

Kurtboğazı Baraj Gölünün Mavi-Yeşil Alg (*Cyanobacteria*) Biyomasının Tahminine Yönelik Modeller

Nilsun DEMİR¹Serap PULATSÜ¹Handan ÇAMDEVİREN²

Geliş Tarihi : 15.09.1999

Özet: Bu çalışmada, Kurtboğazı baraj gölünün yaz aylarındaki mavi-yeşil alg biyomasının tahminine yönelik iki çoklu regresyon modeli oluşturulmuştur. Alg biyoması, toplam mavi-yeşil alg biyoması, oransal mavi-yeşil alg biyoması ve mavi-yeşil alg indeksi olarak hesaplanmıştır. Modellerde, toplam fosfor, toplam inorganik azot ve Secchi derinliği bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Toplam mavi-yeşil alg biyoması ve mavi-yeşil alg indeksi modellerine ait isabet dereceleri (R^2) sırasıyla %92 ve %74 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mavi-yeşil alg, biyomas, baraj gölü, model

Models for the Prediction of Blue-Green Algal (*Cyanobacteria*) Biomass of Kurtboğazı Reservoir

Abstract: In this study, two multiple regression models were determined for the prediction of blue-green algal biomass in summer months of Kurtboğazı reservoir. Algal biomass was calculated as total blue-green algal biomass, relative blue-green algal biomass and blue-green algae index. Total phosphorus, total inorganic nitrogen and Secchi depth were used as independent variables in models. The determination coefficients (R^2) of models were found as 92% and 74% for total blue-green algal biomass and blue-green algae index, respectively.

Key Words: Blue-green algae, biomass, reservoir, model

Giriş

Mavi-yeşil alglerin aşırı gelişimi ötrofikasyonun bir göstergesi olup tüm dünyada karşılaşılan önemli bir su kalitesi sorunu olarak tanımlanmaktadır. Özellikle su temini açısından problem oluşturan bu alglerin gelişimini teşvik eden koşulların belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Ötrofik ve hiperötrofik göllerde mavi-yeşil alg patlamalarına ilişkin olarak çeşitli hipotezler ileri sürülmüştür. Bunlar;

- 1) Su sıcaklığında artış (McQueen ve Lean 1987, Zhang ve Prepas 1996),
- 2) Besin maddelerince zenginleşme (Trimbee ve Prepas 1987),
- 3) Düşük azot/fosfor oranı (Smith 1986, McQueen ve Lean 1987),
- 4) Işık miktarında azalma (Smith 1986),
- 5) Yüksek pH ve/veya düşük karbondioksit derişimi (Varis 1993),
- 6) Süzerek beslenen zooplanktonların bir çok mavi-yeşil algi etkin olarak sindirememesi (Varis 1993),
- 7) Mavi-yeşil alg tarafından salgılanan bazı organik bileşiklerin diğer alglerin gelişimini engellemesi (Kenefick ve ark. 1992),

şeklinde özetlenebilir.

Mavi-yeşil alg patlamaları su arıtımı açısından da önem taşımaktadır. Alg patlaması su arıtımını güçleştirmekte ve suda istenmeyen bir tad ve koku oluşumuna neden olmaktadır. Suda arıtılmayan algler

klorlama sonucu trihalometan oluşturur ve bazı kanserojen ürünler açığa çıkar (Kotak ve ark. 1993, Vezie ve ark. 1997). Mavi-yeşil alg toksinleri bulunan suların tüketilmesi, gastrointestinal bozukluklara, hemorrajilere, tümörlere ve hatta ölüme yol açmaktadır (Pellander ve ark. 1996).

Göllerde mavi-yeşil alglerin dominant oluşuna neden olan ekolojik faktörlerin belirlenmesiyle, bunların gelişimini en aza indirecek rasyonel su yönetim stratejileri geliştirilebilir (Smith 1986). Mavi-yeşil alg patlamalarının kontrolüne yönelik bir çok yöntem bulunmaktadır.

Kurtboğazı baraj gölünün fitoplanktonu; 1976-1977 yıllarında Aykulu ve Obalı (1981) tarafından incelenmiş ve fitoplanktonun Chlorococcales, Centrales, Volvocales ve Cryptophyceae'den oluşan bir ötrofik tip olduğu, Cyanobacteria türlerinden sadece *Anabaena*, *Chroococcus* ve *Microcystis incerta*'nın bulunduğu ve bunlarında sayıca az oldukları belirtilmiştir. Bakan (1997), baraj gölünde mavi-yeşil alglerden; *Chroococcus limneticus* Lemm., *Gomphosphaeria aponina* Kütz., *G. lacustris* Chad., *Merismopedia tenuissima* Lemm., *Microcystis aeruginosa* Kütz., *M. incerta* Lemm., *Anabaena flos-aque* (Lygnb.) Breb., *A. solitaria* Klebahn, *Aphanizomenon flos-aque* (L.) Ralfs, *Pseudoanabaena* sp. teşhis etmiştir. Ağustos 1995'te mavi-yeşil alglerden *Anabaena* spp. ve *Gomphosphaeria* spp. artmaya başlamış, Eylül ayında *Gomphosphaeria lacustris*'in artışıyla fitoplankton sayısı en yüksek değerine ulaşmış ve mavi-yeşil algler sayıca toplam fitoplanktonun %64'ünü oluşturmuştur.

¹ Ankara Üniv. Ziraat Fak. Su Ürünleri Bölümü-Ankara

² Ankara Üniv. Ziraat Fak. Zootehni Bölümü-Ankara

Çizelge 1. Mavi-yeşil alg biyomasi (1-3 nolu eşitlikler ; Trimbee and Prepas 1987) ve mavi-yeşil alg indeksinin tahmini için geliştirilen modeller (4-5 nolu eşitlikler; Smith 1986, 6-9 nolu eşitlikler; Trimbee and Prepas 1987)

Modeller=	R ²
1) log MYB* (mg/l) = -6,46+2,22 logTA	0,43
2) log MYB (mg/l) = 2,76-1,76 log (TA / TF)	0,54
3) log MYB (mg/l) = -1,92+1,34 logTF	0,67
4) MY indeksi = 2,358-1,297 logTA+0,692 logTF-2,058 log SD+0,538 log Zm	0,52
5) MY indeksi = 1,096-1,604 log(TA / TF)-1,119 log(SD / Zm)	0,42
6) MY indeksi = 0,1-3,37 log SD	0,64
7) MY indeksi = -5+2,62 log TF	0,63
8) MY indeksi = -9,53+3 log TA	0,43
9) MY indeksi = 5,21-4,54 log (TA / TF)	0,44

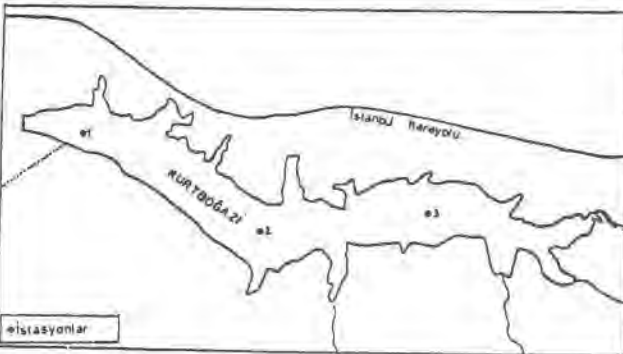
*MYB; mavi-yeşil alg biyomasi, TA; toplam azot (µg/l), TF; toplam fosfor(µg/l), SD; Secchi derinliği (m), Zm; karışan tabakanın derinliği (m)

Çok değişkenli istatistikler kompleks bir veri grubunu özetleyebilir ve daha kolay yorumlanabilir bir formda sunarlar. Bu nedenle son yıllarda akvatik bilimlerde çok değişkenli modellerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Earle ve ark. 1987, Trimbee ve Prepas 1987, Pulatsü ve ark. 1997, Demir ve ark. 1999). Mavi-yeşil alg biyomasının tahminine ilişkin bazı modeller Çizelge 1'de sunulmuştur.

Bu çalışmanın amacı, Ankara'ya içme suyu temin eden ve zaman zaman mavi-yeşil alg patlaması sorununun yaşandığı Kurtboğazi baraj gölünde; toplam fosfor, toplam inorganik azot ve Secchi derinliği değerlerinin kullanımıyla mavi-yeşil alg biyomasını tahmin etmeye yönelik çok değişkenli modeller oluşturmaktır.

Materyal ve Yöntem

Kurtboğazi baraj gölü, Ankara-Istanbul karayolu üzerinde ve Ankara'ya 56 km mesafededir. Baraj gölü 1967 yılında sulama ve içme suyu temini amacıyla işletmeye açılmıştır ve 1984 yılından beri Ankara şehrine su sağlamaktadır. Kurtboğazi baraj gölünün suları İvedik su arıtım tesisinde arıtılmaktadır. 1992 yılında İncegez tünelinin bağlanmasıyla Eğrekaya baraj gölünün suları da Kurtboğazi baraj gölüne verilmeye başlanmıştır (Anonim 1996).



Şekil 1. Kurtboğazi baraj gölünde örnek alınan istasyonlar

Baraj gölünden su örnekleri 1995 yılında üç istasyonda yüzeyden Ruttner su örnek alıcı ile alınmıştır. 1. İstasyon barajdan 100 m uzaklıkta ve baraj gölünün en derin yerinde, 2. İstasyon barajın orta kısmında, 3. İstasyon ise kuzey kısmında seçilmiştir.

Fitoplankton inverted mikroskop kullanılarak sayım hücrelerinde sayılmıştır (Lund ve ark. 1958). Mavi-yeşil alg türleri Geitler (1925), Huber-Pestalozzi (1938), Starmach (1966) ve Prescott (1973)'e göre teşhis edilmiştir. Mavi-yeşil alg biyomasının yüksek olduğu Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında elde edilen sonuçlar modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Ancak toplam fitoplankton biyomasi Ekim ayından itibaren azaldığından Ekim ve Kasım aylarına ilişkin mavi-yeşil alg biyomasi değerleri modellerde kullanılmamıştır. Mavi-yeşil alg biyomasi (MYB), hücre sayımları ve geometrik boyut ölçümlerinden hesaplanmıştır (Rott 1981). Hücre hacmi 1 mm³/m³ alg biyomasının 1 mg yaş ağırlık/m³'e eşdeğer olduğu varsayılarak biyomasa dönüştürülmüştür. Oransal mavi-yeşil alg biyomasi, mavi-yeşil alglerin toplam alg biyomasındaki yüzdesinin hesaplanmasıyla bulunmuş, dağılımın normale dönüştürülmesi ve varyansın stabilize edilmesi için aşağıdaki eşitlik yardımıyla doğal logaritmik transformasyon yapılmıştır (Trimbee ve Prepas 1987):

$$MY \text{ indeksi} = \ln (\%MY / (100 - \%MY))$$

Secchi derinliği, Secchi diski kullanılarak ölçülmüştür (Anonim 1987). Toplam fosfor, nitrit azotu, nitrat azotu ve amonyum azotu derişimleri APHA (1975)'e göre tayin edilmiş, toplam inorganik azot bu üç fraksiyonun toplanmasıyla hesaplanmıştır (Fraser ve Trew 1990).

Modellerin oluşturulmasında STATISTICA istatistik paket programından yararlanılmıştır. Eşitlikler iterasyondan yararlanılarak geliştirilmiş ve en uygun eşitliğin belirlenmesinde kayıp (loss) fonksiyonu dikkate alınmıştır. Bu fonksiyon (gözlenen-beklenen)² den yararlanılarak hesaplanmış ve fonksiyonun minimum değerini alan eşitlikler kullanılmıştır. Katsayıların tahmininde ise Rosenbrock ve Quasi-Newton algoritmasından yararlanılmıştır (Draper ve Smith 1980).

Çizelge 2. Toplam mavi-yeşil alg biyoması, oransal mavi-yeşil alg biyoması, mavi-yeşil alg indeksi, toplam fosfor, toplam inorganik azot ve Secchi derinliğinin aylara bağlı değişimi (Ortalama±Standart hata).

Değişken*	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
MYB* (mg/l)	0,10±0,08	0,42±0,03	2,31±0,26	5,42±0,26	0,87±0,21	0,52±0,02
MY (%)	2,45±1,35	1,92±0,31	14,77±0,17	44,87±2,35	16,07±2,28	15,40±3,40
MY indeksi	-4,03±0,36	-3,96±0,15	-1,75±0,01	-0,21±0,09	-1,67±0,16	-1,76±0,29
TF (µg/l)	0,06±0,01	0,03±0,01	0,04±0,01	0,06±0,01	0,03±0,001	0,02±0,001
TIA (µg/l)	0,35±0,05	0,12±0,01	0,07±0,01	0,29±0,08	0,09±0,02	0,18±0,03
SD (m)	2,17±0,07	1,87±0,04	2,40±0,06	1,67±0,02	1,90±0,03	1,15±0,03

* MYB; toplam mavi-yeşil alg biyoması, MY; oransal mavi-yeşil alg biyoması, MY indeksi; mavi-yeşil alg indeksi, TF; toplam fosfor, TIA; toplam inorganik azot, SD; secchi derinliği

Bulgular ve Tartışma

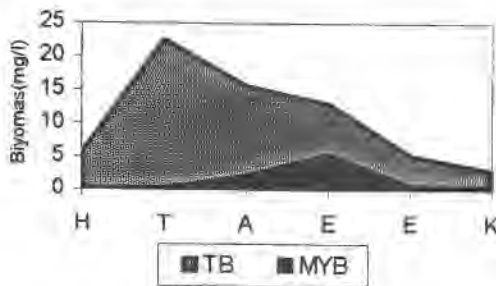
Kurtboğazi baraj gölünde; mavi-yeşil alg biyoması, mavi-yeşil indeksi ve oransal mavi-yeşil alg biyomasına ait bulgular ile biyomasın tahmininde kullanılan toplam fosfor, toplam inorganik azot, Secchi derinliğine ait değerlerin aylara göre değişimi Çizelge 2' de verilmiştir.

Kurtboğazi baraj gölünde, Haziran-Kasım aylarında toplam fitoplankton biyoması 2,9 ile 22,6 mg/l arasında değişmiştir. Mavi-yeşil alg biyoması ise Ağustos ayında artmaya başlamış, Eylül ayında en yüksek değerine ulaşmıştır (Şekil 2). Mavi-yeşil alglerin sayıca en yüksek değerine Eylül ayında ulaştığı ve toplam fitoplanktonun % 64'ünü oluşturduğu bildirilmiştir (Bakan 1997). Aykulu ve Obalı (1981), 1976-1977' de mavi-yeşil alg sayısının az olduğunu bildirmelerine rağmen, mavi-yeşil alg sayı ve biyomasındaki bu artış, aradan geçen zaman zarfında baraj gölünün ötrofikleşmesi şeklinde yorumlanabilir.

Kurtboğazi baraj gölünde toplam mavi-yeşil alg biyomasının tahminine yönelik 1 nolu eşitlik oluşturulmuştur:

$$1) MYB(mg/l)=a+b(\ln TF)+c(\ln TIA)+(1/d)(\ln SD)^e \quad R^2=\%91,82$$

Eşitlikte yer alan katsayılarla ilişkin tanıtıcı istatistikler Çizelge 3'de sunulmuştur. a ve b katsayılarının tek başına modele etkisi önemli görünmemekle birlikte modelde yer almaları durumunda modelin tahminlerdeki isabet derecesini yükseltmişlerdir.



Şekil 2. Kurtboğazi baraj gölünde toplam fitoplankton biyoması (TB) ve mavi-yeşil alg biyomasının (MYS) aylara göre değişimi

Trimbee ve Prepas (1987), Alberta göllerinde toplam mavi-yeşil alg biyomasını; toplam fosfor, toplam azot ve TA:TF değerlerini kullanarak tahmin modelleri geliştirmişler ve toplam mavi-yeşil alg biyomasının tahmininde, toplam fosforun, toplam azot veya toplam azot/toplam fosfor oranından daha iyi bir değişken olduğunu ($R^2=\%67,0$) tespit etmişlerdir. McQueen ve Lean (1987), TIA değerlerini kullanarak toplam mavi-yeşil alg biyomasını tahmin etmişler ve isabet derecesini (R^2) %37 olarak belirlemişlerdir. Çalışmamızda ise toplam mavi-yeşil alg biyomasının tahmininde toplam fosfor, toplam inorganik azot ve Secchi diski değerlerinin kullanımıyla oldukça yüksek bir isabet derecesi ($R^2=\% 91,82$) bulunmuştur.

Kurtboğazi baraj gölünde mavi-yeşil alg indeksinin tahminine yönelik 2 nolu eşitlik oluşturulmuştur:

$$2) MYI=a+b(\ln TF)+c(\ln TIA)+(\ln(1/d SD))^e \quad R^2=\% 74,26$$

Eşitlikte yer alan katsayılarla ilişkin tanıtıcı istatistikler Çizelge 4'de sunulmuştur. a ve b katsayılarının modele etkisi önemli görünmemekle birlikte modelde yer almaları durumunda tahminlerdeki isabet derecesinin yükseldiği görülmüştür.

Göllerde Secchi diski, toplam fosfor ve toplam azot gibi değişkenlerin kullanıldığı doğrusal çoklu regresyon modellerinin, planktonik mavi-yeşil alglerin oransal biyomasını tahmin etmede önemli olduğu belirtilmiştir (Smith 1986).

Trimbee ve Prepas (1987), Secchi derinliği, toplam fosfor, toplam azot, TA:TF oranının logaritmasını kullanarak hesapladıkları mavi-yeşil alg indeksi modellerinde isabet derecelerinin %43-%64 arasında değiştiğini tesbit etmişlerdir (Çizelge 1). Çalışmamızda Secchi derinliği, toplam fosfor ve toplam inorganik azot değerlerinin modelde birlikte kullanılması ile isabet derecesi %74,26 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada, mavi-yeşil alg biyoması ve mavi-yeşil alg indeksinin tahmini için iki çoklu regresyon modeli geliştirilmiştir. Secchi derinliği, toplam fosfor, toplam inorganik azot değişkenlerinin kullanıldığı bu modellerin isabet derecelerinin yüksekliği nedeniyle Kurtboğazi baraj gölünün mavi-yeşil alg artışlarının izlenmesinde uygun olacağı önerilebilir. Elde edilen modellerin sadece Kurtboğazi baraj gölüne uygulanabilirliği nedeniyle bundan sonraki araştırmalarda, farklı baraj göllerinde de bu tip çalışmaların yapılması mavi-yeşil alg biyomasının kontrolünde modellerin uygulama alanını genişletecektir.

Çizelge 3. 1 nolu eşitliğe ait katsayılar ve önem kontrolleri

Katsayı	Tahmin	Standart hata	t ₍₇₎	p
a	7,06	3,41	2,07	0,077
b	3,56	1,17	3,05	0,18
c	-2,09	0,50	-4,18	0,004*
d	0,96	0,01	118,41	0,000*
e	-5,56	0,21	-25,92	0,000*

*p<0,05, ** p<0,01

Çizelge 4. 2 nolu eşitliğe ait katsayılar ve önem kontrolleri

Katsayı	Tahmin	Standart hata	t ₍₇₎	P
a	1,80	4,41	0,41	0,695
b	3,29	1,56	2,11	0,072
c	-2,04	0,68	-2,99	0,020
d	1,63	0,01	260,46	0,000*
e	-0,35	0,07	-5,20	0,001**

*p<0,05, ** p<0,01

Kaynaklar

- Anonim, 1987. TS 5091 Suyun analiz metodları-Bulanıklık tayini. s.1-8.
- Anonim, 1996. Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller. DSI basımı, s.1-40, Ankara.
- APHA, 1975. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14thed. John D. Lucas Co., 1193 p., U.S.A.
- Aykulu, G. ve O. Obalı, 1981. Phytoplankton biomass in Kurtboğazi Dam Lake. Comm. de la Fac. Sci. d'Ank. Serie C₂, 24, 29-45.
- Bakan, A. N., 1997. Ankara'ya Su Sağlayan Kurtboğazi ve Çamlidere Baraj Gölleri ile İvedik Su Arıtım Tesisinde Plankton Kompozisyonunun Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Ankara Üniv. Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi. s.1-112.
- Demir, N., H. Çamdeviren, S. Keskin, 1999. Prediction of chlorophyll a in Kurtboğazi and Çamlidere reservoirs. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi. 5(1), 66-70.
- Draper, N. R. and H. Smith, 1980. Applied Regression Analysis. Univ. of Wisconsin, p.1-710, USA.
- Earle, J. C., H. J. Duthie and D. A. Scruton, 1987. Factors influencing the distribution of phytoplankton in 97 headwater lakes in insular Newfoundland. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44, 639-649.
- Fraser, P. C. and D. O. Trew, 1990. A Compendium of Limnological Data for 23 Lakes in the Beaver River Watershed. Environmental Quality Monitoring Branch. Environmental Protection Services. p.1-201, Edmonton.
- Geitler, L., 1925. Cyanophyceae, Heft 12. In: A. Pascher, Die Süßwasser Flora Mitteleuropas. Verlag von Gustav Fisher, p. 1-481, Jena.
- Huber-Pestalozzi, G., 1938. Das Phytoplankton des Süßwassers, 2. Teil. Diatomeen In: A. Thienemann, Die Binnengewässer, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, p. 1-549, Stuttgart.
- Kenefick, S. L., Hruday, S. E., E. E. Prepas, N. Motkosky and H. G. Peterson, 1992. Odorous substances and Cyanobacterial toxins in Prairie drinking water sources. Wat. Sci. Tech. 25(2), 147-154.
- Kotak, B. G., S. L. Kenefick, D. V. Fritz, C.G. Rousseaux, E. E. Prepas and S. E. Hruday, 1993. Occurrence and toxicological evaluation of Cyanobacterial sources in Alberta lakes and farm dugouts. Wat. Res. 27(3), 495-506.
- Lund, J. W. G., C. Kipling and E. D. Le Cren, 1958. The inverted microscope method for estimating algal numbers and statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia, 11, 143-170.
- McQueen, D. J. and D. R. S. Lean, 1987. Influence of water temperature and nitrogen phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in lake St. George, Ontario. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 598-604.
- Pellander, A., I. Ojanpera, K. Sivonen, K. Himberg, M. Waris, K. Niinivaara, E. Vuori, 1996. Screening for Cyanobacterial toxins in bloom and strain samples by thin layer chromatography. Wat. Res. 30(6), 1464-1470.
- Prescott, G. W., 1973. Algae of the Western Great Lakes Area, 5th ed., W.M.C Brown Co. Publ. P. 1-977, Dubuque.
- Pulatsü, S., H. Çamdeviren ve E. Başpınar, 1997. Mogan gölünde (Ankara) klorofil-a konsantrasyonunun tahmininde çoklu regresyon ve Path analizi kullanımı. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi. 3(2), 65-68.
- Rott, E., 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. Schweiz. Z. Hydrol. 43 (1), 34-59.
- Smith, V. H., 1986. Light and nutrient effects on the relative biomass of blue-green algae in the phytoplankton. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43, 148-153.
- Starmach, K., 1966. Cyanophyta. Flora Slodkowodna Polski, p:1-807, Warszawa.
- Trimbee, A. M. and E. E. Prepas, 1987. Evaluation of total phosphorus as a predictor of the relative biomass of blue-green algae with an Emphasis on Alberta lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 1337-1347.
- Varis, O., 1993. Cyanobacteria dynamics in a restored Finnish lake : a long term stimulation study. Hydrobiologia, 268, 129-145.
- Vezie, C., L. Brient, K. Sivonen, G. Bertru, J. C. Lefevre and M. Salkinoja-Sabnan, 1997. Occurrence of microcystin containing Cyanobacterial blooms in freshwaters of Brittany (France). Arch. Hydrobiol. 139(3), 401-413.
- Zhang, Y. and E. E. Prepas, 1996. Short term effect of Ca(OH)₂ additions on phytoplankton biomass: a comparison of laboratory and in situ experiments. Wat. Res. 30(5), 1285-1294.