

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZNİK GÖLÜ'NDE BESİ MADDESİ
KİRLENMESİNİN İNCELENMESİ VE UYGUN
BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI

NAGİHAN KURT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2009

T.C
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZNİK GÖLÜ'NDE BESİ MADDESİ
KİRLENMESİNİN İNCELENMESİ VE UYGUN
BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI

NAGİHAN KURT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI : PROF. DR. MEHMET KARPUZCU

GEBZE

2009

YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : İZNİK GÖLÜ'NDE BESİ MADDESİ KİRLENMESİNİN İNCELENMESİ VE UYGUN BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI

YAZAR ADI : NAGİHAN KURT

Limnoloji göllerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Bu bilim dalı rekreasyon, balıkçılık, evsel ve endüstriyel su kullanımı, su temimini, suların kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Kirlетici kaynakları sularda çeşitli kalite problemlerine sebep olmaktadır. Temel kirlетici kaynaklar evsel, endüstriyel, tarımsal kirlетici kaynaklardır. Göller bu kaynaklardan gelen toksik maddeler, besi maddeleri sebebiyle zaman içerisinde bulanık bir hal alır. Göller için en önemli su kalitesi problemi ötrofikasyondur. Ötrofikasyon doğal ve yapay ötrofikasyon olarak ikiye ayrılır. Yapay ötrofikasyonun gerçekleştiği göl suları fosfor ve nitrojen bakımından oldukça zengindir. Yapay ötrofikasyon daha önemli bir su kirliliği problemi olup, doğal ötrofikasyondan daha kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Bu tez çalışmasında göl su kalitesini belirleyen önemli nütrientlerden biri olan fosfor için geliştirilmiş besi maddesi bekleme süresi modeli incelenmiştir. Besi maddesi bekleme süresi modelinin İznik Gölü'ne uygulanmasında, eski verilerden ve ortalama yıllık değerlerden yararlanılmıştır. Bu veriler D.S.İ. 1. Bölge Müdürlüğü'nün İznik Gölü Hidroloji Planlama Raporu'ndan elde edilmiştir. Kullanılan genel modeldir, bu nedenle kullanılan veriler geçmiş yıllardaki araştırmaların analizlerinden elde edilmiştir. İznik Gölü'ne kaynaklardan giren yıllık fosfor yüklerinin farklı değerleri dikkate alınarak besi maddesi bekleme süresi modeli uygulanmış ve fosforun göl su kütlesindeki denge konsantrasyonu ve bu konsantrasyona ulaşması için geçen süre hesaplanmıştır. Besi maddesi bekleme süresi modeli yardımıyla hesaplanan değerler ile sonuçlara ulaşılmıştır. Modelin uygulanması sonucu İznik Gölü'ne giren fosfor konsantrasyonunun kontrol altına alınması hedeflenmiştir. Geliştirilen modele göre göle gelen yükün azaltıldığı üç senaryo üzerinde durulmuş ve buna göre eğriler çizilmiştir. Gölün ötrofik seviyeye yaklaştığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle göle giren nehir, dere ve kanalizasyon sularının ölçüm ve analizleri devamlı yapılmalıdır. Ötrofikasyon kontrol çalışmaları, kaynaklardaki fosfor konsantrasyonunu azaltmayı, biyolojik ve kimyasal kontrolün sağlanmasını, göle giren besi maddesi kontrolünü kapsamalıdır. İznik Gölü'nde ötrofikasyon kontrolünün sağlanması ve uygun su kalitesi standartlarına ulaşılması için modelleme çalışmaları yapılmalı, ölçüm ve analizler sürekli uygulanmalıdır.

Anahtar Kelimeler : Ötrofikasyon, su kalitesi, su kirliliği, fosfor, modelleme, kontrol, ölçüm, analiz

SUMMARY

THESIS TITLE : PHOSPHOROUS MASS BALANCE MODEL FOR IZNIK LAKE

AUTHOR NAME : NAGİHAN KURT

Limnology is the study of the physical, chemical and biological behaviour of lakes. Recreation, sport fishing for the larger lakes, commercial fishing and water supply for municipal and industrial uses are all intimately related to the quality of these water bodies. Lakes therefore often become sinks for nutrients, toxicants, and other substances in incoming rivers. Pollutant sources causing water quality problems are discussed in detail. The main nutrient sources are municipal, industrial waste water, agricultural and urban runoffs. As a result, eutrophication is the one of the more significant water quality problems of lakes. Eutrophication, which may be natural "man-made" is the response in water to overenrichment by nutrients, particularly phosphorous and nitrogen. "Man-made" eutrophication, in the absence of control measures, proceeds much faster than the natural phenomenon and it is one of the major types of water pollution. In this study of thesis, a mass balance model for phosphorus which is suitable and available model for İznik Lake has been changed in to Exel programme, by developed mass balance model for phosphorus which is one of the important nutrients defining water quality of lake. The study of water quality modelling in the İznik Lake is used old datas and annual datas from DSİ. Control of mean annual concentration of total phosphorous in the lake. In most case, phosphorus is the factor which determines the development of eutrophication. After reduction of phosphorous from lake, eutrophication level will decrease. Three graphics about C-t was drawn. This model is called simplified lake phytoplankton model. The study aims to determine balanced concentration and balanced time to use different mean annual concentration of total phosphorous in the lake. It is essential, for the control of eutrophication İznik Lake, that an adequate study is initiated in order to plan the measures necessary to improve water quality to the standart required for its intended use. Control of eutrophication of İznik Lake was partially achieved by modelling studies. The principal control options include reduction of internal sources and concentrations and cycling of nutrients; acceleration of nutrient transport through the system selective withdrawal, direct biological and chemical control of aquatic plants, control of inputs. Much work has been done in lakes because of the significance of the problem in bodies of water. Iznik Lake containing a moderate amount of plant nutrients. Control of the eutrophication of Iznik Lake will achieve diversity.

Key Words : Eutrophication, water quality, water pollution, phosphorous, modelling, control, measuring, analysis

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve bu çalışma süresince büyük yardım ve ilgilerini gördüğüm saygıdeğer hocam Prof. Dr.Mehmet KARPUZCU'ya teşekkür ederim.

Nagihan KURT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. ÖTROFİKASYON VE SU KİRLENMESİ YÖNÜNDEN ÖNEMİ	4
2.1. Su Kirliliği	4
2.2. Ötrofikasyon Tanımı ve Önemi	4
2.3. Ötrofikasyona Etki Eden Faktörler	6
2.3.1. Fiziksel Faktörler	6
2.3.2. Biyokimyasal Faktörler	7
2.3.3. Coğrafik Özellikler	7
2.3.4. Morfolojik ve Hidrolojik Özellikler	7
2.3.5. Ekolojik Özellikler	8
2.4. Göllerin Trofik Kademelerine Göre Sınıflandırılması	9
2.5. Besi Maddesi Kaynakları	11
2.6. Ötrofikasyonun Ekolojik Açıdan Olumsuz Etkileri	12
2.7. Ötrofikasyonun Su Kalitesine Etkileri	13

2.8. Azot ve Fosforun Yol Açtığı Kirlilik	14
2.8.1. Azot	14
2.8.2. Fosfor	15
3. GÖLLERİN KİRLENMESİ	17
4. İZNİK GÖLÜ	20
4.1. Gölün Coğrafi Konumu ve Havzanın Özellikleri	20
4.2. İznik Gölü Havzası	21
4.2.1. Tarım ve Hayvancılık	21
4.2.2. Sanayi ve Ticaret	23
4.2.3. Havzanın Demografik Yapısı	23
4.3. İznik Gölü Su Bütçesi	23
4.4. İznik Gölü Suyunun Kullanımı	31
4.5. İznik Gölü Risk Faktörleri	32
4.5.1. Kirlilik	32
4.5.2. Göldeki Sınırlayıcı Elementin Belirlenmesi	33
4.5.3. Su Rejimine Yapılan Müdahaleler	34
4.5.4. İznik Gölü'nün Kirlilikten Korunması İçin Alınan Önlemler	34
5. İZNİK GÖLÜ MODEL UYGULAMASI	36
5.1. Model Kavramı	36
5.2. Havza Modelleri	38
5.3. Su Kalitesi Modelleri	38
5.4. İznik Gölü İçin Uygun Bir Modelin Seçimi	39
5.5. Model İçin Gerekli Parametreler	39
5.5.1. Evsel Atıksulardan Gelen Yükler	39
5.5.2. Tarım Alanlarına Ait Yükler	40
5.5.3. Orman Alanlardan Gelen Yükler	41

5.5.4. Derelerin Getirdiği Y¼kler	42
5.5.5. Kritik Fosfor Y¼k¼n¼n Hesaplanması	43
5.5.6. Besi Maddesi Bekleme Süresi Modeli	44
5.5.7. Çökelme Katsayısının Hesaplanması	46
5.5.8. R_p ve R_w 'nin Hesaplanması	47
5.5.9. K Hesaplamaları	47
5.5.10. Model için Gerekli Hesaplamalar	48
6. SONUÇLAR	55
7. KAYNAKLAR	56
8. EKLER	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	: Akım gözlem istasyonu
BOİ5	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
Co	: Başlangıç konsantrasyonu
C	: Konsantrasyon
Ceq	: Kararlı hal konsantrasyonu
DO	: Oksijen doygunluğu
I(z)	: z derinliğindeki ışık şiddeti
I ₀	: Göl yüzeyindeki ışık şiddeti
L _c	: Kritik fosfor yükü
K	: Sedimentlerle net kayıp hızı
k	: Işığın azalma sabiti
KOI	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
L	: Birim yüzey alanı başına yıllık besi maddesi yükü
ÖKA	: Özel kuş alanları
R _p	: Fosfor bekleme süresi
R _w	: Su bekleme süresi
t ₁₀	: Denge konsantrasyonuna ulaşmak için geçen süre
T _w	: Hidrolik bekleme süresi
TP	: Toplam fosfor yükü
Z	: Gölün ortalama derinliği
σ	: Çökelme katsayısı
ρ	: 1/Bekleme süresi
q _s	: Hidrolik yük
W	: Yük

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Doğal Ötrofikasyon Prosesi	5
2.2. Göl Derinliğine Göre Fosfor Yükleri	6
2.3. Ötrofik-Oligotrofik Göl Geçiş Aşaması	10
3.1. Göllerin Çeşitli Kısımları, Sıcaklık ve Çözülmüş Oksijenin Mevsimlik Değişimi	19
3.2. Gölde Sıcaklık Profilleri ve Karışım	19
3.3. Göl Ekolojisinin Şematik Gösterimi	19
4.1. İznik Gölü ve Havzası	21
4.2. Karadere-Çakırca Uzun Yıllar Ortalama Değerleri	25
4.3. Kocadere-Söğüz Uzun Yıllar Ortalama Değerleri	27
4.4. İznik Gölü-Çıkış Kanalı Uzun Yıllar Ortalama Değerleri	29
4.5. İznik Gölü Önemli Kuş Alanları Haritası	32
5.1. Modelin Şematik Gösterimi	44
5.2. Yükün %50 sinin azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen fosfor konsantrasyonu azalımı	51
5.3. Yükün %33 ünün azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen fosfor konsantrasyonu azalımı	51
5.4. Yükün %25 inin azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen fosfor konsantrasyonu azalımı	51
Şekil 5.5 Epilimnion tabakasında türlerin zamana göre değişimi	54
Şekil 5.6 Hypolimnion tabakasında türlerin zamana göre değişimi	54

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Gölün Farklı Trofik Seviyelerini Belirleyen Kritik Konsantrasyonlar	10
2.2. Besi Maddesi Kaynakları	11
3.1. Göllerde Müsaade Edilen Azot ve Fosfor Yükleri	18
4.1. İznik ve Orhangazi İlçelerinin Nüfus Bilgileri	23
4.2. Gölü Besleyen Akarsulara Ait Debi, Yıllık Ortalama Akış, Drenaj alanı ve Nütrient Konsantrasyonu Bilgileri	24
4.3. Karadere-Çakırca Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı-2006)	24
4.4. Karadere-Çakırca Uzun Yıllar Aylık Ortalama Değerler	24
4.5. Karadere-Çakırca Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (EİE Su Akımları Aylık Ortalamaları-2006)	26
4.6. Kocadere-Sölöz Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı-2006)	27
4.7. Kocadere-Sölöz Uzun Yıllar Aylık Ortalama Değerler	27
4.8. Kocadere-Sölöz Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (EİE Su Akımları Yıllığı-2006)	28
4.9. İznik Gölü-Çıkış Kanalı Yıllık Ortalama Debi Değerleri (DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı-2006)	29
4.10. İznik Gölü-Çıkış Kanalı Uzun Yıllar Aylık Ortalama Değerler	29
4.11. İznik Göl Ayağı-Karsak Köprüsü Yıllık Ortalama Debi Değerleri (EİE Su Akımları Yıllığı-2003)	30
4.12. Oluk Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (EİE Su Akımları Yıllığı-2006)	30
4.13. İznik Gölü ve Kirlenme Nedenleri	33
5.1. Havzadaki Toprak Kullanımı	40
5.2. İznik Gölü Yıllık Azot, Fosfor Giriş ve Çıkışı	43
5.3. İznik Gölü Su Çıkış Verileri	44

5.4. İznik Gölü'ne Gelen Besi Maddesi Yükünün %50'sinin Göle Girişine Göre C Sonuçları	48
5.5. İznik Gölü'ne Gelen Besi Maddesi Yükünün %33'ünün Göle Girişine Göre C Sonuçları	49
5.6. İznik Gölü'ne Gelen Besi Maddesi Yükünün %25'inin Göle Girişine Göre C Sonuçları	50
5.7. Fosfor Türlerinin Zamana Göre Değişimi	53

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Geniş bir alanı kaplayan ve önemli yerüstü ve yeraltı su potansiyeline sahip olan İznik Gölü Havzası içme ve kullanma amaçlı su temini kaynağıdır. Göller ve bulundukları havzalar, eski çağlardan beri dünyanın en önemli yerleşim merkezlerini barındırmış ve ülkelerin endüstrileşmeye başlamasından sonra da önemlerini koruyarak, en çok tercih edilen bölgeleri yaratmışlardır. Bu bölgelerden hem yerleşim bölgelerinin, hem tarım alanları ile endüstri alanlarının su gereksinimini karşılamak amacıyla faydalanılmıştır. Ancak gerek yerleşim merkezlerinden gerekse endüstrilerden ve tarımsal etkinliklerden kaynaklanan atıksuların göllere boşaltılması sonucu, göllerin bu atıksuları özümleme kapasiteleri giderek aşılmış ve bu göller zamanla hiç kullanılamayacak hale gelip birer bataklık oluşturmuştur. Gelişmiş ülkelerde uygulanan su kirlenmesi kontrol çalışmaları sonucu bu durum ağır bir ekonomik bedel ile önlenebilmiştir.

Organizmaların kullandıkları, bünyelerini yenilemek ve metabolizma faaliyetlerini sürdürebilmek için gerekli kimyasal maddelere "besi maddesi" denir. Besi maddeleri; azot, fosfor, karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve eser elementleridir. Yüzey suları, yağmur ve rüzgar besi maddesinin taşıyıcı vektörleridir. Beslenme havzasının sızıntı ve yüzey suları, göllerdeki azot ve fosforun en önemli kaynağıdır. Su yatağına giren inorganik besi maddelerinin tabi yada suni olarak artması, kaynakta mikroskobik bitki ve alglerin aşırı derecede çoğalmasına ve böylece su kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır.

Yüzeysel sulara giren besi maddelerinin sebep olduğu zararlı tesirlerin giderilmesi için alınacak tedbirler son derece pahalı olup tatbikleri de kolay değildir. Kullanılmış suların ikinci kademe tasfiye tesisinden geçirilmesi yeterli olmamaktadır. Mesela Washington Gölü'ne giren deterjanların kaldırılmasıyla göl suyu kalitesinin büyük ölçüde düzelmesine rağmen; Sammanish Gölü'nün girdilerinde yapılan %40'lık bir azalmanın, göl suyunun kalitesinde hemen hemen hiçbir tesiri olmadığı saptanmıştır. Bunun için alınacak tedbirlerin su yatağında meydana getireceği düzelmelerin önceden bilinmesi gerekir. Aksi halde boş yere para, emek ve zaman kaybedilmiş olur (Emery, et.al., 1973).

İznik Gölü'nün kirlilik durumunu ve gölün özümleme kapasitesini belirlemek için birbirine bağlı birçok parametrelerin belirli zaman aralıklarında ve sürekli ölçülmesi gerekmektedir. Göle giren nehir, dere, ve kanalizasyonların ölçüm ve analizleri devamlı yapılmalıdır. Ayrıca yüzde olarak yapılan kirletici azaltımlarının göl suyu kalitesindeki tesirinin anlaşılabilmesi için, bir yüzeysel suya ne miktarda besi maddesi verilebileceğini veya kullanılmış suların ne kadar tasfiye edilmesi gerektiğini hesaplamaya yarayan ve çeşitli kirletici yüklerinin su yatağında meydana getireceği tesirlerin önceden tahmin edilmesini sağlayan matematik modeller geliştirilmelidir.

Bu çalışmada İznik Gölü'ne giren besi maddelerinin gölde meydana getireceği tesirlerin tahmin edilebilmesinde kullanılabilecek bir matematik model araştırılmıştır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Tatlısu kaynakları; canlı yaşamının devamlılığı için vazgeçilmezdir. Tatlısu kaynaklarından biri olan göller, durgun su kütleleri olduklarından dolayı ekolojileri doğal olaylarla yada insan faaliyetleri sonucunda hızla bozulabilmektedir. Su yataklarında özellikle göl ve haliçler gibi durgun sularda besi maddeleri ötrofikasyona sebep olurlar. Ötrofikasyona sebep olan besi maddeleri azot ve fosfordur. Bu çalışmada besi maddesi bekleme süresi ile fosfor konsantrasyonlarını hesaplamaya yarayan bir model seçilerek İznik Gölü'ne uygulanmıştır. Yüzey sularındaki mikroskobik bitkiler için gerekli olan besi maddeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir :

- Hücre teşkili ve enerji temini için gerekli olan ve canlı yapısının esasını teşkil eden biyojenik maddeler (fosfor, azot, karbon)
- Canlı organizma ve faaliyetleri için gerekli olan eser halindeki maddeler olmak üzere iki grupta toplanabilir (Karpuzcu, 2006).

Havzada planlanan yararlı kullanımlarının gerçekleştirilmesi için, arazi ve su kullanımı ile kirletici kaynaklar gözönüne alınarak, belirlenen su kalitesine ulaşılmasını sağlayacak önlemler belirlenmiştir. Bu amaçla;

- İznik Gölü Havzası'nın çevresel özelliklerinin tanımlanması,
- Halihazır ve gelecekteki yararlı kullanımların ve bunlar için gerekli su kalite ölçütlerinin saptanması,

- Kirletici kaynakların tanımlanıp, atıksularının incelenmesi ile havzadaki atık yükü potansiyelinin hesaplanarak belirlenmesi
- Halihazır su kalitesinin yararlı kullanımlara göre değerlendirilmesi,
- Saptanan su kalite ölçütlerine ulaşmak için, kirletici kaynaklarda alınması gerekli önlemlerin, çeşitli yönetim seçeneklerine göre seçilen modelle göle gelen yükün azaltılmasının belirlenmesi ve gölde meydana getirdiği tesirlerin sonuçları incelenmiştir.

İznik Gölü Marmara Bölgesi'nin en büyük, Türkiye'nin beşinci büyük doğal gölüdür. Göle çevresindeki sanayi tesislerinden ve yerleşim birimlerinden atıklar deşarj edilmektedir. İznik Gölü'nün trofik kademesini belirlemek için göle gelen fosfor yükünün bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada seçilen model ile İznik Gölü'nün ötrofikasyon yönünden su kalitesi incelenmiştir.

2. ÖTROFİKASYON VE SU KİRLENMESİ YÖNÜNDEN ÖNEMİ

2.1. Su Kirliliği

Su kirliliği suyun yararlı kullanımını etkileyecek miktarlarda kimyasal, fiziksel ya da biyolojik maddelerin katılmasıyla suyun kalitesinin bozulması anlamına gelmektedir. Su kirliliğinin en önemli kaynakları; atık suların arıtılmadan su yatağına verilmesi, yaygın kirleticiler, endüstriyel atıkların boşaltılması, madencilik faaliyetleri sonucu kaynağa giren kirleticiler olarak tespit edilmiştir.

Ötrofikasyona sebep olan kirletici parametreleri; fosfor, azot ve fosfor içerikli bileşiklerdir. Bu bileşikler yukarıda belirtilen kaynaklardan göle girmektedir.

2.2. Ötrofikasyon Tanımı ve Önemi

Ötrofikasyon , gerek tabi süreçler ve gerekse insan faaliyetleri sonucu, su yataklarındaki mikroorganizmaları yemlemeye yarayan besi maddelerinin artması manasında kullanılmaktadır. Ancak tabi süreçlerle meydana gelen beslenme son derece yavaş cereyan ederken, insan faaliyetleriyle meydana gelen beslenme bazen son derece hızlı olmaktadır. Mevcut bilgilere göre, oldukça hızlı akan akarsuların dışındaki su yataklarında özellikle göl ve haliçlerde ötrofikasyona sebep olan iki temel besi maddesi ; azot ve fosfor bileşikleridir. Kullanılmış suların su yataklarına boşaltılması , alglerin gelişmesi için esas besin olan bu besi maddelerinin bol miktarda ortama verilmesi demektir. Bunun neticesinde böyle su çevrelerinde algler ve diğer mikroorganizmalar, arzu edilmeyecek miktarlarda çoğalarak suyun kalitesini bozarlar. Suyun tadı, kokusu ve rengi değişir. Su alma yapıları, tasfiye tesisleri ve sulama cihazları tıkanarak tam randımanla çalışamazlar. Algler öldüğünde ayrılarak ortamdaki çözünmüş oksijen kullanır. Diğer organizma ve kirleticilerle birlikte ölen alg hücrelerinin çabuk ayrışması, su ortamındaki çözünmüş oksijeni tüketerek koku ve H₂S gazının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Karpuzcu, 2004).

Doğal ve Kültürel Ötrofikasyon :

Ötrofikasyon atıklarla gelen aşırı besin maddelerinin mikroskopik bitkileri (fitoplankton) uyarmasıyla göllerin çözünmüş oksijen yokluğu sonucunda ölmesine kadar gidebilen yaşlanma

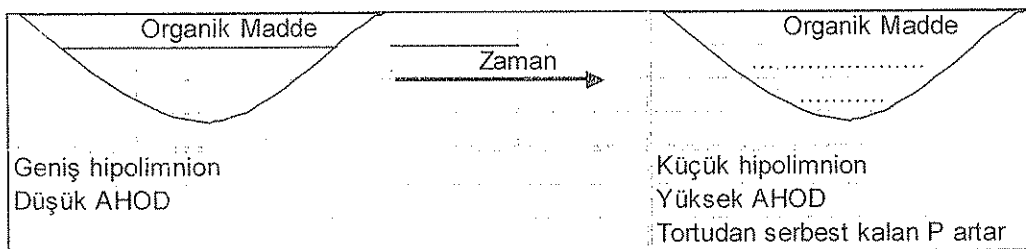
sürecidir. Kısaca durgun bir su ortamına verilen aşırı azot ve fosfor bileşikleri etkisiyle fazlaca gelişen alglerin ölmesiyle birlikte su ortamındaki oksijeni tüketerek kokuşmaya yol açmasıdır. Algin büyümesindeki major etmenler azot, fosfor ve karbondur. Ayrıca demir, bakır, kobalt, molibden, mangan, çinko, bor, vanadyum gibi eser elementler de alg büyümesi için gereklidir. Ötrofikasyon terimi, “ötrofik”(iyi beslenen) kelimesinden gelir. Ötrofikasyon doğal bir proses sonucu binlerce yılda meydana gelebildiği gibi, insan aktiviteleri sonucu daha çabuk ve kısa sürede meydana gelebilir. Buna kültürel ötrofikasyon denir. Kültürel ötrofikasyon, insan eli ile bir su ekosistemine kanalizasyon, temizlik malzemesi ve gübre gibi aşırı oranda besin maddesi içeren maddeler boşaltılarak suyun yaşlanma süreci hızlandırıldığında meydana gelir. Ötrofikasyon su ortamını ekolojik ve ekonomik açıdan olumsuz etkiler. Doğal ötrofikasyon süreci Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.

Bir su yatağındaki besin seviyesinin ifadesinde, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, alg üretimi ve besin maddesi gibi çeşitli parametreler kullanılabilir. Ötrofik göllerle ötrofik olmayan göllerin belirlenmesinde en çok kullanılan parametre, yaz aylarındaki sıcaklık tabakalaşması sırasında hipolimnion tabakasındaki oksijen azalmasıdır. Bu parametrenin kullanılmasıdaki en büyük problem oksijen azalma hızının göl morfolojisi ile ilgili pek çok faktöre bağlı olmasıdır (Karpuzcu, 2004).

Ötrofikasyonun başladığı göllerde aşağıdaki durumlar ortaya çıkar :

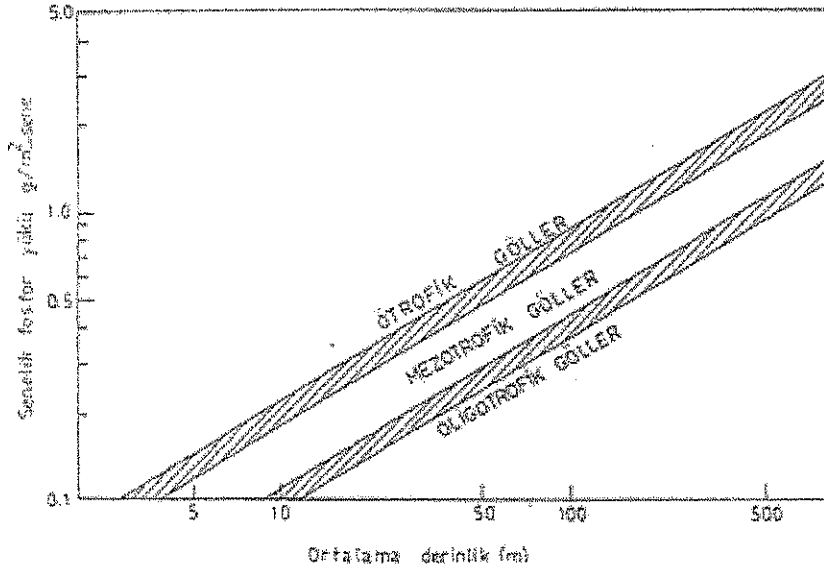
Gölde belli bir seviyede organik madde bulunmaktadır. Göl geniş bir hipolimnion tabakasına sahiptir. Havasal hipolimnetik oksijen zararı düşüktür. Belli bir zaman sonra organik madde gölün dip kısmından üst kısma doğru yayılır. Hipolimnetik oksijen gereksinimi artar. Çökelden gelen fosfat miktarı artmıştır. Göl içi üretim artmıştır (Schulz,2005).

Gölün doğal ötrofikasyon süreci Şekil 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Doğal Ötrofikasyon Prosesi (Schulz, 2005)

Göller trofik seviyelerine göre genel olarak; oligotrofik, mezotrofik, ötrofik olmak üzere üç grupta incelenebilir. Kirletici yükleri ile göl trofik seviyeleri arasındaki bağıntılar Vollenweider tarafından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Senelik besi maddesi yükleri ile ortalama göl derinliği arasındaki bağıntılar incelenerek Şekil 2.2’de gösterilen grafikler çizilmiştir (Karpuzcu, 2004).



Şekil 2.2. Göl Derinliğine Göre Fosfor Yükleri (Karpuzcu,2006)

2.3. Ötrofikasyona Etki Eden Faktörler

Ötrofikasyona etki eden faktörler aşağıda özetlenmiştir.

2.3.1. Fiziksel Faktörler

1. Işık radyasyonu
2. Sıcaklık
3. Rüzgar
4. Buharlaşma
5. Epilimnion tabaka kalınlığının hipolimnion tabaka kalınlığına oranı
6. Yüzeyde kıyı kesimi ve sahil şeridi morfometrisi
7. Sediment (çökelti) karakteristikleri
8. Hidrolik bekleme süresi

2.3.2. Biyokimyasal Faktörler

1. Doğal veya yapay kaynaklardan göle gelen bütün organik ve inorganik maddelerin cinsi,
2. Temel besin maddeleri ile diğer maddelerin dengesi,
3. Temel besin maddelerinin tekrar üretimi ve dönüşümü,
4. Toksik, humik ve diğer maddelerin varlığı,
5. Suyun ışık geçirgenliği,
6. Çözünmüş oksijen, karbondioksit, pH...vb parametreler.

Ötrofikasyonun belirlenmesinde kullanılan parametreler aşağıda özetlenmiştir :

2.3.3. Coğrafik Özellikler

Gölün bulunduğu yerdeki coğrafi bilgiler önemlidir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Enlem ve boylam
- 2) Deniz seviyesine göre yükseklik
- 3) İklim verileri (Buz örtüsü, aylık ortalama hava sıcaklığı, rüzgar, buharlaşma...vb)
- 4) Genel jeolojik karakteristikler (toprak, erozyon, göl yatağı...vb)
- 5) Bitkiler
- 6) Nüfus
- 7) Su kullanımı (İçme suyu, spor, balık üretimi, balıkçılık...vb)
- 8) Atıksu yükleri (Evsel ve endüstriyel)

2.3.4. Morfolojik ve Hidrolojik Özellikler

- 1) Göldeki su yüzeyi alanı,uzunluk, genişlik (max-min)
- 2) Göldeki su hacmi
- 3) Maksimum ve ortalama derinlik
- 4) Epilimnion tabakasının hipolimnion tabakasına oranı
- 5) Doğal göl sedimentasyonu
- 6) Drenaj durumu
- 7) Giriş ve çıkış suları (Su bütçesi)
- 8) Hidrolik bekleme süresi

2.3.5. Ekolojik Özellikler

- 1) Bakteri
 - 2) Fitoplankton
 - 3) Alg miktarı
 - 4) Flora
 - 5) Fauna
 - 6) Zooplankton
 - 7) Balık
 - 8) Makrofitler
- (Vollenweider, 1982)

Göllerde ötrofikasyonu belirleyen infikatör parametreler vardır. Bu parametrelerin gölün epilimnion ve hipolimnion tabakalarındaki değerleri ötrofikasyonun belirlenmesinde, önemli katkılar sağlar. Bu parametreler aşağıda sıralanmıştır.

a-) Epilimnion tabakasında;

1. İlkbahar başlangıcındaki fosfor konsantrasyonu,
2. Askıda organik madde ve askıda azot,
3. Klorofil-a konsantrasyonu,
4. Fitoplankton yoğunluğu,
5. Fitoplanktonun kütlesi,
6. Ortamdaki ışık yoğunluğu,
7. Seki diski derinliği,
8. Birinci üretim seviyesi,
9. N ve P'nin aktivitesi ve,
10. Algin büyüme potansiyeli,

b-) Hipolimnion tabakasında,

- 1) Durgun periyodun sonundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu,
- 2) Çözünmüş oksijen üretimi,
- 3) BOD₅ konsantrasyonu ve,
- 4) N ve P konsantrasyonu

2.4. Göllerin Trofik Kademelerine Göre Sınıflandırılması

Göller trofik seviyelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- 1) Oligotrofik (Ötrofikasyonun başlamadığı temiz göller)
- 2) Mezotrofik (Orta seviyede ötrofikasyon başlamış göller)
- 3) Ötrofik (Ötrofikasyonun hakim olduğu göller)
- 4) Dystrofik (İleri seviyede ötrofikasyon)
- 5) Miksotrofik (dystrofik fakat üretici)

Oligotrofik Göller :(Az besinli) Jeolojik olarak genç olan göllerdir. Genellikle derindirler.Suları temiz ve çözünmüş besin maddesi konsantrasyonu düşüktür. Su mavi renkli olup alg patlaması yüzeyde görülmez. Bu yüzden ışık geçirgenliği fazladır. Hipolimnion tabakası oldukça geniş ve soğuktur. Ayrıca bu tabakada oksijen tüketim hızı azdır. Oksijen bütün mevsimlerde ve derinliklerde çok miktarda bulunur. Göl suyunun tamamında aerobik şartlar mevcuttur.

Mezotrofik Göller :(Normal Besinli) Oligotrofik ve ötrofik göl tipi arasındaki gölleri oluştururlar. Bu tip göllerde su bitkileri yavaş yavaş görülmekte olup, su yeşilimsi bir renk alır. Orta derecede balık üretimi vardır.

Ötrofik Göller : (İyi Besinli) Genellikle sığ göllerdir. Organik madde bakımından zengindirler.Su yüzeyinde yoğun bir alg patlaması görülür. Su bulanık, ışığı geçirmez,yeşil veya kahverengidir. Suda yüzen algler alt tabakada fotosentezi önler. Hipolimnion tabakası daha küçüktür.

Dystrofik Göller : (Kötü Besinli) Su rengi kahverengidir. Alg patlamaları çok sık görülmez. Bu tip göller genellikle sığlaşır ve sonunda bataklığa dönüşür. Daha sonra bitki ve orman örtüsü ile kaplanır.

Miksotrofik Göller : (Dystrofik –Üretici) Bu göller humik maddeler bakımından zengindirler, fakat buna rağmen üreticilerdir. Besi maddeleri ve askıda organik maddeleri bakımından çok zengin göllerdir (Arceivala,1978).

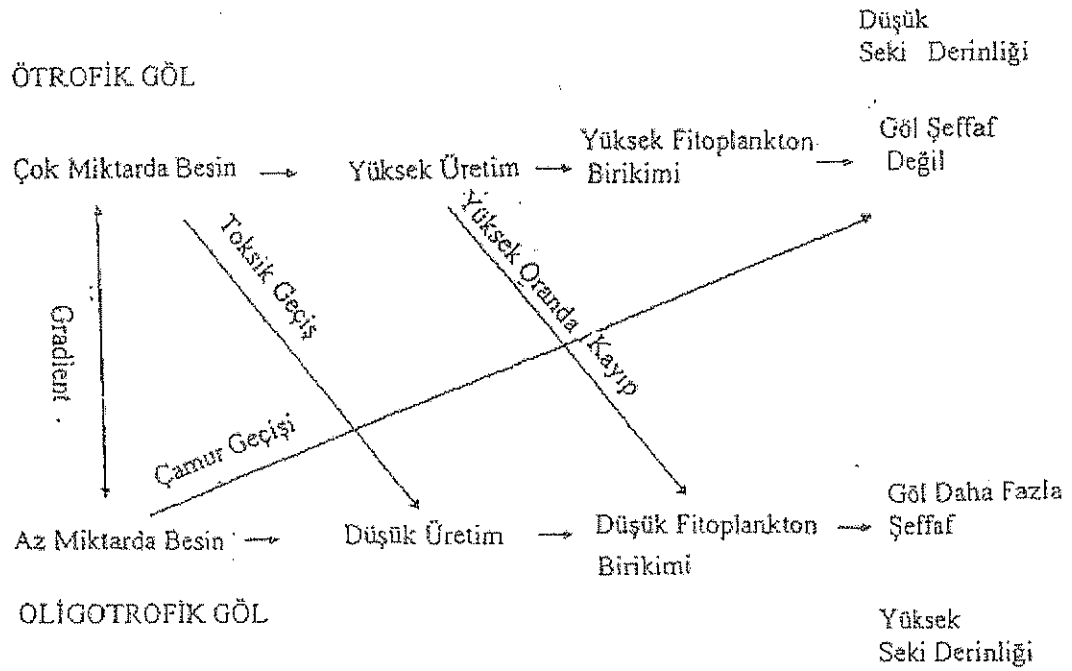
Tablo 2.1 de gölün farklı trofik seviyelerini belirleyen kritik konsantrasyonlar, Şekil 2.3 de ise ötotrofik-oligotrofik göl geçiş aşamaları verilmiştir.

Tablo 2.1. Gölün Farklı Trofik Seviyelerini Belirleyen Kritik Konsantrasyonlar (OECD'ye göre)

Trofik Seviye	Secci Diski (m)		Klorofil ($\mu\text{g/l}$) konsantrasyonu	Fosfor(mg/l) konsantrasyonu	
	Ortalama	Max	Ortalama	Max	Ortalama
Ultra-Oligotrofik	>12	>6	<1	<2.5	<4
Oligotrofik	>6	>3	<2.5	<8	<10
Mezotrofik	6-3	3-1.5	2.5-8	8-25	10-35
Ötrofik	3-1.5	1.5-0.7	8-25	25-75	35-100
Hyper Ötrofik	<1.5	0.7<	>25	>75	>100

Amerika Çevre Koruma Kuruluşu (EPA)' ya göre, göl ve rezervuarlarda biyolojik problemlerin ortaya çıkma sınırı olarak, 25 mg/l toplam fosfor konsantrasyonu değeri kabul edilmiştir.

Ötrofik-Oligotrofik göl geçiş aşaması Şekil 2.3 de verilmiştir.

**Şekil 2.3. Ötrofik-Oligotrofik Göl Geçiş Aşaması (Schulz, 2005)**

2.5. Besi Maddesi Kaynakları

Organizmaların bünyelerini yenilemek ve metabolizma faaliyetlerini sürdürebilmek için kullandıkları gerekli kimyasal maddelere “besi maddesi” denir. Besi maddeleri; azot, fosfor, karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve eser elementlerdir.

Göle besi maddesinin girişi çeşitli kaynaklardan olur. Bu kaynaklar dış kaynaklar ve iç kaynaklar olarak iki ana gruba ayrılır. Dış kaynaklar ise noktasal ve yaygın kaynaklar olarak iki grupta incelenir.

Nokta Kaynaklar : Besi maddesi miktarının doğrudan ölçülebildiği kontrol edilebilen kaynaklardır. Belediye ve sanayi deşarjları, evsel atıksular, endüstriyel atıksular, belediye kanal suları, meskun bölgelerden gelen yağmur suyu kanalları, gemi balast suları, maden işletmeleri, çöp dökme yerleri, sızıntı suları gibi kirleticiler nokta kaynakları oluşturmaktadır.

Yaygın Kaynaklar : Besi maddesi miktarının doğrudan ölçülemediği, kontrol edilmesi zor olan tarım alanı, yüzey suları (Yağmur ve drenaj suları) gibi kaynaklardır . Toprak erozyonu, gübreler, pestisitler, hayvan barınaklarının katı ve sıvı atıkları, ormanlık bölgelerden kaynaklanan kirleticiler, drenaj suları yaygın kaynakları oluşturmaktadır. Çeşitli besi maddesi kaynakları Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Besi Maddesi Kaynakları (Vollenweider, 1970)

Kaynak	Kontrol İmkânı	Önem	İç veya Dış Kaynak Oluşu	Tabii veya Suni Oluşu
Kullanılmış sular	Kontrol edilebilir	Çok önemli	Dış	İnsan Faaliyetleri
Meskun bölge drenajı	Kontrol edilebilir	Önemli	Dış	İnsan Faaliyetleri
Tarım sahaları, yağmur suları ve sulama drenleri	Kısmen kontrol edilebilir	Önemli	Dış	İnsan Faaliyetleri
Sanayi tesisleri sıvı artıkları	Kontrol edilebilir	Önemli	Dış	İnsan faaliyetleri
İşlenmemiş arazi Yağmur suları	Kontrol edilemez	Orta derecede	Dış	Tabii
Su yatağında biyotodan devreden	Kontrol edilemez	Az	İç	Tabii

Taban çökeltisinden serbest bırakılan	Kontrol edilemez	Az	İç	Tabii
Doğrudan yağış olarak	Kontrol edilemez	Az	Dış	Tabii
Atmosferden	Kontrol edilemez	Çok az	Dış	Tabii
Kaya parçalanması ve erezyon	Kontrol edilemez	Çok az	Dış	Tabii
Yer altı suları	Kontrol edilemez	Çok az	Kısmen dış	Tabii
Fosseptik sızıntı suları	Kontrol edilebilir	Çok az	Dış	İnsan faaliyetleri

2.6. Ötrofikasyonun Ekolojik Açıdan Olumsuz Etkileri

1. Su yataklarının ötrofik hale gelmesiyle bazı planktonik su bitkileri aşırı derecede çoğalmaktadır. Bunun sonucunda bazı türler aşırı derecede artmakta, ekolojik denge bozulmakta ve besin zinciri yoluyla bundan doğan hayat zarar görmektedir.
2. Ötrofik seviyenin artmasıyla balıkların beslendikleri organizmalar ve balık türleri azalmaktadır. Bu olumsuz etki ötrofikasyonun düşük seviyede olması durumunda görülür. İleri derece ötrofik hale gelmiş su yataklarında balıklarda yaşamamaktadır.
3. Su yataklarının tabanında taban çamurunun birikmesi sonucu zamanla su ortamında canlılara olumsuz etki yapabilecek kirleticiler aşırı derecede çoğalmaktadır.
4. Bakteri sayısı anormal derecede artmaktadır.
5. Aşırı derecede çoğalan canlı organizmaların ayrışması sırasında su yataklarının alt tabakalarında aşırı oksijen tüketimi olmakta ve oksijensiz ortam oluşmaktadır.
6. Özellikle sığ kesimlerinde bitkiler, çamur oluşumunun hızlanması sonucu yok olmaktadır.
7. Su yüzeyi canlılara zehirleyici etki yapan mavi-yeşil alglerle kaplanmaktadır.

8. Aşırı derecede çoğalmış alglerin dalgaları kırması sonucu su yatağının atmosferden oksijen kazanımı azalmaktadır.
9. Sivrisinek ve böcek üremesinde hızlanma meydana gelmektedir.
10. Bazı türler kaybolmakta ve ekonomik değeri olmayan yeni türlerin ortaya çıkmaktadır.
11. Su yatağı dolmaya başlayarak derinliği azalmaktadır.
12. Ötrofikasyonun artmaya başladığı su kaynaklarının, doğrudan kullanma imkanları azalır. Yukarıdaki kalite değişmelerine ilave olarak, tasfiye maliyetinin yüksek olması, tesislerin işletme güçlüğü, sulama tesislerinin tıkanması, balıkçılık, turistik ve dinlenme maksatları için su yatağının cazibesini kaybetmesi gibi arzu edilmeyen değişmeler de sıralanabilir (Karpuzcu, 2006).

2.7. Ötrofikasyonun Su Kalitesine Etkileri

1. Ötrofik seviye arttıkça daha fazla zararlı alg türleri gelişmektedir.
2. Suyun renk, tat ve koku gibi özellikleri bozulmaktadır.
3. Fitoplankton, zooplankton ve bakteri gibi mikroorganizmaların sayısında aşırı derecede artışlar meydana gelmektedir.
4. Alg özellikli kompleks bileşikler meydana gelmektedir.
5. Sıcaklık tabakalaşması olan göllerin alt kısımlarında anaerobik ortamlar oluşmakta ve sudan CH_4 (metan), H_2S (hidrojen sülfür) gibi oksijensiz ortam ayrışma ürünü gazlar çıkmaktadır. H_2S çürük yumurta kokusunda olup çevreyi rahatsız etmektedir .
6. Ötrofik seviye ilerledikçe su kaynağındaki amonyak iyonu artmakta, bu da zehirlenme ve guatr hastalıklarına yol açmaktadır.
7. Demir ve mangan konsantrasyonu artarak suyun renk ve tadını bozmaktadır.

8. Su iletim hatlarında asidik yapıya sahip olan CO₂ (karbondioksit) dolayısıyla hasarlar oluşmaktadır.
9. Kanseri ve ülser hastalıklarında artış görülmektedir.
10. Allerjik hastalıklar artmaktadır.
11. Ortaya çıkan parazitler yeni hastalıklara yol açmaktadır.

2.8. Azot ve Fosforun Yol Açtığı Kirlilik

2.8.1. Azot

Yüzeysel sulara karışan azot bileşikleri genel olarak aşağıdaki kaynaklardan ileri gelmektedir.

- a. Doğal kaynaklardan
- b. Evsel kaynaklardan
- c. Endüstriyel kaynaklardan
- d. Tarımsal kaynaklardan

Azot, canlıların yapısını oluşturan temel elementlerden biridir. Gerek canlı bünyesinde, gerek besin maddelerinde ve gerekse ölü organizmalarda bulunan azot, doğada azot döngüsü içerisinde sürekli dinamik bir haldedir. Evsel atıksular ülkemizde su ortamına yoğunlukla doğrudan karışmaktadır. Evsel atıksuya kişi başına 8-15 g/gün azot katkısı bulunmaktadır. Endüstriyel tesislerden de endüstri türüne bağlı olarak önemli miktarda azot, su ortamına verilebilmektedir. Azot yükü veren başlıca endüstri kuruluşları; gübre, nitroselüloz, gıda, deri, bira ve mezbahalardır. Nitrat iyonları topraktan kolaylıkla yıkanarak suya geçmekte, böylece tarımsal drenaj suyu içerisinde önemli miktarda nitrat iyonu bulunmaktadır. Tarım arazilerinden her yıl önemli düzeylerde azot, doğal su kaynaklarına karışmaktadır. Azot bileşiklerinin ötrofikasyon mekanizmasını etkilemesi ; Toplam azot genel olarak dört ana bileşenden meydana gelir. Organik azot, amonyak azotu, nitrit azotu ve nitrat azotu bu bileşenleri oluşturmaktadır. Bunlardan amonyak azotu, nitrit ve nitrat azotu fitoplanktonların gelişmeleri için kullandıkları toplam inorganik azot bileşikleridir. Organik azot ise partiküler ve çözünmüş formda bulunur. Partiküler organik azot, organik döküntüleri ve fitoplankton biokütlesini oluşturmaktadır. Bitki biokütlesinin maksimum miktarını kontrol edecek olan besin elementi, konsantrasyonu en küçük olan veya bir

başka ifade ile diğerinden önce tükenen veya diğerinden önce bir minimuma ulaşan besi elementidir. Deniz sularında N/P oranı düşük olup bu sular azot kontrollüdür. Yani bu sularda azot konsantrasyonları azalırken veya azaltılırken fitoplankton hayatı gelişmesini durdurur. Küçük göller önemli noktasal kaynaklardan kirlenirler ve azot kontrollüdürler. Fakat fosfor tasfiyesi yapılırsa, fosfor kontrollü olabilirler. N/P oranı faydalı bir ölçü olmakla beraber, neticelerin yorumlanmasında dikkatli olmak gerekmektedir. Mesela azot kontrollü tatlı su sistemlerinde, azotu tasfiye edip fitoplankton sayısı azaltılmak istenirken $N/P < 4$ gibi düşük oranlara ulaşılması halinde bile mavi-yeşil alglerin ürediği görülmüştür. Zira bu alg, eksik azotu, atmosfer azotunu bağlayarak giderebilmektedir. Bu algler, çoğalarak su yüzeyinde çok pis görüntülere sebep olmakta ve toksin çıkararak halk sağlığını tehdit etmektedir (Muslu, 2000).

2.8.2. Fosfor

Göllerde fosfor, mevcut olan çok yönlü ve karmaşık kimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biridir. Besi elementleri bir su kitlesinde birkaç formda mevcuttur ve bunlar fitoplankton tarafından kolayca alınabilecek şekilde değildir. Buna göre toplam fosfor iki ana bileşenden oluşur. Toplam çözünmüş fosfor ve toplam partiküler fosfor bu iki ana bileşeni oluşturur. Çözünmüş fosfor, sıra ile birkaç formdan meydana gelir. Bunlardan biri çözünmüş reaktif fosfordur. Partiküler fosfor formları içinde inorganik topraklardan gelen akış içindeki partiküler mevcuttur. Diğer bir kısmı ise organik partikülerden oluşur. Bunlar döküntü içinde ve fitoplanktonda bulunur (Muslu, 2000). Fosfor nedeniyle ortaya çıkan su kirlenmesinin temel kaynağının %83'lük bir payla endüstri ve kanalizasyon atık suları olduğu bildirilmektedir. Kentsel kökenli kanalizasyon sularındaki fosfatların ise % 32-70'i deterjanlardan kaynaklanmaktadır. Bu verilere göre, tarım alanlarındaki yoğun yağışlardan sonra oluşan yüzey akışlarla fosfor taşınmasının, oransal olarak diğer kirletici kaynaklara göre çok daha az olduğu söylenebilir. Yüksek düzeydeki fosforun akarsu, göl ve denizlere ötrofikasyona yol açtığı bilinmektedir. Çeşitli kaynaklardan yüzey sularına ulaşan fosfatlar suyun oksijen bakımından zengin üst kısımlarında bulunan alg ve diğer yeşil bitkilerin aşırı miktarda ve suyun anaerobik karakterli üst kısmına çökelen alg ve diğer yeşil bitki artıklarında bir artış meydana gelmektedir. Fosfor bileşikleri önemli bitki besin maddeleridir. Su canlılarına olan etkileri, ancak suda fazla miktarda bulunup pH değerini veya suyun tampon sistemini değişiklikle uğrattığı zaman göze çarpar. Temizlik malzemesinde (deterjan ve benzeri) bulunan polifosfatlar veya fosfor bileşikleri, suyun yüzey gerilimini değiştirecek (köpük teşekkülü) biyolojik olayları olumsuz yönde etkileyebilecektir.

Araştırmalar azot ve fosforun alg gelişmesini limitleyen iki faktör olduğunu göstermiştir. Azot ve fosfor çok miktarda mevcut olduğunda, ortamda alg üretiminde patlama şeklinde bir büyümeye neden olur. Denemeler bu iki elementin (azot ve fosfor) limitli miktarlarda suda mevcut olduğu durumlarda alg patlamalarının olmadığını göstermiştir. Anorganik fosfor değerleri, kritik mevsim olan yaz mevsiminde 0.005 mg/l veya 5 mg/l seviyesinde tutulabilirse, yüzeysel sularda ötrofikasyon olarak nitelendirilen kirlenme olayı meydana gelmeyecektir. İçme sularında fosfor açısından bildirilen zararsız P konsantrasyonu 7 mg P_2O_5/l (üst sınır) düzeydedir (Samsunlu, 1999).

3. GÖLLERİN KİRLENMESİ

Yüzeysel sular içinde kirlenmeye karşı en hassas olan ortam göllerdir. Özellikle dışa akışı olmayan göllerin havzasından toplanarak, gerek akarsular ve gerekse yüzey akışıyla gelen her türlü çözünmüş ve askıda maddeler gölde birikmeye başlar. Göle giren suların antropojen etkilerle kirlenmiş olması, su kalitesinin giderek bozulmasına sebep olur. Göle giren kirleticiler, ağır metaller, güç parçalanabilen pestisidler gibi, bozunmayan tipte ise, bu kirleticiler gölde giderek artan yoğunlaşmalar meydana getirir. Askıdaki maddeler, göl tabanına çökerek birikirler ve gölün dolmasına sebep olurlar. Kolay parçalanabilen organik maddeler, gölün kendi kendini temizleme kapasitesi ile zararsız hale getirilirler. (Yani göller normal şartlarda organik kirliliği yok edebilirler) ancak, gölün doğal arıtma kapasitesini aşan organik yükler, göldeki oksijenin tüketilmesine ve gölün, anaerobik (oksijensiz) duruma dönüşmesine sebep olur.

Göllerde görülen diğer bir kirlenme ve kalite bozulması türü de şudur. Evsel ve bazı endüstriyel atık sular ile tarımsal drenaj suları, fosfor ve azotça zengindir. Bu maddeler, göllerde aşırı alg üremesine ve organik madde miktarının artmasına yola açar. Üreyen algler, dışardan göle gelen organik maddeler gibi sudaki oksijen miktarının etkilerler. Göllerdeki, çok fazla sayıdaki algler göl sularının ışık geçirgenliğini azaltırlar. Bulanıklığı artırır. Doğal yaşam dengesi bozulması ve çökeltmenin hazırlanması sonucunda bataklıklar meydana gelir.

Kirleticilerin göller üzerindeki etkisi nehirlerle nazaran farklılıklar göstermektedir. Işık ve sıcaklığın göl kirlenmesindeki önemi nehirlerle nazaran daha büyüktür ve yapılan incelemelerde

$$I(z) = I_0 e^{(-kz)}$$

mutlaka hesaba katılmalıdır. Işık fotosentez için bir enerji kaynağıdır ve göl suyu içerisinde nüfuz azalır. Işığın herhangi bir göl derinliğindeki şiddeti denklemleri ile hesaplanır. Burada;

I_0 : Göl yüzeyindeki ışık şiddeti

$I(z)$: z derinliğindeki ışık şiddeti

k : Işığın azalma sabiti terimlerini göstermektedir.

Sıcaklığın göl suyuna tesiri çok önemlidir. Suyun maximum yoğunluğu +4°C dendir ve su ısıyı iletmez. Isının büyük bir kısmı su kütlesi içinde tutulur. Göl suyunun sıcaklığı mevsimlik

değişmelere uğrar. Kış mevsiminde donmayan sığ göller için sıcaklığın derinlikle değişmediği ve sabit kaldığı kabul edilebilir. Sıcak mevsim yaklaştıkça üst tabakadaki su kütlesi ısınmaya başlar. Su ısıyı iyi iletmediğinden ve sıcak su daha hafif olduğu için bariz bir sıcaklık farkı görülür. Buna “termal tabakalaşma” adı verilir. Bu durum oldukça karardır ve yaz sonlarına kadar böyle kalır. Üst tabakaya “epilimnion” orta tabakaya “metalimnion” alt tabakaya da “hipolimnion” adı verilir. Termal tabakalaşma sırasında suyun sirkülasyonu sadece üst tabakada olduğundan , biyolojik ve kimyasal reaksiyonların büyük bir kısmı epilimnion tabakasında meydana gelir ve kimyasal maddelerin tabana inmeleri son derece sınırlıdır. Ancak çökebilen maddeler hipolimnion tabakasına doğru hareket edebilir. Soğuk havalar yaklaştıkça üst tabakadaki su kütlesi soğumaya başlar ve ağırlaşan su kütlesi tabana doğru harekete geçer. Bu durum gölün içinde bir sirkülasyon meydana getirir. Buna “sonbahar karışımı” adı verilir. İlk baharda da buna benzer bir “ ilkbahar karışımı” meydana gelir. Göllerdeki tabakalaşma, sıcaklık ve oksijen değişimi Şekil 3.1’de ve gölde sıcaklık karışımı ve profilleri Şekil 3.2.’gösterilmiştir. Bir göl ekosisteminin genel yapısı ise Şekil 3.3’de verilmiştir.

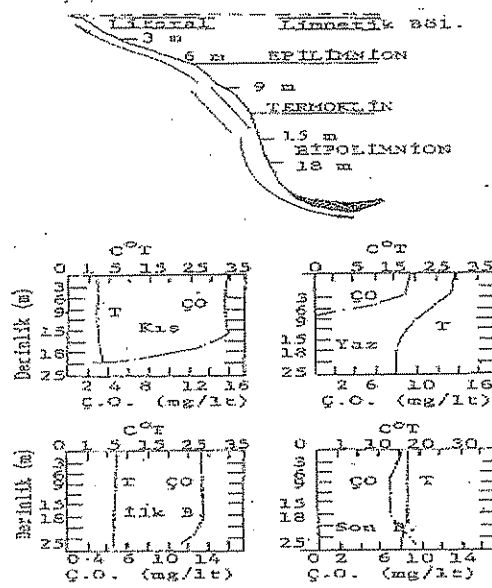
Özetle göl kirlenmesinin ana unsurları akarsular ve atmosferik olaylardır. Akarsularla taşınan çözünmüş ve askıdaki maddelerin önemli miktarı erozyon ve kimyasal çözünme sonucu oluşur. Ayrıca asit yağmurları da kirliliği artırmaktadır. Göle karışan kirleticilerin büyük bir kısmı akarsular, endüstriyel atıklar ve drenaj yoluyla taşınmasına karşılık, atmosferle kirliliğin taşınması da son derece önemlidir. Havadaki kirleticilerin yağışlar ve rüzgar gibi atmosferik etkenlerle uzun mesafelere taşınması ve yerüstü sularına karışması sonucu su kirliliği meydana gelmektedir. (Türkmenler 1999)

Göllerde müsaade edilen fosfor ve azot yükleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

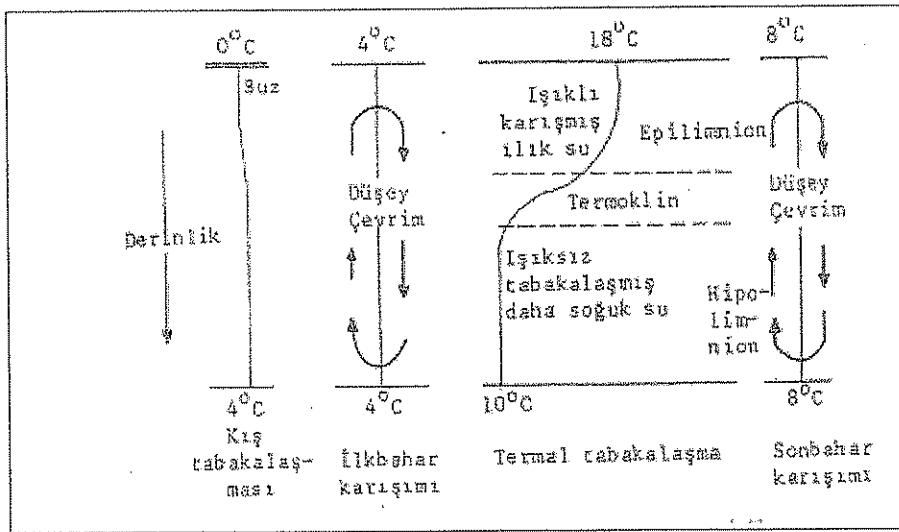
Tablo 3.1. Göllerde Müsaade Edilen Fosfor ve Azot Yükleri (Karpuzcu, 2006)

Ortalama Derinlik (m)	Müsaade edilebilir yük gr/m ² göl yüzeyi-sene		Tehlike arz eden yük gr/m ² göl yüzeyi-sene	
	N	P	N	P
5	1,0	0,07	2,0	0,13
10	1,5	0,10	3,0	0,20
50	4,0	0,25	8,0	0,50
100	6,0	0,40	12,0	0,80
150	7,5	0,50	15,0	1,00
200	9,0	0,60	18,0	1,20

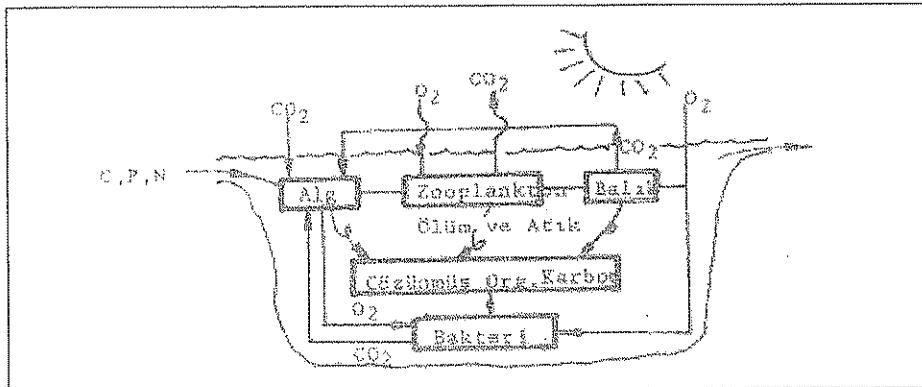
Şekil 3.1 de göllerin çeşitli kısımları, sıcaklık ve çözünmüş oksijenin mevsimlik değişimi, şekil 3.2 de göldeki sıcaklık profilleri ve karışım, şekil 3.3. de ise göl ekolojisinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Göllerin Çeşitli Kısımları, Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijenin Mevsimlik Değişimi (Karpuzcu, 2006)



Şekil 3.2. Gölde Sıcaklık Profilleri ve Karışım (Karpuzcu, 2006)



Şekil 3.3. Göl Ekolojisinin Şematik Gösterimi (Karpuzcu, 2006)

4. İZNİK GÖLÜ

4.1. Gölün Coğrafi Konumu ve Havzanın Özellikleri

İznik Gölü'nün uzunluğu 33 km, genişliği 12km, çevresi 95 km dir. Yüzölçümü 303 km²'dir. Denizden yüksekliği 85m'dir. İznik Gölü elips şeklinde doğu batı doğrultusunda uzanmaktadır. Göl çevresinde 45 köy bulunmaktadır.

Orhangazi İlçesi, Marmara Bölgesinin doğusunda, Gemlik Körfezi ile İznik Gölü arasında kurulmuştur. Kuzeyinde Yalova ile Karamürsel İlçesi, Batısında Gemlik, Güneyinde Yenişehir, Doğusunda İznik İlçeleri bulunmaktadır.

Kuzeyinde Samanlı Dağları, güneyinde Katırlı Dağları ile çevrili, çanak şeklindedir. Çıplaklaşmış Samanlı Dağlarına rağmen Katırlı Dağları ormanlıktır. 303 km² lik yüzölçümü ile Marmara Bölgesinin en büyük gölüdür. Derin göllerden olan İznik gölünün büyük kesiminde derinlik 30 m'yi aşar. Gölün güney kıyısının açığında kıyıya koşut olarak 13 km boyunca uzanan bir çukur vardır. Yaklaşık 60 km genişliğindeki bu çukurun en derin yeri 65 m'yi bulur.

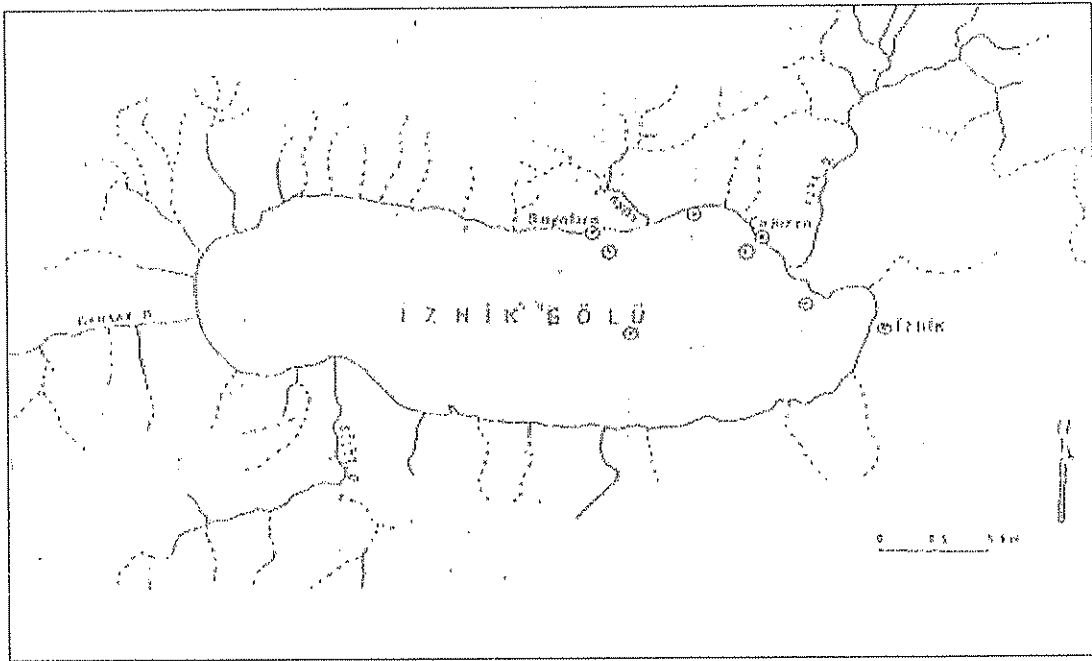
Tektonik göller , yerkabuğunun tektonik hareketleri sırasında oluşan çanaklardaki göllerdir. İznik Gölü tektonik bir göldür. Marmara Bölgesinin doğu- batı doğrultusunda peş peşe dizilmiş çukur sistemlerinden Pamukova- İznik - Gemlik Körfezi çöküntü alanı sırasının orta kesimindeki tektonik kökenli bir çukurun dolması ile oluşmuş olup kabaca elips biçimindedir.

Orhan Gazi İlçesinin genel yüzölçümü 476 km²'dir. Bunun % 29.4' ü tarım arazisi, % 1.6' sı çayır, mera, % 3.3'ü meskun mahal, % 30.9'u ormanlık alan ve % 34.8' si ise İznik Gölünün bir bölümüdür. Marmara Bölgesinin tüm özellikleri ilçede de aynen hüküm sürer. Yazlar kurak ve sıcak, ilkbahar, sonbahar ve kış ayları ılık, yağışlı geçer. Yıllık yağış ortalaması 701 mm'dir.

Marmara Bölgesi'nin en büyük, Türkiye'nin ise beşinci büyük doğal gölü olan İznik Gölü, derinliği en fazla 87 m olan tektonik bir tatlı su gölüdür. Güney ve kuzeyde alçak dağ sıralarıyla sınırlanmıştır. En büyükleri kuzeydoğudaki Karasu ve güneybatıdaki Sölöz olmak üzere, derelerin göle girdiği noktalarda küçük deltalar ve geniş sazlıklar oluşmuştur. Karsak Çayı gölün tek çıkış suyudur. Gölün batısından çıkar ve Marmara Denizi'ne akar. Gölün bu tarafında taşkınları önlemek için bir sedde inşa edilmiştir. Gölün su toplama alanı 1246 km² 'dir. Gölün yağış havzası

çok küçük olduğundan besleyici su kaynakları da o derece küçük ve sayıca azdır. En önemli akarsuları güneyde Sölöz ve Kocadere, kuzeybatıda Nadir kaynağı diye bilinen kaynağın beslediği Olukdere, kuzeyde Kurudere, kuzeydoğuda Karadere ve doğuda İznik ilçesi güneyinde Kırandere'dir. Göl bundan başka dipteki karstik kaynaklar ve yağmur suları ile de beslenir. (Türkmenler, 1999)

İznik Gölü ve Havzası Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. İznik Gölü ve Havzası

4.2. İznik Gölü Havzası

İznik Gölü Havzası Normal olarak bir su havzasında yapılabilecek hemen hemen bütün faaliyetler bulunmakta olup, bunlar aşağıda özetlenmektedir.

4.2.1 Tarım ve Hayvancılık

İlçede tarım denilince zeytincilik başta gelmektedir. Dünyanın en kaliteli zeytini Gemlik'te üretilmektedir. Türkiye standartlarında Gemlik tipi zeytin olarak geçmektedir. Havzada ekilebilen ve ekilebilecek olan toprak alanı 6674 ha olup, topraklarının pH'ı 7,8 - 8,5 arasındadır.

Havza içindeki ekonomik faaliyetlerin en önemlisi tarımdır. İznik gölünün güney sahili göl kotundan orman sınırına kadar zeytin bahçeleri ile kaplanmış durumdadır. Gölün güney batısında Bursa- İznik karayolundan, batısında ise Bursa- Yalova karayolundan orman sınırlarına kadar zeytin bahçeleri devam etmektedir. Bu arazide zeytin bahçelerinin yanı sıra, çeltik ekim sahaları, meyve bahçeleri , bağlar ve sebze bahçeleri yer almaktadır.

Çevre halkının gölden faydalanışı su ürünleri, sulama suyu ve sanayi suyu temini şeklindedir. Gölde ekonomik değere haiz balık türleri; ilik, sazan, akbalık, gördek ve yayındır. Sulama suyu temini iki şekilde olmaktadır: DSİ sulama projeleri kanalı ile sulama ve çiftçinin kendi imkanları ile yaptığı sulama. Gölde sanayi suyu kullanımı Gemlik Körfezindeki sanayi kuruluşları için su temini şeklinde olmaktadır.

Arazi Alanı (Hektar)

Tarım Alanı	: 14.099
Orman ve Fundalık	: 15.936
Çayır-Mera	: 750
Tarım Dışı Alan	: 16.815

Havzada ekonomi tarım ve sanayiye dayanmaktadır. İlçenin toplam alanı 476 km² olup, bunun 140.990 dekarı ekilebilir arazi, 7.500 dekar çayır, mera arazisi, 159.360 dekar orman arazisi, 168.150 dekarı ise tarım dışı arazidir. Tarımda kullanılan arazinin 64.540 dekarlık alanı sulanabilir arazi olup, bunun 27.500 dekarlık kısmı Devlet imkanları ile sulanabildiği halde 37.040 dekarlık alan ise çiftçinin imkanlarıyla sulanabilmektedir.

Havzada 1999 yılında üretilen başlıca ürünler, zeytin, kırmızı lahana, çeltik, buğday, elma, şeftali, patlıcan, domates, fasulye ve biberdir. Narenciye dışında her türlü sebze ve meyvenin yetiştiği ilçede bunların dışında dar alanlarda olmak üzere armut, erik, kiraz, fındık, ayva, çilek, salatalık tarımı ve bağcılık ta yapılmaktadır.

Hayvancılık genelde aile işletmeciliği olup, 1999 yılı içinde teşviklerle besicilikte gelişmeler görülmüştür. Tarım İlçe Müdürlüğünden alınan verilere göre, Merkez ve köylerde 3.513 adet sığır mevcut olup, sağılan inek sayısı 1.920 adettir. Bunu 4.259 adet koyun, 4.048 adet

keçi takip etmektedir. İlçede hayvan ıslahı çalışmaları tamamen İlçe Müdürlüğünün imkanlarıyla suni tohumlama yapmak suretiyle yapılmaktadır.

4.2.2. Sanayi ve Ticaret

Havza ekonomisinde asıl yeri tutan sanayii kuruluşlarıdır. Tekstil ve metal sanayi sektörlerinin etkin olduğu ilçede sanayi sektöründe çalışanlar toplam çalışanların yüzde 39'unu oluşturmaktadır. Sanayi kuruluşları ilçenin dışında İznik Gölünün batısında kuruludurlar.

4.2.3. Havzanın Demografik Yapısı

Sanayileşmenin yanı sıra dış göçler nedeniyle ilçe merkezinde devamlı nüfus artışı vardır. Köylerde ise iyi bir aile planlaması sonucu artış yok denecek kadar azdır.

Nüfus Yoğunluğu: 145 /km²

Nüfus Artış Oranı: % 20,08

Orhangazi Nüfusunun Bursa Nüfusuna Oranı: % 3,3

Köylerin Nüfusunun Orhangazi Nüfusuna Oranı: % 35,7

DİE verilerine göre İznik ve Orhangazi İlçelerinin nüfus bilgileri Tablo 4.1. de verilmiştir.

Tablo 4.1. İznik ve Orhangazi İlçelerinin Nüfus Bilgileri (DİE, 2004)

İlçeler	Toplam Nüfus	Kent Nüfusu	Nüfus Yoğunluğu	Nüfus Artış Oranı %
İznik	44.690	20.122	59	6,34
Orhangazi	68.976	44.370	145	20,08

4.3. İznik Gölü Su Bütçesi

Göle Giren Dereler; Sölöz Deresi(güneybatıda), Seki Deresi, Karabük Değirmenderesi, Şaraphane Deresi, Karadere, Karasu (Kuzeydoğuda), Kurudere, Olukdere dereleridir.

Gölden Çıkan Dereler; Karsak Çayıdır. Gölün batısından çıkar ve Marmara Çayına akar. İznik Gölü fazla sularını Karsak Çayı ile Gemlik Körfezine boşaltır.

Göle giren su miktarları Tablo 4.2. de, Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5. ile Şekil 4.2 de de Karadere-Çakırca Deresi ortalama debi değerleri verilmiştir.

Gölü besleyen ve gölden çıkan derelerin yıllık ortalama debileri ;

Tablo 4.2.Gölü Besleyen Akarsulara Ait Debi, Yıllık Ortalama Akış, Drenaj Alanı ve Nütrient Konsantrasyonu Bilgileri (* Ortalama Değer)

Nehir	Debi m ³ /sn	Yıllık ortalama akış mm/yıl	Drenaj Alanı Km ²	PO ₄ Konsantrasyonu P olarak mg/lit	Amonyaktaki N Konsantrasyonu mg/lit
Kocadere (sölöz)	0.83	338.1	76.9	0.44	1.06
Karadere (Çakırca)	2.09	298.9	219.7	0.32	0.154
Kurudere (Boyalıca)	0.48	252.6	59.9	0.065	0.48
Olukdere(Orh angazi)	0.75	316.8	74	0.121	0.258
Diğer	4.81	300	505.5	-	-
Toplam	8.96	300*	936	0.237*	0.488*

(Aral N.,1992.Hydrological Budget and The Role of Lake Nicola in Pollution of Gemlik Bay
Science of The Total Environment)

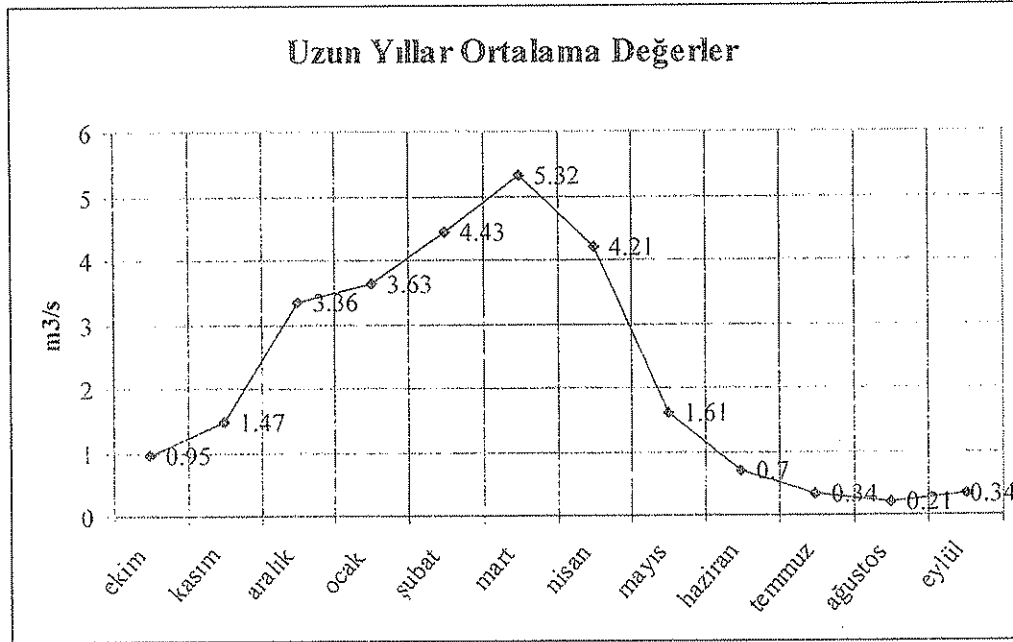
Tablo 4.3. Karadere-Çakırca Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı-2006)

KARADERE-ÇAKIRCA	
İstasyonun bağlı Bulunduğu Bölge : I. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BURSA	
Pafta : H 23	Koordinat : 40°27'59"N-29°40'47"E
Yaklaşık Kot (m) : 11	Yağış Alanı (km ²) : 234
Açılış Tarihi : 09.06.1966	Kapanış Tarihi : -
Gözlem Süresi Anlık Maksimum Değeri (m ³ /s) ve Tarihi : 270 m ³ /s - 18.10.1989	

Tablo 4.4. Karadere-Çakırca Uzun Yıllar Aylık Ortalama Değerler (m³/s)

UZUN YILLAR AYLIK ORTALAMA DEĞERLER (m ³ /s)	EKİM	0.95
	KASIM	1.47
	ARALIK	3.36
	OCAK	3.63
	ŞUBAT	4.43
	MART	5.32
	NİSAN	4.21
	MAYIS	1.61
	HAZİRAN	0.70
	TEMMUZ	0.34
	AĞUSTOS	0.21
	EYLÜL	0.34
	ORTALAMA	2.21

DSİ tarafından numune alınan/ölçüm yapılan noktalar farklı olduğu için tablolaradaki debi değerlerinde farklılık gözlenmektedir.



Şekil 4.2. Karadere-Çakırca Uzun Yıllar Ortalama Değerler (m³/s)

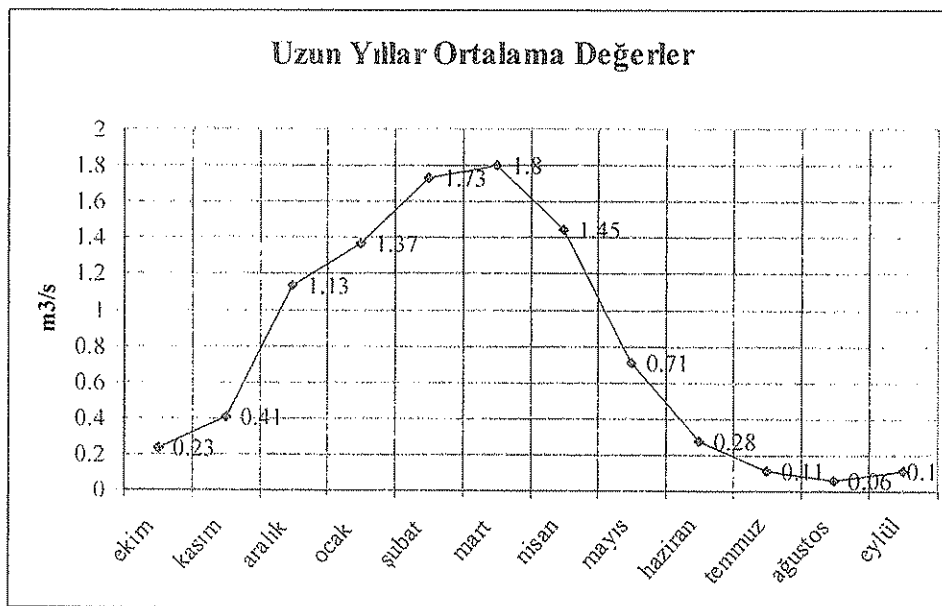
Tablo 4.6, 4.7 ve 4.8. ile Şekil 4.3 de Kocadere-Sölöz Deresi ortalama debi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Kocadere-Sölöz Deresi Yıllık Ortalama Debi Değerleri (DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı-2006)

KOCADERE-SÖLÖZ	
İstasyonun bağlı Bulunduğu Bölge : I. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BURSA	
Pafta : H 22	Koordinat : 40°23'39"N-29°25'05"E
Yaklaşık Kot (m) : 98	Yağış Alanı (km ²): 76.90
Açılış Tarihi : 09.06.1966	Kapanış Tarihi : -
Gözlem Süresi Anlık Maksimum Değeri (m ³ /s) ve Tarihi : 110 m ³ /s-27.04.1969	

Tablo 4.7. Kocadere-Sölöz Uzun Yıllar Aylık Ortalama Değerler (m³/s)

UZUN YILLAR AYLIK ORTALAMA DEĞERLER (m ³ /s)	EKİM	0.23
	KASIM	0.41
	ARALIK	1.13
	OCAK	1.37
	ŞUBAT	1.73
	MART	1.80
	NİSAN	1.45
	MAYIS	0.71
	HAZİRAN	0.28
	TEMMUZ	0.11
	AĞUSTOS	0.06
	EYLÜL	0.11
	ORTALAMA	0.78



Şekil 4.3. Kocadere-Sölöz Uzun Yıllar Ortalama Değerler (m³/s)

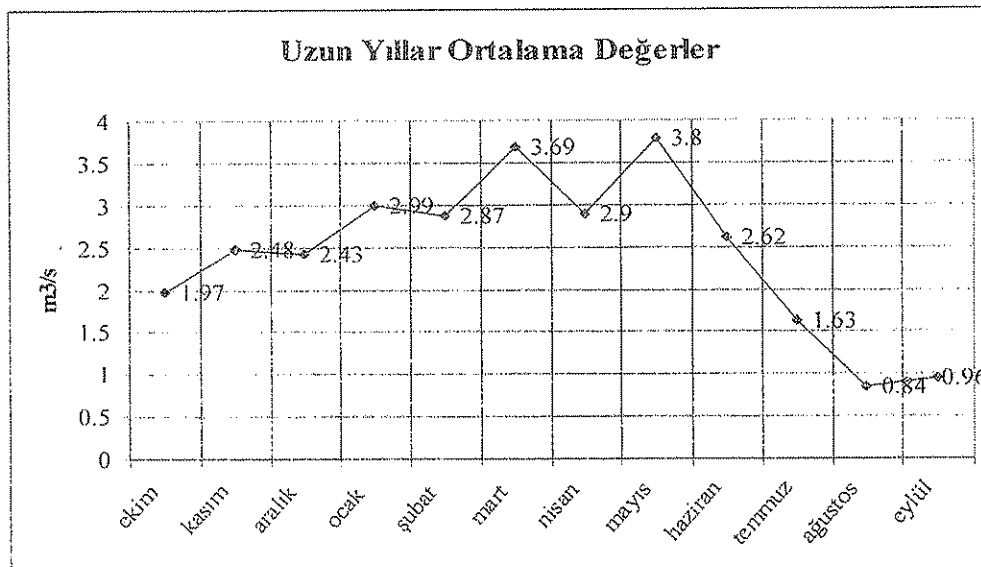
Tablo 4.9, 4.10 ve 4.11. ile Şekil 4.4 de İznik Gölü-Çıkış Kanalı ortalama debi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.9. İznik Gölü-Çıkış Kanalı Yıllık Ortalama Debi Değerleri (DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı-2006)

İZNIK G.-ÇIKIŞ KANALI	
İstasyonun bağlı Bulunduğu Bölge : I. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BURSA	
Pafta : H 22	Koordinat : 40°26'00"N-29°20'00"E
Yaklaşık Kot (m) : 85	Yağış Alanı (km ²): 1235.20
Açılış Tarihi : 11.01.1969	Kapanış Tarihi : -
Gözlem Süresi Anlık Maksimum Değeri (m ³ /s) ve Tarihi : 20 m ³ /s - 27.01.1982	
Açıklama : 30.07.1997'de işletmeye devredildi	

Tablo 4.10.İznik Gölü-Çıkış Kanalı Uzun Yıllar Aylık Ortalama Değerler (m³/s)

UZUN YILLAR AYLIK ORTALAMA DEĞERLER (m ³ /s)	EKİM	1.97
	KASIM	2.48
	ARALIK	2.43
	OCAK	2.99
	ŞUBAT	2.87
	MART	3.69
	NİSAN	2.90
	MAYIS	3.80
	HAZİRAN	2.62
	TEMMUZ	1.63
	AĞUSTOS	0.84
	EYLÜL	0.96
	ORTALAMA	2.43



Şekil 4.4. İznik Gölü-Çıkış Kanalı Uzun Yıllar Ortalama Değerler (m³/s)

4.4. İznik Gölü Suyunun Kullanımı

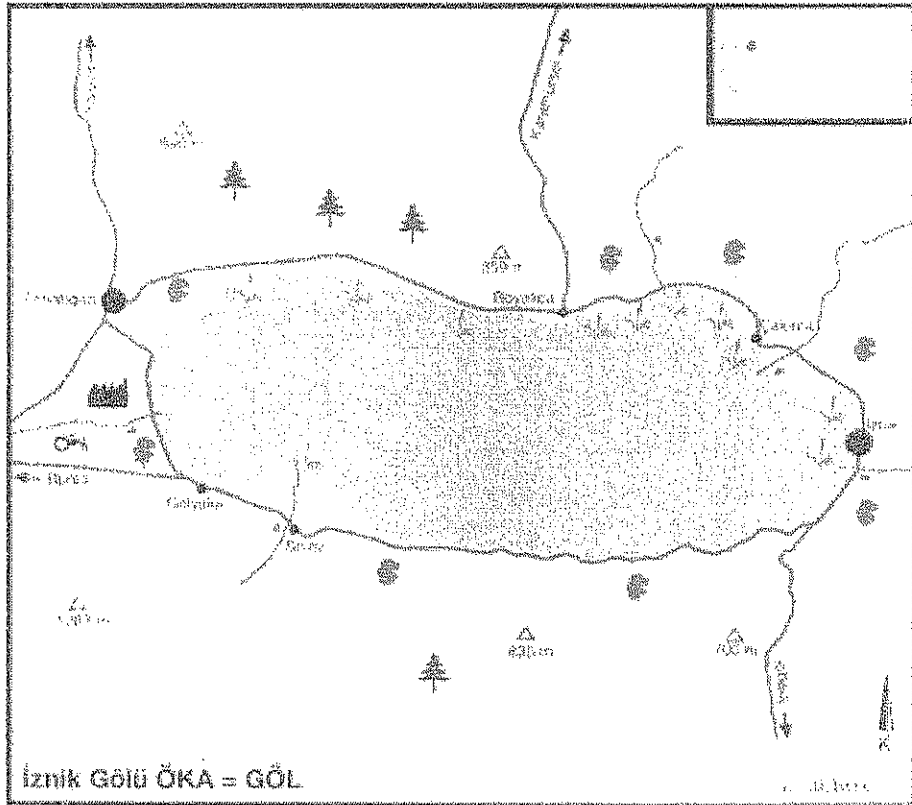
Havzada günümüzdeki yararlı kullanımlar,

- 1) Kuş türleri için barınak teşkili (Şekil 4.5.)
- 2) Tarımsal su temini
- 3) Zeytincilik
- 4) Çeşitli balık türlerine doğal yaşam ortamı (İznik Gölü'nde tutulan gümüş balığı, başta Fransa, İtalya ve Yunanistan olmak üzere pek çok ülkeye ihraç edilmektedir. Gölde balık tutma işi, Orhangazi, Narlıca, İznik ve Çakırca Su Ürünleri Kooperatifi tarafından yapılmaktadır.)
- 5) Endüstriyel su temini
- 6) Coğrafya, göldeki flora faunası, çevresindeki bitki örtüsü ve tarım topraklarının özel mahsul alanı olmasıyla yerkürenin önemli topraklarına sahiptir. İznik Gölü ve etrafındaki bu medeniyetin oluşmasında yerin stratejik konumunun yanı sıra ekolojik değerlerinin de katkısı vardır.
- 7) İznikGölü sahili Kumbaşı'ndan Kıran Deresine kadar 5 km uzunluğunda piknik alanına sahiptir.
- 8) Göl yaklaşık 12.2 milyar m³ su hacmine sahip olup, bölgede yaklaşık 12,000 ha tarım alanı göl suyu ile sulanmaktadır. Tarımsal üretim üzerindeki etkisiyle göl, bölge ekonomisi için önemli bir konumdadır (Başar, Çelik ,Turan, 2002).

Gelecekteki yararlı kullanımlar;

- 1) Yerleşim bölgelerine su temini
- 2) Tarımsal su temini
- 3) Endüstriyel su temini
- 4) Rekreasyon
- 5) Su ürünleri üretilmesi ve avlanması
- 6) Atıksuların uzaklaştırılması

olarak sıralanabilir.



Şekil 4.5. İznik Gölü Önemli Kuş Alanları Haritası

4.5. İznik Gölü Risk Faktörleri

4.5.1. Kirlilik

Orhangazi'deki sanayi tesislerinden, çevredeki yerleşim birimlerinden ve küçük zeytinyağı fabrikalarından ve de İznik Kasabası'ndan göle atıklar karışmaktadır. Bundan kaynaklanan aşırı yosunlaşma ve toplu balık ölümleri dikkat çekmektedir.

DSİ Genel Müdürlüğü göl içinde belirlenen 9 gözlem noktasında ve Olukludere, Karadere ve Kocadere’de kalite izleme çalışmaları yapılmaktadır.

1) Olukludere

Orhangazi kasabasına doğrudan sınır olan deredir. Deredeki suyun kalitesi Yalova yolu köprüsüne gelinceye kadar temizdir. Fakat bu noktada bağlanan Orhangazi ve civarındaki yakın yerleşimlerinin kanalizasyonları ve Orhangazi Belediyesi Mezbahasının atıksuları kaliteyi önemli ölçüde etkilemektedir.

2) Karadere

Bu derede tespit edilmiş olan kirlilik, zirai mücadele ilaçlarından kaynaklanmaktadır.

3) Kocadere

Sölözden akıp göle mansab olan Kocadere, yağış havzası en büyük olan deredir. Sölöz beldesinin kanalizasyonu buraya deşarj edilmekte olup, Kocadere’nin suyundan yaz sezonu boyunca sulama yapıldığından göle pek fazla su ulaşmamıştır.
(Bursa İl Çevre Müdürlüğü, 2006)

Tablo 4.13. İznik Gölü ve Kirlenme Nedenleri (Bursa İl Çevre Müdürlüğü, 2006)

Su Kaynağı	Evsel Sıvı Atık	Evsel Katı Atık	Sanayi Atıkları	Zirai Faaliyetler	Denizcilik
İznik Gölü	X		X	X	

İznik Gölü’nün korunması amacıyla; kentin evsel nitelikli atıksuları için ve organize sanayi bölgelerinin her birinden kaynaklanan evsel ve endüstriyel nitelikli atık sularının arıtıldıktan sonra sözü geçen su kaynaklarına verilmesi için arıtma tesisleri kurulmuştur.

4.5.2. Göldeki Sınırlayıcı Elementin Belirlenmesi

1970’lerden önceki çalışmalarda sınırlayıcı elementler olarak P ve N elementleri verilmiştir.

Çeşitli sulardaki N/P oranları şöyle belirlenmiştir.

Deniz sularında : 16/1

Sahil sularında : (5-10)/1

Biyolojik tasfiye görmüş evsel kullanılmış sulardaki : 4/1'dir.(Aral, 1995)

Forsber (1975) yaptığı çalışmalarda sınırlayıcı element olarak fosforu bildirmektedir. N/P sitokiyometrik oranı 16/1, kütleler oranı ise 7/1 dir. Eğer bu oran 7'den büyükse sınırlayıcı element fosfor, küçükse azottur (Masters, G.M., 1991). Buna göre İznik Gölü için yapılan önceki çalışmalarda; göl için sınırlayıcı elementin fosfor olarak tespit edilmiştir (Eken, 1998)

4.5.3. Su Rejimine Yapılan Müdahaleler

1963'te gölün batısındaki seddenin yapımı sonucunda 416 ha sulak alan kurutulmuştur. Su tutma amacıyla da yapılan bu sedde, gölü kısmen bir rezervuara dönüştürmüştür.

4.5.4. İznik Gölü'nün Kirlilikten Korunması İçin Alınan Önlemler

- 1) İznik Gölü 1990 yılında SİT Alanı ilan edilmiştir.
- 2) 1963'de gölün batısındaki seddenin yapımı sonucunda 416 ha sulak alanları kurutulmuştur. Su tutma amacıyla da yapılan bu sedde, gölü kısmen bir rezervuara dönüştürmüştür. Yaklaşık 9000 ha tarım arazisi göl suyuyla sulanmaktadır. Yapımı süren bu tesislerle bu alanın 6945 ha daha artırılması öngörülmüştür. Bunun yanı sıra, göl kıyısındaki tarım alanlarının sulanması için çiftçiler tarafından pompayla su çekilmektedir.
- 3) Elde bulunan kısıtlı kuş bilgilerinden, su düzenine müdahale edilmeden önce, gölün ornitolojik açıdan daha önemli olduğu tahmin edilmektedir (seddelemenin su seviyesini yükseltmesi sonucu, sazlık ve bataklık alanların azaldığı varsayılmaktadır).
- 4) Çevredeki sanayi tesislerinden ve yerleşim birimlerinden ve küçük zeytinyağı fabrikalarından göle atılmamış atıklar karışmaktadır. Gölün kirlilik sorununu ele alan kapsamlı bir çalışma bulunmamakla birlikte, yakın dönemde görülmüş olan aşırı yosunlaşma ve toplu balık ölümleri, sorunun önemine ve boyutuna dikkat çekmektedir.
- 5) İznik Gölü'nde sıcaklıktan dolayı tabakalaşma vardır.

- 6) İznik Gölü'nde derinlik arttıkça çözünmüş oksijendeki azalma fazlalaşmaktadır
- 7) Seki diski derinliği 4-5 metre arasındadır.
- 8) Göle direkt olarak kanalizasyon ve endüstriyel atık su deşarj edilmektedir. (Aral, 1995)

5. İZNİK GÖLÜ MODEL UYGULAMASI

5.1. Model Kavramı

Matematik modeller su kalitesi yönetim çalışmalarında kullanılır. Canlı organizmalar ve bunların karşılıklı ilişkileri, kimyasal, fiziksel ve biyolojik olayları kapsar. Çevre kalitesi anlayışına yön verir.

Modeller şu yönlerden faydalıdır;

- 1-) Ekosistemin bileşenleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasında,
- 2-) Ekosistemin yapısı, fonksiyonu ve dinamiğinin araştırılmasında
- 3-) Çevresel değişiklikleri tayin, tanımlama ve belirlemede
- 4-) Çevresel değişiklikler için metodlar geliştirmede,
- 5-) Sosyo-ekonomik proses ve ekosistem arasındaki karşılıklı ilişkiyi incelemeye,
- 6-) Çevre araştırmalarının global uygunluğunu sağlamada veya artırmada,
- 7-) Çevre uygulamaları için simülasyonu ilerletmede,

Matematik modeller, alınacak önlemlerin su bünyesindeki kirliliğin değişmesindeki etkisinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olur (Karpuzcu, 1982).

Modeller deneysel ve gözlemsel çalışmalarla üretilen hipotezi kontrol etmek için düzenlenir. Daha sonraki varsayımları oluşturmada ve geçmişteki verilerin incelenmesinde kullanılır. Modeller yardımıyla besin maddesinin kaynakları ve kayıpları arasındaki denge araştırılır, ekosistemdeki biyolojik değişimler incelenir. Parametreler, biri diğerinin fonksiyonu olarak çoklu bir regresyon halinde ifade edilir. Bu durumda ele alınmayan değişkenlerin etkisi fazla olabilir.

Limnolojistlerin büyük bir kısmı, yüzeysel sulardaki birinci kademe üretimi kontrol altında tutan kilit elemanın fosfor olduğunu kabul etmişlerdir (Sarıkaya, 1978). Bunun yanında azot bileşiklerinin ekosistemler için engelleyici besin maddesi olduğunu kabul eden araştırmacılar da az değildir (Harleman ve diğerleri, 1975).

Genel olarak oligotrofik sularda fosforun , ötrofik sularda ise azotun birinci kademe üretimi engelleyici besin maddesi olduğu kabul edilmektedir. Fosfor bileşiklerinin kullanılmış

sulardan uzaklaştırılması daha kolay ve kontrolü daha etkili olduğu için ötrofikasyon çalışmalarında fosforun kontrol edilmesi daha yaygındır.

Genel olarak, her yüzeysel su için sınırlayıcı besi maddesi farklıdır. Bir yüzeysel su için mevsimlere göre bazen azot ve bazen de fosfor sınırlayıcı besi maddesi olabilir.

Çok az da olsa karbonun engelleyici besi maddesi olduğunu iddia eden çalışmalar da vardır (Lange, 1967; Kuentzel, 1969; Kerr, 1970). Ancak literatüre “Lange-Kuentzel-Kerr” tezi olarak geçen bu görüş fazla ilgi görmemiştir (Karpuzcu, 1979).

Matematik modeller iki grup olarak sınıflandırılır.

- 1) Verilerin analizi kullanılarak geliştirilen korelasyon modeller; göle gelen besi maddesi yükü ile gölün besin seviyesi arasındaki bağıntıları, göl parametrelerine bağlı birinci kademe üretim modellerini kapsar.

$$(P) = (L(P)/q_s)(1/(1+\sqrt{Z}/q_s))$$

(P) = Göldeki fosfor konsantrasyonu (mg/lt)

L(P) = Yüzeysel fosfor yükü (mg/lt)

q_s = Hidrolik yük

Z = Ortalama derinlik (m)

Homojen, tam karışım, iç yükün çok az olduğu sınırlayıcı elemanın fosfor olduğu göllere uygulanır.

- 2) Verilerden elde edilen bilgilerin birleştirilmesiyle kurulan teorik modeller; göl ve çevre parametrelerine bağlı göl besi maddesi modelleri gibi farklı sistem bileşenleri arasındaki ilişkileri inceleyen bir model çeşididir.

$$V.(dc/dt) = (Q.C_i)-(Q.C)$$

V = Göl hacmi

C = Göl besi maddesi konsantrasyonu

C_i = Girişteki besi maddesi konsantrasyonu

Q = Giriş debisi

Bu model gölde ki korunabilen kirleticilere uygulanabilir.

5.2. Havza Modelleri

Havza, arazideki en üst kotlu noktaların çevrelediği su toplama alanıdır. Havzaya ait yağış, yüzeysel akış, akarsuyun izlediği yol vb. hidrolojik çevriminin değişik bileşenlerine ait veriler bir havza modelinde kullanılarak, modelde yağmur suyunun akışı ile ilgili hidrolojik hesapların yanı sıra, taşınan sediment ve nutrient yükleri tahminleri yapılabilir.

Havza modelleri, su toplama sınırları içinde kalan tüm alanı Havza Yönetim alanı kabul ederek, karar-destek sistemi için bilgi üretecek şekilde tasarlanırlar. Model sonuçları tüm havza bazında değerlendirmeler için imkan sağladığı gibi, havzanın farklı bölgelerinde oluşan değişimler hakkında da bilgi verirler.

Havza modelleri genel olarak,

- 1) Analizde kullanılan konumsal hassasiyete göre Arazinin bölgeler halinde değerlendirildiği bölgesel modeller, veya arazinin matris şeklinde daha küçük birimlere ayrıldığı karelajlı modeller,
- 2) Modellenen proseslerin zaman boyutu da göz önüne alınarak, kesikli veya sürekli modeller olarak sınıflara ayrılabilir.

5.3. Su Kalitesi Modelleri

Simülasyon Modelleri ve Optimizasyon Modelleri olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir. Simülasyon modelleri, genellikle prosesi anlama, araştırma, işletme ve kontrol amaçlarına yöneliktir.

Optimizasyon modelleri ise buna zıt olarak öncelikle planlama ve yönetim amaçlıdır. Çoğu kez bu iki metod ard arda uygulanır. Optimizasyon alternatifleri elemeye, simülasyon ise son seçimi yapmada kullanılır.

Straskaba (1973), Limnolojik matematik modelleri;

- 1) Hassas ve kusursuz (Precisize) modeller,
- 2) Gerçekçi veya gerçeğe uygun (realistik) modeller,
- 3) Genel modeller,

olarak üç grupta toplamaktadır.

Hassas modeller son derece karmaşık ve deneysel bağıntılara dayanır. Gerçekçi modeller büyük ölçüde su yatağındaki karşılaştırmalardan elde edilir. Genel modeller ise basit olup önceki araştırmaların sentezine dayanır.(Karpuzcu, 1979)

5.4. İznik Gölü İçin Uygun Bir Modelin Seçimi

Göl ekosistemleri çok sayıda biyokimyasal olayları kapsar. Göl ekosistemlerinin bütün bileşenlerini ve bütün faktörlerini kapsayan kompleks modeller çok fazla veriyi gerektirir. Bu verilerin elde edilmesi oldukça masraflı ve zordur. Model seçiminde önemli faktörler şunlardır.

- 1-) Modelin amacına uygun olarak seçilmesi,
- 2-) Pratikte tatbik imkanı bakımından modelin kolay olması
- 3-) Ortamdaki neden sonuç ilişkisini ifade etmesi
- 4-) Dayandığı temel prensibin gölün şartlarına uygun olması(Karpuzcu, 1982).

Basit modeller bir değişkene ait verileri kapsamasına rağmen gölün beslenme seviyesinin iyi bir göstergesi olurlar. Ötrofikasyon olayında çevresel değişikliklere karşı gölün tepkisini anlamada bu modeller yararlı olup uzun süreli göl beslenme havzası planlaması için kaynak teşkil ederler. Buna göre, İznik Gölü için göldeki besin maddesi miktarını, besin maddesi kullanımının ve göldeki kayıpların fonksiyonu olarak veren, sınırlayıcı elemanı fosfor olan göllere uygulanan “Fosfor Bekleme Süresi Modeli” seçilmiştir.

5.5. Model İçin Gerekli Parametreler

5.5.1. Evsel Atıksulardan Gelen Yükler

Evlerden Gelen yada çoğunluğu evlerden gelen pis sulardan oluşan şehir kanalizasyon sularının özellikleri;

Toplam N g/kişi/gün 6-12 değerleri arasında, toplam P g/kişi/gün 0.9-40 değerleri arasında bulunmaktadır. İznik Gölü için;hesaplamalarda minumum değerleri alınmıştır.

Kıyaslayıcı Kriter Olarak;

Marmara Havzasındaki Kanalizasyon Kirlilik Yükleri Kullanılmıştır.

Hesaplamalarda insan için, 6-12gr N/kişi-gün ve 1-4grP/kişi-gün kullanılarak 4.38 kgN/kişi-yıl ve 1.5kgP/kişi-yıl karakteristikleri alınmıştır (Türkmenler,1999). Atıklarını göle vermekte olan nüfus yaklaşık 113666 kişi civarındadır. Bu nüfus değeri İznik ve Orhangazi İlçelerinin nüfuslarının toplamı olarak alınmıştır.

Buna göre evsel atıklarla göle gelen azot ve fosfor miktarı:

$$113666\text{kişi} \times 4.4\text{kgN/kişi-yıl} = 500130.4\text{kgN/yıl}$$

$$113666\text{kişi} \times 1.5\text{kgP/kişi-yıl} = 170499\text{kgP/yıl}$$

olarak hesaplanmıştır.

5.5.2. Tarım Alanlarına Ait Yükler

Havzadaki toprak kullanımı Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Havzadaki Toprak Kullanımı

Arazi Kullanımı	Alanı km ²	Hektar(ha)	Tarım ve Hayvancılık Açısından Sınırlan dırılmış Alan(ha)
Tarım Arazisi	476x %29.3	13946.8	14049
Çayır Mera Arazisi	476x %1.5	714	750
Meskun Mahal	476x %3.3	1570.80	0
Ormanlık Alan	476x %30.9	14708.4	15936
İznik Gölü'nün Bir Bölümü	476x %37.4	170802.4	0
Tarım Dışı Alan			16865
Toplam Alan			47600

(Eken, 1998)

Gübreleme ile toprağa verilen fosfor ve azot miktarları 29kgP/ha-yıl , 56kgN/ha-yıl olduğu zaman yüzeysel sularda 0.11kgP/ha-yıl, 5.5kgN/ha-yıl çıkmaktadır (Rast, Lee, 1982). Bu verilere göre havza tarım alanlarından 1.112kgP/ha-yıl ve 79.06kgN/ha-yıl değerlerinin çıkarıldığı

hesaplanmıştır. Bunların tarım alanları ile çarpımı havzadan gelen yük miktarını vermektedir. Kırsal bölgelerde, yüzeye verilen besi maddesi yükünün %10'u yüzey suları ile taşındığında besi maddesi yükünün %10'u yüzey suları ile taşındığından besi maddesi yükünün %10'u alınmıştır (Rast, Lee, 1982).

Azot Yüğü;

Tarım Alanı x 79.06 kgN/ha-yıl = Havzadan Çıkarılan Yüğü

$$14049 \times 79.06 = 1110713.94 \text{ kgN/yıl}$$

$$\%10 \times 1110713.94 = 111071.394 \text{ kgN/yıl}$$

Fosfor Yüğü;

Tarım Alanı x 1.112 kgP/ha-yıl = Havzadan Çıkarılan Yüğü

$$14049 \times 1.112 = 15622.488 \text{ kgP/yıl}$$

$$\%10 \times 15622.488 = 1562.2488 \text{ kgN/yıl}$$

5.5.3. Orman Alanlardan Gelen Yüğüler

Orman alanlardan gelecek yüğü için karakteristikler, 0.01grP/m²-yıl ve 0.5grN/m²-yıl alınmıştır (Rast, Lee, 1982). Bu değeryler toprak kullanımını veren tablodan alınan orman alanı ile çarpılarak yüğüler bulunmuştur.

$$0.5 \text{ gr N/m}^2\text{-yıl} \times (15936 + 750) = 83430 \text{ kgN/yıl}$$

$$0.01 \text{ grP/m}^2\text{-yıl} \times 1668 \text{ ha} = 1668.6 \text{ kgP/yıl}$$

Atmosfere ait yüğü hesabında göl yüzeyine düşen yağmur suyu dikkate alınmıştır. Göl yüzeyine düşen yağmurdaki N konsantrasyonu 1mg/lt, P konsantrasyonu 0.1mg/lt (Rast, Lee, 1982). Ortalama yıllık yağış 701mm karakteristikleri kullanılarak yağmur suyundan gelen yüğüler.

$$\text{Göl Alanı} = 303 \text{ km}^2$$

$$\text{Ortalama Yıllık Yağış} = 701 \text{ mm}$$

$$\text{Göle Düşen Toplam Yağış Miktarı} = \text{Ortalama Yıllık Yağış} \times \text{Göl Alanı}$$

$$\text{Göle Düşen Toplam Yağış Miktarı} = 701 \text{ mm/yıl} \times 303 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{yıl} = 212403 \text{ kgN/yıl}$$

$$\text{Göle Ulaşan P Miktarı ise } 23709 \text{ kgP/yıl,}$$

Şeklinde hesaplanmıştır (Türkmenler,1999).

5.5.4. Derelerin Getirdiği Yükler

Kocadere ve Karasu Derelerinde Sakarya Havzasındaki kuruluşlardan gelen yükler için DSI tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, bu kuruluşların atıksu karakterilasyonu çalışması yapılmış, ancak yük tespitine gidilememiştir.

Göle Giren Toplam Fosfor=Derelerin Getirdiği P Miktarı

Fosfor İçin;

$$W \text{ Sölöz Deresi} = 0.187 \times 0.44 \times 86400 \times 365 \times 10^{-3} = 2594.78 \text{ kgP/yıl}$$

$$W \text{ Karadere} = 1.257 \times 0.32 \times 86400 \times 365 \times 10^{-3} = 12685.04 \text{ kgP/yıl}$$

$$W \text{ Kurudere} = 0.48 \times 0.065 \times 86400 \times 365 \times 10^{-3} = 983.92 \text{ kgP/yıl}$$

$$W \text{ Olukdere} = 0.279 \times 0.121 \times 86400 \times 365 \times 10^{-3} = 1064.62 \text{ kgP/yıl}$$

Azot İçin;

$$W \text{ Sölöz} = 6251.06 \text{ kgN/yıl}$$

$$W \text{ Karadere} = 6104.67 \text{ kgN/yıl}$$

$$W \text{ Kurudere} = 7265.89 \text{ kgN/yıl}$$

$$W \text{ Olukdere} = 22070.02 \text{ kgN/yıl}$$

N İçin 6 g/kişi/gün değeri kullanılarak;

$$N \text{ Yüğü} = 6 \times 113666 \times 365 / 10^4 = 24892,8540 \text{ kgN/yıl}$$

P için 0.9g/kişi/gün değerleri kullanılarak;

$$P \text{ Yüğü} = 0.9 \times 13666 \times 365 / 10^4 = 3733.9281 \text{ kgP/yıl değerleri bulunmuştur.}$$

Göle Giren Toplam N Miktarı = Tarım Alanına Ait Yük+Evsel atıktan Gelen Yük+Orman Alanlarından Gelen Yük+Derelerin ve Kanalizasyonların Getirdiği Yük

Göle Giren Toplam N Miktarı ;

$$= 111071.394 + 500130 + 83430 + 212403 + 41691.64 + 24892.8540 = 973618.884 \text{ kgN/yıl}$$

Buradan göle giren N yüğü

Göle Giren N Yüğü = 3.25 grN/m²-yıl olarak hesaplanmıştır.

Göle giren toplam P miktarı aynı yol ile 283963016.1 g/yıl bulunmuştur.

Göle giren toplam P yükü de 0.79g/m²-yıl bulunmuştur. (Tablo 5.2)

İznik Gölünde kısıtlayıcı elamanın fosfor olduğu görülmüştür.

5.5.5. Kritik Fosfor Yükünün Hesaplanması

Vollenweider Yöntemi (OECD Report, 1982)

$$L_c = 10 \times q_s \times \left(1 + \sqrt{\frac{z}{q_s}}\right)$$

q_s = Hidrolik yük, m/yıl

z = Ortalama derinlik, m

L = Kritik P yükü, mgP/m²-yıl

İznik Gölü'nden çıkan ortalama su miktarı; 466.09x10⁶ m³/yıl'dır.

$$q_s = \frac{z}{T_w} = \frac{Q}{A} \text{ ise; } q_s = \frac{466.09 \times 1000000 \text{ m}^3 / \text{yıl}}{300 \times 1000000 \text{ m}^2} = 1.553 \text{ m / yıl}$$

$$z = 45 \text{ m}$$

$$1.553 \text{ m/yıl} = 45 \text{ m} / T_w$$

$$T_w = 28.97 \text{ yıl}$$

$$L_c = 10 \times 1.553 \times \left[1 + \sqrt{\frac{45}{1.553}}\right] = 99.127 \text{ mgP / m}^2 - \text{yıl}$$

Göle giren P yükü kritik P yükünün yaklaşık 12 katı çıktı. Bu yüzden gölde kirlilik önemli ölçüde artmıştır. Göl artık ötrofik duruma doğru yönelmiştir (Türkmenler, 1999).

Tablo 5.2. İznik Gölü Yıllık (N), Fosfor (P) Giriş ve Çıkışı :

Kaynak	AZOT		FOSFOR			
	Miktar (km ³ yıl) debi	Konst. (mg/ m ³)	Göle Toplam Giren%	Konst. mg/ m ³	Toplam Ağırlık kg/yıl	Göle Top.Giriş %
Direkt Göle Giren	0,1842	0,245	2	130	23946	98
Nehirlerin Toplam akışı	0,28189	488	67	237	66808	33
Gölde bul.Göl hacmi=11902km ³		0,67		1078	21185,6	

(DSİ 1.Bölge Müd, İznik Gölü Hidrolojisi Planlama raporu, 1984)

İznik Gölü'nde Çıkış Verileri :

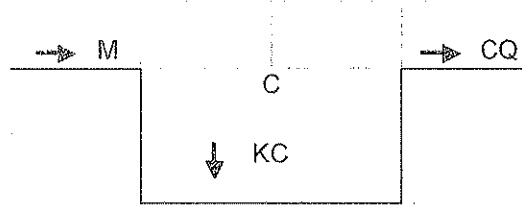
Tablo 5.3. İznik Gölü Su Çıkış verileri

Buharlaşma	$380.2 \times 10^{2*3} \text{ m}^3/\text{yıl}$
Gemlik Körfezine Çıkış	$4,85 \times 10^{2*3} \text{ m}^3/\text{yıl}$
Sulama İçin alınan	$71,04 \times 10^{2*3} \text{ m}^3/\text{yıl}$
Endüstriyel amaçlı	$10 \times 10^{2*3} \text{ m}^3/\text{yıl}$
Toplam Çıkış	$466,09 \times 10^{2*3} \text{ m}^3/\text{yıl}$

(DSİ 1. Bölge MÜD., İznik Gölü Hidrolojisi Planlama Raporu, 1984)

5.5.6. Besi Maddesi Bekleme Süresi Modeli

Bir göldeki besin maddesi miktarı hem besin maddesinin organizmalar tarafından kullanımı hem de onların göl içindeki kayıplarının bir fonksiyonudur. Bir göldeki besin maddesi kayıpları ya sedimantasyona veya doğrudan gölden çıkışlarla olabilir. Besin maddesi dip çökeltisi tarafından hem absorblanır, hem de suya tekrar bırakılır. Doğal denge sedimentte birikimle sonuçlanır. Bu birikim, sudaki besin maddesi miktarıyla orantılıdır. Çok iyi karışmış bir gölde kütle dengesi yazılarak 5.1 denklemi elde edilir. Zamana bağlı olarak konsantrasyonun değişim hızını gösteren formül ve modelin şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.1. Modelin Şematik Gösterimi

Kabuller ;

- 1) Bu model, sedimente geçen fosforun bir kısmının, sedimentten ayrılarak göle geçemeyeceğini kabul eder. Çökme ile tabana inen besin maddeleri kayıp olarak ele alınmış, taban çökeltisinden serbest bırakılan besin maddeleri ihmal edilmiştir.
- 2) Kış aylarında düşey doğrultuda sıcaklık farkının olmadığı ve göl yüzeyinin donmadığı kabul edilmiştir.

3) İyi karışımli bir gölde; ortalama yıllık değerlerle uzun süreli etkilerin tahmin edilebildiği kabul edilir. Söz konusu besi maddesi üzerindeki bir kütle dengesi yazılabilir.

4) Gölün tam karışımli olduğu kabul edilmiştir.

(5.1)

$$\left(\frac{dc}{dt}\right) = \left(\frac{M}{V}\right) - C \times \left(\frac{Q}{V}\right) - K \times C \times \left(\frac{A}{V}\right)$$

M= Göle gelen yük miktarı, (gr/yıl)

C= Ortalama yıllık fosfor konsantrasyonu, (gr/m³)

K= Sedimentlerle net kayıp hızı, (m/yıl)

Q= Ortalama yıllık çıkış debisi (m³/yıl)

V= Göl hacmi, (m³)

A= Yüzey alanı, (m²)

Co= Başlangıçtaki besi fosfor konsantrasyonu,(gr/m³)

t= Zaman, (yıl)

$$V \times \left(\frac{dc}{dt}\right) = M - (Q + K \times A) \times C$$

Yukarıdaki eşitlik tekrar düzenlenirse,

$$\frac{dc}{dt} = \frac{M}{V} - (Q + K \times A / V) \times C$$

$$R_n = \frac{V}{Q} + (K \times A)$$

Co'dan t=0 anından C'ye T sonsuza doğru eşitlik yeniden integre edilirse;

(5.2)

$$C = \frac{M}{Q + KA} * (1 - e^{-\frac{Q+KA}{V}t}) + C_0 e^{-\frac{Q+KA}{V}t}$$

Yukarıdaki formül herhangi bir t anında göl içindeki ve çıkışındaki besi maddesi konsantrasyonunu verir, t sonsuza giderken ki konsantrasyon kararlı hal konsantrasyonudur ve aşağıdaki formülle gösterilir.

(5.3)

$$C_{eq} = \frac{M}{Q + KA}$$

C_0 denge konsantrasyonundan yeni bir denge konsantrasyonunun %10 fazlası mertebesindeki bir değere ulaşmak için geçen süre t_{10} diye tanımlanabilir. Bu süre yeni kararlı konsantrasyona ulaşmak için geçecek olan sürenin bilinmesinde pratik amaçlar için yeterli yaklaşımla bir sonuç vermektedir. Eğer 5.1 denkleminde entegrasyondan sonra C_{eq} yerine $1.1C_{eq}$ konursa aşağıda görülen ve t_{10} u veren denklem 5.4 ifadesi elde edilmiş olur.

(5.4)

$$t_{10} = \frac{V}{(Q + KA)} \times \left[2.3 + \ln \left(\frac{Q + KA}{M} \right) C_0 - 1 \right]$$

5.5.7. Çökelme Katsayısının Hesaplanması

Kararlı halde konsantrasyonu veren 5.3 denklemi düzenlenirse aşağıdaki bağıntı elde edilmiş olur

$$C = \frac{L}{Z(\sigma + \rho)} \quad (5.5)$$

C = Göldeki besi maddesi konsantrasyonu, (mg/m³)

L = Birim yüzey alını başına yıllık besi maddesi yük, (mg/m²-yıl)

Z = Gölün ortalama derinliği, (m)

σ = Çökelme katsayısı, (1/yıl)

ρ = 1/Bekleme süresi, (1/yıl)

Sedimentasyon katsayısı yukarıdaki eşitlik yeniden düzenlenerek elde edilebilir.

$$\sigma = (L/Z)/C - \rho \quad (5.6)$$

Vollenweider, 1969 yılında fosfor için çökelme katsayısı değerlerinin 0.1'den 1'e doğru listelemiştir.

5.5.8. Rp ve Rw'nin Hesaplanması

Rp fosfor bekleme süresi, Rw su bekleme süresidir. Rp sadece V, Q, K ve A'nın bir fonksiyonudur. Rp giriş konsantrasyonundaki değişikliklerden etkilenmedi.

$$Rw = V/Q = 12,045 \times 10^6 / 1.30874400 \times 10^8 = 0.09 \text{ yıl}$$

$$Rp = V/(Q+KA) = 12,045 \times 10^6 / (1.30874400 \times 10^8 + 1.2 \times 300 \times 10^6) = 0.024 \text{ yıl}$$

Fosfor bekleme süresi su bekleme süresinden daha az çıktı. Bu durum İznik Göl'ü suyunun fosfor açısından kirlilik durumunda olduğunu gösterir (Türkmenler, 1999).

5.5.9. K Hesaplamaları

K sedimentlerle net kayıp hızıdır. İznik Gölü için, fosfor çökelme katsayısını tahmin etmek için gerekli parametreler L, $Z=V/A$, TP, $\rho = Q/V$, σ 'dır. Buradan K katsayısı $K = \sigma \times Z$.

Fosfor için;

1) Direk Göle Giren:

$$\text{Yıllık ortalama yağış} = 701 \text{ mm/yıl}$$

$$\text{Göl yüzey alanı} = 303 \text{ km}^2$$

$$Q_1 = 0.701 \text{ m/yıl} \times 303 \times 10^3 \text{ m}^2 = 2.12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$M_1 = 2.12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 130 \times 10^{-3} \text{ gr/m}^3 = 2.76 \times 10^7 \text{ gr/yıl}$$

2) Nehirlerden Göle Giren:

$$Q_2 = Q_{\text{sölöz}} + Q_{\text{karasu}} + Q_{\text{değirmendere}} + Q_{\text{karadere}} + Q_{\text{kurudere}} + Q_{\text{olukdere}} + Q_{\text{diğer}}$$

$$Q_2 = 0.188 + 1.257 + 4.00 + 0.48 + 0.279 + 3.00 = 9.204 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$Q_2 = 9.204 \times 86400 \times 365 = 2.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$M_2 = 2.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 237 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3 = 6.873 \times 10^2 \times 10 \text{ g/yıl}$$

$$Q_{\text{toplam}} = Q_1 + Q_2 = 2.12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl} + 2.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl} = 5.02 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$M_{\text{toplam}} = 9.633 \times 10^7 \text{ g/yıl}$$

Çıkış

$$Q_{\text{Karsak Köprüsü}} = 5.87 \times 6400 \times 65 = 1.851 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$M_{\text{çıkış1}} = 1.851 \times 0.328 = 0.6 \times 10^8 \text{ gr/yıl}$$

$$Q_{\text{çıkış Kanalı}}=2.43 \times 86400 \times 365=76632480 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$M_{\text{çıkış2}}=76632480 \times 0.328=25135453.44 \text{ g/yıl}$$

$$M_{\text{toplam çıkış}}=0.6 \times 10^8 + 25135453.4=85135453.4 \text{ g/yıl}$$

$$M_{\text{toplam}}=170499+15622.488+1668.6+23709+3733.928+6.873 \times 10^7 - 85135453.4=198827562.7 \text{ g/yıl}$$

$$C_0=M/Q=198827562.7/5.02 \times 10^8=0.396 \text{ g/m}^3$$

Fosforun Giriş Konsantrasyonu :

$$C_{eq}=M/(Q+KA)$$

$$0.396=198827562.7 \text{ g/yıl} / (130874400 \times 10 + K \times 3.03 \times 10^8)$$

$$K=1.2 \text{ m/yıl}$$

5.5.10. Model İçin Gerekli Hesaplamalar

İznik Gölü'ne gelen toplam besin maddesi miktarının göl hacmine bölünmesiyle başlangıç konsantrasyonu bulundu.

Fosforun toplam çıkış miktarı 85,1354534 ton/yıl'dır.

$$M_{\text{toplam P}} = 1988,8275627 \text{ ton/yıl}$$

$$Q = 5.02 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$C_0 = 0.396 \text{ mg/l}$$

a) Gelen besin maddesi yükünün %50'sinin göle ulaştığını varsayalım

Tablo 5.4. İznik Gölü'ne gelen besin maddesi yükünün %50'sinin göle girişine göre C sonuçları

M	V	A	Q	K	(Q+KA)/V	t(ZAMAN)	C ₀	C
Ton/yıl	m ³	m ²	m ³ /yıl	m/yıl		1/yıl	mg/l	mg/l
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0	0.396	0.396
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.02	0.396	0.286
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.04	0.396	0.238
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.06	0.396	0.217
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.08	0.396	0.208
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.1	0.396	0.204
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.12	0.396	0.202
994.41	12045000	3x10 ⁸	1.308x10 ⁸	1.2	41.052	0.14	0.396	0.201

Yükün %50'sinin azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen konsantrasyon

Tablo 5.4' e göre göl seviyesindeki fosforun kararlı hal konsantrasyonu $C=0,201$ mg/l'tir.

Bu konsantrasyona ulaşılması için gerekli süre 0.14 yıldır.

Yeni kararlı hal konsantrasyonunun %10 fazlası olan $1.1 \times C_{eq}$ 'ya ulaşmak için geçecek olan t_{10} süresi yeterli bir yaklaşımla yeni denge konsantrasyonuna ulaşılacak zamanı vermektedir.

$$C_{eq} = M/(Q+KA) = 0.201 \text{ mg/l}$$

$$1.1 \times C_{eq} = 1.1 \times 0.201 = 0.2211 \text{ mg/l}$$

$$t_{10} = V/(Q+KA) \times (2.3 + \ln \{ [(Q+KA)/MC] - 1 \})$$

$$t_{10} = 0.130 \text{ yıl}$$

b) Gelen besi maddesi yükünün %33'ünün göle ulaştığını varsayalım

Tablo 5.5. İznik Gölü'ne gelen besi maddesi yükünün %33'ünün göle girişine göre C sonuçları

M	V	A	Q	K	(Q+KA)/V	t(ZAMAN)	Co	C
Ton/yıl	m3	m2	m3/yıl	m/yıl		1/yıl	mg/l	mg/l
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0	0.396	0.396
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.02	0.396	0.248
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.04	0.396	0.183
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.06	0.396	0.155
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.08	0.396	0.142
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.1	0.396	0.137
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.12	0.396	0.135
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.14	0.396	0.134
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.16	0.396	0.133
656.31	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.18	0.396	0.132

Tablo 5.5' e göre göl seviyesindeki fosforun kararlı hal konsantrasyonu $C=0,132$ mg/l'tir. Bu konsantrasyona ulaşılması için gerekli süre 0.18 yıldır.

Yeni kararlı hal konsantrasyonunun %10 fazlası olan $1.1 \times C_{eq}$ 'ya ulaşmak için geçecek olan t_{10} süresi yeterli bir yaklaşımla yeni denge konsantrasyonuna ulaşılacak zamanı vermektedir

$$C_{eq} = M/(Q+KA) = 0.132 \text{ mg/l}$$

$$1.1 \times C_{eq} = 1.1 \times 0.132 = 0.1452 \text{ mg/l}$$

$$t_{10} = V/(Q+KA) \times (2.3 + \ln \{ [(Q+KA)/MC] - 1 \})$$

$$t_{10} = 0.151 \text{ yıl}$$

c) Gelen besi maddesi yükünün %25'inin göle ulaştığını varsayalım

Tablo 5.6. İznik Gölü'ne gelen besi maddesi yükünün %25'inin göle girişine göre C sonuçları

M	V	A	Q	K	(Q+KA)/V	t(ZAMAN)	Co	C
Ton/yıl	m3	m2	m3/yıl	m/yıl		1/yıl	mg/l	mg/l
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0	0.396	0.396
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.02	0.396	0.230
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.04	0.396	0.157
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.06	0.396	0.125
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.08	0.396	0.111
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.1	0.396	0.105
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.12	0.396	0.102
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.14	0.396	0.101
497.20	12045000	3×10^8	1.308×10^8	1.2	41.052	0.16	0.396	0.100

Tablo 5.6' ya göre göl seviyesindeki fosforun kararlı hal konsantrasyonu $C=0.1$ mg/l'tir. Bu konsantrasyona ulaşılması için gerekli süre 0.16 yıldır.

Yeni kararlı hal konsantrasyonunun %10 fazlası olan $1.1 \times C_{eq}$ 'ya ulaşmak için geçecek olan t_{10} süresi yeterli bir yaklaşımla yeni denge konsantrasyonuna ulaşılacak zamanı vermektedir

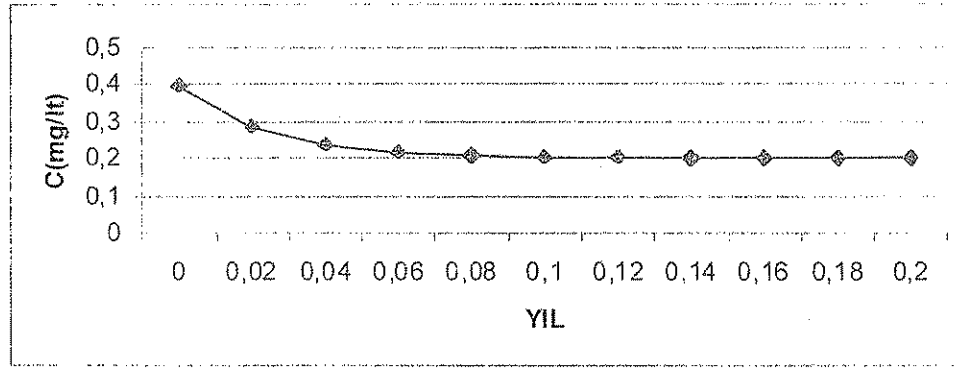
$$C_{eq} = M/(Q+KA) = 0.1 \text{ mg/l}$$

$$1.1 \times C_{eq} = 1.1 \times 0.1 = 0.11 \text{ mg/l}$$

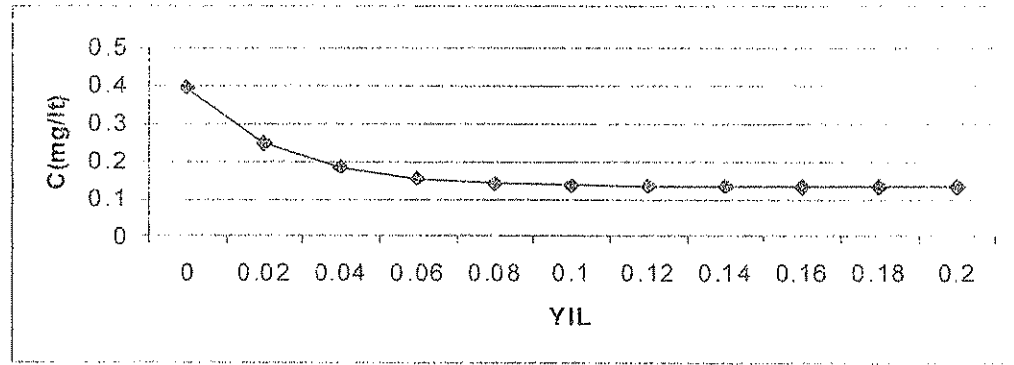
$$t_{10} = V/(Q+KA) \times (2.3 + \ln \{ [(Q+KA)/MC] - 1 \})$$

$$t_{10} = 0.165 \text{ yıl}$$

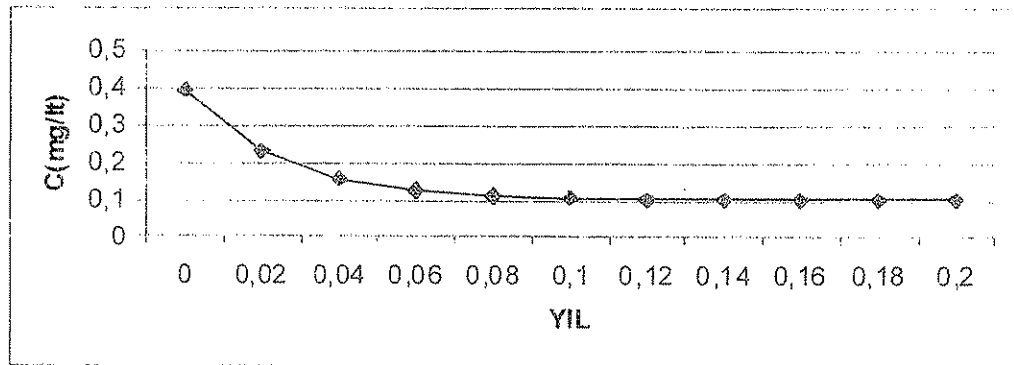
Yükün azalımına göre fosfor konsantrasyonlarındaki değişimler de Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 de verilmiştir.



Şekil 5.2. Yükleme %50 sinin azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen fosfor konsantrasyonu azalımı



Şekil 5.3. Yükleme %33'ünün azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen fosfor konsantrasyonu azalımı



Şekil 5.4. Yükleme %25 inin azalması durumunda gölde zamana bağlı olarak meydana gelen fosfor konsantrasyonu azalımı

Zamana bağlı olarak türlerin göldeki değişimi:

Gölde besi maddesi konsantrasyonunun dengeye ulaştığı 0.165 yıl (60gün) zamanına kadar sınırlandırıcı besi maddesi olan fosforun türlerinin zamana göre göl içerisinde değişimleri, Excel-Visual Basic tabanlı program hazırlanarak hesaplanmıştır. Program integrasyon metodu olarak Runge Kutta 4th Derece veya Euler numerik intergrasyon metodlarından birini kullanabilmektedir. Bu çalışmada Runge Kutta 4. derece metodu kullanılmıştır.

Runge Kutta 4. derece integrasyon metodu aşağıdaki ifadelere göre çözüm yapmaktadır.

$$y_{n+1} = rk4(y_n, f(x_n, y_n), x_n, h)$$

$$k_1 = h \cdot f(x_n, y_n)$$

$$k_2 = h \cdot f\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}\right)$$

$$k_3 = h \cdot f\left(x_n + \frac{h}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}\right)$$

$$k_4 = h \cdot f(x_n + h, y_n + k_3)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{k_1}{6} + \frac{k_2}{3} + \frac{k_3}{3} + \frac{k_4}{6} - O(h^5)$$

Gölün

mevsimsel olarak 2 tabakalı

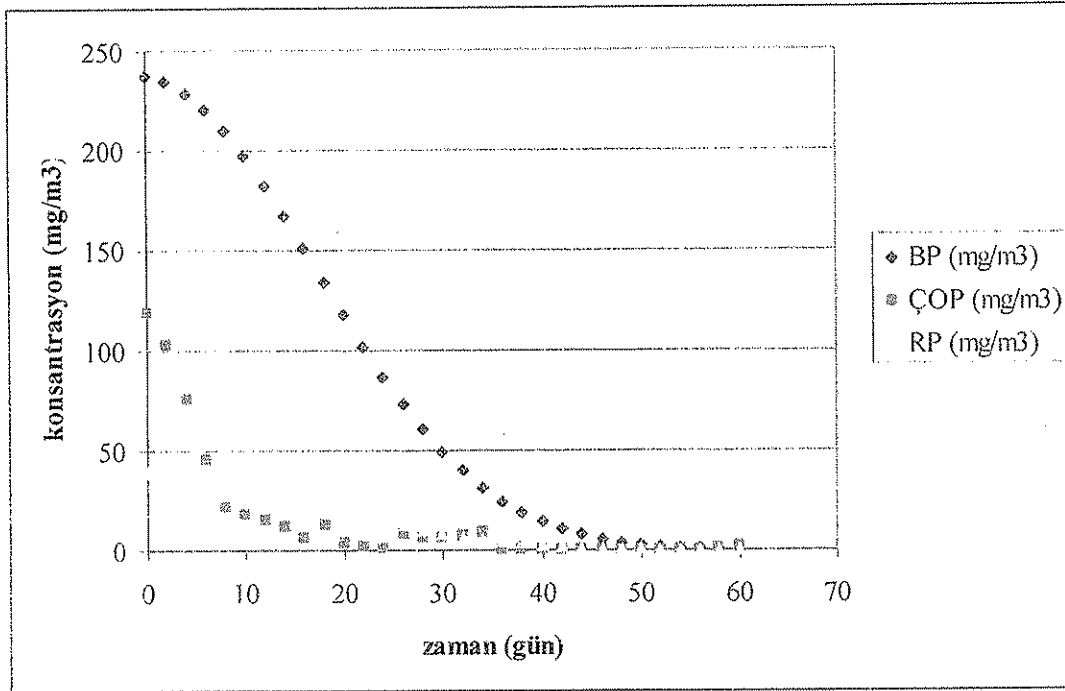
bir göl haline gelmesi sebebiyle epilimnion tabakasındaki değişimler hypolimnion tabakası için bir giriş olarak kabul edildiğinden model epilimnion ve hypolimnion tabakaları için ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

Modelin çalışmaya uygulanabilmesi için fosfor türlerinin fraksiyonunun bilinmesi veya tahmin edilebilmesi gerekmektedir. Çalışmada BP (bağlı fosfor), ÇOP (çözünmüş organik fosfor) ve RP (Reaktif fosfor) türleri; toplam fosfor değerinin sırasıyla % 60,%30 ve %10 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca modelde türler arasında herhangi bir geçiş olmadığı kabul edildiğinden reaksiyon sabitleri 0 “sıfır” olarak alınmıştır. Sadece fosfor türünün sedimente geçişi için gerekli olan reaksiyon sabiti 1.2 m/yıl olan yukarıda hesaplanmış olan değer alınmıştır.

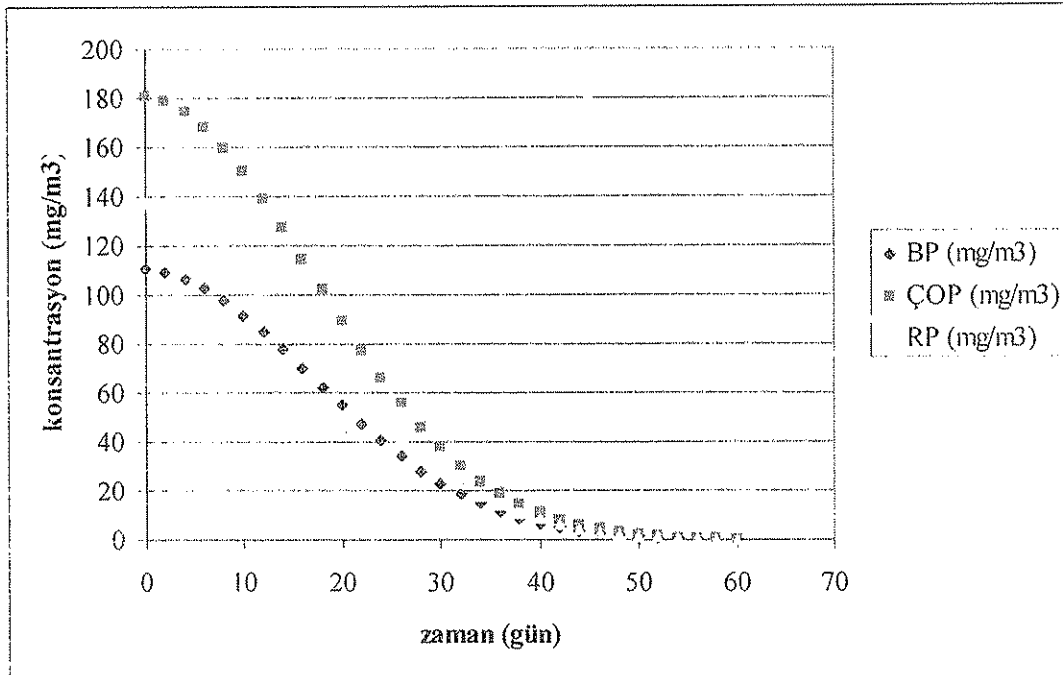
Yukarıdaki model göz önüne alınarak İznik gölünün ötrofik bir göl olduğu kabulü ile besi maddesinin zamana göre değişimi hesaplanmıştır. Programın kodları Ek-1 bölümünde verilmiştir.

Tablo 5.7. Fosfor Türlerinin Zamana Göre Değişimi

t (gün)	Epiliminion			Hypolimnion		
	BP (mg/m ³)	ÇOP (mg/m ³)	RP (mg/m ³)	BP (mg/m ³)	ÇOP (mg/m ³)	RP (mg/m ³)
0	237.6000	118.8000	39.6000	110.6302	180.7601	137.3000
2	234.6942	103.0911	39.1157	109.2772	178.5476	135.6209
4	228.9535	75.8276	38.1589	106.6043	174.1767	132.3036
6	220.5532	45.7476	36.7589	102.6930	167.7810	127.4493
8	209.7638	21.5508	34.9606	97.6693	159.5664	121.2145
10	196.9367	18.2562	32.8228	91.6968	149.8009	113.8023
12	182.4855	15.0884	30.4142	84.9681	138.7996	105.4514
14	166.8629	11.2242	27.8105	77.6940	126.9072	96.4237
16	150.5370	6.4921	25.0895	70.0924	114.4805	86.9896
18	133.9674	12.3395	22.3279	62.3773	101.8693	77.4147
20	117.5832	3.9770	19.5972	54.7486	89.4005	67.9469
22	101.7647	1.8077	16.9608	47.3832	77.3636	58.8060
24	86.8298	1.0607	14.4716	40.4293	66.0004	50.1756
26	73.0247	7.6261	12.1708	34.0014	55.4985	42.1982
28	60.5214	6.4915	10.0869	28.1797	45.9882	34.9730
30	49.4188	6.3841	8.2365	23.0101	37.5448	28.5572
32	39.7485	7.1226	6.6247	18.5075	30.1920	22.9691
34	31.4844	8.8884	5.2474	14.6596	23.9097	18.1936
36	24.5534	0.0001	4.0922	11.4324	18.6419	14.1885
38	18.8479	0.0002	3.1413	8.7759	14.3065	10.8915
40	14.2377	0.0003	2.3730	6.6293	10.8043	8.2274
42	10.5811	0.0005	1.7635	4.9267	8.0272	6.1144
44	7.7341	0.0010	1.2890	3.6011	5.8656	4.4693
46	5.5586	0.0021	0.9264	2.5882	4.2143	3.2121
48	3.9270	0.0046	0.6545	1.8285	2.9763	2.2693
50	2.7263	0.0106	0.4544	1.2694	2.0656	1.5754
52	1.8594	0.0258	0.3099	0.8658	1.4082	1.0745
54	1.2454	0.0663	0.2076	0.5799	0.9428	0.7197
56	0.8189	0.1793	0.1365	0.3813	0.6197	0.4732
58	0.5285	0.5082	0.0881	0.2461	0.3997	0.3054
60	0.3346	1.5079	0.0558	0.1558	0.2530	0.1933



Şekil 5.5 Epilimnion tabakasında türlerin zamana göre değişimi



Şekil 5.6 Hypolimnion tabakasında türlerin zamana göre değişimi

6. SONUÇLAR

Göllerde ötrofikasyon prosesinde önemli bir yere sahip olan nütrientlerden fosforun göl su kütlesindeki kararlı hal konsantrasyonunun ve bu konsantrasyona ulaşması için gerekli sürenin belirlenmesi amacıyla İznik Gölü'ne Besi Maddesi Bekleme Süresi Modeli uygulanmıştır. Hesaplanan değerlere göre göle gelen yük miktarı, müsaade edilebilir yük miktarının yaklaşık 8 katıdır. Ayrıca yıllık ortalama olarak, toplam 0,8 mg/lt N ve 0,1 mg/lt P'den daha büyük konsantrasyona sahip göller, gelişme mevsiminin çoğunda alg problemine sebep olurlar. Ek olarak toplam P yükü 1-1,5 gr/m²/sene den ve toplam N yükü 10 gr/m²/sene den büyük olan göller ötrofik göl olarak tanımlanmaktadır. Senelik ortalama toplam azot konsantrasyonunun 0,2 mg/lt den ve toplam fosfor konsantrasyonunun 0,03 mg/lt den az olması halinde ötrofikasyon tehlikesi meydana gelmemektedir. Gölün bu değerlerden daha yüksek konsantrasyonlara sahip olması nedeniyle gölde ötrofikasyon tespit edilmiştir. Bu da gölün yavaş yavaş ötrofik duruma geçtiğini göstermektedir. Bu durumun en kötü yanı ise, göl bir defa ötrofik hale geldikten sonra, nokta kaynaklardan besin maddesi girişi azaltılsa dahi, artık uzun zaman bu durumun devam etmesidir.

Uygulanan modele göre göle gelen yükün azaltıldığı 3 değişik senaryo üzerinde durulmuş ve eğriler çizilmiştir. Yükün %50 azaltılması durumunda kararlı hal konsantrasyonunun 0.201mg/lt olacağı görülmektedir. Bu değere yaklaşık olarak 0.130 yıl sonra ulaşılmaktadır. Yükün %33 azaltılması durumunda kararlı hal konsantrasyonunun 0.132mg/lt olacağı görülmektedir. Bu değere yaklaşık olarak 0.151 yıl sonra ulaşılmaktadır. Yükün %25 azaltılması durumunda kararlı hal konsantrasyonunun 0.1mg/lt olacağı görülmektedir. Bu değere de yaklaşık olarak 0.165 yıl sonra ulaşılmaktadır.

Bu çalışma ile uygulanan modelin sonucu İznik Gölü'ne giren fosfor konsantrasyonunun kontrol altına alınması için; göle giren atıksu arıtımı, göl çevre kanalı ve fosfor kaynaklarının azaltılması gibi mühendislik önlemlerinin alınması gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Arcevia, S., (1977) , “Çevre Mühendisliği Ekolojisi” Ders Notları, İTÜ.
- Aral N., (1992), Hydrological Budget and The Role of Lake Nicola in Pollution of Gemlik Bay Science of The Total Environment.
- Başar H, Çelik,H.,Turan, MA., Katkat, V., (2002), Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi .
- Burak, S.,Duranyıldız, İ., Yetiş, Ülkü., (1997), “Ulusal Çevre Eylem Planı” Su Kaynakları Yönetimi.
- Burak, S.,Duranyıldız, İ., Yetiş, Ülkü., (1997), Odak Noktası Kuruluş DSİ Genel Müdürlüğü.
- Ceylan, M., (1999), Ömerli Barajındaki Ötrofikasyon ve Bağlı Derelerin Baraj Gölü Üzerine Etkisi, GYTE.
- ÇMO., (2001) Ajandası, BYKP Çevre Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- Çevre ve Orman Bakanlığı., (2004), Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü.
- DSİ., 1. Bölge Müd., İznik Gölü Hidrolojisi Planlama Ek Raporu.
- DSİ., (2006) Teknoloji Dairesi Başkanlığı.
- DSİ., (1996) Ajandası.
- ElE., (2006) Su Akımları Yıllığı.
- Eken.E., (1998), İznik Gölü İçin Uzun Süreli Fosfor Denge Modelinin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ.
- Emery, R.M., L.E. Moon, and E.B. Welch (1973), “Delayed Recovery of a Mesotrophic Lake After Nutrient Diversion”, J. Water Poll Cont. Fed. Vol. 45, pp 913-925.
- Karpuzcu, M., (1979), Yüzeysel Sularda Azot ve Fosfor Bileşiklerinin Matematik Modelle İncelenmesi , Doçentlik Tezi, İTÜ.
- Karpuzcu, M., (2006), Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Kubbealtı Akademisi Kültür ve Sanat Vakfı.
- Kerr, P.C.et.al. (1970), “The Interrelation of Carbon and Phosphorous in Regulation Heterotrophic and Autotrophic Populations in Aquatic Ecosystems”, water pollution Con. Series 16050 FGS. 07/70
- Kuentzel, L.E. (1969), “Bacteria, Carbon Dioxide and Algal Blooms”, J. Water Poll. Cont. Fed., 41 pp 1737-1747.
- Lange, W. (1967), “Effects of Carbonhydrates on the Symbiotic Growth of Planktonic Blue-Green Algae With Bacteria”, Nature 215 pp 1277-1278.

Orhangazi Belediyesi., (2004), Faaliyet Raporu.

Sharma, O. P., Text Book of Algae, 395 s., New Delhi.

Schulz, K.L., (2005), Pollution and Cultural Eutrophication Lecture, Sunny College of Environmental Science and Forestry.

Sonal, S., ve Ceylan, S., (2005), Marmara Bölgesi'nde Çevre ve Besin kirlenmesi Üzerine Araştırmalar, Uludağ Üniversitesi.

Türkmenler, H.,(1999), Sapanca Gölü'nde Besi Maddesi Kirlenmesinin İncelenmesi ve Uygun Bir Modelin Araştırılması, GYTE.

Tanyolaç, J., (2000), Limnoloji Tatlı Su Bilimi, Cumhuriyet Üniversitesi.

Vollenweider,R., (1982), Eutrophication of Waters Monitoring, Assesment and Control.

Vollenweider, R., (1971), "Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication", OECD Report Paris.

EKLER

Sub iznik()

$z = 2$

$R12 = \text{Sheet1.Cells}(8, 7)$
 $R23 = \text{Sheet1.Cells}(9, 7)$
 $R13 = \text{Sheet1.Cells}(10, 7)$
 $R23 = \text{Sheet1.Cells}(11, 7)$
 $R34 = \text{Sheet1.Cells}(12, 7)$
 $R41 = \text{Sheet1.Cells}(13, 7)$
 $R56 = \text{Sheet1.Cells}(14, 7)$
 $R75 = \text{Sheet1.Cells}(15, 7)$
 $R67 = \text{Sheet1.Cells}(16, 7)$
 $G = \text{Sheet1.Cells}(17, 7)$

$V = \text{Sheet1.Cells}(22, 2)$ 'kesitin hacmi...
 $Qc = \text{Sheet1.Cells}(23, 2)$ 'kesitten çıkan debi
 $Vo = \text{Sheet1.Cells}(24, 2)$ 'ötofik bölgenin hacmi
 $Qg = \text{Sheet1.Cells}(25, 2)$ 'göle giren atıks suyun debisi

$A11 = R12$
 $A22 = -(Vo / V * R23 + Qc / V)$
 $A31 = Vo / V * R13$
 $A32 = Vo / V * R23$
 $A33 = -(R34 + G / z + Qc / V)$
 $A43 = R34$
 $A44 = -(R41 + Qc / V)$
 $A55 = -(Vo / V * R56 + Qc / V)$
 $A57 = R75$
 $A65 = Vo / V * R56$
 $A66 = -(R67 + G / z + Qc / V)$
 $A76 = R67$
 $A77 = -(R75 + Qc / V)$

't=0

$C1 = \text{Sheet1.Cells}(8, 3)$
 $C2 = \text{Sheet1.Cells}(9, 3)$
 $C3 = \text{Sheet1.Cells}(10, 3)$
 $C4 = \text{Sheet1.Cells}(11, 3)$
 $C5 = \text{Sheet1.Cells}(12, 3)$
 $C6 = \text{Sheet1.Cells}(13, 3)$

```
C7 = Sheet1.Cells(14, 3)
```

```
Sheet2.Cells(3, 2) = C1
```

```
Sheet2.Cells(3, 3) = C2
```

```
Sheet2.Cells(3, 4) = C3
```

```
Sheet2.Cells(3, 5) = C4
```

```
Sheet2.Cells(3, 6) = C5
```

```
Sheet2.Cells(3, 7) = C6
```

```
Sheet2.Cells(3, 8) = C7
```

```
For kesit = 1 To 4
```

```
  If kesit = 2 Then
```

```
    C1 = Sheet2.Cells(4, 2)
```

```
    C2 = Sheet2.Cells(4, 3)
```

```
    C3 = Sheet2.Cells(4, 4)
```

```
    C4 = Sheet2.Cells(4, 5)
```

```
    C5 = Sheet2.Cells(4, 6)
```

```
    C6 = Sheet2.Cells(4, 7)
```

```
    C7 = Sheet2.Cells(4, 8)
```

```
  Sheet2.Cells(3, 10) = C1
```

```
  Sheet2.Cells(3, 11) = C2
```

```
  Sheet2.Cells(3, 12) = C3
```

```
  Sheet2.Cells(3, 13) = C4
```

```
  Sheet2.Cells(3, 14) = C5
```

```
  Sheet2.Cells(3, 15) = C6
```

```
  Sheet2.Cells(3, 16) = C7
```

```
  Elseif kesit = 3 Then
```

```
    C1 = Sheet2.Cells(4, 10)
```

```
    C2 = Sheet2.Cells(4, 11)
```

```
    C3 = Sheet2.Cells(4, 12)
```

```
    C4 = Sheet2.Cells(4, 13)
```

```
    C5 = Sheet2.Cells(4, 14)
```

```
    C6 = Sheet2.Cells(4, 15)
```

```
    C7 = Sheet2.Cells(4, 16)
```

```
  Sheet2.Cells(3, 18) = C1
```

```
  Sheet2.Cells(3, 19) = C2
```

```
  Sheet2.Cells(3, 20) = C3
```

```
  Sheet2.Cells(3, 21) = C4
```

```
  Sheet2.Cells(3, 22) = C5
```

```
  Sheet2.Cells(3, 23) = C6
```

```
  Sheet2.Cells(3, 24) = C7
```

```
  Elseif kesit = 4 Then
```

```
    C1 = Sheet2.Cells(4, 18)
```

```

C2 = Sheet2.Cells(4, 19)
C3 = Sheet2.Cells(4, 20)
C4 = Sheet2.Cells(4, 21)
C5 = Sheet2.Cells(4, 22)
C6 = Sheet2.Cells(4, 23)
C7 = Sheet2.Cells(4, 24)
Sheet2.Cells(3, 26) = C1
Sheet2.Cells(3, 27) = C2
Sheet2.Cells(3, 28) = C3
Sheet2.Cells(3, 29) = C4
Sheet2.Cells(3, 30) = C5
Sheet2.Cells(3, 31) = C6
Sheet2.Cells(3, 32) = C7

```

```
End If
```

```
For delta = 1 To 365
```

```

dC1_dt = A11 * C1 + A14 * C4 + W1_
dC2_dt = A21 * C1 + A22 * C2 + A23 * C3 + W2_
dC3_dt = A31 * C1 + A32 * C2 + A33 * C3
dC4_dt = A43 * C3 + A44 * C4 + W4_
dC5_dt = A55 * C5 + A57 * C7 + W5_
dC6_dt = A65 * C5 + A66 * C6
dC7_dt = A76 * C6 + A77 * C7 + W7_

```

```

C1 = C1 + dC1_dt * delta
C2 = C2 + dC2_dt * delta
C3 = C3 + dC3_dt * delta
C4 = C4 + dC4_dt * delta
C5 = C5 + dC5_dt * delta
C6 = C6 + dC6_dt * delta
C7 = C7 + dC7_dt * delta

```

```
If kesit = 1 Then
```

```

Sheet2.Cells(delta + 3, 1) = delta
Sheet2.Cells(delta + 3, 2) = C1
Sheet2.Cells(delta + 3, 3) = C2
Sheet2.Cells(delta + 3, 4) = C3
Sheet2.Cells(delta + 3, 5) = C4
Sheet2.Cells(delta + 3, 6) = C5
Sheet2.Cells(delta + 3, 7) = C6
Sheet2.Cells(delta + 3, 8) = C7

```

```
ElseIf kesit = 2 Then
```

```
Sheet2.Cells(delta + 3, 9) = delta
```

```

Sheet2.Cells(delta + 3, 10) = C1
Sheet2.Cells(delta + 3, 11) = C2
Sheet2.Cells(delta + 3, 12) = C3
Sheet2.Cells(delta + 3, 13) = C4
Sheet2.Cells(delta + 3, 14) = C5
Sheet2.Cells(delta + 3, 15) = C6
Sheet2.Cells(delta + 3, 16) = C7

```

```

ElseIf kesit = 3 Then

```

```

Sheet2.Cells(delta + 3, 17) = delta
Sheet2.Cells(delta + 3, 18) = C1
Sheet2.Cells(delta + 3, 19) = C2
Sheet2.Cells(delta + 3, 20) = C3
Sheet2.Cells(delta + 3, 21) = C4
Sheet2.Cells(delta + 3, 22) = C5
Sheet2.Cells(delta + 3, 23) = C6
Sheet2.Cells(delta + 3, 24) = C7

```

```

ElseIf kesit = 4 Then

```

```

Sheet2.Cells(delta + 3, 25) = delta
Sheet2.Cells(delta + 3, 26) = C1
Sheet2.Cells(delta + 3, 27) = C2
Sheet2.Cells(delta + 3, 28) = C3
Sheet2.Cells(delta + 3, 29) = C4
Sheet2.Cells(delta + 3, 30) = C5
Sheet2.Cells(delta + 3, 31) = C6
Sheet2.Cells(delta + 3, 32) = C7

```

```

End If

```

```

Next

```

```

Next

```

```

End Sub

```

ÖZGEÇMİŞ

Nagihan Kurt, 1980 yılında Samsun’da doğmuştur. 1997 yılında Samsun Tülay Başaran Lisesi’ni bitirmiştir. 2003 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. 2003 yılında GYTE Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programı’na başlamıştır.