıksudan uzaklaştırılan askıda maddelerin çoğu da koloitlerdir. Koloitler, katılarda, sıvılarda ve gazlarda dağılmış çok küçük maddelerdir, fakat su ve atıksu mühendisliğinde, su gibi bir sıvıda dağılma en önemlisidir. Koloit madde kil, organik parçalar, ya da atık malzemeler gibi katı, doğal sularda yosunlardan salgılanan yağ ya da atıksuda bulunan yağlar gibi sıvı olabilir. Koloit taneciklerin boyutları 1 milimikron ($m\mu$) ya da 10^{-6} mm ile 1 mikron (μ) ya da 10^{-3} mm arasındadır (bir mikron 10^{-3} mm ya da 10^{-6} m'dir) ve çıplak gözle görülmezler. Koloitler çok ince dağılımlar ya da asıltılar olarak da tanımlanabilir. Koloitler çok küçük oldukları halde yüzey alanı/kütle oranları çok büyüktür. Bir santimetreküp $10m\mu$ 'luk koloit 600 m^2 (1/7 akre) yüzey alanına sahiptir. Büyük yüzey alanının bir sonucu olarak yüzey olayları baskındır ve koloidal dağılım ya da asıltıların davranışını belirler. Koloitlerin kütleleri o kadar küçüktür ki yer çekimi etkileri ihmal edilebilir. Koloitlerin önem gösteren bazı özellikleri;

1. Koloitler elektrik yüküne sahiptir ve bu yük (+) ya da (-) olabilir. Kil, yosun ve bakteriler gibi koloitler doğal sularda ya da atıksularda rastlanan pH aralığında (-) yüklüdür. Benzer yükler birbirini iteceği için tanecikler daha büyük tanecikleri oluşturmak üzere yumaklaşmak ya da bir araya gelmek için yeteri kadar yakınlaşamazlar. Koloitlerin çevresindeki durgun yüklü alan hakkında daha ayrıntılı bilgi pıhtılaştırma ve yumaklaşmanın işlendiği bölümde verilmektedir.
2. Küçük boyutları nedeniyle koloitler ışığı yansıtır ve bir su örneğinde bulanıklığın ölçülmesi bu özelliğe dayanır.
3. Koloitler çok büyük yüzey alanına sahiptir ve dolayısıyla soğurma güçleri de büyüktür. Bazı iyonlar seçilirken diğerlerinin soğurulmaması nedeniyle soğurma işlemi seçicidir.
4. Koloitler, büyük tanecik boyutları nedeniyle yarı geçirgen zarlardan geçmez ve ters ozmozla uzaklaştırılırlar. Ters ozmozda (ters geçişim) basınç altındaki bir su yarı geçirgen bir zarından geçer ve dağılmış çok küçük maddeler ve bazı iyon şeklindeki maddeler zarın diğer tarafında kalır.

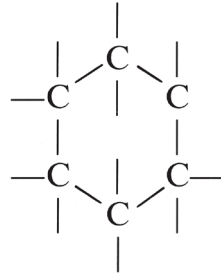
**ORGANİK
KİMYA**

Organik kimya karbonlu bileşiklerle ilgilidir. Bunlardan çoğu, bakteriler ve diğer mikro canlılar için besin maddesi iken, bazıları da insanlar gibi daha gelişmiş canlılar için gıdadır. Çoğu zararlı böcek ve ot öldürücüler ve tehlikeli maddeler yapay organik bileşiklerdir. Tüm organik bileşikler, bir zincir ya da halka yapısında, tutunmuş diğer elementlerle birlikte bağlı karbon atomları içerir. Atomlar arasında bağlanma dış yörünge elektronları (yani $C \times C$) ile kovalenttir ve basitleştirmek amacıyla $C - C$ şeklinde gösterilir. Genel zincir ya da halka yapıları:





Dallanmış-zincir yapısı



Halkalı yapı

Organik bileşiklerin ana bileşenleri karbon, hidrojen, oksijen ve daha düşük oranda azot, fosfor, sülfür ve bazı metaller gibi elementlerdir. Her karbon dört bağa sahiptir. Bitki lifleri ve hayvan dokuları gibi bazı organik bileşikler doğada vardır. Kauçuk, plastik, buz önleyici, ve benzerleri gibi bazıları da yapay olarak üretilir. Bazı organik bileşikler antibiyotik üretimi gibi mayalanma süreçlerinden üretilir. İnorganik bileşiklerin aksine organik bileşikler genellikle yanıcıdır, molekül ağırlıkları büyüktür, suda çok az çözünür ve hayvanlar ve mikro canlılar için besin kaynağıdır.

Organik bileşiklerin özellikleri, zincir uzunluğu ya da yapısı, doymamışlık ya da karbon zincirinde çoklu bağlanma ($C=C$, $C\equiv C$) derecesi ve karbon zincirine bağlanmış gruplarla belirlenir. Hidrojenle yer değiştirme **hidrokarbonları** oluşturur. Diğer işlevsel gruplar

alkoller oluşturulan hidroksil (OH^-), **aldehitleri** oluşturulan aldehit ($\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$), **karboksilli**

asitleri oluşturulan karboksil ($-\text{COOH}$), **ketonları** oluşturulan keton ($\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ -\text{C}- \end{array}$), **eterleri** oluşturulan eter ($-\text{O}-$) ve **aminleri** oluşturulan amin ($-\text{NH}_2$) dir. Basit düz zincirli ya da dallanmış düz zincirli moleküller **alifatik** olarak adlandırılır. Ayrıca aromatik bileşikleri içeren gruplar; kararlı halkalı şekildeki (C_6H_6) benzen iskeleti (C_6H_6) ve genel olarak hidrojeni oksijen, azot ve sülfür gibi karbondan başka atomlarla yer değiştirmiş halkalı yapıdaki çok halkalı bileşikler olarak da bulunmaktadır.

Besinler ve gıda maddeleri yanında canlılar da temelde organik bileşikler ya da organik maddelerdir. Doğal olarak oluşmuş organik maddelerin temel bileşenleri karbon (C), hidrojen (H) ve düşük miktarlarda (% 5'den az) azot (N), fosfor (P) ve kükürt (S)'tür. Temel

elementler olarak bilinen bu beş element organik maddelerin kimyasal bileşiminin genellikle % 99'unu oluşturur. İkincil elementler olarak tanımlanan sodyum (Na⁺), potasyum (K⁺), kalsiyum (Ca²⁺), magnezyum (Mg²⁺) ve klorür (Cl⁻) gibi bazı inorganik iyonlar ise biyolojik gelişme için gereklidir. Biyolojik büyüme için küçük miktarlarda gereken elementler (eser elementler) demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), brom (Br) ve iyot (I) tur. Evsel atıksuların arıtılmasında, en önemli organik molekül grupları karbonhidratlar, proteinler ve lipitler (sıvı ve katı yağlar) ya da bunların parçalanma ürünleridir.

Karbonhidratlar **Karbonhidratlar**, C_nH_{2n}O_n molekül yapısı ya da formülü ile gösterilir ve karbon, hidrojen ve oksijenden oluşur. Glüköz (C₆H₁₂O₆) **monosakkarit**leri temsil eden basit bir karbonhidrattır. İki monosakkarit birleştiğinde, bilinen şeker (sakkaroz) **disakkariti** oluşturur. Organik maddeler mikroplar için besin ve enerji kaynağıdır. Bu basit karbonhidratlar, oksijenin varlığında su (H₂O) ve karbondioksit (CO₂) oluşturmak ve mikroplar tarafından kullanılacak enerji açığa çıkarmak üzere kolaylıkla parçalanır.

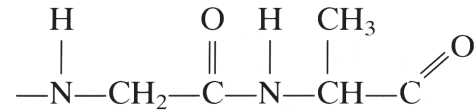
Örneğin glüköz;



tepkimesine göre ayrışır.

Monosakkaritlerin disakkaritlere dönüşmesi, mikroplar tarafından genellikle kolayca parçalanamayan **polisakkaritlerin** oluşmasına kadar ilerleyebilir. Polisakkaritler iki gruba ayrılabilir: (1) patates, mısır, buğday, arpa, pirinç ve diğer yenilebilir bitkilerde bulunan kolaylıkla parçalanabilir nişastalar ve (2) ağaç, pamuk, kağıt ve diğer benzer bitki dokularında bulunan selüloz gibi çok az parçalanabilir maddeler. Selüloz biyolojik olarak nişastadan çok daha yavaş parçalanır.

Proteinler **Proteinler**, karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfor içeren amino asitlerin oluşturduğu uzun dizilerdir. Amino asitlerin yapısında amino (-NH₂) grubu vardır ve bu gruptaki bir hidrojen uzun amino asit dizileri oluşturmak üzere yer değiştirebilir. Proteinler tüm canlı dokuların en önemli kısmıdır ve bütün gelişmiş canlıların beslenmesinde gereklidir. Bir proteinin küçük bir bölümü



ile gösterilir.

Proteinler her zaman peptit dizileri içerir:

