

## KADMIYUM İÇEREN ATIK SULARIN İLERİ ARITIMINDA SU MERCİMEĞİ (*LEMNA MINOR*) BİTKİSİNİN KULLANILMASI\*

*The Use Of Duckweed (*Lemna minor*) For Tertiary Treatment Of Cadmium  
Containing Waste Water*

Rabia Okşan ARTAN  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Olcayto KESKİNKAN  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı *Lemna minor* bitkisinin ağır metal (kadmiyum) giderim kapasitesinin araştırılmasıdır. Deneysel çalışmalar iki farklı hacimdeki sistemlerde yürütülmüştür. 100 mL' lik ve 500 mL' lik her iki sistemde de kesikli olarak çalışılmıştır. Kadmiyum 5.0 ve 10.0 mg/L konsantrasyonlarında: 100 mL' lik kesikli reaktörlerde deney süresi sonunda yaklaşık % 96 giderim verimi elde edilmiştir, 500 mL' lik kesikli reaktörlerde ise yaklaşık %90 oranında giderim verimi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal giderimi, Doğal sulak alan, Su mercimeği, Sucul bitkiler.

### ABSTRACT

The aim of this study is to investigate heavy metal (cadmium) removal capacity of *Lemna minor*. Experimental works are carried out on systems as two different reactors. Semi-batch processes are performed in two systems have volume of 100 mL and 500 mL. In the cadmium concentration of 5.0 mg/L and 10 mg/L: approximately %96 of removal efficiency in semi-batch reactors as 100mL and approximately %90 of removal efficiency in semi-batch reactors as 500mL

**Keywords:** Removal of Heavy Metal, Natural Wetland, *Lemna minor*, Aquatic Plants

### Giriş

Ağır metaller ve tuzları çevresel kirleticilerin önemli bir grubunu oluşturmaktadır. Toprağa veya suya giren bazı zararlı maddeler, uzaklaştırılabildikleri veya biyolojik olarak parçalanabildikleri halde, ağır metaller uzaklaştırılamazlar. O nedenle, alıcı ortamlara girmiş bulunan ağır metaller, yüksek oranda birikmeleri nedeniyle, kimyasal ve biyolojik süreçleri olumsuz yönde etkilerler. Bir metalin toksisitesi, makromolekül, metabolit ve hücre organelleriyle birlikte biyolojik sistemlerdeki dinamik yaşam proseslerine zarar verme kapasitesine dayanır. En tehlikeli yönleri yem ve besin maddelerine, oradan da besin zinciri yoluyla canlılara geçmeleridir.

Yapılan araştırmalar Se, Fe, Mn, Co gibi elementlerin doğal olarak yer kabuğundan sulara karıştığını, Mg, K ve Co elementlerinin deniz

---

\*Yüksek Lisans Tezi-MSc. Thesis

suyunun doğal bileşenleri olup hava ortamına bu kaynaktan geçtiğini, buna karşılık Zn, Cu, Cd, Hg, Sb, As, Ar, Pb, Cr ve Se gibi kronik ve akut zehirliliği yüksek elementlerin atmosfere insan faaliyetleri sonucu karıştıktan sonra denize ve yerkabuğuna karıştığını ortaya koymaktadır (Samsunlu, 1999).

Su mercimekleri, küçük yüzen su bitkileridir ve dünyanın pek çok yerinde yetişirler. Bu bitkiler, botanikte *Lemnaceae* familyasına bağlıdırlar ve makrofitler sınıfına girerler. Bu familyanın dört cinsi (genus'u) vardır. Bunlar: *Lemna*, *Spidorela*, *Wolffia* ve *Wolffiella*'dır. Su mercimeği bitkisinin gövdesinde yaprak, sap veya başka özel bir yapı yoktur. Sadece yüzmeye yakın bir gövde vardır (Şekil 1.10) . Sadece yüzmeye uygun bir gövde vardır. Laboratuvar çalışmalarında 27 C° sıcaklıkta, su mercimeklerinin her dört günde bir iki misline çıktıkları saptanmıştır. Kuru ağırlıkları 252 kg/ha'dır (Arceivala, 2002). Su mercimekleri hareketsiz veya yavaş akımlı, nispeten kirli, tuzlu sular ve ötrofik sularda büyürler (Oron ve ark., 1986). Tipik pH aralığın 4,5-7,5 tir. Su mercimeğinin büyümesi, pH 10'un üzerine çıktığında tamamen durur (Zirschky ve Reed, 1988). Su mercimekleri 5-7 C° ye kadar olan düşük su sıcaklıklarında (Buddhavarapu ve Hancock, 1991, Oron ve ark., 1986) ve 1-3 C° ye kadar düşük atmosfer sıcaklıklarında ( Brix, 1993; O'Brien, 1981) büyüebilirler.

Birçok ülkede halen arıtma tesisi çıkış suyu kaliteleri tatmin edici düzeyde değildir. Bunun en önemli nedenlerinden birisi maliyetin düşük tutulması çabalarıdır. Geleneksel arıtma tesisleri belirli bir arıtım kapasitesine sahiptir ve arıtmadan sonra çıkış suları hala kirletici içeriyor olabilir. Bu yüzden ilave olarak ileri arıtım üniteleri kurmak gerekir. Bu ünitelerin yatırım ve işletim masraflarının yüksek olmasından dolayı ikincil arıtım çıkış suyu ileri arıtmaya tabi tutulmadan alıcı ortamlara verilmektedir. Sonuç olarak, büyük miktarda organik madde, nutrient, ağır metal gibi giderilemeyen yükler alıcı sucul ortama girmekte ve kirlilik kontrol edilememektedir. İleri arıtmada su mercimeği kullanılması halinde enerji ve tesis ünitelerinden tasarruf sağlanacağından yatırım ve işletim maliyetleri düşük olacaktır.

Bu çalışmada, deneysel çalışmalar, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. *Lemna minor* bitkisi ticari ürün olarak bulunmaktadır. Piyasadan temin edilen *Lemna minor* bitkisi, kampüsün evsel atıksularının deşarj edildiği sızdırmalı fosseptikten alınan sularla hem laboratuvar ortamında hem de doğal arazi şartlarında büyütülmeye çalışılmıştır. *Lemna minor* bitkisinin arazi şartlarında laboratuvar ortamından daha iyi geliştiği belirlenmiştir. Bu çalışmada doğal arazi şartlarında üretilen su mercimeklerinin laboratuvar ortamında ağır metal giderim verimlilikleri araştırılmıştır.

## **Materyal ve Metot**

### **Materyal**

Deneysel çalışmalar iki farklı hacimdeki sistemlerde yürütülmüştür. Her iki sistemde kesikli olarak çalışılmıştır. İlk sistemde 100 mL'lik reaktörler kullanılmıştır. Bu reaktörler tek kullanımlık olarak tasarlanmıştır. Farklı zaman aralıkları için ayrı

reaktörler hazırlanmış ve numuneler tek seferde alınmıştır. Kontrol grubundaki reaktörler bitkili ve bitkisiz olarak hazırlanmıştır. Diğer sistemde ise 500 mL'lik reaktörler kullanılmıştır. Numuneler farklı zaman aralıklarında aynı reaktörden alınmıştır. Her bir deney seti ile ilgili çalışma bir hafta sürmüştür. Numuneler sabah ve öğleden sonra olmak üzere günde iki kere alınmıştır. Buharlaşma nedeniyle su kaybını önlemek için reaktörlere aynı miktarda saf su eklenmiştir. Alınan numunelerde ağır metal ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda deney sonunda da bitkide ağır metal ölçümü yapılmıştır.

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsüne ait fosseptik sahasında yetiştirilen *Lemna minor* (su mercimekleri) Çevre Mühendisliği laboratuvarına taşınmıştır. Bitkiler 5 L'lik akvaryumlarda bekletilerek iki gün süre ile laboratuvar şartlarında adaptasyonu sağlanmıştır. Laboratuvar da sentetik olarak hazırlanan ağır metal içeren atıksularında Kadmiyum klorür ( $CdCl_2$ ) kimyasalı kullanılmıştır.

Bu kimyasallardan ana stok çözeltiler hazırlanmış ve deneysel çalışmalarda gerekli seyreltmeler yapılarak kullanılmıştır. *Lemna minor* ile ağır metal giderimi için, kadmiyumun (5.0 ve 10.0 mg/L) konsantrasyonları kullanılmıştır.

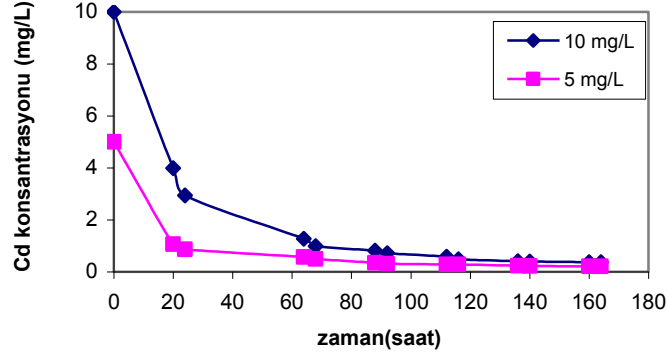
#### **Metot**

Bu çalışmadaki atıksu ve bitki ile ilgili analizler Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında standart yöntemlere göre (Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water, 1998) göre yapılmıştır. Bitki ile ilgili element analizlerindeki ön işlemler yine standart yöntemlere göre (The Analysis of Agricultural Materials, 1981) yapıldıktan sonra Atomik Absorbsiyon Cihazında (AAS "Perkin Elmer, 1100") okunmuştur.

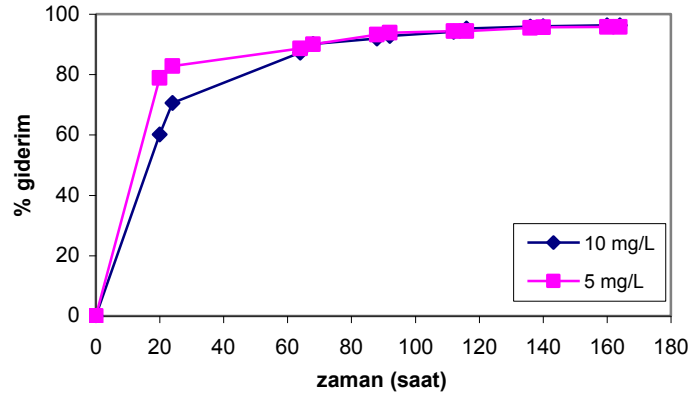
#### **Araştırma Bulguları**

Düzenekte 100 mg/L' lik kesikli her bir reaktör için ıslak ağırlığı 2 gr *Lemna minor* bitkisi kullanılmıştır. Daha önce hazırlanan 1000 mg/L' lik ana stok Cd çözeltilerinden 5.0, 10.0 mg/L konsantrasyonlarında kadmiyum çözeltileri hazırlanmıştır. Musluk suları fazla klor içerdiğinden ve bu klorda ağır metallerle tepkimeye girerek deney sonuçlarını yanıltabileceği için çalışmalarda saf su kullanılmıştır. Deney yedi gün boyunca devam etmiştir. Günde toplam 6 reaktörden numune alınmıştır. Numuneler sentetik olarak hazırlanmış atık sudan günde iki kere alınmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler 100 mL'lik reaktörlerde her bir numune için bir adet reaktör olacak şekilde konulmuştur. Her birinin üzerine 2 gr *Lemna minor* eklenmiştir. Numuneyi alırken seyrelmeyi engellemek için her numune için bir reaktör hazırlanmış, numuneler numune alma zamanlarında tek tek alınmıştır.

100 mL' lik kesikli reaktörlerde başlangıçta 5.0 ve 10.0 mg/L konsantrasyonundaki kadmiyumun *Lemna minor* ile gideriminin zamana karşı sudaki konsantrasyonları ölçülmüş ve azalan konsantrasyon ve % giderim verimleri grafiklerde verilmiştir (Şekil 1 ve Şekil 2).

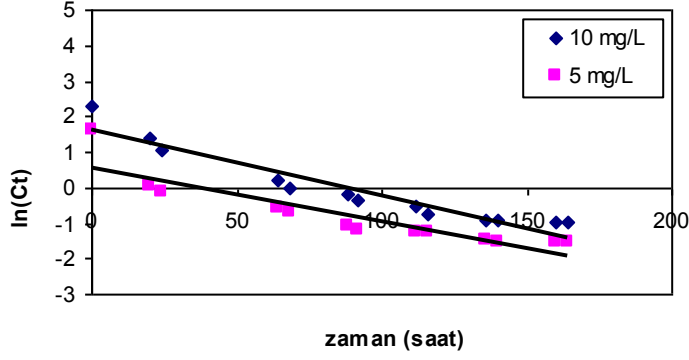


**Şekil 1.** 100 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörler için 5.0 ve10.0 mg/L olan kadmiyumun zamana bağlı değişimi.

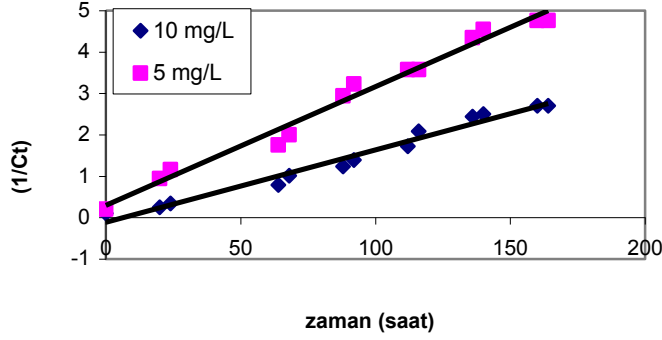


**Şekil 2.** 100 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörler için 5.0 ve10.0 mg/L olan kadmiyumun zamana bağlı giderim yüzdesi.

1. ve 2. dereceden reaksiyon grafiklerini çıkarmak için  $\ln(C_t)$  ile  $t$  ve  $(1/C_t)$  ile  $t$ 'ye karşı grafikler çizilmiş (Şekil 3 ve Şekil 4) ve her iki reaksiyon içinde hız sabitleri hesaplanmıştır (Çizelge 1) (Espenson, 1995).



**Şekil 3.** 100 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörlerde birinci dereceden reaksiyon için zamana karşı ln(Ct) grafiği



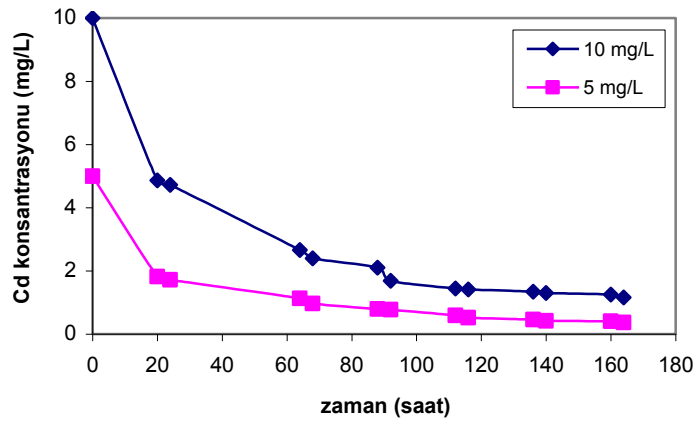
**Şekil 4.** 100 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörlerde ikinci dereceden bir reaksiyon için zamana karşı (1/Ct) grafiği.

**Çizelge 1.** 100 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörlerde reaksiyon hız sabitleri (5.0 ve 10.0 mg/L kadmiyum için)

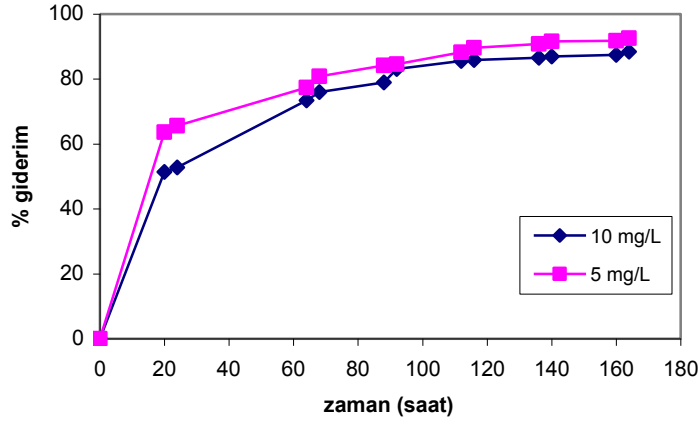
Başlangıç Konsantrasyonu	1 derece		2 derece	
	$k_1$ (sa <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$k_2$ (L/mg sa)	R <sup>2</sup>
5.0 mg/L	0.015	0.81	0.028	0.98
10.0 mg/L	0.018	0.91	0.017	0.97

100 mL'lik reaktörde kadmiyum giderim hızı ilk gün çok hızlı olarak gerçekleşmiştir. Deney süresi sonuna kadar yaklaşık % 96 giderim verimi elde edilmiştir. Yapılan kinetik hesaplarda regresyon katsayıları incelendiğinde deney sonuçlarının daha çok ikinci derece kinetiğe uyduğu görülmüştür.

500 mL' lik kesikli reaktörlerde başlangıçta 5.0 ve 10.0 mg/L konsantrasyonundaki kadmiyumun *Lemna minor* ile gideriminin zamana karşı sudaki konsantrasyonları ölçülmüş ve azalan konsantrasyon ve % giderim verimleri grafiklerde verilmiştir ( Şekil 5 ve Şekil 6).

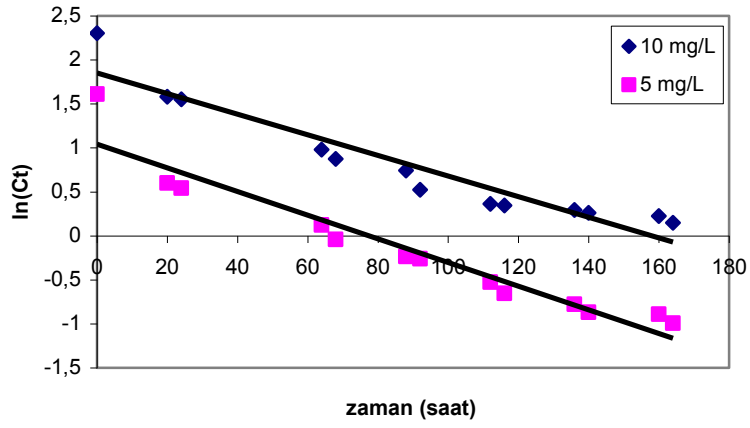


Şekil 5. 500 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörler için 5.0 ve 10.0 mg/L olan kadmiyumun zamana bağlı değişimi.

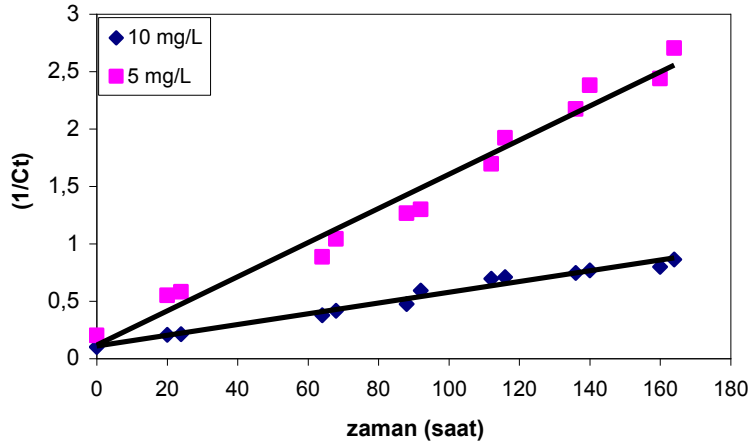


**Şekil 6.** 500 mL'lik reaktörler için 5.0 ve 10.0 mg/L olan kadmiyumun *Lemna minor* de zamana bağlı giderimi.

1. ve 2. dereceden reaksiyon grafiklerini çıkarmak için  $\ln(C_t)$  ile  $t$  ve  $(1/C_t)$  ile  $t$ 'ye karşı grafikler çizilmiş (Şekil 7 ve Şekil 8) ve her iki reaksiyon içinde hız sabitleri hesaplanmıştır.



**Şekil 6.** 500 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörlerde birinci dereceden reaksiyon için zamana karşı  $\ln(C_t)$  grafiği



**Şekil 7.** 500 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörlerde birinci dereceden reaksiyon için zamana karşı  $(1/C_t)$  grafiği

1. ve 2. dereceden reaksiyon içinde hız sabitleri ve korelasyon katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 2 de verilmiştir.

**Çizelge 2.** 500 mL'lik *Lemna minor* lü reaktörlerde reaksiyon hız sabitleri (5.0 ve 10.0 mg/L kadmiyum için)

Başlangıç Konsantrasyonu	1 derece		2 derece	
	$k_1$ (sa <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$k_2$ (L/mg sa)	R <sup>2</sup>
5.0 mg/L	0.013	0.92	0.014	0.97
10.0 mg/L	0.011	0.90	0.004	0.97

500 mL'lik reaktörde kadmiyum giderim hızı ilk gün yaklaşık % 50 olarak gerçekleşmiş giderim verimi zaman içinde artarak deney süresi sonuna kadar yaklaşık % 90 giderim verimi elde edilmiştir. Yapılan kinetik hesaplarda regresyon katsayıları incelendiğinde deney sonuçlarının daha çok ikinci derece kinetiğe uyduğu görülmüştür.

### Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada *Lemna minor* bitkisinin, laboratuvar ortamında ağır metal giderim verimlilikleri araştırılmıştır. Yapılan bu araştırmanın sonucunda *Lemna minor* bitkisinin azot ve fosfor arıtımında kullanıldığı gibi ağır metal gideriminde de kullanılabileceği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalar da *Lemna minor* bitkisinin ağır metali hangi organellerinde tuttuğu ve değişik metaller için de giderim verimi üzerine çalışmalar yapılabilir. Yapılacak olan bu çalışmalar bitkinin kadmiyum absorblama kapasitesinin belirlenmesinde çok faydalı olacaktır.

### Kaynaklar

- ARCEIVALA,S.J. 2002. Su Bitkileri, Yapay Sulak Alanlar ve Vermikültür (A.BALMAN editör) Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, 1.baskı, Atılım Ofset, Ankara,s313-325
- BRIX, H. 1993, Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes and treatment performance. In: Constructed wetland for water quality improvement, Florida, USA. 9-22.
- BUDDHAVARAPU, L:R. and HANCOCK, S.J. 1991. Advanced treatment for lagoons using duckweed. Wat. Environ. Tech., 3(3): 41-44.
- ESPENSON,J.H. 1995. Chemical Kinetics and Reaction Mechanisms,2nd ed. [New York : McGraw-Hill](#),s.281



- O'BRIEN, W.J., 1981. Use of aquatic macrophytes for wastewater treatment, J.Env.Eng. Div., ASCE, 107 (4): 681-698.
- ORON, G., PORATH, D., WILDSCHUT,L.R. 1986. Wastewater treatment and renovation by different duckweed species. J.Env.Eng. Div., ASCE, 112 (2): 247-263.
- SAMSUNLU, A. 1999. Çevre Mühendisliği Kimyası. Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul, 394s
- Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater,1998. 20<sup>th</sup> Ed. APHA. AWWA.WEF.
- ZIRSCHKY, J. and REED, S.C., 1988. The use of duckweed for wastewater treatment. J.WPCF, 60(7): 1253-1259.

### **Teşekkür**

Bu çalışmanın deneysel aşamasında, deney düzeneğinin kurulmasından kimyasal analizlerin yapılması ve makale yazılmasına kadar her türlü yardımlarından dolayı Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği öğretim üyelerinden Doç.Dr. Nihal BEKTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.