

İnce Kabarcıklı Havalandırmada Kesikli İşletim Koşullarında Oksijen Kütle Transferi

G.CİVELEKOĞLU , S.MAZLUM

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32260 Çünür, Isparta, Türkiye

Özet : Bu çalışma kapsamında laboratuvar ortamında yapılan pilot ölçekli çalışmalarla belli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip safsızlıklar içeren su ve atıksu ortamlarında oksijen transfer parametrelerinin değişimi gözlemlenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Atıksu içerisinde önemli miktarlarda bulunabilen ve gaz transferini olumsuz etkileyen safsızlıklar yüzey aktif madde, amonyak ve askıda katı madde olduğundan yapılan deneysel çalışmalarda farklı hidrostatik yüksekliklerde su ortamına yapay olarak eklenen fiziksel ve kimyasal safsızlıklarla gerçek uygulama ortamlarını temsil edebilecek ortamlara benzerlik oluşturulması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde genel havalandırma katsayısı, kesikli işletim koşulları altında 1,5 m, 2,0 m ve 2,5 m su yüksekliklerinde kütle transfer modelinin uygulanması sonucu hesaplanırken, difüzyon katsayısı ise penetrasyon teorisine göre belirlenmiştir. Yüzey aktif madde ve askıda katı madde miktarları oksijenlendirme verimini olumsuz yönde etkilerken, farklı pH değerlerindeki su ortamına belli konsantrasyonlarda ilave edilen amonyumun oksijenlendirme verimini sınırlı miktarda olumlu etkilediği tespit edilmiş; yükselen SDS ve bentonit konsantrasyonu ile difüzyon katsayısında azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütle transfer katsayısı, penetrasyon teorisi, difüzyon katsayısı, amonyak, bentonit, SDS

Oxygen Mass Transfer In Fine Bubble Diffused Aeration At Batch Conditions

Abstract : In this study the impurities commonly encountered in water and wastewater environment were subjected to a series of gas transfer experiments on a pilot scale experimental set-up at a variety of hydrostatic heads on a fill-and-draw batch operation basis. In these test runs ammonia nitrogen, bentonite clay (to represent suspended solid character), SDS surfactant and raw domestic wastewater were tested. The operational parameters at co-current and counter-current flow conditions were also tested with clean tap water in the test column. The overall gas transfer coefficient for each test run was computed by applying mass transfer model for batch conditions at water column heads of 1,5 m, 2,0 m and 2,5 m. The diffusion coefficient at each test condition was computed according to the penetration theory. The results suggested that oxygenation capacity was positively influenced by increased ammonium concentration at elevated pH levels while decreases in oxygenation capacity were observed at test runs carried out with sodium dodecylbenzene sulfonate and bentonite impurities. Though increasing ammonium concentrations positively affected the diffusion coefficients, decreases in diffusion coefficients were observed at increasing SDS and bentonite concentrations.

Key words: Gas mass transfer rate, penetration theory, diffusion coefficient, ammonium, bentonite, SDS

Semboller

SDS : sodium dodecylbenzene sulfonate

ÇO : çözünmüş oksijen

TÇM :toplam çözünmüş madde

k_2 :genel havalandırma katsayısı (s^{-1})

k_L : kütle transfer katsayısı ($m.s^{-1}$)

a : spesifik ara yüzey alanı (m^{-1})

C_0 : başlangıç konsantrasyonu ($kg.m^{-3}$)

C : t anındaki konsantrasyon ($kg.m^{-3}$)

C_s : doygunluk konsantrasyonu ($kg.m^{-3}$)

V_b : kabarcık yükselme hızı ($m.s^{-1}$)

g : yerçekimi ivmesi ($9,81 m.s^{-2}$)

ν : kinematik viskozite ($m^2.s^{-1}$)

ρ_{su} : su yoğunluğu (kg/m^3)

$\rho_{kabarcık}$: kabarcık yoğunluğu (kg/m^3)

d : kabarcık çapı (m)

Re : Reynolds sayısı

Q_{hava} : hava debisi ($m^3.s^{-1}$)

h : su kolonu yüksekliği (m)

\forall : su kolonu hacmi (m^3)

A : toplam kabarcık yüzey alanı (m^2)

D : difüzyon katsayısı ($m^2.s^{-1}$)

oc : oksijenasyon kapasitesi ($kg.m^{-3}.s^{-1}$)

P : Bentonit maddesi giderim oranı (%)

V_s :Bentonit çökeltme hızı ($m.s^{-1}$)

Giriş

Gaz transfer prosesi, gaz moleküllerinin sıvı-gaz ara yüzünde yer değiştirmesidir. Sıvı fazındaki gaz

konsantrasyonu, denge durumuna bağlı olarak absorpsiyon veya desorpsiyon süreci ile doygunluk konsantrasyonuna

ulaşmaktadır. Kimyasal ve biyokimyasal süreçlerde gaz transfer prosesini hızlandırmak amacıyla, fiziksel havalandırma metotları kullanılmaktadır. Mevcut havalandırma metotları arasında ince kabarcıklı havalandırma işlemi gaz transferi sürecinde yüksek ara yüzey alanı oluşturması sebebiyle önem taşımaktadır.

Bir gazın sıvı fazındaki denge konsantrasyonu, ilgili fazın gaz fazı içerisindeki kısmi gaz basıncı, gazın sıvı içerisindeki dağılım katsayısı, sıvının sıcaklığı ve sıvı faz içerisindeki safsızlık konsantrasyonları ile sıvının fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık parametresinin difüzyon mekanizması ve sıvı viskozitesini değiştirmesi sebebiyle de gaz transfer hızı dolaylı olarak etkilenmektedir. Safsızlıklar ve özellikle hidrofobik maddeler ara yüzey alanını azaltarak gaz transfer hızını olumsuz etkilemektedirler [5].

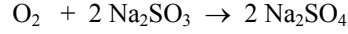
Evsel atıksular, yağ, gres, yüzey aktif madde ve organik ve inorganik formda katı madde gibi çözülmüş veya askıda halde bulunan ve farklı özelliklere sahip safsızlıkları barındırırlar. Ham atıksularda yüzey aktif madde konsantrasyonu genel olarak 5 mg/l'nin altında olmakla birlikte bazı endüstriyel deşarjlarda daha yüksek yüzey aktif madde konsantrasyonlarına rastlanabilmektedir [4]. Evsel atıksu içerisinde en çok karşılaşılan safsızlıklardan biri olan amonyum ve amonyak konsantrasyonları biyolojik arıtma ünitelerinde atıksuyun özelliğine bağlı olarak 40 mg/l değerine kadar yükselebilmektedir. Bu çalışmada, ortamda belirli konsantrasyonlara sahip amonyak, SDS (sodium dodecylbenzene sulfonate) ve bentonit safsızlıklarının kesikli işletim koşullarında havalandırma verimine olan etkileri belirlenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapay olarak hazırlanan test ortamı koşullarında elde edilen sonuçların doğal ortamdaki durumlar ile mukayese edilebilmesi için oksijenlendirme test çalışmaları atıksu üzerinde de tekrarlanmıştır.

Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalar 2,6 m kolon yüksekliğine, 16,5 cm iç çapa ve maksimum 55 l depolama hacmine sahip şeffaf pleksiglas malzemeden imal edilmiş silindirik bir havalandırma tankında yapılmıştır. Hava pompasından (Sartorius, PJ1762-026) terfi ettirilen hava, kolon içerisinde taban iç çevresine yerleştirilen kauçuk difüzörle ince kabarcıklı havalandırma biçiminde dağılması sağlanmıştır. Hava debisi rotametre (Tube Float G.P.E Meterate mekanik debi ölçer) ile ayarlanmış ve kontrol edilmiştir.

Kesikli havalandırma deneylerinde havalandırma kolonu belli yüksekliğe kadar musluk suyuyla doldurulmuştur. Daha sonra çözülmüş oksijen konsantrasyonunu sıfır düzeyine indirmek için ortama konsantre sodyum sülfite ve katalizör olarak ta kobalt klorür çözeltileri eklenmiştir. Deney kolonunda katı sodyum sülfitin aşamalı çözünmesiyle oksijen dengesine olabilecek olumsuz etkilerini gidermek amacıyla katı haldeki sodyum sülfite 300mg/l derişimli

stok çözeltilisi halinde hazırlandıktan sonra kolon içerisine ilave edilmiştir. Ortama eklenen her 10 mg/l sodyum sülfite 1 mg/l çözülmüş oksijeni aşağıdaki kimyasal reaksiyona göre güvenle uzaklaştırmaktadır [4].



Yukarıdaki reaksiyon kobalt iyonu ile kolayca katalizlenebildiği için havalandırma kolonuna 5 mg/l dozajında kobalt klorür çözeltilisi de ilave edilmiştir.

Test çalışmalarında kullanılan musluk suyunun kaynağı yer altı suyu olup pH değeri 7,74±0,14, TÇM değeri 85±10 mg/l ve bulanıklık değeri 3±0,5 FTU arasında değişmektedir. Her test başlangıcında havalandırma kolonundaki sıcaklık ve toplam çözülmüş madde (TÇM) değerleri ölçülmüş ve daha sonra belirli konsantrasyonlara sahip safsızlıklar kolona ilave edilmiştir. Ortama ilave edilen kimyasal safsızlıklar TÇM miktarını yükselttiği için her deney öncesi TÇM konsantrasyonları tekrar belirlenmiştir.

Amonyum ile gerçekleştirilen deneylerde havalandırma kolonu ortamının pH değeri 5N HCl ve 5N NaOH çözeltileri ile istenilen değerlere getirilmiştir. Yüzey aktif madde ile gerçekleştirilen deneyler için evsel ve endüstriyel kullanımlarda sıkça karşılaşılan bir yüzey aktif madde olan SDS kullanılmıştır. Ortamın floklaşma özelliklerini temsil etmek için ise bentonit kili kullanılmıştır. Havalandırma kolonunun pH seviyesi 5 N NaOH veya 5 N HCl ile ayarlandıktan sonra, daha önceden saf su içerisinde çözülmüş haldeki NH₄Cl stok çözeltilisi havalandırma kolonuna ilave edilmiştir. Evsel atıksu ortamını karakterize etmek için kolon içerisine 10, 20, 40 mg/l konsantrasyonlarında NH₄⁺ ilave edilmiştir.

Çalışmalarda havalandırma kolonu 1,5 m, 2,0 m ve 2,5 m su yüksekliklerinde musluk suyu ile doldurulmuştur. Her deney öncesi çözülmüş oksijen değerini sıfıra indirmek için musluk suyu ile dolu kolona sodyum sülfite ve reaksiyonu hızlandırıcı kobalt klorür çözeltileri ilave edilmiştir. Test süresince çözülmüş oksijen (ÇO) miktarındaki değişim, her deney öncesi kalibrasyonu gerçekleştirilen oksimetre (Schott Handylab OX1 O₂-Meter) ile belirli zaman aralıklarında ölçülerek belirlenmiştir. ÇO değerinin sıfır seviyesine indirilmesini takiben ince kabarcıklı havalandırma işlemi başlatılmış ve ÇO konsantrasyonundaki artış belirli zaman aralıklarında ölçülmüştür. Su fazındaki ÇO konsantrasyonu denge konsantrasyonuna ulaşmaya kadar test çalışmalarına devam edilmiş ve belli süre değişmeden kalan son değerler ÇO doyunluk konsantrasyonu olarak belirlenmiştir [1].

Oksijen genel transfer katsayısı ($k_L \cdot a$), ÇO doyunluk konsantrasyonu (C_s) ile herhangi bir andaki ÇO konsantrasyonu (C) arasındaki farkı esas alan kararsız hal metodu kullanılarak belirlenmiştir [1].

$$\frac{dC}{dt} = k_L \cdot a \cdot (C_s - C) \quad (1)$$

Su fazında gaz konsantrasyonunun 0 anında C_0 dan t anında C_t ye yükseldiği göz önüne alınırsa yukarıdaki eşitliğin C_0

ile C_e arasında integre edilmesiyle bu kütle transfer hız eşitliği aşağıdaki içimi alır.

$$k_L \cdot a = -\frac{1}{t} \cdot \ln \frac{C_s - C_e}{C_s - C_0} \quad (2)$$

Gerçekleştirilen her test çalışmasına ait gözlemsel ÇO konsantrasyon değerleri kullanılarak (2) eşitliği üzerinde yapılan regresyon analizleri, $k_L \cdot a$ değerlerinin hesaplanmasında yüksek güvenilirlik değerleri (>%99,1) vermiştir.

Kabarcık boyutları, dijital bir kamera ile (Canon® Powershot A200) 1/150-1/1600 enstantane ayarında tabandan 1,20 m yükseklikte çekilen fotoğrafların bilgisayar yazılımında analiz edilmesi ile belirlenmiştir. Fotoğraf çekimleri, belirtilen yükseklikte tank çevresi yarı uzunluğu alüminyum folyo ve milimetrik kağıt ile çevrelenmiş halde yüzeye 5 cm uzak mesafeden yapılmıştır. Düzenek etrafını çevreleyen milimetrik kağıt üzerindeki 1 cm uzunluklar baz alınmış ve çekilen fotoğraftaki kabarcık boyutları belirlenmiştir. Çekilen fotoğraf üzerinde seçilen 50 küresel hava kabarcığının gözlenen çapları ölçek dahilinde gerçek boyutlarına getirilmiştir. Fotoğraf analizlerinde kolon içerisindeki hava kabarcıklarının düşey yöndeki hareketleri esnasında birbirleri ile çarpışmadıkları gözlemlendiğinden düşey yönde hareket eden küresel kabarcıkların hızlarını belirlerken Stokes eşitliği kullanılmıştır. Belirli türbülans aralıklarında kabarcıkların yükselme hızlarının sabit olduğu kabul edilmiştir. Belirli Reynolds sayıları aralıkları için sürtünme faktörleri dikkate alınarak denge durumunda yükselme kuvveti ve sürüklenme kuvveti arasındaki eşitlikten 3. ve 4. nolu hız bağıntıları elde edilir [3].

$$V_b = \frac{1}{10} \cdot \frac{g^{0,8}}{\nu^{0,6}} \cdot \left\{ \frac{\rho_{su} - \rho_{kabarcica}}{\rho_{su}} \right\}^{0,8} \cdot d^{1,4} \quad (3)$$

(1<Re<50 durumunda)

$$V_b = \frac{1}{2,13} \cdot \frac{g^{0,6}}{\nu^{0,2}} \cdot \left\{ \frac{\rho_{su} - \rho_{kabarcica}}{\rho_{su}} \right\}^{0,6} \cdot d^{0,8} \quad (4)$$

(50<Re<1620 durumunda)

Test koşullarında değişik boyutlardaki kabarcıklar için havalandırma kolonundaki kabarcık yükselme hızı Stokes eşitliği yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Belirli türbülans koşullarında hava kabarcıklarının yükselme hızı

d (m)	V _b (m/s)	Re
0,60.10 ⁻³	0,06	7
1,00.10 ⁻³	0,11	21
1,35.10 ⁻³	0,14	36
1,50.10 ⁻³	0,16	46
1,80.10 ⁻³	0,18	62
2,00.10 ⁻³	0,19	73

Yukarıda ifade edilen bilgisayar yazılımından ortalama kabarcık çapı, Stokes eşitliğinden de kabarcıkların yükselme hızı belirlenmiştir. Bu değerlerden hava debisine bağlı olarak gaz kabarcıklarının spesifik ara yüzey alanı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır [2].

$$a = \frac{6 \cdot Q_{hava} \cdot h}{\nabla \cdot d \cdot V_b} \quad (5)$$

Belirli zaman aralıklarında tespit edilen ÇO konsantrasyonundaki artış doygunluk değerine ulaştığında test çalışması tamamlanmış ve k_2 katsayısı hesaplanmıştır [5]. Difüzyon katsayıları ise penetrasyon teorisinin (6. eşitlik) uygulanması ile belirlenmiştir. Bu eşitlikte

$$t_c = \frac{h}{V_b} \text{ dir.}$$

$$k_2 = 2 \cdot \frac{A}{\nabla} \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t_c}} \quad (6)$$

$2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t_c}}$ yerine k_L ve $\frac{A}{\nabla}$ yerine a yazılacak olursa, yukarıdaki eşitlik aşağıdaki biçimi alır.

$$k_2 = k_L \cdot a \quad (7)$$

Oksijenlendirme kapasitesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Bu ifadedeki oksijen konsantrasyonu deney şartlarında ulaşılan doygunluk konsantrasyonudur [5].

$$oc = k_2 \cdot C_s \quad (8)$$

Sonuç ve Değerlendirme

Amonyum ile yapılan test çalışmaları

Kesikli işletim çalışmaları kapsamında ilk aşamada doğal bir atıksu içerisinde hidroliz sonrası bulunabilecek amonyum muhteviyatını simüle edecek biçimde litrede 10 ile 40 mg NH₄⁺ bulunacak biçimde kolon içerisine amonyum klorür tuzu çözeltisi ilave edilmiştir. Deneyler, 1,5 m, 2,0 m ve 2,5 m hidrostatik su yüksekliklerinde tekrarlanmıştır. Test başlangıcında toplam çözünmüş katı madde miktarı 216±141 mg/l aralığında tespit edilmiştir. Uygulanan hava debisi 3.10⁻⁵ m³/s, ortalama kabarcık çapı 1,5 mm ve spesifik ara yüzey alanı 35,20 m⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sabit hidrostatik yükseklikte ve sabit amonyum konsantrasyonunda ortamdaki pH'nın yükselmesiyle k_2 , k_L , D ve oc değerleri artış gösterirken, ÇO doygunluk konsantrasyonunun az da olsa azaldığı gözlenmiştir. Aynı sabit hidrostatik yüksekliklerde ortama ilave edilen amonyum konsantrasyonundaki artışlar sonucu pH 7-8 aralığında k_2 , k_L , D katsayıları ve oc azalırken, pH 9-11 aralığında bu parametreler artış göstermiştir (Şekil 1). Gözlemsel veriler, pH değerinin 9'u geçmesi durumunda amonyumun gaz fazına geçmeye başlaması ve pH değeri 11 olduğunda da amonyumun tamamen amonyak formuna dönüşmesi sonucunda gaz transfer parametrelerinde artış olduğunu

göstermektedir.

$NH_3(suda) + H_2O \Leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$ denge

reaksiyonunun 25°C sıcaklık için denge sabiti değeri $K=1,83.10^{-5}$ 'dir

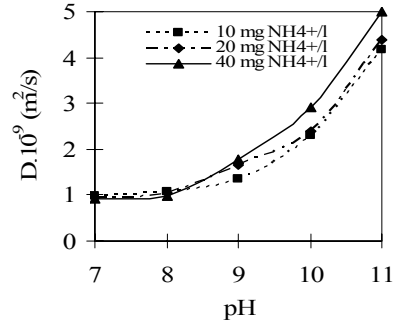
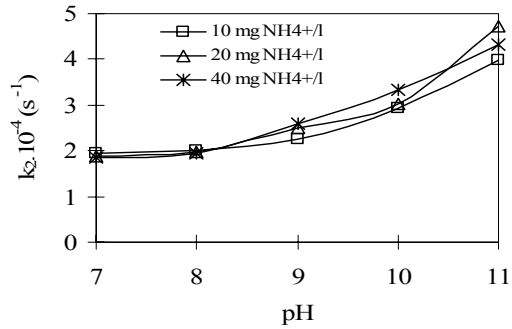
$\left\{ K = \frac{[NH_4^+] \cdot [OH^-]}{[NH_3]} \right\}$. pH=7 ve pH=11 için karşılaştırma yapıldığında pH=7'de $\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]}$ molar oranı 183, pH=11 için molar

Örneğin,

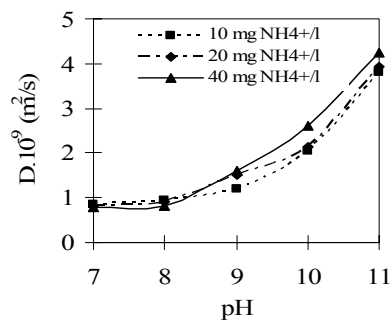
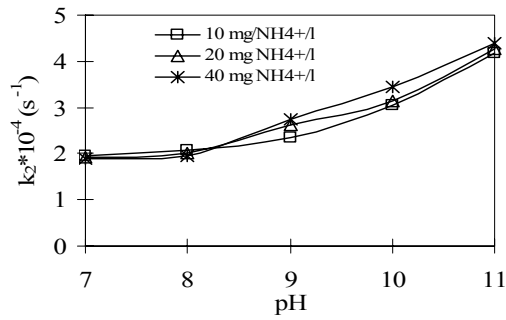
oranı $\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]} = 0,0183$ olmaktadır. Buna göre su

ortamının pH değeri 7'den 11'e yükseldiğinde $[NH_3]$ molar oranı yaklaşık 10.000 kat artmaktadır [6]. pH 9'da amonyumun gaz fazına geçmeye başlaması ve pH 11'de tamamen amonyak formuna dönüşmesi su ortamındaki CO_2 'in uzaklaşmasına yardımcı olacaktır. Şekil 1'den görüleceği üzere, k_2 (ve k_L) azalan hidrostatik yükseklikle artarken, D azalmaktadır.

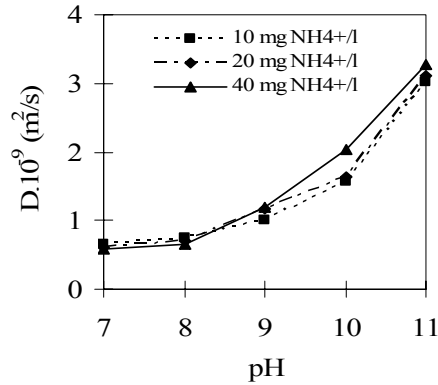
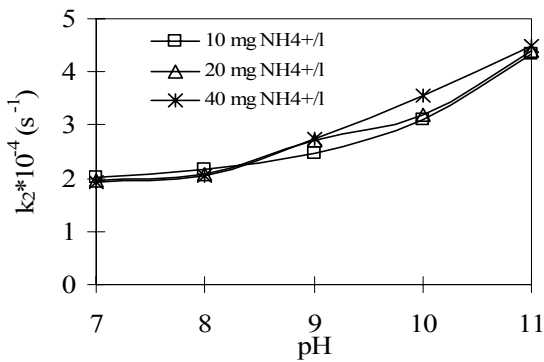
H=2,5 m'de test sonuçları



H=2,0 m'de test sonuçları



H=1,5 m'de test sonuçları



Şekil 1. Farklı amonyum konsantrasyonlarında k_2 and D'nin değişimi ($T_{su}=18,3^\circ C$)

Bentonit kili ile yapılan test çalışmaları

Askıda katı madde olarak kil boyutundaki bentonitin oksijenlendirme verimine etkisini incelemek amacıyla önceden sulu çözelti halinde hazırlanmış ve özellikleri Çizelge 2’de verilen bentonit, farklı konsantrasyonlarda havalandırma kolonuna ilave edilmiştir.

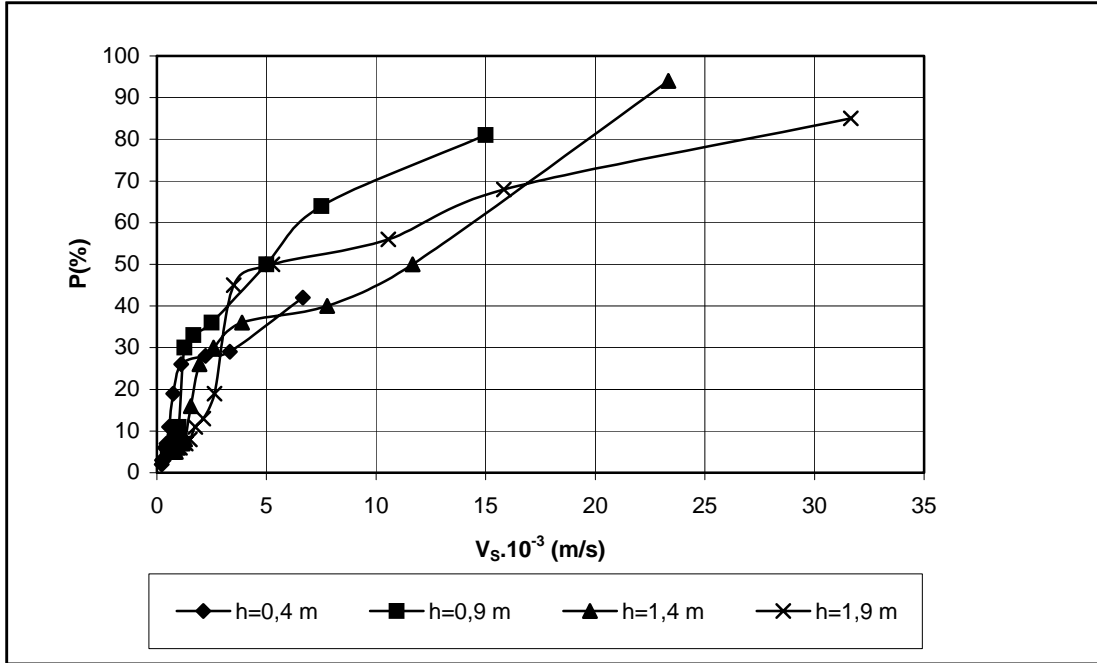
Havalandırma çalışmalarında kullanılan bentonit kili floklaşma özelliğinin gözlenebilmesi için 300 mg/l’lık gösterilmiştir.

süspansiyon çözeltisi halinde hazırlanarak serbest çökelme deneyine tabi tutulmuştur.

Örnekler ilk 3 dakikalık periyotta her dakikada, daha sonra ise 30 dakikalık toplam periyotta 3 dakikada bir alınmıştır. Ayrıca numuneler kolon üzerinden 40 cm, 90 cm, 140 cm ve 190 cm aşağıda 4 farklı noktadan alınmıştır. Süspansiyon materyalinin frekans dağılım eğrisi Şekil 2’de

Çizelge 2. Bentonit kilinin temel özellikleri (Türkiye Bentonit Sanayii Envanteri, 1982)

SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	MgO %	SO ₃ %	Yanma kaybı %
62,30	7,30	15,20	0,89	0,50	1,78	2,66	2,40	-	5,70



Şekil 2. Bentonit kilinin çökelme frekans eğrisi

Askıda büyümenin gerçekleştiği biyolojik reaktörleri simüle edecek biçimde ortama yapay olarak eklenen bentonit malzemesinin konsantrasyon değerleri 1000-4000 mg/l aralığında seçilmiş ve çalışmalar, 1,5 m, 2,0

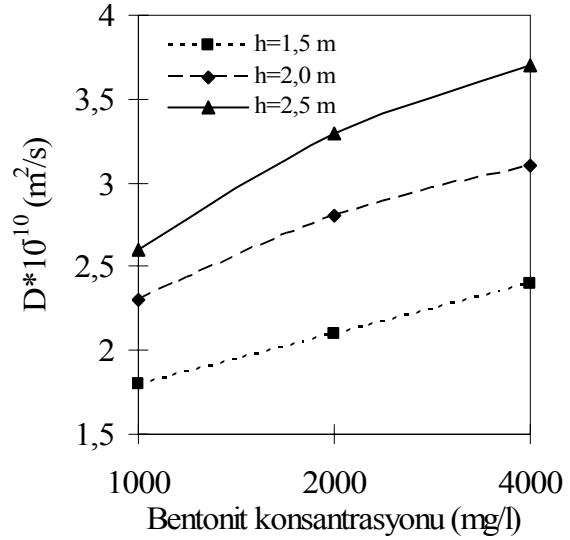
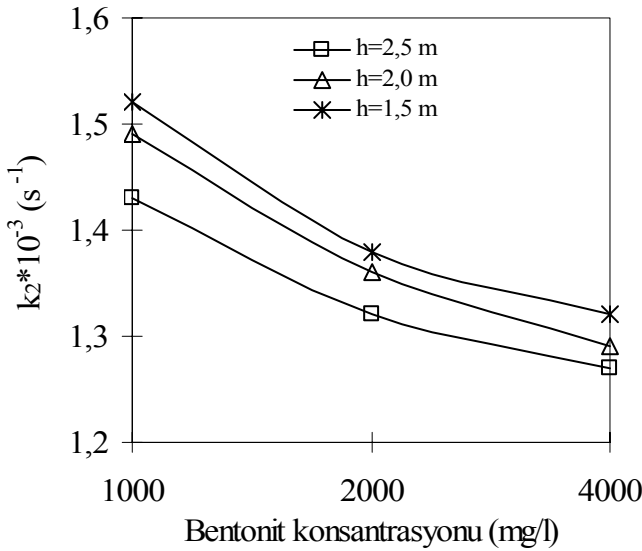
m ve 2,5 m hidrostatik su yüksekliklerinde tekrarlanmıştır. Test süresince hava debisi $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ değerinde sabit tutulmuştur. Farklı su yüksekliklerinde gerçekleştirilen deneylerdeki kabarcık çapları ve buna bağlı spesifik ara yüzey alanları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Farklı bentonit konsantrasyonları ve su yüksekliklerinde gaz transfer parametreleri ($T_{su}=17^{\circ}\text{C}$)

h (m)	Bentonit kons. (g/m ³)	TÇM (g/m ³)	$D_{ort.}$ (m) $\cdot 10^{-5}$	a (m ⁻¹)	k_2 (s ⁻¹) $\cdot 10^{-3}$	k_L (m/s) $\cdot 10^{-5}$	C_s (g/m ³)	D (m ² /s) $\cdot 10^{-9}$	ρ_c (kg/m ³ .s) $\cdot 10^{-5}$
1,5	1000	86	1,50	35,20	1,73	4,88	8,35	0,18	1,44
	2000	86	1,80	29,30	1,58	5,36	8,27	0,21	1,31
	4000	85	2,00	26,40	1,52	5,74	8,22	0,24	1,25
2,0	1000	84	1,50	34,90	1,70	4,87	8,37	0,23	1,42
	2000	85	1,80	29,10	1,55	5,33	8,32	0,28	1,29
	4000	85	2,00	26,20	1,48	5,65	8,26	0,31	1,22
2,5	1000	85	1,50	35,40	1,62	4,60	8,41	0,26	1,36
	2000	85	1,80	29,50	1,51	5,15	8,38	0,33	1,27
	4000	86	2,00	26,50	1,45	5,49	8,32	0,37	1,21

Şekil 3'de görüleceği üzere belli hidrostatik su yüksekliğinde bentonit konsantrasyonundaki artışla k_2 katsayısının ve C_s konsantrasyonunun

azaldığı görülmüştür. Buna karşılık ortalama kabarcık çapının artması sonucu spesifik ara yüzey alanı azaldığından buna bağlı olarak da k_L değeri artmıştır.

**Şekil 3.** Farklı bentonit konsantrasyonlarında k_2 ve D'nin değişimi ($T_{su}=17,0^{\circ}\text{C}$)

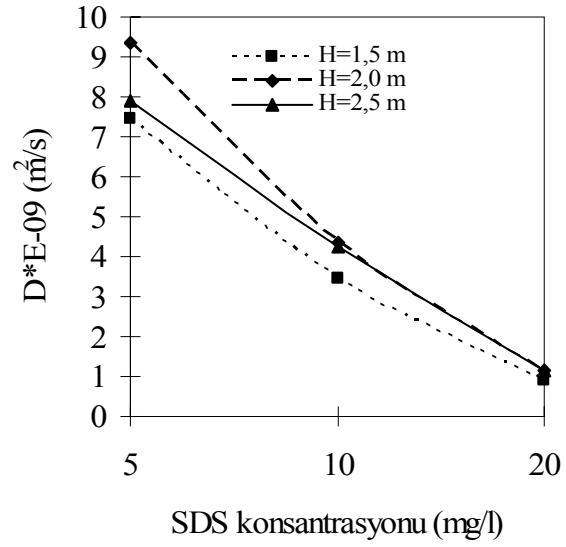
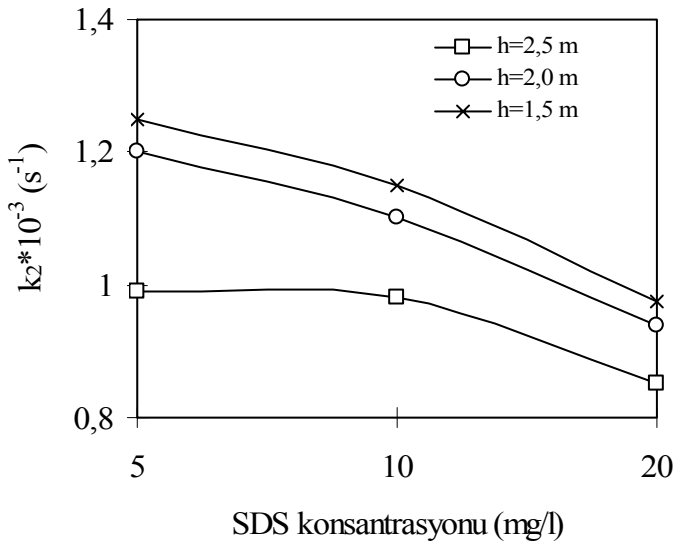
SDS yüzey aktif maddesi ile yapılan test çalışmaları

SDS yüzey aktif maddesi atıksu ve biyolojik havalandırma havuzları içerisinde önemli konsantrasyon değerlerinde bulunabilmekte ve oksijenlendirme kapasitesini etkileyebilmektedir. Test çalışmasında 5, 10

ve 20 mg/l SDS, havalandırma kolonu içerisine eklenmiş ve deneyler 1,5 m, 2,0 m ve 2,5 m hidrostatik yüksekliklerde tekrarlanmıştır. Deneyler boyunca hava debisi $3 \cdot 10^{-5}$ m³/s olarak uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerdeki kabarcık çapları ve buna bağlı spesifik ara yüzey alanları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı SDS konsantrasyonlarında ve su yüksekliklerinde gaz transfer parametreleri ($T_{su}=15,5^{\circ}\text{C}$)

h (m)	SDS (g/m^3)	TÇM (g/m^3)	d_{ort} (m) $\cdot 10^{-3}$	k_2 (s^{-1}) $\cdot 10^{-3}$	a (m^{-1})	k_L (m/s) $\cdot 10^{-5}$	C_s (g/m^3)	D (m^2/s) $\cdot 10^{-9}$	oc ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$) $\cdot 10^{-5}$
1,5	5	85	1,35	1,25	39,00	3,18	8,45	7,45	1,06
	10	85	1,00	1,15	52,70	2,17	8,38	3,47	0,96
	20	85	0,60	0,98	87,90	1,11	8,30	0,91	0,81
2,0	5	85	1,35	1,20	38,80	3,09	8,56	9,37	1,03
	10	85	1,00	1,10	52,30	2,10	8,49	4,33	0,93
	20	85	0,60	0,94	87,20	1,08	8,46	1,15	0,80
2,5	5	86	1,35	0,99	39,30	2,54	8,68	7,92	0,86
	10	84	1,00	0,98	53,10	1,86	8,62	4,24	0,84
	20	85	0,60	0,85	88,40	0,97	8,56	1,15	0,73



Şekil 4. Farklı SDS konsantrasyonlarında k_2 ve D'nin değişimi ($T_{su}=15,5^{\circ}\text{C}$)

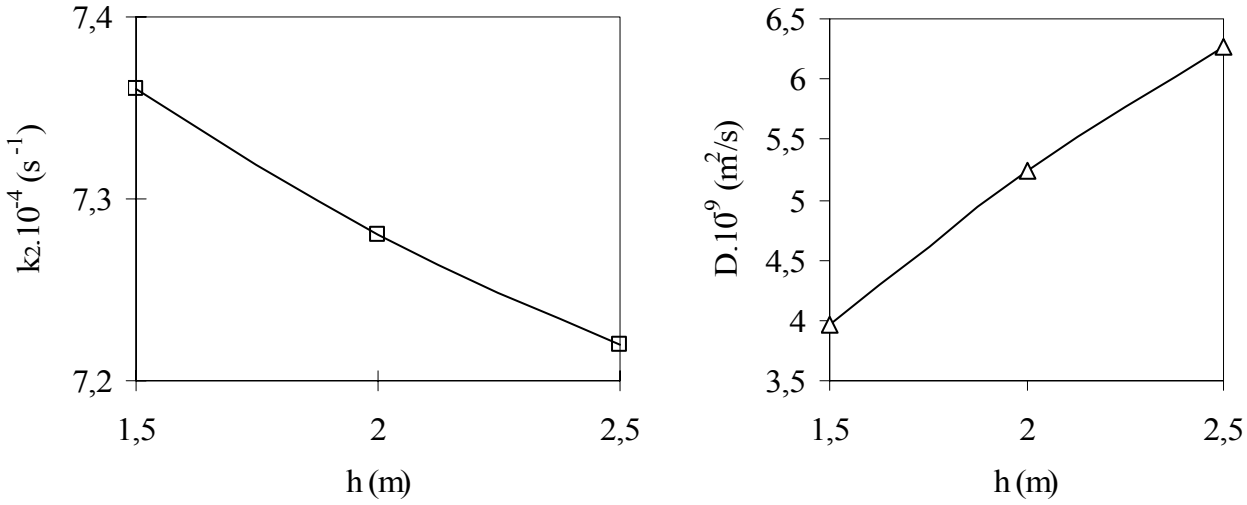
Şekil 4'de görüleceği üzere belli su kolonu yüksekliklerinde yüzey aktif madde konsantrasyonundaki artış ile k_2 katsayısı ve C_s konsantrasyonunun düştüğü gözlenmiştir. Buna karşılık ortalama kabarcık çapının azalması sonucu spesifik ara yüzey alanının artmasıyla k_L değeri azalmıştır. Azalan hidrostatik yüksekliklerde sabit yüzey aktif madde konsantrasyonunun etkisi göz önüne alındığında ise k_2 ve k_L katsayıları artarken C_s konsantrasyonu değerinin azaldığı görülmüştür

Ham atıksu ile yapılan test çalışmaları

Deneyler ayrıca evsel atıksu karakteristiğini taşıyan ve özellikleri Çizelge 5'de verilen ham atıksu kullanılarak 1,5 m , 2,0 m ve 2,5 m hidrostatik yüksekliklerde tekrar edilmiştir. Deneylerde $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ sabit hava debisi kullanılmıştır. Havalandırma kolonunda ortalama hava kabarcık çapı 1,50 mm olarak tespit edilmiştir. Şekil 5'de görüleceği üzere su kolonu yüksekliğindeki düşüşle ters orantılı olarak k_2 ve k_L değerleri artarken, D değeri azalmıştır; C_s konsantrasyonunda ise dikkate değer bir değişim gözlenmiştir.

pH	AKM (mg/l)	Anyonik yüzey aktif madde (mg/l)	TP (mg/l)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l)	KOİ (mg/l)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)
8,55	120	2,5	7,2	0,4	282	28	0,02

Çizelge 5. Atıksu karakteristikleri



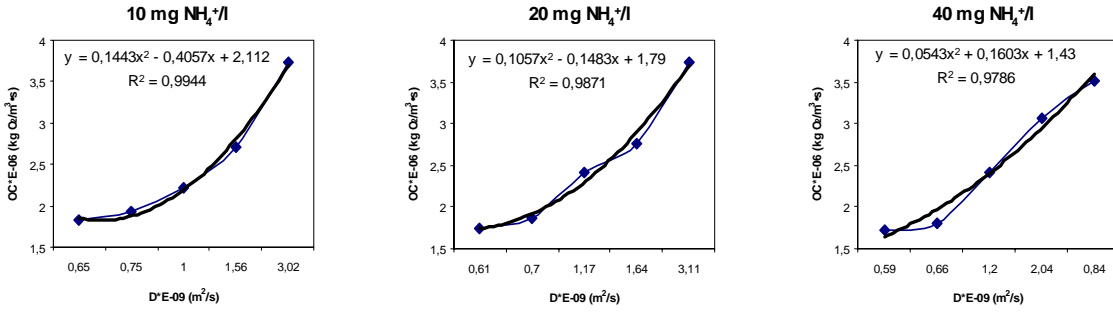
Şekil 5. Farklı hidrostatik yüksekliklerde k₂ ve D'nin değişimi

Sonuçlar

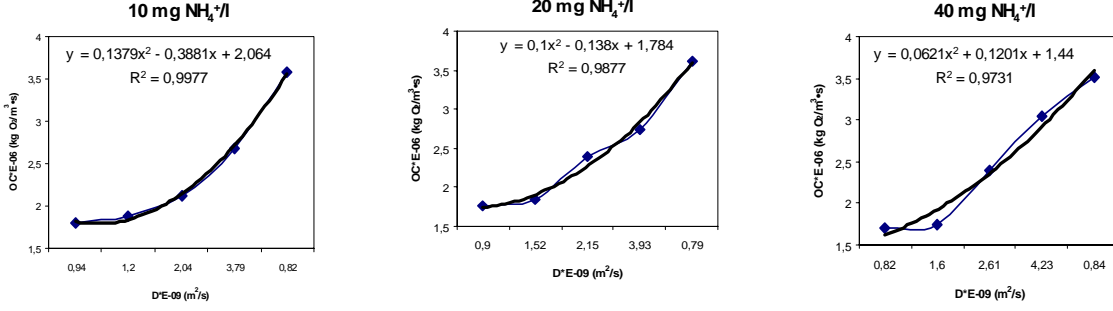
Sabit hidrostatik yüksekliklerde ve sabit amonyum konsantrasyonlarında ortamdaki pH'nın yükselmesi ile genel havalandırma katsayısı ve difüzyon katsayısının artış gösterdiği, denge konsantrasyonunun ise az da olsa azaldığı gözlenmiştir. Belli su kolonu yüksekliğinde ortama eklenen amonyum konsantrasyonundaki artış ile pH 7~8 aralığında genel havalandırma katsayısı azalırken, pH 9~11 aralığında genel havalandırma katsayısı artma eğilimi göstermiştir. Bu durum göz önüne alındığında yükselen alkalinite ve amonyumun amonyağa geçişinin gaz transfer katsayısını artırdığı gözlenmiştir. Bentonit ve yüzey anyonik madde konsantrasyonundaki artışla genel havalandırma katsayısı (k₂) ve doyum konsantrasyonu (C_s) değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bentonit askıda katı madde konsantrasyonundaki artış ile ortalama hava kabarcık çapının arttığı, spesifik ara yüzey alanının ise azaldığı gözlenmiştir. Havalandırma kolonunda bulunan bentonitin yumaklaşma eğilimi göstererek kolon boyunca yükselen hava kabarcıklarının çarpışarak büyümesine etki etmektedir. SDS yüzey aktif madde konsantrasyonundaki

artış ile ortalama hava kabarcık çapı azalırken, spesifik ara yüzey alanı artmıştır. Ortama eklenen bu anyonik yüzey aktif maddenin yüzey gerilimini azaltabileceği yaklaşımıyla ortalama kabarcık çapının azaldığı düşünülebilir. Evsel atıksuyu temsil edici bir kanalizasyon hattından alınan atıksu numunesi üzerinde yapılan testlerde su kolonu yüksekliğinin azalması ile genel havalandırma katsayısının arttığı; difüzyon katsayısı değerinin ise azaldığı gözlenmiştir. Farklı amonyum konsantrasyonlarında ve farklı hidrostatik yüksekliklerde oc ve D parametreleri arasındaki ilişki, Şekil 6'dan da görüleceği üzere matematiksel olarak ikinci derece kinetiğe uygunluk göstermektedir. SDS ve bentonit deneylerinden elde edilen oc ve D verilerinin değerlendirilmesi sonucu, iki katsayı arasındaki ilişkinin yine ikinci derece kinetiğe uygunluk gösterdiği gözlenmiştir. Bentonit kili ve SDS ile gerçekleştirilen deneylerde gözlenen oc ve D katsayıları arasındaki ilişki de ikinci derece kinetiğe uygunluk göstermektedir. İlgili grafikler sırasıyla Şekil.7 ve Şekil.8'de verilmiştir.

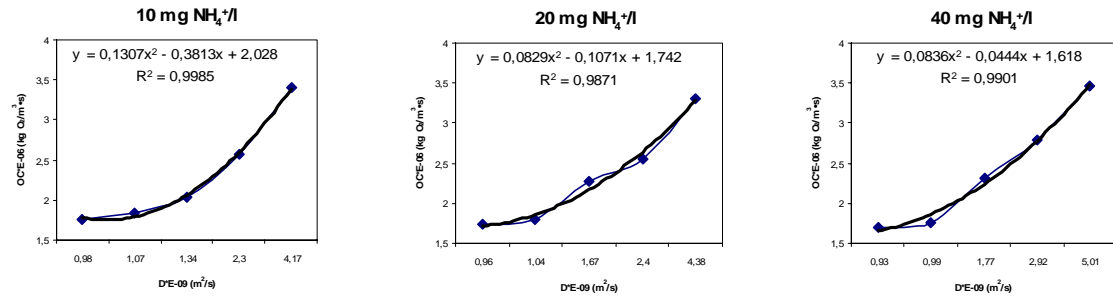
h=2,5 m



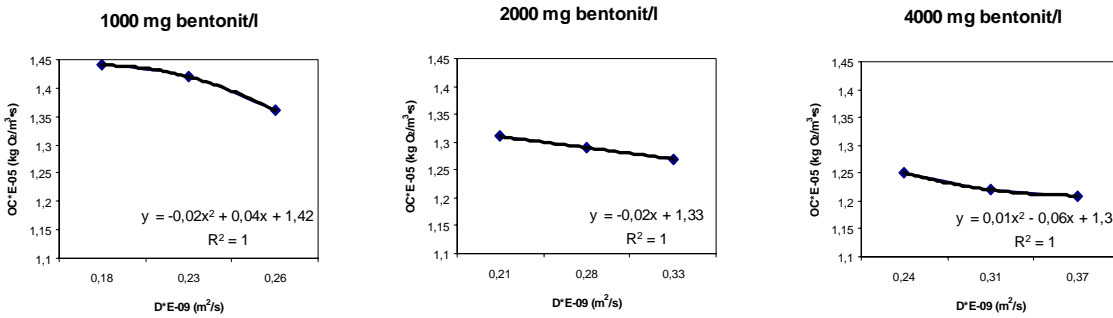
h=2,0 m



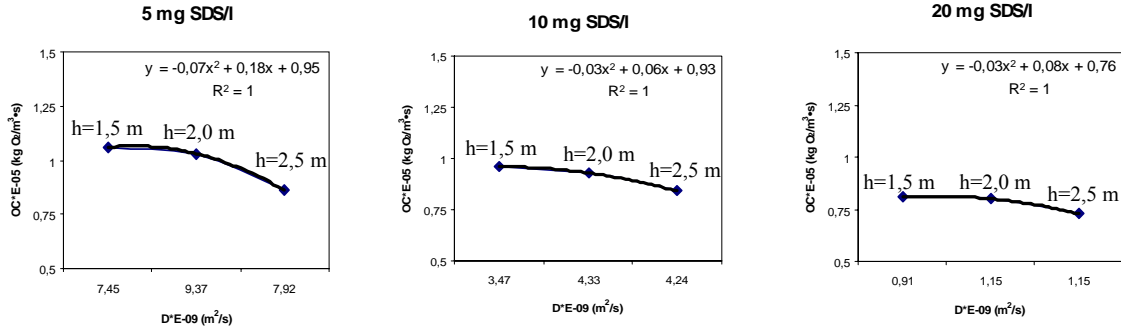
h=1,5 m



Şekil 6. Farklı hidrostatik yüksekliklerde ve farklı amonyak konsantrasyonlarında oc ve D parametreleri arasındaki ilişki



Şekil 7. Farklı hidrostatik yüksekliklerde ve farklı bentonit konsantrasyonlarında oc ve D parametreleri arasındaki ilişki



Şekil 8. Farklı hidrostatik yüksekliklerde ve farklı SDS konsantrasyonlarında oc ve D parametreleri arasındaki ilişki

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 596.

Referanslar

- [1] ASCE (American Society of Civil Engineers), 1993. Standard Measurements of Oxygen Transfer in Clean Water, ASCE Standart Second Edition, USA, 45p.
- [2] Eckenfelder, W.W., 1980., Principles of Water Quality Management. CBI Publishing
- [3] Huisman, L., 1981. Sedimentation and Flotation, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 166p.
- [4] Leu, H.G., Lin, S.H., Shyu, C.C. and Lin, C.M., 1998. Effects of surfactants and suspended solids on oxygen transfer under various operating conditions, Environ. Technol., 19, 299-306.
- [5] Pöpel, H.J., 1983. Aeration and Gas Transfer, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 168p.
- [6] Snoeyink, V. L. ve Jenkins, D., 1980. Water Chemistry. Wiley & Sons, New York, 463p.