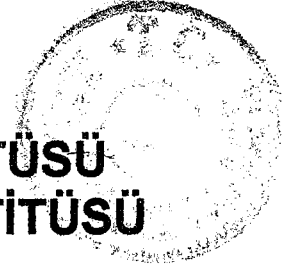


T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



77759

**SAPANCA GÖLÜNDE BESİ MADDESİ
KİRLENMESİNİN İNCELENMESİ VE UYGUN
BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI**



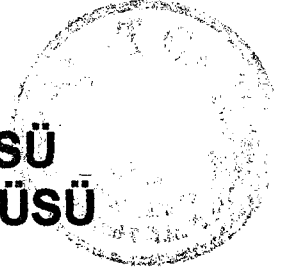
77759

Harun TÜRKMENLER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

1998

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



SAPANCA GÖLÜNDE BESİ MADDESİ
KİRLENMESİNİN İNCELENMESİ VE UYGUN
BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI

Harun TÜRKMENLER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU

GEBZE
1998



Bu tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/07/1998..... tarih ve 98/08..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Genç Mühendislik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU (B.Ü.)
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU (G.Y.T.E.)

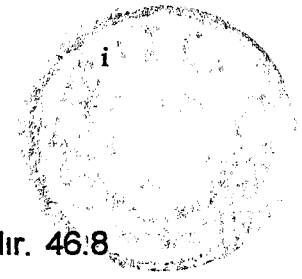
ÜYE : Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK (Y.T.Ü.)

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25/06/1998..... tarih ve 98/16..... sayılı kararı.

İmza / Mühür


ÖZET



Sapanca gölü Marmara Bölgesi içerisinde yer almaktadır. 46.8 km² yüzey alanına ve 1.0 x 10⁹ m³ hacme sahiptir. Havza alanı ise yaklaşık 250 km²'dir. Göle gelen çok büyük nehirler yoktur. Sadece mevsimsel değişikliklere bağlı olarak gölü besleyen birkaç dere vardır. Sapanca gölü hızlı şehirleşme ve endüstrileşme sonucu kirlilikle yüz yüze kalmıştır. Doğu Marmara Bölgesi'nin çok önemli bir tatlı su kaynağıdır.

Gölün civarında sadece birkaç büyük sanayi tesisi vardır ve onların da kendi arıtma sistemleri mevcuttur. Bu yüzden göle gelen asıl kirleticiler evsel atıksulardan gelen ve tarımsal alanlardan yüzeysel akış sularıyla gelen kirleticilerdir. Gölün drenaj alanında bulunan küçük kasabalar için henüz kanalizasyon ve atıksu arıtma sistemi kurulmamıştır.

Bu çalışmada gölün besi maddesi miktarı ve trofik durumu araştırılmıştır. Besi maddesi yükleri hesaplanmıştır. Bu değerlerden ötrofikasyona neden olan azot ve fosfor girdileri hesaplanarak göldeki trofik durum belirlenmiştir. Halen Adapazarı kenti ve civarının içme suyu kaynağı olan ve İstanbul metropoliten alanı için de içme suyu kaynağı olması planlanan Sapanca Gölü'nün azot ve fosfor miktarlarındaki değişme görülmüştür. N / P oranları hesaplanarak, göldeki sınırlayıcı eleman belirlenmiştir. Klorofil-a ile toplam fosfor arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca TSI (SDD), TSI (Klo-a) ve TSI (TP) değerleri hesaplanmış, gölün trofik durumu belirlenmiştir. Göle gelen fosfor yükü için değişik üç senaryo üzerinde durulmuş ve besi maddesi bekleme süresi modeli uygulanmıştır.

SUMMARY

The lake Sapanca, located in the Marmara Region, has a surface area of 46.8 km² and a volume of about 1.0x10⁹ m³. Its catchment area is about 250 km². There are no large rivers flowing into the lake. Only several streams, with seasonally changing flow rates, feed the lake. Sapanca lake which is a very important water supply source in the East Marmara Region faces the pollution because of the fast urbanization and the industrialization.

There are only a few heavy industries around the lake, and they have their own treatment plants. Therefore, the majority of the pollutants entering the lake originate from the domestic sources and the agricultural areas through surface run-off. No sewerage and wastewater treatment system have yet been established for the small towns in the drainage area of the lake.

The lake was examined for nutrient load and trophic response. Nutrient loading was estimated by the distribution of land use types in the watershed. From this values, Nitrogen and Phosphorus inlets causing eutrophication have been calculated and trophic status of the lake has been determined. Sapanca lake is at present the drinking water supply source of the city of Adapazarı and it is also planned to be the drinking water supply of the outside Greater İstanbul Region in the future, Nitrogen and Phosphorus amounts have been determined. The limiting element in the lake has been determined calculating N / P ratios. Between chlorophyll-a and total phosphorus relation have been examined. Moreover TSI (SDD), TSI (Chlo-a) and TSI (TP) values have been calculated, the trophic state index in the lake has been determined. Coming to lake for phosphorus loading has been considered on different three scenarios and Nutrient Residence Time Model has been applied.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcında beni yönlendiren Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU'ya, tezin hazırlanması süresince gerek maddi ve gerekse de manevi yardımlarını esirgemeyen, her konuda yardımcı olan çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU'ya, Prof. Dr. Ferruh ERTÜRK'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca yine tüm çalışmam boyunca büyük yardımları olan değerli kardeşlerim sayın Abdullah, Said, Muhammed ve Emin TÜRKMENLER'e, Ar.Gör. Coşkun AYDINER'e şükranlarımı sunarım. Bilgilerinden faydalandığım Prof. Dr. Burhan SÜMER'e ve Doç. Dr. Recep İLERİ'ye de teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET

i

SUMMARY

ii

TEŞEKKÜR

iii

ŞEKİLLER DİZİNİ

vii

TABLolar DİZİNİ

viii

1. GİRİŞ

1

2. ÖTROFİKASYON PROSESİ

2

2.1. Ötrofikasyonun Tanımı

2

2.2. Ötrofikasyona Etki Eden Faktörler

3

2.2.1. Jeofiziksel Faktörler

3

2.2.2. Biyokimyasal Faktörler

3

2.3. Göllerin Sınıflandırılması

4

2.3.1. Oligotrofik Göller

4

2.3.2. Mezotrofik Göller

4

2.3.3. Ötrofik Göller

5

2.3.4. Dystrofik Göller

5

2.3.5. Miksotrofik Göller

5



2.4. Besi Maddesi Kaynakları

6

2.5. Göllerde Ötrofikasyonu Belirleyen Parametreler

8

3. SAPANCA HAVZASININ TANITIMI

10

3.1. Bölgenin Coğrafik ve Jeolojik Yapısı

10

3.1.1. Coğrafik Yapısı

10

3.1.2. Jeolojik Yapısı

12

3.2. Bölgenin İklimi

13

3.3. Bölgenin Ekonomik Durumu

13

3.4. Hidroloji

14

3.5. Gölü Besleyen Dereler ve Kaynaklar

16

4. GÖLE GELEN BESİ MADDESİ

18

YÜKLERİNİN HESABI

4.1. Havzadaki Kirletici Kaynaklardan Gelen Yükler

18

4.1.1. Tarım Alanlarına Ait Yükler

18

4.1.2. Evsel Atıksulardan Gelen Yükler

20

4.1.3. Orman Alanlarından ve Atmosferden Gelen Yükler

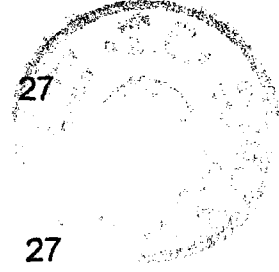
20

4.1.4. Derelerin Getirdiği Yükler

21

4.2. Kritik Fosfor Yükünün Hesaplanması

24



5. SAPANCA GÖLÜNÜN TROFİK DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI

5.1. Göldeki Sınırlayıcı Elementin Belirlenmesi	27
5.2. Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki	35
5.3. TSI Değerlerinin Hesabı	37

6. GÖLE UYGUN BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULANMASI

6.1. Göllere Uygulanmış Modeller	46
6.2. Göl İçin Uygun Bir Modelin Seçimi	48
6.3. Besi Maddesi Bekleme Süresi Modeli	48
6.3.1. Çökelme Katsayısının Hesaplanması	50
6.3.2. K Hesaplamaları	50
6.3.3. R_p ve R_w 'nin Hesaplanması	51
6.3.4. Model İçin Gerekli Olan Hesaplamalar	51

7.SONUÇLAR

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

vii

Sayfa

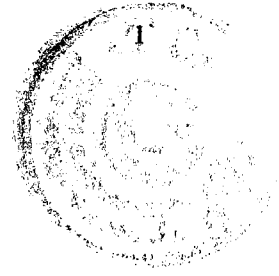
7

Şekil	
2.1. Göle Beslenme Havzasından ve Doğrudan Göl Yüzeyine Gelen Yükler	7
3.1. Sapanca Gölü ve Su Toplama Havzası	11
3.2. Sapanca Gölü Kot-Alan-Hacim Grafiği	15
4.1. Sapanca Gölü ve Örnekleme Noktaları	22
4.2. Toplam Fosfor Yükü ve Ortalama Derinlik / Hidrolik Bekleme Süresi	26
5.1. 1994 Yılı Mevsimsel N / P Değerleri	32
5.2. 1992 Yılı Yıllık Ortalama N / P Değerleri	32
5.3. 1992 Yılı Yüzeye Göre Ortalama N / P Değerleri	33
5.4. 1982 Yılı Yıllık Ortalama N / P Değerleri	33
5.5. 1992 Yılı Ortalama Derinliğe Göre N / P Değerleri	34
5.6. Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki (A İstasyonunda)	36
5.7. Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki (B İstasyonunda)	36
5.8. TSI Değerleri (A İstasyonundaki Değerlere Göre)	43
5.9. TSI Değerleri (B İstasyonundaki Değerlere Göre)	43
5.10. 1994 Yılı TSI (TP) Değerleri	44
5.11. Göl İçi (İstasyon A + İstasyon B / 2) Ortalama TSI Değerleri	44
6.1. Göle Gelen P Yükünün % 50 Azaltılması Durumunda Gölde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Konsantrasyon Değişimi	55
6.2. Göle Gelen P Yükünün % 33'ünün Göle Girmesi Durumunda Gölde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Konsantrasyon Değişimi	55
6.3. Göle Gelen P Yükünün % 25'inin Göle Girmesi Durumunda Gölde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Konsantrasyon Değişimi	56

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
3.1. Gölü Besleyen Dereler ve Yıllık Ortalama Debileri	17
4.1. Havzadaki Toprak Kullanımı	18
5.1. 1994 Yılı Mevsimsel $\Sigma N = (NH_3-N) + (NO_2-N) + (NO_3-N)$ ve PO_4-P Değerleri	28
5.2. 1992 Yılı (Yıllık Değerler)	28
5.3. 1982 Yılı (Yıllık Ortalama Değerler)	29
5.4. 1982-1992 ve 1994 Yılı N / P Değerleri	29
5.5. Yüzeydeki N ve P Değerleri	30
5.6. 1992 Yılı (İstasyon A ve İstasyon B) Yüzeye Göre N / P Değerleri	30
5.7. Ortalama Derinliğe Göre N ve P Değerleri	31
5.8. 1992 Yılı (İstasyon A ve İstasyon B) Ortalama Derinliğe Göre N / P Değerleri	31
5.9. Klorofil-a ile Toplam Fosfor Arasındaki İlişki	35
5.10. Seki Diski Derinliği, Klorofil-a ve Toplam Fosfora Bağlı TSI Değerleri	37
5.11. Seki Diski Derinliği, Klorofil-a ve Toplam Fosfora Bağlı TSI'nın Sapanca Gölü İçin Ölçülen Değerleri	39
5.12. Seki Diski Derinliği, Klorofil-a ve Toplam Fosfora Bağlı TSI'nın Sapanca Gölü İçin Hesaplanan Sonuçları	40
5.13. Ölçülen Toplam Fosfor (PO_4-P) Değerleri	41
5.14. Hesaplanan TSI (TP) Değerleri	41
5.15. Göl İçi (İstasyon A + İstasyon B / 2) Ortalama TSI Değerleri	42

1. GİRİŞ



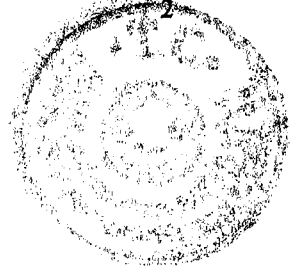
Sapanca Gölü, Marmara Bölgesi'nde yer alır. İzmit Körfezi'nin devamı halinde Adapazarı Ovasına kadar ulaşan tektonik bir çukurda bulunur. Deniz seviyesinden yüksekliği 30 metredir. Eliptik şekilli bir tatlısu gölüdür. Gölün yüzey alanı havzaya giren suyun miktarına bağlı olarak 46 km² ile 60 km² arasındadır. Su hacmi ise 1.0 x 10⁹ m³'tür. Uzunluğu 16 km, maksimum genişliği ise 6 km'dir. Göl havzasında ortalama yıllık sıcaklık 13.5 °C, ortalama yıllık yağış ise 782.5 mm'dir. Ocak ayındaki sıcaklık ortalaması 0-6 °C, Temmuz ayında ise 29 °C civarındadır. Bağıl nem % 80-85'tir.

Sapanca Gölü kuzey ve güneyinden gelen ve debileri mevsimlere göre değişen dereler ve gölün dibinden çıkan kaynak suları ile beslenir. Gölü besleyen dereler; Karaçay, Yanık, Kurtköy, İstanbul, Sarp, Balıkhane, Mahmudiye, Maden, Arifiye, Eşme, Limon dereleridir. Çark suyu gölün tek çıkış yeridir ve Sakarya nehrine boşalır. Maksimum derinlik 52 m, drenaj alanı 311 km² ve ortalama su tutma hacmi 1120 x 10⁶ - 1325 x 10⁶ m³'tür (31.5 m kotunda).

Adapazarı ve civardaki küçük yerleşim birimleri ve bazı sanayi kuruluşları gölden içme ve kullanma suyu sağlarlar. Ayrıca İstanbul metropolitan alanı için de gelecekte içme suyu kaynağı olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada Sapanca Gölü'nün trofik durumu belirlenmeye çalışılmış ve uygun bir model seçilerek göle gelen fosfor yükü üzerinde durulmuştur.

2. ÖTROFİKASYON PROSESİ



2.1. Ötrofikasyonun Tanımı

Ötrofikasyon terimi, "ötrofik" (iyi beslenen) kelimesinden gelir. Su yatağına giren inorganik besi maddelerinin tabii veya suni olarak artması, kaynakta mikroskopik bitki ve alglerin aşırı derecede çoğalarak su kalitesinin bozulması, su kaynağının tabii ömrünün kısalması ve kullanma imkanlarının azalması ve zamanla tabii varlığının bozulmasına "ötrofikasyon" denir. Göllerde biyolojik verimlilik artışı, organik detritusların (Organik maddelerin aşınmasıyla meydana gelen parçacıklar) birikiminden dolayı gölün hacminde bir azalmaya sebep olur. Doğal sularda, yerkabuğundan, havadan, organizmaların metabolizmasından gelen çeşitli maddeler çözünmüş olarak bulunur. Algin büyümesindeki major elementler azot, fosfor ve karbondur. Bunların dışında Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+ , $S^{=}$, Cl^- gibi minor elementler ve demir, bakır, kobalt, molibden, mangan, çinko, bor, vanadyum gibi eser elementlerdir.

Bütün göller ötrofikasyon olarak bilinen doğal bir yaşlanma sürecine maruz kalırlar. Buna, gölde organik madde ve siltin aşamalı olarak birikmesi neden olur. Ötrofikasyon doğal bir proses sonucu binlerce yılda meydana geldiği gibi, insan aktiviteleri sonucunda daha çabuk meydana gelir. Buna kültürel ötrofikasyon denir. Belediye atıksuları, endüstriyel atıklar ve tarımsal alanlardan gelen yüzeysel akış suları alg büyümesini uyarır ve su kalitesini düşürür. Alglerin zamanla ölmesi ve çürümesi sonucunda çirkin görünüm, tat ve koku problemi, su kütlesinde birikimler meydana getirir. Oksijen miktarı azalır. Ötrofik göllerde baskın olarak bulunan alg türü mavi-yeşil alglerdir. Bunlar azotu doğrudan atmosferden temin edebilir. Bu yüzden ötrofikasyonu kontrol etmede pratik olarak çoğunlukla fosfor kullanılır.

2.2. Ötrofikasyona Etki Eden Faktörler

Ötrofikasyona etki eden faktörleri jeofiziksel ve biyokimyasal faktörler olarak gruplandırabiliriz:

2.2.1. Jeofiziksel Faktörler

Işık radyasyonu

Sıcaklık

Rüzgar

Buharlaşıma

Sızdırma

Epilimnionun hipolimniona oranı

Yüzde kıyı kesimi ve sahil şeridi morfometrisi

Sediment (çökelti) karakteristikleri

Göl hacminin taşma hacmine oranı

2.2.2. Biyokimyasal Faktörler

Doğal veya suni dışarıdan göle gelen bütün yabancı organik maddelerin cinsi,

Temel besin maddeleri ile diğer maddelerin dengesi (üretim için),

Temel besin maddelerinin tekrar üretimi ve dönüşümü,

Toksik, humik ve diğer maddelerin varlığı,

Suyun ışık geçirgenliği,

Çözünmüş oksijen, karbondioksit, pH vs (Arceivala,1978).

2.3. G llerin Sınıflandırılması



“Trophy” kelimesi aynı zamanda bir göle organik maddelerin gelmesini ve buna bağlı olarak değişen ekolojik durumu açıklar. Bu yüzden beş tip g l ayrımı yapılmıştır:

- a) Oligotrofik (az besinli)
- b) Mezotrofik (normal, orta besinli)
- c)  trofik (iyi besinli)
- d) Dystrofik (kötü besinli)
- e) Miksotrofik (dystrofik fakat  retici)

2.3.1. Oligotrofik Göller

Jeolojik olarak genç olan göllerdir. Genellikle derindirler. Suları temiz ve üretimleri de az miktardadır. Çözünmüş besin maddesi konsantrasyonu düşüktür. Fitoplanktonun  retimi düşük olup $7-75 \text{ gr C/m}^2$ - yıl ve günlük üretimi büyüme mevsiminde $0.03-0.1 \text{ gr C/m}^2$ -gün'dür. Türlerin  eşitliliği çok değişik ve fazladır. Su mavi renktedir ve ışık geçirgenliği fazladır. Alg patlaması yüzeyde görülmez, verimlilik düşüktür. Ca, P, ve N bakımından fakirdirler. Elektrolitler az olup, askıda veya g l tabanındaki organik maddeler azdır. Hipolimnion tabakası oldukça geniş ve soğuktur. Oksijen bütün mevsimlerde ve derinliklerde çok miktarda bulunur. Hipolimnion tabakasında ise oksijen tüketim hızı azdır.

2.3.2. Mezotrofik Göller

Oligotrofik ve ötrofik g l tipi arasındaki g lleri oluştururlar. Bu tip göllerde su bitkileri yavaş yavaş görünmeye başlar. Su yeşilimsi bir renk alır. Orta derecede balık üretimi olur.

2.3.3. Ötrofik Göller

Bu tip göller genellikle sığdırlar. Bitki temel besi maddeleri ve organik madde bakımından zengindirler. Çözünmüş besi maddesi konsantrasyonu yüksektir. Elektrolitler bol miktarda bulunur ve çeşitleri çok sayıdadır. Fitoplankton üretimi $75-250 \text{ gr C/m}^2$ -yıl ve büyüme mevsimlerinde bu üretim hızı $0.3-1 \text{ gr C/m}^2$ gün'dür. Su, bulanık, ışığı geçirmez, yeşil veya kahverengidir. Su yüzeyinde yoğun bir alg patlaması görülür. Bunlar suyun üzerinde yüzerler. Bu suda yüzen algler daha alt tabakalarda fotosentezi önler. Dipte veya askıdaki organik madde miktarı çok olabilir. Hipolimnion tabakası genellikle daha küçük ve yaygındır. Bu bölge yazın anoksik hale gelir. Dip kısımda sedimentlerde bulunan besi maddesi suya geçer ve tekrar çözünür. Yazın hipolimnion tabakası besin maddesince zenginleşir. Oksijen miktarı mevsimlere göre değişim gösterir. Alg patlamaları sık sık gözlenir. Türlerin farklılık indeksleri düşüktür.

2.3.4. Dystrofik Göller

Bu tip göller genellikle yumuşak zeminli yağışlı yerlerde ve eskimiş dağlarda görülür. Su rengi kahverengidir. Üretim ve tüketim dengeli değildir. Fosfor, azot ve organik maddeler bakımından zengin olmalarına rağmen humik maddelerin fazlalığı dolayısıyla birçok organizmaların büyümeleri sınırlıdır. Alg patlamaları çok sık görülmez. Derin sularda oksijen bulunmayabilir. Bu tip göller genellikle sığlaşır ve sonunda bataklığa dönüşür daha sonra bitki ve orman örtüsü ile kaplanır.

2.3.5. Miksotrofik Göller

Bazı göller humik maddeler bakımından zengindirler, fakat buna rağmen üreticidirler. Bu tip göllere miksotrofik göller denir

(Arceivala,1978). Besi maddeleri ve askıda organik maddeler bakımından çok zengin göllerdir.

2.4. Besi Maddesi Kaynakları

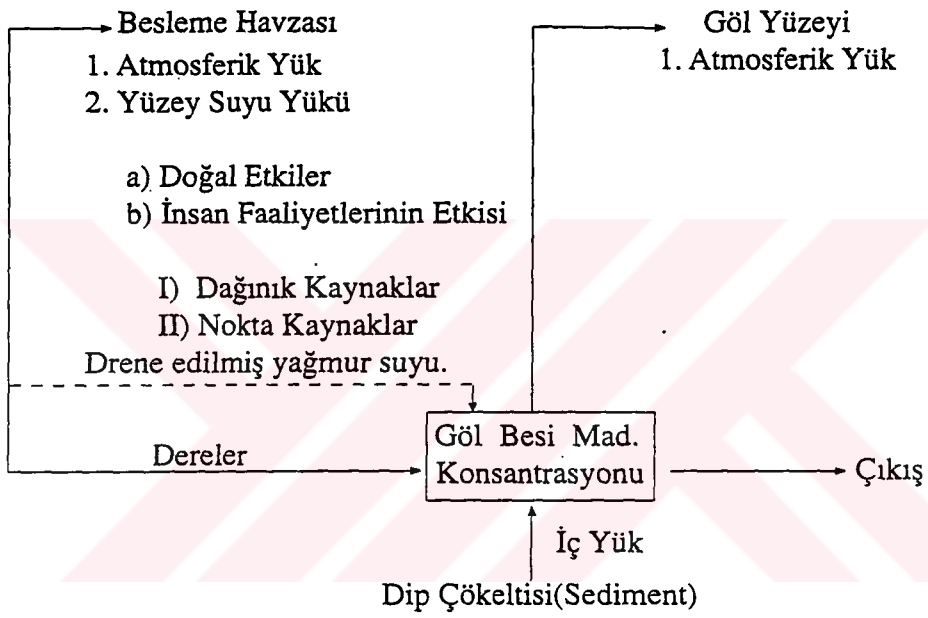
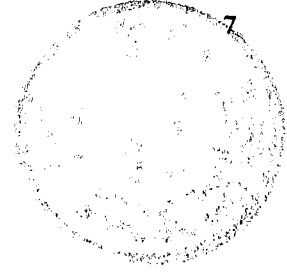
Organizmaların kullandıkları, bünyelerini yenilemek ve metabolizma faaliyetlerini sürdürebilmek için gerekli kimyasal maddelere "besi maddesi" denir. Besi maddeleri; azot, fosfor, karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve eser elementlerdir.

Göle besi maddesinin girişi çeşitli kaynaklardan olur:

Nokta Kaynaklar: Besi maddesi miktarının doğrudan ölçülebildiği, kanalizasyon çıkışı gibi, kontrol edilebilen kaynaklardır. (Belediye ve sanayi deşarjları)

Dağınık Kaynaklar: Besi maddesi miktarının doğrudan ölçülemediği, kontrol edilmesi zor olan tarım alanı,yüzey suları gibi kaynaklardır. (Yağmur ve drenaj suları)

Yüzey suları, yağmur ve rüzgar besi maddesinin taşıyıcı vektörleridir. Beslenme havzasının sızıntı ve yüzey suları, göllerdeki azot ve fosforun en önemli kaynağıdır. Suni gübreyle gübrelenmiş toprak, doğal bitki örtüsü altındaki topraktan daha fazla besi maddesi potansiyeline sahiptir. Göl yüzeyine gelen, yağmur ve kar suları, çiçek tozları, endüstri tesislerinden yollardan rüzgarla taşınan tozlar atmosferik yükü oluşturur. Aşağıdaki şekil 2.1'de göle beslenme havzasından ve doğrudan gelen yükler gösterilmiştir.



Şekil 2.1., Göle Beslenme Havzasından ve Doğrudan Göl Yüzeyine Gelen Yükler.

Genellikle bir su kütlesine besi maddesi girişi, evsel atıksular, yüzeysel akışlar, atmosfer (yağışlar) ve yeraltı suyu (özellikle N) sızmaları sonucudur (Rast and Lee,1983).

Ayrıca kaynakların kontrol edilebilir olmasına göre de sınıflandırılabilir. Buna göre besi maddesi kaynakları:

- 1-) Kontrol edilebilen kaynaklar
- 2-) Kontrol edilemeyen kaynaklar

En önemli besi maddesi kaynağı evlerden ve bazı sanayi kuruluşlarından gelen kullanılmış sular ile meskun ve tarım alanlarından gelen drenaj sularıdır. Besi maddelerinin dış kaynakları:

Başlıca dışardan gelen besi maddesi kaynakları;

- 1-) Belediyeye ait atıklar,
- 2-) Endüstriye ait atıklar,
- 3-) Tarım bölgelerinden gelen yüzey akış suları,
- 4-) Ormanlık bölgelerden gelen yüzey akış suları,
- 5-) Şehirsel ve kırsal bölgelerden gelen yüzey akış suları,
- 6-) Atmosferik yağışlar.

Sapanca gölüne on dereden besi maddesi girişi vardır. Bu dereler sırasıyla; güneyde Sarp, Keçi, İstanbul, Mahmudiye, Kurtköy, Yanık, Karaçay, Arifiye dereleri, kuzeyde Eşme deresi, batıda Balıkhane deresidir.

2.5. Göllerde Ötrofikasyonu Belirleyen Parametreler

Göllerde ötrofikasyonu belirleyen bazı parametreler vardır. Bu parametreler ;

- a-) Epilimnion tabakasında,
- b-) Hipolimnion tabakasında bulunur.

a-) Epilimnion tabakasında;

İlkbahar başlangıcındaki fosfor konsantrasyonu,

Askıda organik madde ve askıdaki azot,

Klorofil-a konsantrasyonu,

Boyutlar ve fitoplankton yoğunluğu,

Fitoplanktonun kütlesi,

Sulardaki ışık yoğunluğu,

Seki diski derinliği değeri,

Birincil üretim seviyesi,

N ve P'nin aktivitesi ve,

Algin büyüme potansiyeli.

b-) Hipolimnion tabakasında;

Durgun periyodun sonundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu,

Çözünmüş oksijenin üretimi,

BOD₅ konsantrasyonu ve,

N ve P konsantrasyonu (Zakrı, 1993).

3. SAPANCA HAVZASININ TANITIMI

3.1. Bölgenin Coğrafik ve Jeolojik Yapısı

3.1.1. Coğrafik Yapısı

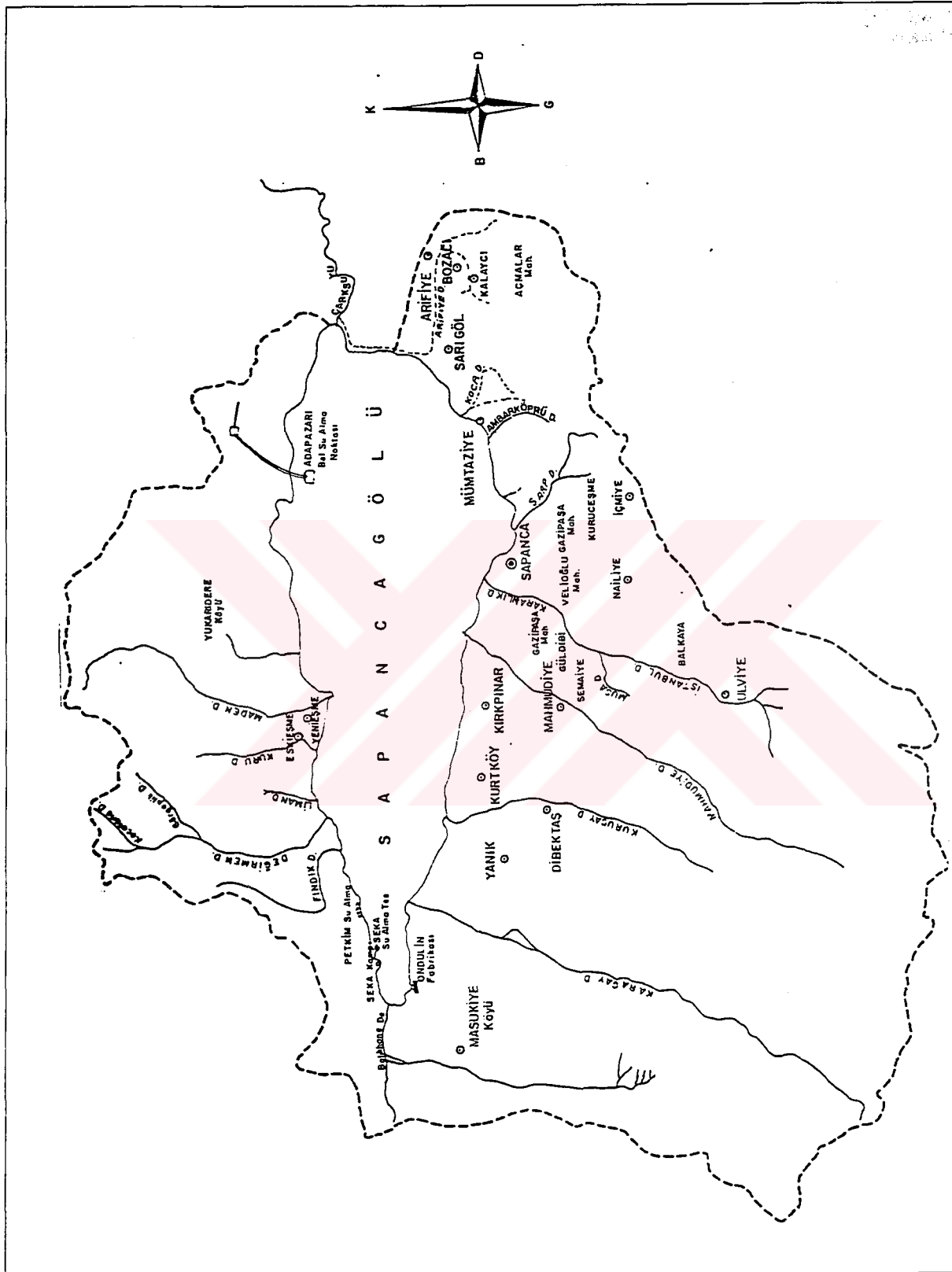
Sapanca gölü tektonik bir çukurda yer almaktadır. İzmit Gölüne paralel olarak uzanır ve İzmit Körfezi'nin devamı olarak Adapazarı Ovasına kadar ulaşır. Marmara Bölgesi içerisinde yer alan Sapanca Gölü bölgenin en önemli tatlı su kaynaklarından birini oluşturmaktadır.

Bu bölgede yer alan diğer önemli göller İzmit, Apolyont ve Manyas Gölleridir. Sapanca Gölü, halen Adapazarının içme ve kullanma suyu kaynağı olmakla birlikte gelecekte tüm Marmara Bölgesi'nin de içme ve kullanma suyu kaynağı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Gölün çevresi 39 km uzunluğunda olup, bunun 26 km'lik kısmı Sakarya, 13 km'lik kısmı da Kocaeli sınırları içerisinde yer almaktadır.

Sapanca Gölünün havza alanı 262-311 km² ' dir. Bu alanın yaklaşık 46 km² 'si göl, 150 km² 'si orman, geriye kalan kısım ise tarım ve yerleşim alanıdır. Gölün uzun eksenini doğu-batı, kısa eksenini güney-kuzey doğrultusunda. Deniz seviyesinden yüksekliği 30 metredir. Uzunluğu 16 km, maksimum genişliği ise 6 km'dir. Doğu ucu Sakarya Nehri'ne 5 km uzaklıktadır. Batı ucu ise İzmit Körfezi'ne 20 km uzaklıktadır. Maksimum gölün derinliği 52 metredir. Gölün güney ve batı kesiminde genişliği değişen, çok geçirimli ve iyi akifer özellikte alüvyal çökelti vardır. Gölün doğu kısmında sık sık bataklıklar görülür.

Gölün su toplama havzası içinde Sakarya ili sınırlarında Arifiye, Sapanca, Mahmudiye, Memnuniye, Esentepe, Aşağıdere, Sedivan, Adapazarı, Kırkpınar Belediyeleri ve Yanıkköy, Kurtköy, Uzunkum, Yukarıdere vb. köy yerleşimleri; Kocaeli'nde ise Maşukiye, Eşme, Derbent,

Acısu vb. köy yerleşimleri yer alır. Sapanca Gölü ve su toplama havzası şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1., Sapanca Gölü ve Su Toplama Havzası

Gölü besleyen kaynaklar, akarsular ve yeraltı sularıdır. Sapanca Gölü'nü besleyen dereler şunlardır: Mahmudiye, Keçi, Yanık, Karaçay, Kurtköy, İstanbul, Balıkhan, Çifteçinar, Tuzla, Altıkuruş, Cehennem, Aygır vb.' dir. Bunların büyük bir çoğunluğu kısa ve düşük akımlıdır. Kurak mevsimlerde ise kurumaktadırlar. Güneyden göle gelen dereler ise dik yataklı olup ani taşkınlara neden olur ve göle beraberinde büyük miktarda irili ufaklı kaya ve çakıllardan oluşan sediment getirirler. Çark suyu gölün tek çıkış yeri olup Sakarya Nehri'ne boşalmaktadır.

Yüzölçümü 40 km² olan Sapanca Gölü kabaca elips şeklindedir. İki dağ arasında uzanan gölün kuzey kıyıları daha düzgündür. Ovanın eğimi, genellikle güneyden kuzeye doğru uzanır. Güneyinde Kayınlı Dağları bulunmaktadır. Sapanca gölü güney yamaçlarında kıyıya yakın kesimde bulunan orman alanı büyük ölçüde tahrip olmuş, yerini maki benzeri topluluklara bırakmıştır. Bugünkü mevcut duruma göre Sapanca Gölü çevresinde orman özelliğini taşıyan çok az miktarda alanlar kalmıştır.

3.1.2. Jeolojik Yapısı

Sapanca Gölü havzası paleozoik dönemden itibaren kıvrılma ve faylanmalarla oluşmuştur. Havza Kuzey Anadolu fayının üzerinde bulunmaktadır. Faylı alanlar Sapanca Gölünün kuzeyi ile Maksudiye'nin kuzeyinde yer almaktadır. Yapılan son araştırmalar gölün hem kuzey, hem de güneyinden geçen iki fay hattının bulunduğunu ortaya koymuştur. Pleyistosen döneminde Sakarya Nehrinin Marmara havzasına dökülmesine karşılık, güneyden gelen birikinti ve çökmeler sonucunda, Sakarya Nehrinin yatağı değişmiş ve bu kuşakta Sapanca Gölü ortaya çıkmıştır. Göl doğuda Sakarya Vadisinden ve batıda İzmit Körfezinden kuvaterner çökellerinin oluşturduğu eşikle ayrılmıştır.

Sapanca Gölü'nün kuzeyinde, Serdivan güneyindeki tepeler üst kretase ve üst kretase paleosen karma oluşumlardan, batıya doğru ise eosen fliş tabakalardan oluşmuştur. Güney kıyılarda alüvyon tabakalar daha

geniş bir bant teşkil eder. Güneydeki kesim, kuzeye göre daha yüksektir. Güney kısmında topografik eğimler gittikçe artarak yükselir. Güneydeki tepeler metamorfik seri ayrılmamış ve mermer, kristalize kalker ile dolomitten oluşmuştur. Doğu tarafında karasal piliosen oluşumlar yer almaktadır.

Sakarya ve diğer akarsular taşıdıkları alüvyon maddeleri Adapazarı çukurluğuna depolamış ve böylece Adapazarı çukurluğu olarak Sapanca Gölünden ayrılmıştır. Bataklık durumundaki Adapazarı Ovası zamanla kuruyarak bugünkü durumuna gelmiştir (DSİ 14. Böl. Müd., 1984).

3.2. Bölgenin İklimi

Sapanca Havzası, iklim açısından Doğu Marmara ve Batı Karadeniz bölgelerinin özelliklerini gösterir. Ortalama yıllık yağış 782.5 mm olup, yağış dağılımı homojendir. Ortalama yağış değerleri, genel olarak Temmuz-Ağustos aylarında en düşük (45 mm), Aralık-Ocak aylarında ise en yüksek değerlere (113 mm) ulaşmaktadır. Dolayısıyla gölün kirlenme yönünden en kritik ayları Temmuz-Ağustos ayları olmaktadır. Ortalama yıllık sıcaklık ise 13.5 °C'dir. En soğuk ay Ocak, en sıcak aylar Temmuz-Ağustos'tur. Yıllık bağıl nem ortalaması % 72.5 ve ortalama buharlaşma 625 mm'dir. Yaz aylarında egemen rüzgar kuzey ve kuzey-doğudur. Kış aylarında ise güney ve kuzey-batıdan esen rüzgarlar etkindir. Sapanca Gölü havzasının doğu-batı doğrultusu açık olmasına karşılık, rüzgarlar bu yönden etkin olmadığından havzada hava kirliliği önem kazanmaktadır (Tüfekçi, 1993, Sert, 1997).

3.3. Bölgenin Ekonomik Durumu

Sapanca Gölü tarıma, sanayiye, kentsel yapılaşmaya çok uygun bir ortamda bulunmaktadır. Gölün güney ve güney batısında meyvecilik, sebze ve tahıl üretimi önemli boyutlardadır. Ürünü hastalık ve zararlılara karşı korumak, verimliliği artırmak amacıyla yörede pestisit ve

kimyasal gübre kullanımı yaygındır. Göl çevresinde, sebzelerden özellikle ıspanak ve marul bol miktarda yetiştirilmektedir (Sümer, İleri, 1996).

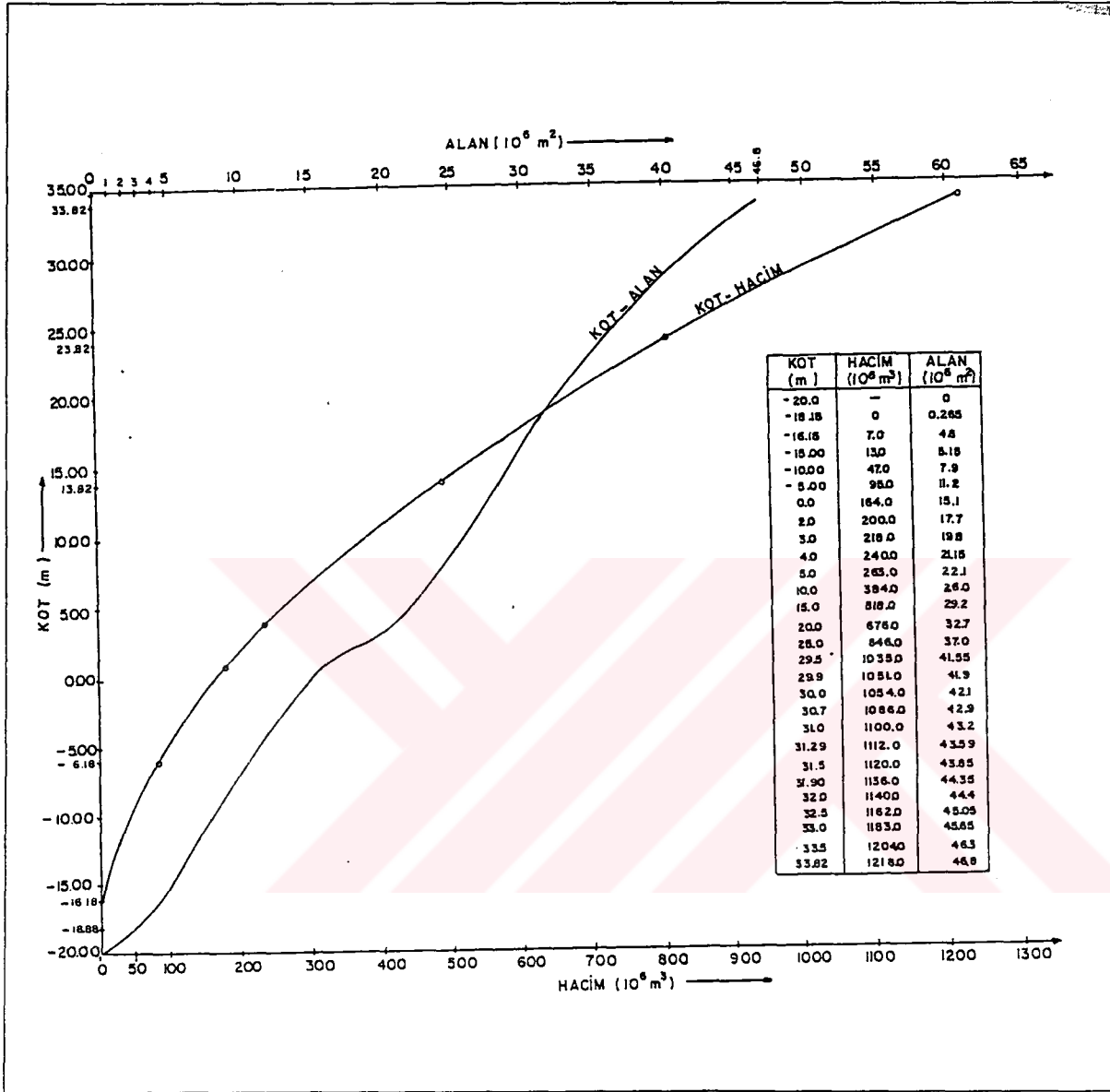
Sakarya ilinde yetiştirilen başlıca tarla ürünleri şeker pancarı, mısır, buğday, patates, soğan ve ayçiçeği, en önemli bağ ve bahçe ürünleri ise üzüm, elma, armut, fındık, domates, dolmalık biber, kavun, karpuz ve lahanadır. Koyun yetiştiriciliğinin yanısıra, sığır besiciliği, tavukçuluk ve ipek böcekçiliği de yapılır.

Tarıma dayalı başlıca sanayi kuruluşları şeker, un, unlu ürünler, patates işleme, süt ve süt ürünleri, bitkisel yağ, yem, kemik unu, tarım alet ve makinaları, traktör ve trayler fabrikalarıdır. Ayrıca DDY'ye bağlı Türkiye Vagon Sanayi A.Ş. ildeki en büyük sanayi kuruluşlarından biridir. Yeraltı kaynakları açısından zengin olmayan il topraklarında demir ve mermer yatakları vardır. Sapanca yöresinde talk içeren cevher yatakları mevcuttur. Ayrıca göl turistik amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Göl çevresinde turistik tesisler bulunmaktadır.

3.4. Hidroloji

Havza alanı 262-311 km²' dir. Bu alanın yaklaşık 46 km²' si göl, yaklaşık 150 km²' si orman, geriye kalan kısmı ise tarım ve yerleşim alanıdır. Göl akarsular veyeraltı suları ile beslenir.

Sapanca Gölü'nün maksimum toplam su tutma kapasitesi 1325 x 10⁶ m³ / yıl'dır. Göl regülatör eşik kotu 29.9 m., maksimum kullanılabilir su kotu ise 31.5 metredir. Gölün 31.5 m ' deki hacmi 1120 x 10⁶ m³ ' tür. Şekil 3.2 ' de Sapanca Gölü Kot-Alan-Hacim grafiği görülmektedir.



Şekil 3.2., Sapanca Gölü Kot-Alan-Hacim Grafiği

Göle yıllık ortalama akış 177×10^3 tır. Yıllık çekilebilecek su miktarı ise $90.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ tır. Ancak kot farkları ayarlanarak Sapanca Gölünden $129.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ / yıl su alınabilir. Göl 46.8 km^2 lik bir yüzey alanına sahiptir.

Sakarya ili göl suyunu içme suyu olarak kullanmaktadır. Yaklaşık 400.000 nüfusu kapsayan bir kesim göl suyundan faydalanmaktadır. Sakarya' ya gölden çekilen su miktarı yaklaşık $36 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ dır. Diğer taraftan Seka, Petkim ve Tüpraş' ta gölden su almaktadır. Bu sanayi kuruluşları bugün için gölden yaklaşık $80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ su almıştır. Gölden böyle fazla miktarlarda su çekilmesi, gölün ekolojik dengesi üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır (Sert, 1997).

Gölün maksimum derinliği 52 metredir. Sapanca Gölü derelerin yanı sıra birçok kaynak akımı ile de beslenmektedir. Göl, çark suyu çıkışı ile Sakarya Nehrine boşalır. Gölü besleyen çaylar kısa uzunluktadır. Göl aynı zamanda yeraltı akışları ile de beslenmektedir. Gölün hacmi ise yağışlarla değişmektedir (DSİ 14. Böl. Müd., 1984).

3.5. Gölü Besleyen Dereler ve Kaynaklar

Gölü besleyen dereler şunlardır: Güneyde Sarp, Keçi, İstanbul, Mahmudiye, Kurtköy, Yanık, Karaçay, Arifiye dereleri, kuzeyde Eşme deresi, batıda Balıkhane deresidir. Gölün güneyindeki dereler, kuzeyindekilere göre çok fazla miktarda kirlilik taşımaktadır. Toplam fosfat yükü bakımından derelerin göle taşıdığı maksimum konsantrasyon aşağıda belirtilmiştir (Sert, 1997).

Yanık Deresi	:	65	mg/m^3
Kuruçay Deresi	:	130	mg/m^3
Mahmudiye Deresi	:	35	mg/m^3
İstanbul Deresi	:	35	mg/m^3

(Sapanca) Keçi Deresi : 1361 mg/m³
 (Sapanca) Sarp Deresi : 860 mg/m³
 Maden Deresi : 24 mg/m³

Görüldüğü gibi Sapanca içinden geçen Keçi ve Sarp dereleri çok fazla miktarda kirlenmiş olup, göle çok büyük ölçüde fosfor yüklemesi yapmaktadır. Gölü besleyen dereler yıllık ortalama debileri tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1., Gölü Besleyen Dereler ve Yıllık Ortalama Debileri (DSİ 14. Böl. Mūd., 1984)

Göle Gelen Dereler	Yıllık Ortalama Debileri(m ³ /sn)
1-) Sarp Deresi	0.055
2-) Keçi Deresi	0.110
3-) İstanbul Deresi	0.895
4-) Mahmudiye Deresi	0.640
5-) Kurtköy(Kuruçay) Deresi	0.816
6-) Yanık Deresi	0.130
7-) Balıkhan Deresi	1.103
8-) Eşme(Maden) Deresi	0.120
9-) Karaçay Deresi	0.546
10-) Arifiye Deresi	0.063

Sapanca Gölü derelerin yanısıra yeraltı suları ve birçok kaynak akımı ile de beslenmektedir. Gölü besleyen çayların uzunluğu azdır

4. GÖLE GELEN BESİ MADDESİ YÜKLERİNİN HESABI

Dünyada birçok ülkede ötrofikasyon suyun kalitesinin kötüleşmesine neden olan önemli etmenlerden birisidir. Son yıllarda, birçok araştırmacı göle gelen yükleri hesaplayarak hangisinin modellemede kullanılacağını araştırmışlardır. Su ortamına esas olarak besî maddesi girişi genellikle atıksu deşarjları, yüzeysel akış, atmosferik yağışlar ve yeraltı suyudur. Noktasal olmayan kaynakların miktarını belirlemek oldukça zordur.

4.1. Havzadaki Kirletici Kaynaklardan Gelen Yükler

4.1.1. Tarım Alanlarına Ait Yükler:

Sapanca havzasında toprak kullanımı tablo 4.1 de verildiği gibidir.

Tablo 4.1., Havzadaki Toprak Kullanımı (Ayberk, S., 1983)

Toprak Kullanımı	Hektar(Ha)
Verimli Toprak Alanı	5740.50
Bozuk Orman Alanı	3049.00
Çok Bozuk Orman Alanı	5168.00
Mera Alanı	230.00
Tarım Alanı	12016.00
Toplam Havza Alanı	26203.50

Havzadaki tarım alanlarının gübre ihtiyaçları:

12- 80 kg/da yıl fosforlu gübre % 42 P_2O_5

15- 33 kg/da yıl azotlu gübre % 21 N

12- 46 kg/da yıl azotlu gübre % 26 N

olarak tesbit edilmiştir (Çolak, Y. İ., 1983).

Bu miktarlara uygun gübre kullanıldığı kabul edilerek, havzada gübreleme ile toprağa verilen fosfor ve azot miktarları:

293.25 kg P/ha-yıl

805.00 kg N/ha-yıl

olarak hesaplanmıştır. Kullanılan gübrenin bir kısmı bitki tarafından kullanılırken bir kısmı toprak tarafından tutulur, kalan kısmı ise yıkanarak uzaklaştırılır. Gübreleme ile toprağa verilen fosfor ve azot miktarları:

29 kg P/ha-yıl

56 kg N/ha-yıl olduğu zaman, yüzeysel sularda

0.11 kg P/ha-yıl

5.5 kg N/ha-yıl

çıkılmaktadır (Rast, Lee, 1982). Bu verilere göre havza tarım alanlarından;

1.112 kg P/ha-yıl

79.06 kg N/ha-yıl çıkarıldığı hesaplanmıştır. Bunların tarım alanları ile çarpımı havzadan çıkarılan yük miktarını vermektedir. Kırsal bölgelerde, yüzeye verilen besi maddesinin % 10'u yüzey suları ile taşındığından besi maddesi yükünün % 10'u alınmıştır (Rast, Lee, 1982). Buna göre 94998 kg N/yıl ve 1336 kg P/yıl değerleri bulunmuştur.

Tarım alanı x 79.06 kg N/ha-yıl = Havzadan çıkarılan yük

12016.00 ha x 79.06 kg N/ha-yıl = 94998 kg N/yıl

Kırsal bölgelerde, yüzeye verilen besi maddesinin % 10'u yüzey suları ile taşındığından, besi maddesinin yükünün % 10'u alınır;

$94988.96 \times \% 10 = 9498.84 = 94998 \text{ kg N/yıl}$

Fosfor için aynı işlemler yapılırsa;

$12016.00 \times 1.112 = 13361.792 \text{ kg P/yıl}$

$\% 10'u \text{ alınırsa } 13361.792 \times \% 10 = 1336.17 = 1336 \text{ kg P/yıl}$

4.1.2. Evsel Atıksulardan Gelen Yükler

Hesaplamalarda insan için, 6-12 gr N/kişi-gün ve 1-4 gr P/kişi-gün kullanılarak 4.38 kg N/kişi-yıl ve 1.5 kg P/kişi-yıl karakteristikleri alınmıştır (Metcalf, Eddy). Atıklarını göle verme durumunda olan nüfus yaklaşık 30.000 kişi civarındadır. Bu yerleşimlerden Arifiye' nin havza dışı olduğu ve diğer küçük yerleşimlerin atıklarının fosseptikler vasıtasıyla bertaraf edildiği belirtilmiştir. Buna göre evsel atıklarla göle gelen azot ve fosfor miktarı:

$$30.000 \text{ kişi} \times 4.4 \text{ kg N/kişi-yıl} = 132.000 \text{ kg N/yıl}$$

$$30.000 \text{ kişi} \times 1.5 \text{ kg P/kişi-yıl} = 45.000 \text{ kg P/yıl} \text{ olarak hesaplanır.}$$

4.1.3. Orman Alanlarından ve Atmosferden Gelen Yükler

Orman alanlarından gelecek yük için karakteristikler, 0.01 gr P/m²-yıl ve 0.5 gr N/m²-yıl alınmıştır (Rast, Lee, 1982). Bu değerler toprak kullanımını veren tablo 4.1'den alınan orman alanı ile çarpılarak yük, 70938 kg N/yıl ve 1419 kg P/yıl olarak bulunmuştur.

$$0.5 \text{ gr N/m}^2\text{-yıl} \times 14187.5 \text{ ha} = 70937.5 = 70938 \text{ kg N/yıl}$$

Aynı işlemler P için yapılırsa;

$$0.01 \text{ gr P/m}^2\text{-yıl} \times 14187.5 \text{ ha} = 141875 = 1419 \text{ kg P/yıl}$$

Atmosfere ait yük hesabından göl yüzeyine düşen yağmur suyu dikkate alınmıştır. Göl yüzeyine düşen yağmurdaki N konsantrasyonu = 1.0 mg/lt, P konsantrasyonu derişimi = 0.1 mg/lt (Rast, Lee, 1982), ortalama yıllık yağış = 782.5 mm (DSİ, 1990) karakteristikleri kullanılarak yağmur suyundan gelen yükler azot ve fosfor için sırasıyla 36620 kg N/yıl ve 3662 kg P/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yağmur suyundan gelen yükün hesaplanması:

$$\begin{aligned}\text{Göle düşen toplam yağış miktarı} &= \text{ortalama yıllık yağış} \times \text{göl alanı} \\ &= 782.5 \text{ mm/yıl} \times 46.8 \text{ km}^2 \\ &= 36.621 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}\end{aligned}$$

Buna göre göle ulaşan N miktarı = 36621 kg N/yıl

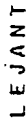
P için hesaplanan değerler ise ;

$$= 0.7825 \text{ m/yıl} \times 46.8 \times 10^6 \text{ m}^2 = 36.621 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$\begin{aligned}\text{Göle ulaşan P miktarı ise, } 36.621 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 0.1 \text{ mg/lt} \\ = 3662 \text{ kg P/yıl}\end{aligned}$$

4.1.4. Derelerin Getirdiği Yükler

Göle yük girdilerini on dere ve iki kanalizasyondan gelen besi maddeleri oluşturur. Gölün güneyindeki dereler kuzeyindekilere göre çok fazla kirlilik taşımaktadır. Sapanca içinden geçen Keçi ve Sarp dereleri göle büyük ölçüde fosfor yüklemesi yapmaktadır. Konsantrasyonlar hesaplanırken, azot için, $\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{TKN}$ değerleri, fosfor için ise $\text{PO}_4\text{-P}$ değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Sapanca Gölü ve örnekleme noktaları şekil 4.1.'de görülmektedir.



Şekil 4.1., Sapanca Gölü ve Örnekleme Noktaları

Derelerin getirdiği toplam N miktarı = (gölü besleyen akarsuyun ortalama debisi) x (bu akarsudaki ortalama toplam N konsantrasyonu) = 27.33 (mg / lt) x (m³ / sn)

Derelerin ve kanalizasyonların getirdiği toplam N = 72988.6974 kg N / yıl bulunmuştur.

Göle giren toplam N miktarı = tarım alanlarına ait yük + evsel atıksulardan gelen yük + orman alanlarından gelen yük + atmosfere ait yük + derelerin ve kanalizasyonların getirdiği yük miktarı
 = 94998 kg N/yıl + 132.000 kg N/yıl + 70938 kg N/yıl + 36621 kg N/yıl + 872989.69 kg N/yıl
 = 1207546.69 kg N/yıl

$$\begin{aligned} \text{Göle giren toplam N yükü} &= \frac{1207546.69 \text{ kg/yıl}}{44.45 \times 10^6 \text{ m}^2} \\ &= 27.16 \text{ gr N/m}^2\text{-yıl} \end{aligned}$$

Gölden çıkan toplam N miktarı = 533742.6688 kg N/yıl

Gölde kalan N miktarı = 1207546.69 - 533742.6688 = 673803.03 kg N/yıl azot gölde birikmekte ve kısmen mikroorganizmalar tarafından kullanılmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Göldeki N konsantrasyonu} &= \frac{673803.03 \text{ kg/yıl}}{1120 \times 10^6 \text{ m}^3} \\ &= 0.6 \text{ mg/lt} \end{aligned}$$

Göle giren toplam P = derelerin getirdiği P miktarı + kanalizasyonların getirdiği P miktarı :

$$= 0.887143 + 0.01518 = 0.902323 \text{ (mg / lt) x (m}^3 \text{ /sn) = 28455.65 kg P / yıl}$$

Derelerin ve kanalizasyonların getirdiği toplam P yükü = $\frac{28455.65 \text{ kg / yıl}}{44.45 \times 10^6}$

$$= 640.17 \text{ mg P / m}^2\text{-yıl}$$

$$\begin{aligned}\text{Göle giren toplam P miktarı} &= 1336 + 45.000 + 1419 + 3662 + 28455.65 \\ &= 79872.65 \text{ kg P / yıl}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Göle giren toplam P yükü} &= \frac{79872.65 \text{ kg / yıl}}{44.45 \times 10^6 \text{ m}^2} \\ &= 1796.91 \text{ mg P / m}^2\text{-yıl}\end{aligned}$$

$$\text{Gölden çıkan toplam P miktarı} = 38210 \text{ kg P / yıl}$$

$$\text{Göldeki toplam P miktarı} = 79872.65 - 38209.64 = 41663.01 \text{ kg P / yıl}$$

$$\begin{aligned}\text{Göldeki P konsantrasyonu} &= \frac{41663.01 \text{ kg P / yıl}}{1120 \times 10^6 \text{ m}^3} \\ &= 0,037 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

4.2. Kritik Fosfor Yükünün Hesaplanması

Göllerin su kalitesinde bir bozulma olmadan kabul edebilecekleri yük miktarı sınırlıdır. Bu sınırlı yük miktarı gölün hidrolojik ve morfolojik özelliklerine bağlıdır. Genellikle, göllerde büyümeyi sınırlayıcı eleman fosfordur ve fosfor yükünün kontrolü hem ekonomik hem teknik bakımdan daha kolaydır. Bunun için su kalitesi kontrolünde fosfor yükünün kontrolü ve fosfora ait yük değerleri önem kazanır. Aşırı beslenmenin başlama sınırı olarak kabul edilen kritik fosfor yükü, Vollenweider yöntemine göre aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (OECD Report, 1982).

$$L_c = 10 \times q_s \times [1 + (z / q_s)^{0.5}] \quad (4.1)$$

$$L_c = \text{Kritik P yükü, mg P / m}^2\text{-yıl}$$

$$q_s = \text{Hidrolik yük, m / yıl}$$

$$z = \text{Ortalama derinlik, m}$$

Sapanca gölü için, ortalama göl çıkış akımı ve gölden çekilen su miktarı $178.57 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{yıl}$ ve ortalama buharlaşma kaybı Kurtköy Meteoroloji İstasyonu verilerinden, $16.3 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda gölden çıkan ortalama su miktarı; $178.57 \times 10^6 + 16.3 \times 10^6 = 194.87 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{yıl}$ dır. Buradan hidrolik yük; $q_s = 4.38 \text{ m} / \text{yıl}$

32.10 m kotu için gölün ortalama hacmi $1149 \times 10^6 \text{ m}^3$ tür. Böylece hidrolik bekleme süresi; $T_w = 5.89 \text{ yıl}$

$Z / T_w = Q / A = q_s = 4.38 \text{ m} / \text{yıl}$ olduğundan,

$Z / 5.89 \text{ yıl} = 4.38 \text{ m} / \text{yıl}$

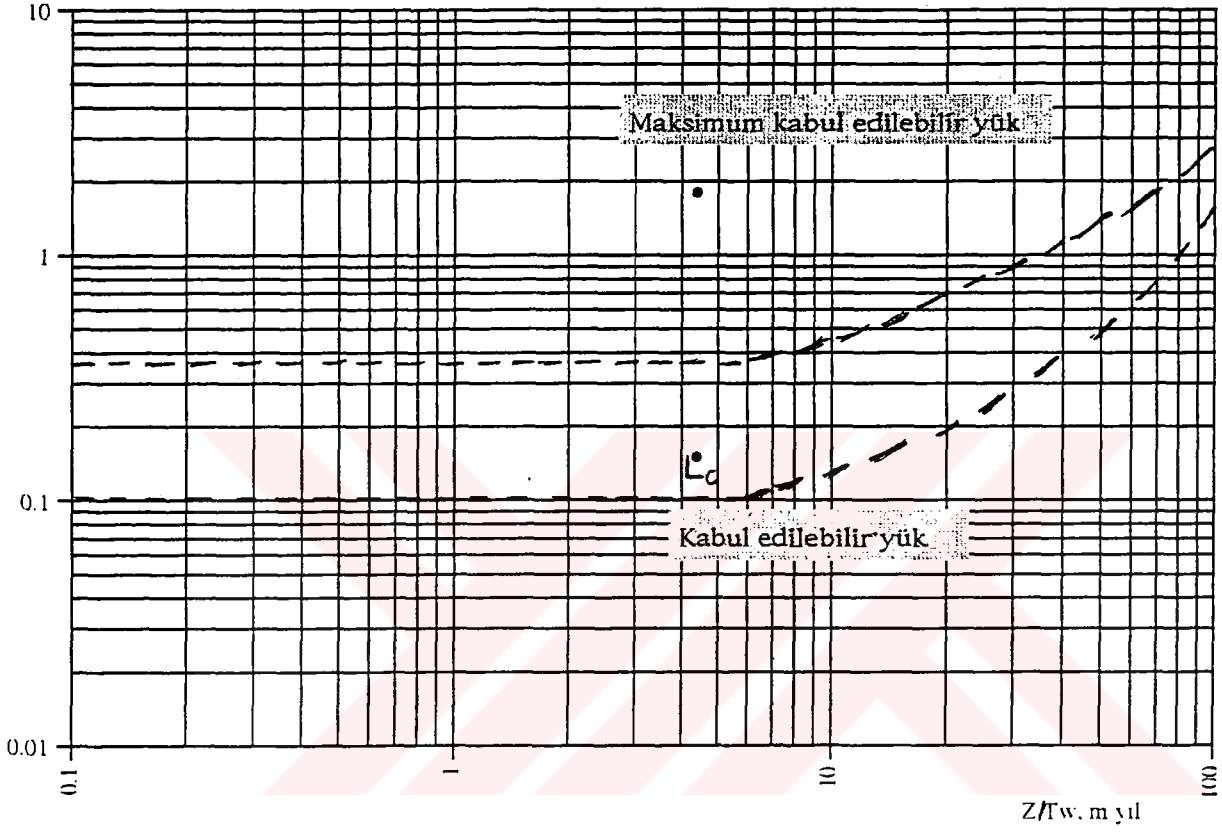
$Z = 25.80 \text{ m}$

$L_c = 10 \times 4.38 [1 + (25.80 / 4.38)^{0.5}]$

$L_c = 150.1 \text{ mg P} / \text{m}^2\text{-yıl}$

Burada bulunan P yükü, kritik P yükünün yaklaşık oniki katı kadardır. Bu yüzden gölde kirlilik önemli ölçüde artmıştır. Göl artık ötrofik duruma doğru yönelmiştir. Göldeki P yükü ve hidrolik yük değerleri şekil 4.2.'de işaretlendiği zaman oligotrofik durumdan ötrofik duruma doğru geçtiği görülmektedir.

Fosfor Yüğü $gP \cdot m^2 \cdot yıl$



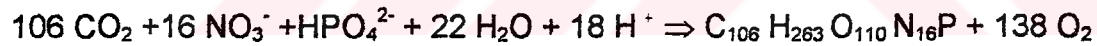
Şekil 4.2., Toplam Fosfor Yüğü ve Ortalama Derinlik/Hidrolik Bekleme Süresi

5. SAPANCA GÖLÜNÜN TROFİK DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI

5.1. Göldeki Sınırlayıcı Elementin Belirlenmesi

Alglerin üretim hızını kontrol eden çok sayıda faktör vardır. Bunlardan birkaçı fotosentetik reaksiyonlar ve büyüme için gerekli olan besin maddesidir. Nutrientler, karbon, azot, fosfor, sülfür, kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, demir, manganez, çinko, bakır, bor ve diğerleridir.

Ötrofikasyonu kontrol etmede sınırlayıcı element olarak genellikle azot veya fosfor kullanılır. Justus Liebig 1840'ta yaptığı çalışmalarda nutrientlerden birisinin az olmasının büyümeyi engelleyeceğini belirtmiştir. Besin maddesi organizmanın bu besin maddesine ihtiyacı oranında organizma tarafından tüketilir ve büyüme, ihtiyaç duyulan mevcut en az miktardaki madde ile sınırlanmıştır. Bu Liebig'in minimum kanunu olarak bilinir (Masters, G.M., 1991). Alg protoplazmasının oluşması şöyledir :



Basit bir stokiyometrik analiz kullanılarak azotun fosfora oranı ağırlık olarak,

$$\begin{aligned} \text{N} / \text{P} &= \frac{16 \times 14}{1 \times 31} \\ &= 7.2 \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

Eğer bu oran yediden daha fazla ise sınırlayıcı element fosfordur (Stumm and Morgan, 1970). Alg hücreleri için stokiyometrik oran C : N : P = 106 : 16 : 1' dir. Yeterince ışık ve sıcaklık olduğu zaman 1 mol fosfor ve 16 mol azot ve 106 mol karbon alg büyümesi için optimum miktar olarak gereklidir.

Su içerisindeki azot ve fosforun miktarından çok alg tarafından kullanılan şekilleri önemlidir. Bu formlar fosfor için çözünmüş ortofosfat, azot için amonyak, nitrit ve nitrattır. N / P stokiyometrik oranı 16 / 1, kütleler oranı ise 7 / 1' dir. Eğer bu oran 7' den büyükse sınırlayıcı eleman fosfor, küçükse azottur (Masters, G.M., 1991).

Gölle ilgili olarak, gölden su alma noktalarında ve göl içi A, B örnekleme noktalarında yapılan ölçümler tablo 5.1, 5.2, 5.3, 5.5 ve 5.7' de; sınırlayıcı elemanın hesaplamalarıyla ilgili sonuçlar da tablo 5.4, 5.6 ve 5.8' de verilmiştir. Bu tablolara bağlı olarak elde edilen grafik gösterimleri de şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5' te verilmektedir.

Tablo 5.1., 1994 Yılı Mevsimsel $\Sigma N = (NH_3-N) + (NO_2-N) + (NO_3-N)$ ve PO_4-P Değerleri (Sümer, B., İleri, R., 1996)

Ölçüm Noktaları	İlkbahar		Yaz		Sonbahar		Kış	
	ΣN	PO_4-P	ΣN	PO_4-P	ΣN	PO_4-P	ΣN	PO_4-P
1)Belediye su alma noktası	0.76	0.198	1.671	0.204	1.2	0.182	0.885	0.136
2)Endüstri su alma noktası	0.717	0.176	1.34	0.193	0.987	0.168	0.796	0.175
3)Çark suyu çıkışı	0.838	0.234	2.041	0.258	1.407	0.182	1.483	0.136

Tablo 5.2., 1992 Yılı (Yıllık Değerler) (Yalçın, N., Sevinç, V., 1993)

Ölçüm Noktası	$(NH_3-N)+(NO_2-N)+(NO_3-N)$	PO_4-P
1)Belediye su alma noktası	0.933	0.118
2)Endüstri su alma noktası	0.702	0.138
3)Çark suyu çıkışı	1.227	0.128

Tablo 5.3., 1982 Yılı (Yıllık Ortalama Değerler) (DSİ, 1984)

Ölçüm Noktası	$(\text{NH}_3\text{-N})+(\text{NO}_2\text{-N})+(\text{NO}_3\text{-N})$	$\text{PO}_4\text{-P}$
1)Belediye su alma noktası	0.228	0.042
2)Endüstri su alma noktası	0.369	0.062
3)Çark suyu çıkışı	0.547	0.062

Tablo 5.4., 1982-1992 ve 1994 Yılı N / P Değerleri

Ölçüm Noktaları	1994 Yılı mevsimsel N / P oranı				92 yılı ort. N / P oranı	82 yılı ort. N / P oranı
	ilkbahar	yaz	sonbahar	kış		
1-)Belediye su alma noktası	3.83	8.19	6.59	6.50	7.90	5.42
2-) Endüstri su alma noktası	4.07	6.94	5.87	4.54	5.08	5.95
3-) Çark suyu	3.58	7.91	7.73	10.90	9.58	8.82

A) Yüzeyde

Tablo 5.5, Yüzeydeki N ve P Değerler (Tüfekçi, H., 1993)

Tarih	İstasyon - A		İstasyon - B	
	NO ₃ +NO ₂ (µg/lit)	O-PO ₄ (µg/lit)	NO ₃ +NO ₂ (µg/lit)	O-PO ₄ (µg/lit)
21.01.1992	46.80	2.5	47.3	2.5
30.03.1992	57.7	2.5	52.25	2.5
30.06.1992	25.9	5.83	18.9	2.76
08.09.1992	14.2	9.5	14.2	10

Tablo 5.6., 1992 Yılı (İst-A ve İst.-B) Yüzeye Göre N / P Değerleri

Tarih	İstasyon A	İstasyon B
	N / P Oranı	N / P Oranı
21.01.1992	18.72	18.92
30.03.1992	23.08	20.9
30.06.1992	4.44	6.84
08.09.1992	1.49	1.42

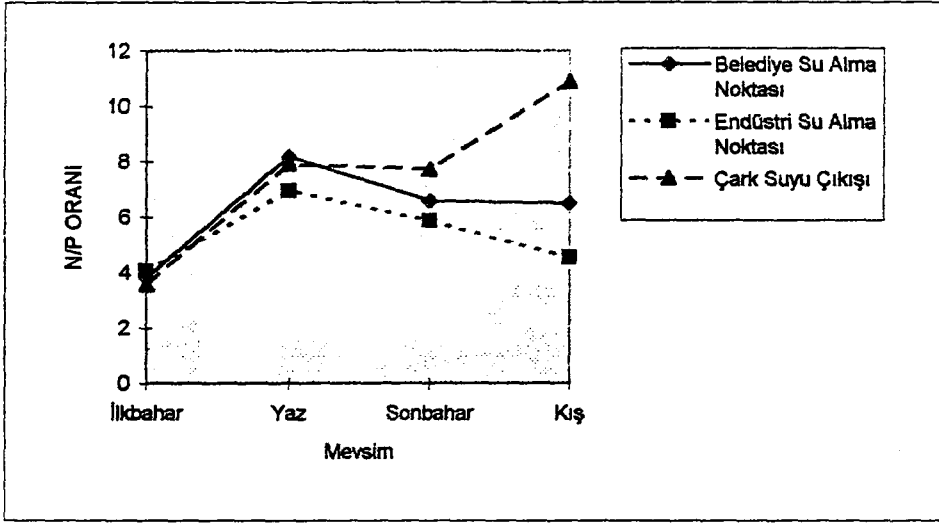
B) Ortalama derinliğe göre

Tablo 5.7., Ortalama Derinliğe Göre N ve P Değerleri (Tüfekçi, H., 1993)

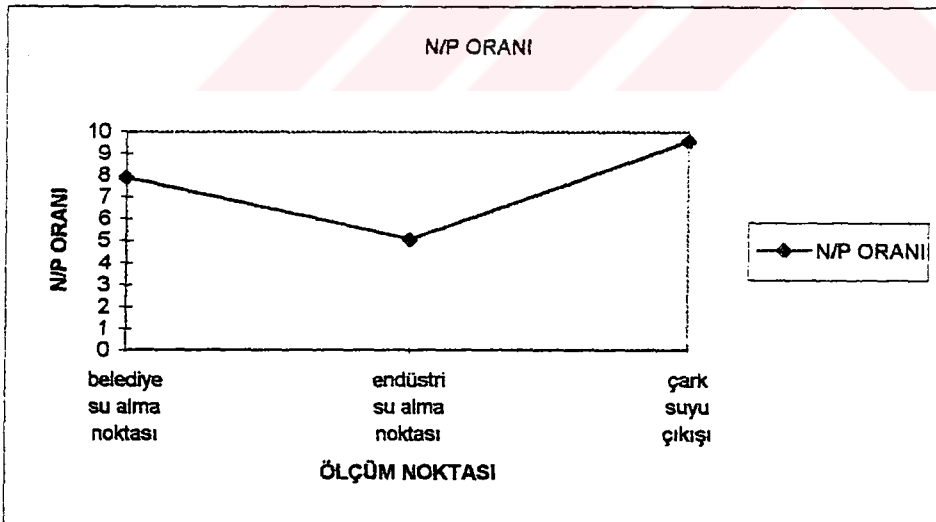
Tarih	İstasyon - A		İstasyon - B	
	NO ₃ +NO ₂ (µg/lit)	O-PO ₄ (µg/lit)	NO ₃ +NO ₂ (µg/lit)	O-PO ₄ (µg/lit)
21.01.1992	56.9	2.5	58.17	2.5
30.03.1992	57.14	2.5	65.35	2.5
30.06.1992	50.1	3.435	45.68	2.75
08.09.1992	51.65	4.82	51.65	4.34

Tablo 5.8., 1992 Yılı (İst.-A ve İst.-B) Ortalama Derinliğe Göre N / P Değerleri

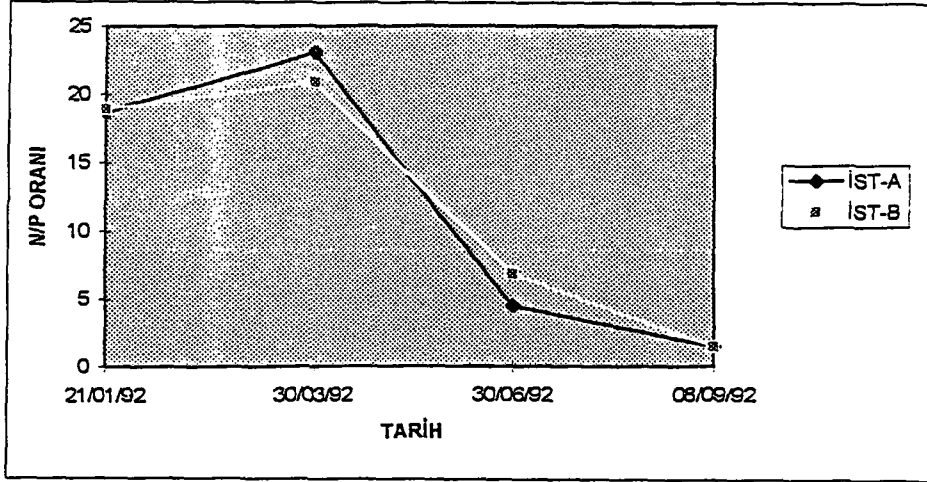
Tarih	İstasyon A	İstasyon B
	N / P Oranı	N / P Oranı
21.01.1992	22.76	23.268
30.03.1992	22.856	26.14
30.06.1992	14.58	16.61
08.09.1992	10.71	11.9



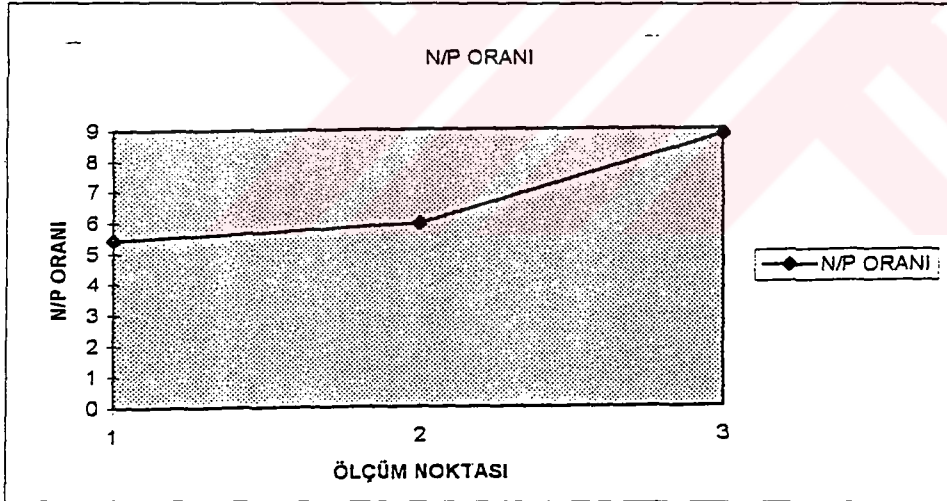
Şekil 5.1., 1994 Yılı Mevsimsel N/P Değerleri



Şekil 5.2., 1992 Yılı Yıllık Ortalama N/P Değerleri

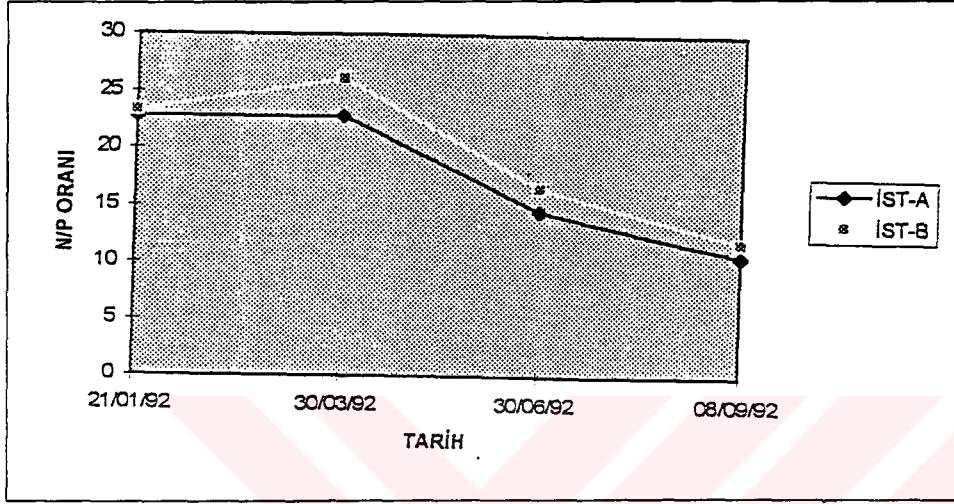
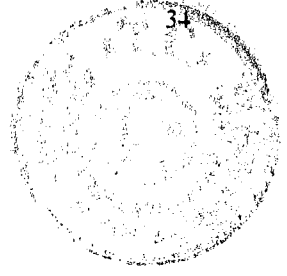


Şekil 5.3., 1992 Yılı Yüzeye Göre Ortalama N / P Değerleri



Şekil 5.4., 1982 Yılı Yıllık Ortalama N / P Değerleri

1. Belediye Su Alma Noktası
2. Endüstri Su Alma Noktası
3. Çark Suyu



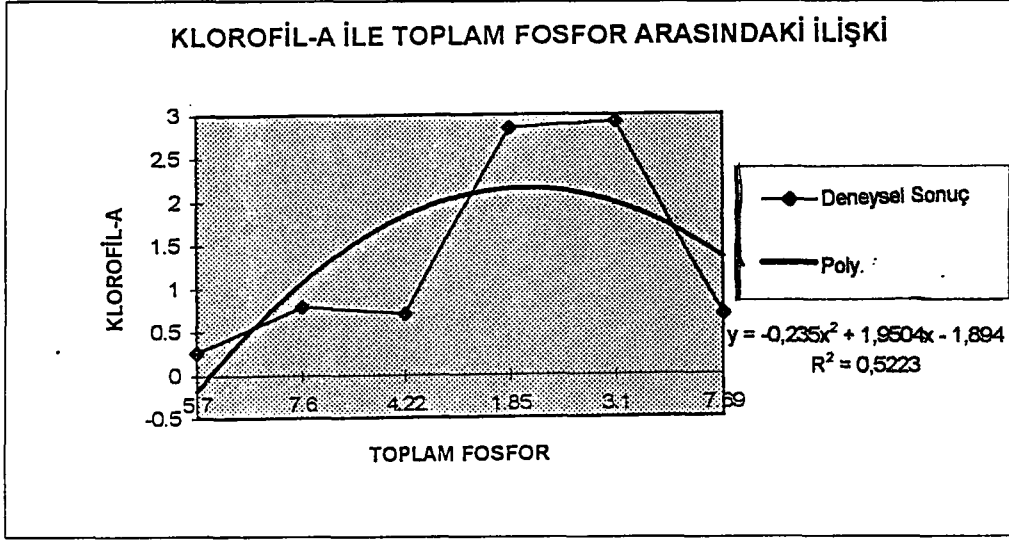
Şekil 5.5., 1992 Yılı Ortalama Derinliğe Göre N/P Değerleri

5.2. Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki

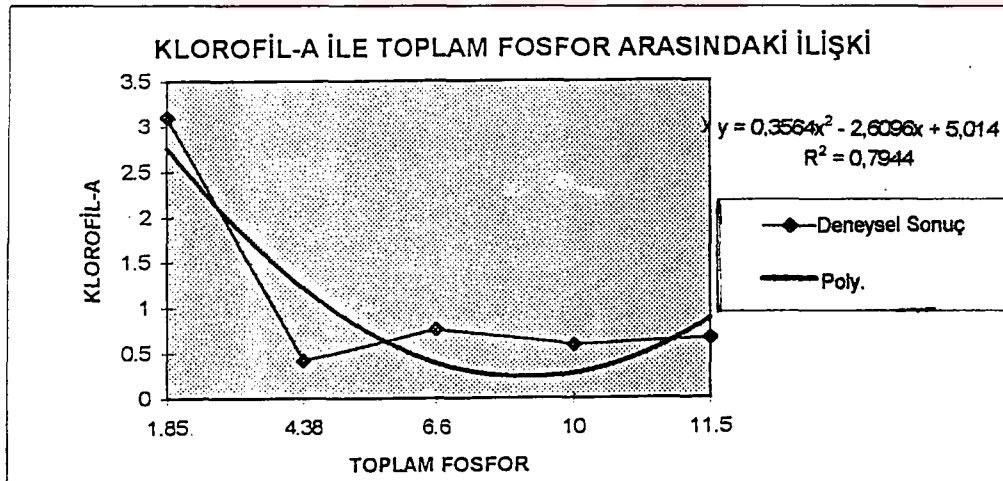
Yapılan birçok çalışmada toplam fosfor ve klorofil-a değerleri yüzeyde ölçülerek değerlendirilmiştir (Jones, J. R., and Bachmann, R. W., 1976). Kasım ayından itibaren göl alt-üst olur. Dipte bulunan besi elementleri yüzey sularına taşınır. Ayrıca bu aylarda gölün dalgalı olması nedeniyle kıyı bölgelerdeki bitkilerden kopan parçalar da suya karışmış ve bunlar klorofil-a üretimini artırmıştır. Toplam fosfor miktarı arttığı zaman klorofil-a miktarı da buna paralel olarak bir artış gösterir. Alg üretimi yüzeyde başlar. Bu yüzden yapılan çalışmalarda klorofil-a ve toplam fosfor değerleri yüzeydeki ölçümlere göre değerlendirilmiştir.

Tablo 5.9., Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki (Tuğrul, S., Morkoç, E., 1989, Tüfekçi, H., 1993)

Tarihler	İstasyon A		İstasyon B	
	Klorofil-a	Toplam P	Klorofil-a	Toplam P
06.07.1989	1.20	—	—	—
23.08.1989	0.26	5.7	0.59	10.0
25.09.1989	0.79	7.6	0.76	6.6
12.09.1991	0.70	4.22	0.42	4.38
21.01.1992	2.85	1.85	3.10	1.85
30.03.1992	2.92	3.1	2.20	—
30.06.1992	1.91	—	1.65	—
08.09.1992	0.69	7.69	0.66	11.50



Şekil 5.6., Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki (A İstasyonunda)



Şekil 5.7., Klorofil-a İle Toplam Fosfor Arasındaki İlişki (B İstasyonunda)

5.3. Trofik Durum İndeksi (TSI) Değerlerinin Hesabı

Göl suyu kalitesini belirlemek amacıyla trofik durum indeksinden yararlanılır. Trofik durum indeksi herhangi bir gölün sınıflandırılmasında güvenilir bir parametredir. Trofik durum indeksi değerleri, seki diski derinliği, klorofil-a ve toplam fosfor değerlerinin hesaplanması sonucunda bulunur. Bu değerlerin TSI tablosu ile karşılaştırılması sonucu gölün trofik durumu belirlenir. Bu tablo R.E. Carlson tarafından 1977 yılında geliştirilmiştir. 0-100 arasındaki bölümler trofik kademeyi gösterir. Bölümler onar onar artmaktadır. Hesaplanan değerler 0-40 ise oligotrofik, 40-70 ise mezotrofik, 70-100 ise ötrofik durumu belirtir. Seki diski derinliği değerleri metre ve klorofil-a konsantrasyonu (mg / m^3) ve yüzeye yakın olarak alınmıştır. TSI formüllerinin çıkarılışı ışık şiddetiyle ilişkilidir. Işık şiddeti de daha çok yüzeye ilişkili olduğu için yüzey değerleri alınmıştır. Aşağıdaki tabloda Carlson tarafından geliştirilen değerler gösterilmektedir (Carlson, R.E., 1977).

Tablo 5.10., Seki Diski Derinliği, Klorofil-a ve Toplam Fosfora Bağlı TSI Değerleri (Carlson, R.E., 1977)

TSI	SDD (metre)	Yüzeyde fosfor (mg / m^3)	Yüzeyde klo-a (mg / m^3)
0	64	0.75	0.04
10	32	1.5	0.12
20	16	3	0.34
30	8	6	0.94
40	4	12	2.6
50	2	24	6.4
60	1	48	20
70	0.5	96	56
80	0.25	192	154
90	0.12	384	427
100	0.062	768	1183

TSI değerlerinin hesaplanmasında, Carlson R. E. nin 1977 yılında geliştirdiği aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$TSI (SDD) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln SDD}{\ln 2} \right) = 60 - [14.427 \times \ln (SDD)] \quad (5.1)$$

$$TSI (Klo-a) = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \times \ln (Klo-a)}{\ln 2} \right) = 0.6 + [9.81 \times \ln (Klo-a)] \quad (5.2)$$

$$TSI (t-P) = 10 \times \left(6 - \frac{\ln (48/t-P)}{\ln 2} \right) = 4.15 + [14.427 \times \ln (t-P)] \quad (5.3)$$

Carlson'a göre esas değişkenlerin hesaplanmasında epilimnion tabakası kullanılmıştır ve bütün ölçümler bu tabakadan yapılmıştır.

Sapanca gölü için TSI değerleri; (5.1), (5.2) ve (5.3) eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. TSI hesaplamalarında kullanılan SDD, klorofil-a ve toplam fosfora ait ölçülen değerler tablo 5.11' de verilmiştir. Bunlara bağlı olarak hesaplanan TSI değerleri ise tablo 5.12' de görülmektedir.

Tablo 5.11., Seki Diski Derinliği, Klorofil-a ve Toplam Fosfora Bağlı TSI ' nin Sapanca Gölü İçin Ölçülen Değerleri (Tüfekçi, H., 1993 ve Tuğrul, S., Morkoç, E., 1989)

Ölçüm Zamanı	Parametreler	Ölçülen Değerler	
		İstas.A	İstas.B
06.07.1989	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	5.0 1.20 –	– – –
23.08.1989	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	9.0 0.26 5.7	7.5 0.59 10.0
25.09.1989	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	7.5 0.79 7.6	7.0 0.76 6.6
12.09.1991	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	6.75 0.70 4.22	6.55 0.42 4.38
21.01.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	4.80 2.85 1.85	4.30 3.10 1.85
30.03.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	2.80 2.92 3.1	3.30 2.20 –
30.06.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	2.20 1.91 –	2.90 1.65 –
08.09.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	7.50 0.69 7.69	7.20 0.66 11.50

Tablo 5.12., Seki Diski Derinliği, Klorofil-a ve Toplam Fosfora Bağlı TSI' nin Sapanca Gölü İçin Hesaplanan Sonuçları

Ölçüm Zamanı	Parametreler	TSI Değerleri	
		İstas.A	İstas.B
06.07.1989	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	36.78 32.38 —	— — —
23.08.1989	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	28.30 17.38 29.25	30.93 25.42 37.36
25.09.1989	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	30.93 28.28 33.41	31.92 27.90 31.37
12.09.1991	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	32.4 27.1 24.9	32.88 22.09 25.45
21.01.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	37.3 40.8 13.02	38.9 41.69 13.02
30.03.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	45.14 41.11 20.47	42.77 38.33 —
30.06.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	48.62 36.94 —	44.63 35.51 —
08.09.1992	SDD (m) Klorofil-a (mg/m ³) Top.Fosfor (mg/m ³)	30.9 26.95 33.57	31.5 26.52 39.38

1994 yılı ölçümleri $\text{PO}_4\text{-P}$ (Toplam fosfor olarak) değerleri aşağıdaki tablo 5.13' te, hesaplanan TSI (TP) değerleri ise tablo 5.14' te verilmiştir.

Tablo 5.13., Ölçülen Toplam Fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) Değerleri (Sümer, B., İleri, R., 1996)

Ölçüm Noktaları	Toplam Fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) (mg / m ³)
1-) Belediye su alma noktası	180
2-) Endüstri su alma noktası	178
3-) Çark suyu	240

Tablo 5.14., Hesaplanan TSI (TP) Değerleri

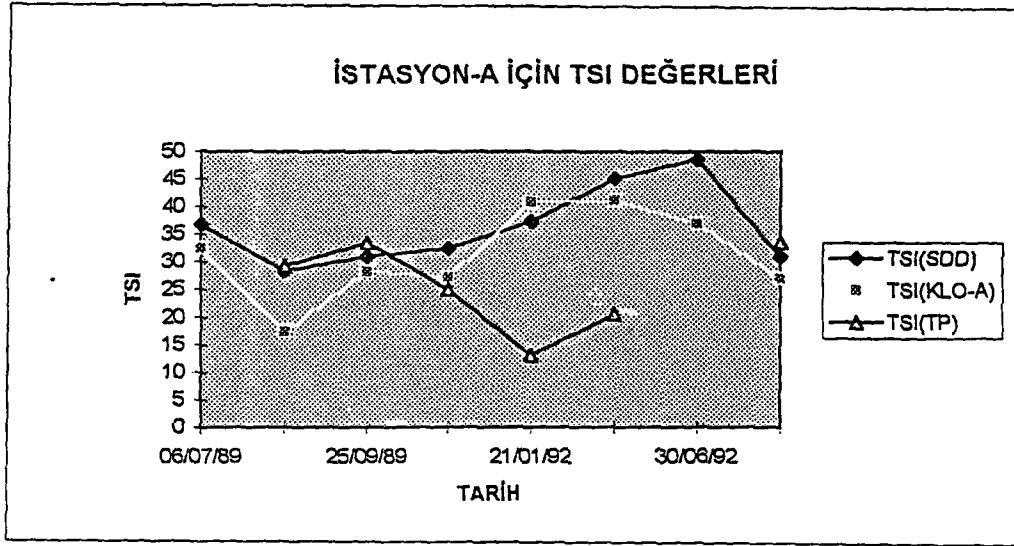
Ölçüm Noktaları	TSI Değerleri
1-) Belediye su alma noktası	79.06
2-) Endüstri su alma noktası	78.9
3-) Çark suyu	83.21

Tablo 5.12' deki hesaplanan TSI(Klo-a) ve TSI(TP) değerleri kullanılarak göl içi ortalama TSI değerleri aşağıdaki tablo 5.15' te verilmiştir.

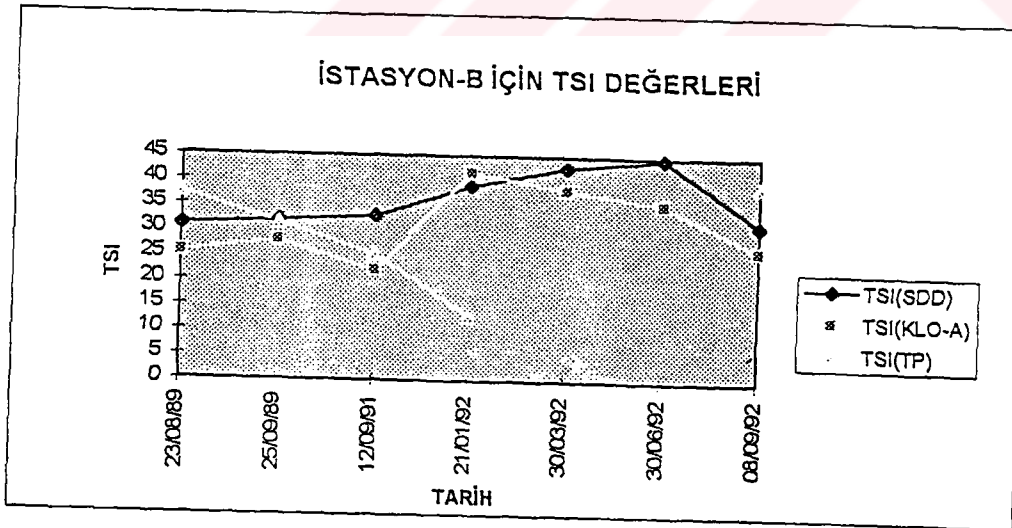
Tablo 5.15., Göl içi [(İstasyon-A + İstasyon-B) / 2] Ortalama TSI Değerleri

Tarih	TSI(Klo-a)*	TSI(TP)*
23.08.89	21.40	33.30
25.09.89	28.09	32.39
12.09.91	24.59	25.17
21.01.92	41.24	13.02
08.09.92	26.73	36.47

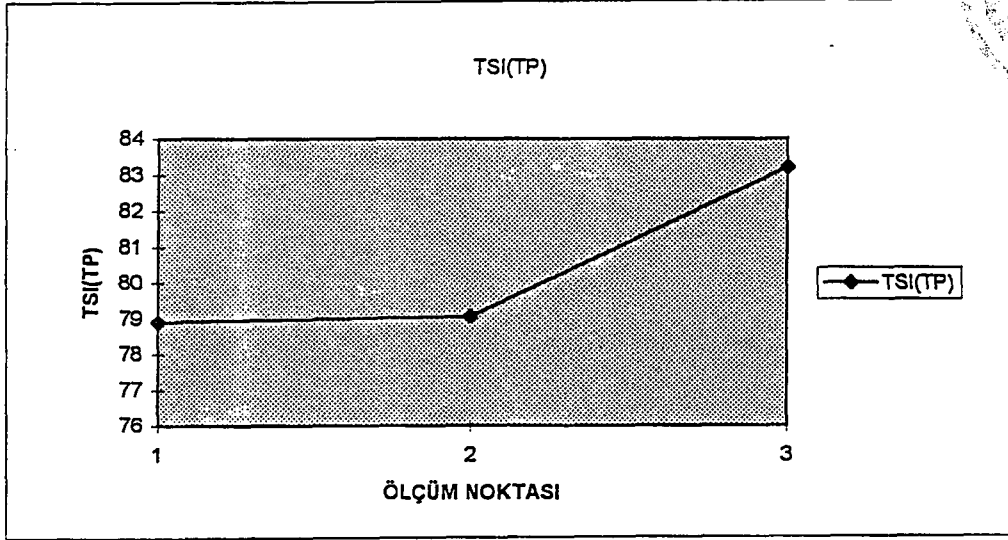
* Her iki istasyon için ortalama değer, [(İstasyon-A + İstasyon-B)/2]



Şekil 5.8., TSI Değerleri (A İstasyonundaki Değerlere Göre)

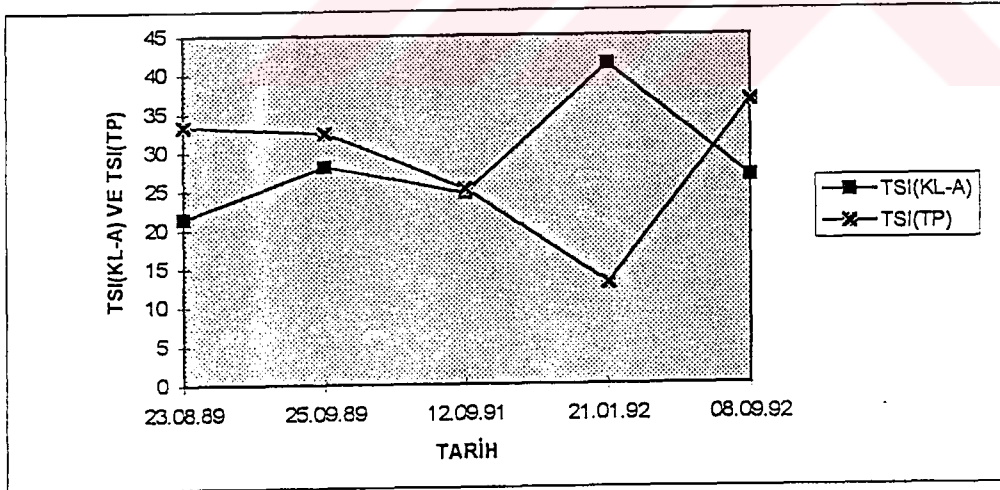


Şekil 5.9., TSI Değerleri (B İstasyonundaki Değerlere Göre)



Şekil 5.10., 1994 Yılı TSI(TP) Değerleri

1-Belediye Su Alma Noktası
2-Endüstri Su Alma Noktası
3-Çark Suyu Çıkışı



Şekil 5.11., Göl İçi (İst.-A+İst.-B/2) Ortalama TSI Değerleri

6. GÖLE UYGUN BİR MODELİN ARAŞTIRILMASI VE UYGULANMASI

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

Modeller şu yönlerden faydalıdır (Karpuzcu, M., 1982) ;

- 1-) Ekosistemin bileşenleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasında ,
- 2-) Ekosistemin yapısı, fonksiyonu ve dinamiğinin araştırılmasında,
- 3-) Çevresel değişiklikleri tayin, tanımlama ve belirlemede,
- 4-) Çevresel değişiklikler için farklı metotlar 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,
- 8-) Çevresel eğitimi ilerletmede faydalıdır.

Modellerin bileşenleri, ortamların gerçek indikatörü olacak şekilde seçilir. Modeller ekosistemin belirli bileşenlerini kontrol eden işlemleri inceleyerek, zamanla mevcut olabilecek herhangi bir değişme de dahil olmak üzere, işlemin önemi ve büyüklüğünü değerlendirebilirler. İlk su kalitesi modelleri organik maddelerin yüzeysel sularda meydana getirdiği oksijen noksanlığının incelenmesiyle başlamış daha sonra çeşitli kirletici yüklerin su yatağında meydana getireceği etkilerin önceden tahmin edilmesini sağlayan matematik modeller geliştirilmiştir. Matematik modeller su bünyesindeki kirliliğin gelecekteki etkisinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olur.

6.1. Göllere Uygulanmış Modeller

Göl ekosistemleri içinde, çok sayıda farklı biyokimyasal olaylar meydana gelebilir. Model, deneysel ve gözlemsel çalışmalarla üretilen hipotezi kontrol etmek için düzenlenir. Daha sonraki varsayımları oluşturmada ve geçmişteki verilerin incelenmesinde kullanılır. Modeller yardımıyla besi 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. Matematik modeller iki grup olarak sınıflandırılır.

- 1-) Verilerin korelasyon analizi kullanılarak geliştirilen deneysel modeller,
- 2-) Verilerden elde edilen bilgilerin birleştirilmesiyle kurulan teorik modeller.

1-) Deneysel Modeller : Model, göle gelen besi maddesi yükü ile gölün besin seviyesi arasındaki bağıntıları, göl parametrelerine bağlı birinci kademe üretim modellerini kapsar.

$$(P) = (L(P) / q_s) (1 / (1 + \sqrt{Z / q_s})) \quad (6.1)$$

(P) = Göldeki fosfor konsantrasyonu

L (P) = Yüzeysel fosfor yükü

q_s = Hidrolik yük

Z = Ortalama derinlik

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

2-) Teorik Modeller : Göl ve çevre parametrelerine bağlı göl besi maddesi modelleri gibi farklı sistem bileşenleri arasındaki ilişkileri inceleyen bir model çeşididir.

$$V \times (dc / dt) = (Q \times Ci) - (Q \times C) \quad (6.2)$$

V = Gölün hacmi

C = Göl besi maddesi konsantrasyonu

Ci= Girişteki besi maddesi konsantrasyonu

Q = Giriş debisi

Bu model göldeki korunabilen büyüklüklere uygulanabilir.

Göllere uygulanan modeller, pratikte amaçlarına göre üç grupta toplanır :

1) Basit Modeller : Yüzeysel sulardaki besi maddesi kirlenmesine optimum çözümlerin aranmasına yönelik modellerdir.

2) Simülasyon Modeller : Doğal uygulama pratiklerinin mümkün olan bütün kombinasyonlarını kapsayan modellerdir. Her bileşen için kütle korunumu denklemi uygulanır.

3) Ekolojik Modeller : Ekosistem bileşenlerinin kinetiğini inceleyen modellerdir. Birinci kademe üretim, göl ekosisteminin en önemli olayıdır ve en önemli modeli teşkil eder.

Bu modellerde, deneylerden elde edilen bilgiler sistematik olarak incelenir, hipotezler kontrol edilir.

6.2. Göl İçin Uygun Bir Modelin Seçimi

Göl ekosistemleri çok sayıda biyokimyasal olayları kapsar. Göl ekosisteminin bütün bileşenlerini ve bütün faktörlerini kapsayan kompleks modeller çok fazla veriyi gerektirir ve bu verilerin elde edilmesi de oldukça zor ve masraflıdır. Model seçiminde önemli faktörler şunlardır:

- a-) Modelin amaca uygun olarak seçilmesi,
- b-) Pratikte tatbik imkanı bakımından modelin kolay olması,
- c-) Ortamdaki neden-sonuç ilişkisini ifade etmesi ve,
- d-) Dayandığı temel prensibin gölün şartlarına uygun olmasıdır (Karpuzcu, M., 1982).

Basit modeller bir değişkene ait verileri kapsamalarına rağmen gölün besin seviyesinin iyi bir göstergesi olurlar. Ötrofikasyon olayında çevresel değişikliklere karşı gölün tepkisini anlamada bu modeller yararlı olup uzun süreli göl beslenme havzası planlama ve uygulaması için yol gösterici olurlar. Buna göre, göle en uygun modelin, göldeki besi maddesi miktarını, besi maddesi kullanımının ve göldeki kayıpların fonksiyonu olarak veren, sınırlayıcı elemanı fosfor olan göllere uygulanan " Fosfor Bekleme Süresi Modeli " olduğu görüldü.

6.3. Besi Maddesi Bekleme Süresi Modeli

Bir göldeki besi maddesi miktarı hem besi maddesinin organizmalar tarafından kullanımı hem de onların göl içindeki kayıplarının bir fonksiyonudur. Bir göldeki besi maddesi kayıpları ya sedimantasyona veya doğrudan gölden çıkışlarla olabilir. Besi maddesi dip çökeltisi tarafından hem absorblanır, hem de suya tekrar bırakılır. Doğal denge sedimentte birikimle sonuçlanır. Bu birikim, sudaki besi maddesi miktarıyla orantılıdır. Çok iyi karışmış bir gölde kütle dengesi yazılarak bir denklem elde edilir. Zamana bağlı olarak konsantrasyonun değişim hızı aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$(dc / dt) = (M / V) - C x(Q / V) - K x C x (A / V) \quad (6.3)$$

M = Göle gelen yük miktarı, (gr / yıl)

C = Ortalama yıllık besi maddesi 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)

C₀ = Başlangıçtaki besi maddesi konsantrasyonu (gr / m³)

t = Zaman (yıl)

Yukarıdaki eşitlik tekrar düzenlenirse ;

$$V x (dc / dt) = M - (Q + K x A) x C$$

$$(dc / dt) = M / V - (Q + K x A / V) x C$$

$$R_n = V / Q + (K x A)$$

C₀' dan t = 0 anından C ' ye t sonsuza doğru eşitlik yeniden integre edilirse:

$$C = \frac{M}{Q + KA} \times (1 - e^{-\frac{Q+KA}{V}t}) + C_0 e^{-\frac{Q+KA}{V}t} \quad (6.4)$$

Yukarıdaki formül herhangi bir t anında göl içindeki ve çıkıştaki besi maddesi konsantrasyonunu verir, t=∞'a giderken ulaşılan konsantrasyon kararlı hal konsantrasyonudur ve aşağıdaki formülle gösterilir ;

$$C_{eq} = M / (Q + K x A) \quad (6.5)$$

C₀ denge konsantrasyonundan yeni bir denge konsantrasyonunun % 10 fazlası mertebesindeki bir değere ulaşmak için geçen süre t₁₀ diye tanımlanabilir. Bu süre yeni kararlı konsantrasyona ulaşmak için geçecek olan sürenin bilinmesinde pratik amaçlar için yeterli yaklaşımla bir sonuç vermektedir. Eğer (6.3) numaralı denklemde

entegrasyondan sonra C_{eq} yerine 1.1 C_{eq} konursa aşağıda görülen ve t_{10} ' u veren (6.6) nolu ifade elde edilmiş olur.

$$t_{10} = V / Q + K \times A [2.3 + \ln (Q + K \times A / M \times C_0 - 1)] \quad (6.6)$$

6.3.1. Çökelme Katsayısının Hesaplanması

Kararlı halde konsantrasyonu veren (6.5) nolu denklem düzenlenirse aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$C = L / Z \times (\sigma + \rho) \quad (6.7)$$

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

L = Birim yüzey alan başına yıllık besi maddesi yükü, (mg / m²)

Z = Gölün ortalama derinliği , (m)

σ = Çökelme katsayısı, (1 / yıl)

ρ = (1/ Bekleme süresi), (1 / yıl)

Sedimentasyon katsayısı yukarıdaki eşitlik yeniden düzenlenerek elde edilebilir.

$$\sigma = (L / Z) / C - \rho \quad (6.8)$$

Vollenweider, 1969 yılında fosfor için çökelme katsayısı değerlerini 0.1' den 1.0' a doğru listelemiştir.

6.3.2. K Hesaplamaları

Sapanca Gölü için, fosfor çökelme katsayısını tahmin etmek için gerekli parametreler L , $Z = V / A$, TP , $\rho = Q / V$, σ ' dır. Buradan K katsayısı;

$$K = \sigma \times Z \quad (6.9)$$

6.3.3. Rp ve Rw'nin Hesaplanması

Rp sadece V, Q, K ve A' nın bir fonksiyonudur. Rp giriş konsantrasyonundaki değişikliklerden etkilenmedi. Sapanca Gölü için bu parametrelerin değerleri şöyledir;

$$V = 1120 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Q = 178.52 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$K = 44.16 \text{ m} / \text{yıl}$$

$$A = 44.7 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$R_p = V / Q + K \times A = 1120 \times 10^6 / 2152.472 \times 10^6 = 0.52 \text{ yıl}$$

$$R_w = V / Q = 1120 \times 10^6 / 178.52 \times 10^6 = 6.27 \text{ yıl}$$

Fosfor bekleme süresi , su bekleme süresinden daha az olarak bulundu. Bunun anlamı göl fosfor için bir bataklık görevi yapmaktadır.

6.3.4. Model İçin Gerekli Olan Hesaplamalar

Sapanca Gölüne gelen toplam besi maddesi miktarı 79873 kg P/ yıl'dır. Gölde kalan toplam fosfor miktarı da 41663 kg P/ yıl' dır. Başlangıç konsantrasyonu ise, (t = 0 anındaki) göldekalan fosfor miktarının göl hacmine bölünmesiyle elde edildi. Bu değer $C_0 = 0.037 \text{ mg} / \text{lt}$ olarak bulundu. Göle gelen besi maddesi yükünü farklı koşullarda yük miktarını değiştirerek ve zamanla gölde oluşan yeni konsantrasyonlar elde edilmiştir. Bu değerlere göre üç farklı grafik elde edilmiştir.

a-) Göle gelen besi maddesi yükünün % 50'sinin göle geldiğini varsayalım.

$$M = 0.50 \times 79873 \times 10^6 \text{ mg} / \text{yıl}$$

$$C = \frac{M}{Q + KA} \times (1 - e^{-\frac{Q-KA}{V}t}) + C_0 e^{-\frac{Q-KA}{V}t} \quad (6.4)$$

t = 0 anında değerler yerine konularak konsantrasyonlar hesaplandı.

Hesaplamalara göre ;

t = 0 iken	$C_0 = 0.037$	mg / lt
t = 1 yıl iken	$C = 0.02124$	mg / lt
t = 2 yıl iken	$C = 0.01894$	mg / lt
t = 4 yıl iken	$C = 0.01855$	mg / lt
t = 6 yıl iken	$C = 0.01855018$	mg / lt
t = 10 yıl iken	$C = 0.018549$	mg / lt

$$C_{eq} = M / Q + K \times A = 0.01855 \text{ mg / lt}$$

% 10'luk denge konsantrasyonuna karşılık gelen değer ise ;

$$1.1 \times C_q = 1.1 \times 0.01855 = 0.0204 \text{ mg / lt}$$

$$t_{10} = V / Q + K \times A (2.3 + \ln (Q + K \times A / M \times C_0 - 1))$$

$$= 1.193 \text{ yıl}$$

b-) Göle gelen yükün % 33' ünün göle geldiğini varsayalım.

$$M = 0.33 \times 79873 \times 10^6 \text{ mg / yıl}$$

$$C = \frac{M}{Q + KA} \times (1 - e^{-\frac{Q - KA}{r} t}) + C_0 e^{-\frac{Q - KA}{r} t} \quad (6.4)$$

t = 0 iken	$C_0 = 0.037$	mg / lt
t = 1 yıl iken	$C = 0.01586$	mg / lt
t = 2 yıl iken	$C = 0.01277$	mg / lt
t = 4 yıl iken	$C = 0.01225$	mg / lt
t = 6 yıl iken	$C = 0.01224$	mg / lt
t = 10 yıl iken	$C = 0.0122399$	mg / lt

$$C_{eq} = M / Q + K \times A = 0.012245 \text{ mg / lt}$$

$$1.1 \times C_{eq} = 1.1 \times 0.012245 = 0.01347 \text{ mg / lt}$$

$$t_{10} = V / Q + K \times A (2.3 + \ln (Q + K \times A / M \times C_0 - 1))$$

$$= 1.562 \text{ yıl}$$

c-) Göle gelen yükün % 25' inin göle geldiğini varsayalım.

$$M = 0.25 \times 79873 \times 10^6 \text{ mg / yıl}$$

t = 0 iken	$C_0 = 0.037 \text{ mg / lt}$
t = 1 yıl iken	$C = 0.01333 \text{ mg / lt}$
t = 2 yıl iken	$C = 0.009869 \text{ mg / lt}$
t = 4 yıl iken	$C = 0.009288 \text{ mg / lt}$
t = 6 yıl iken	$C = 0.009276 \text{ mg / lt}$
t = 10 yıl iken	$C = 0.0092759 \text{ mg / lt}$

$$C_{eq} = M / Q + K \times A = 0.009276891 \text{ mg / lt}$$

$$1.1 \times C_{eq} = 1.1 \times 0.009276891 = 0.01020458 \text{ mg / lt}$$

$$t_{10} = V / Q + K \times A (2.3 + \ln (Q + K \times A / M \times C_0 - 1))$$

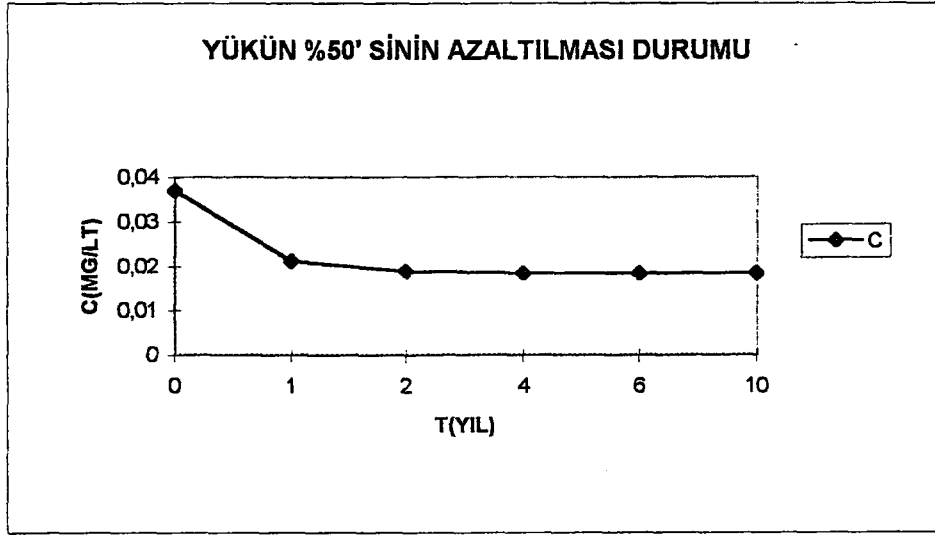
$$= 1.766 \text{ yıl}$$

Göle gelen yük miktarı % 50 azaltıldığında yeni yük 39,9365 ton / yıl olmaktadır. (6.4) nolu denklem yardımıyla t ' ye bağlı olarak konsantrasyonlar bulunmuştur. Başlangıçta t=0 anındaki göl içi konsantrasyonu $C_0 = 0.037 \text{ mg / lt}$ ' dir. 6 yıl sonra bu değerin 0.0186 mg / lt ' ye düştüğü görülmektedir.

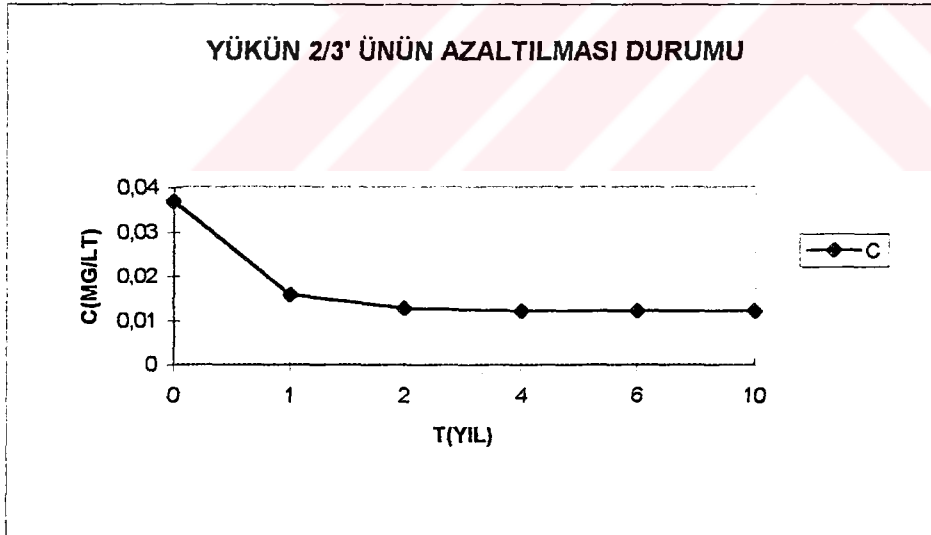
Daha önce de belirtildiği üzere yeni kararlı hal konsantrasyonunun %10 fazlası olan $1.1 \times C_{eq}$ ' ya ulaşmak için geçecek olan t_{10} süresi yeterli bir yaklaşımla yeni denge konsantrasyonuna ulaşılacak zamanı vermektedir.

Bu şekilde yukarıda yapılan hesaplamalar sonucunda Sapanca Gölü' ne gelen yükün %50, %33, %25 olarak azaltılması halinde yeni kararlı hal konsantrasyonları ve geçecek olan süreler sırasıyla $C_{eq} = 0.0185 \text{ mg/lt}$, $t_{10} = 1.193 \text{ yıl}$; $C_{eq} = 0.0122 \text{ mg/lt}$, $t_{10} = 1.562 \text{ yıl}$; $C_{eq} = 0.0092 \text{ mg/lt}$, $t_{10} = 1.766 \text{ yıl}$ olarak bulunmuştur. Sonuçlar şekil 6.1, 6.2 ve 6.3' te görülmektedir.

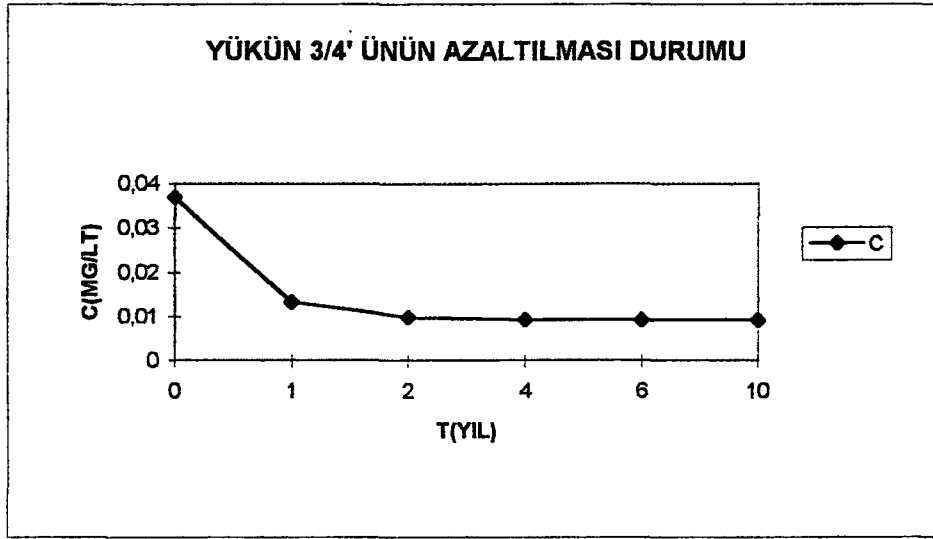




Şekil 6. 1., Göle Gelen P Yükünün % 50 Azaltılması Durumunda Gölde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Konsantrasyon Değişimi



Şekil 6.2., Göle Gelen P Yükünün % 33'ünün Gölde Girmesi Durumunda Gölde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Konsantrasyon Değişimi



Şekil 6.3., Göle Gelen P Yükünün % 25'inin Göle Girmesi Durumunda Gölde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Konsantrasyon Değişimi

7. SONUÇLAR

Göldeki örnekleme noktalarındaki değerlere göre N / P oranı incelenmiştir. Eğer bu oran 7 ' den büyükse sınırlayıcı element fosfor, küçükse azottur. Bulunan sonuçlara göre bazı değerlerde azot, bazı değerlerde ise fosfor sınırlayıcı element olmuştur. Genellikle fosfor sınırlayıcı element olmuştur.

Toplam fosfor ile klorofil-a değerleri arasında bir ilişki vardır. Eğer toplam fosfor miktarı artarsa klorofil-a miktarı da artar. Buna göre toplam fosforun arttığı yerlerde klorofil-a miktarları da artmıştır.

TSI değerler incelenmiştir. Bu değerler 0-100 doğrultusundadır ve trofik durumu belirtir. Hesaplanan değerler 0-40 arasında ise oligotrofik, 40-70 arasında ise mezotrofik, 70-100 arasında ise ötrofik durumu gösterir. Göldeki seki diski derinliği, toplam fosfor ve klorofil-a değerlerine göre TSI değerleri hesaplanmıştır. Buna göre hesaplanan değerler genellikle mezotrofik bölgede, bazıları ise ötrofik bölgededir. Göl artık yavaş yavaş ötrofik bölgeye geçmeye başlamıştır.

Hesaplanan değerlere göre göle gelen yük miktarı, müsaade edilebilir yük miktarını yaklaşık 12 katıdır. Bu da gölün yavaş yavaş ötrofik duruma geçtiğini göstermektedir.

Uygulanan modele göre göle gelen yükün azaltıldığı 3 değişik senaryo üzerinde durulmuş ve eğriler çizilmiştir. Yükün %50 azaltılması durumunda kararlı hal konsantrasyonunun 0.01855 mg/lt olacağı görülmektedir. Bu değere de yaklaşık olarak 1.19 yıl sonra ulaşılmaktadır. Göle gelen yükün % 33 azaltılması halinde ise 0.0122 mg/lt değerine 1.56 yıl sonra ulaşılacağı görülmektedir. Yükün %25 azaltılması durumunda da 0.0092 mg/lt kararlı hal konsantrasyonuna 1.77 yıl sonra ulaşılacağı tahmin edilmektedir.

Sapanca Gölü' nün kirlilik durumunu ve gölün özümleme kapasitesini belirlemek için birbirine bağılı birçok parametrelerin belirli zaman aralıklarında ve sürekli yapılması gereklidir. Göle gelen nehir, dere veya kanalizasyonların ölçüm ve analizleri devamlı yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

1. Akkoyunlu, A. , " Model Derivations for Nutrient Diversion on Lakes " , First International Conference, ECOSUD 97 , Ecosystems and Sustainable Development . 14-16 October 1997, Castle of Peniscola , Spain.
2. Akkoyunlu, A. , Karpuzcu , M. , " Pollution Analysis of Lake Sapanca by a Water Quality Model " , Environmental Contamination , 5th International Conference, September 1992, Morges, Switzerland.
3. Aral, N. ,"Hydrological Budget and The Role Of Lake Nicaea In Pollution Of Gemlik Bay" Y.T.Ü, Mühendislik Fakültesi, Yıldız, İstanbul.
4. Arceivala,S.J., "Çevre Mühendisliğinde Ekoloji" İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Ders Notları, İnşaat Fakültesi Matbaası, 1978.
5. Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı Sapanca 1983 Sempozyumu, Ankara. 1984.
6. Bozatlı, A., "Sapanca Gölünün Kıyı Bölgesi Sedimanları Üzerinde Yaşayan Alg Topluluklarının Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi" Sakarya Ün.Fen Bil.Enst., Y.Lisans Tezi, 1997.
7. Carlson, R.E., "A Trophic State Index For Lakes" Lim.And Oceanog. V, 22, pp:361-369, 1977.
8. Cirik, S., "İç Sularda Ötrofikasyon" Su ve Çevre Sempozyumu, 1997.
9. Colinvaux, P., "Ecology2" John Wiley and Sons, Inc.
10. Cooke, G.D., Welch, E.B., "Restoration and Management Of Lakes And Reservoirs" Second Edition.
11. " Eutrophication of Waters Monitoring, Assessment and Control " OECD , 1982
12. Güldede, N., "Terkos Gölünde Besi Maddesi Kirlenmesinin İncelenmesi ve Uygun Bir Modelin Araştırılması" Yıldız Ün.Fen Bilm.Enst.Doktora Tezi, 1986.
13. Güldede, N., Çurgunlu, E., " Terkos Gölü Besi Maddesi ve Göl Tepkisinin Araştırılması" Doğa - Tr.J. Of Engineering and Environmental Sciences 14(1990) 50 - 60 Tübitak
14. Hasırcı, S., "Sakarya İli Çevre Kirliliği Envanteri" Sak.Ün.Fen Bil.Ens., Y.lisansTezi, Haziran 1997

15. İleri, R., Sümer, B., "Sapanca Gölüne Mevsimsel Besin Maddesi Yüklenmesinin Araştırılması" Sak.Ün.Müh.Fak., Çev.Müh., 1996
16. "İstanbul Terkos Gölü ve Alibey Barajı Kirlilik Araştırması Raporu" DSİ 1.Böl.Müd. Bursa 1990.
17. Jones, J.R., and Bachmann, R.W., "Prediction Of Phosphorus and Chlorophyll Levels In Lakes" Journal WPCF Vol.48, No: 9, September 1976.
18. Karpuzcu, M., "Suların Besi Maddeleri (N - P) İle Kirlenmesi ve Bir Matematik Model" İTÜ.İnş.Fak.Tek.Rap.No.41.Haziran 1982.
19. Kürüm, F., Kürüm Z.E., "İstanbul Büyükçekmece Baraj Gölünde Üretkenlik Düzeyinin Belirlenmesi" DSİ 14.Böl.Müd. Çamlıca -İstanbul.
20. Lorenzon, M.W., "Predicting The Effects Of Nutrient Diversion On Lake Recovery" In; Modeling The Eutrophication Process.
21. Masters, G.M., "Introduction To Environmental Engineering and Science" Prentice Hall.
22. Muslu, Y., "Su Temini ve Çevre Sağlığı" Cilt-3 İTÜ.İnş.Fak.Çev.Müh.Böl.
23. Rast, W., and Lee, G.F., "Nutrient Loading Estimates For Lakes" Journal Of Environmental Engineering, Vol.109, No.2, April, 1983.
24. "Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması" DSİ 14.Böl.Müd, İstanbul 1984.
25. "Sapanca Gölü Su Kalitesi Durumunun Saptanması" Tübitak Proje No: Çağ-4, Sakarya 1980.
26. Sert, S., "Sapanca Gölü Fosfor Formlarının ve Diğer Limnolojik Özelliklerinin Değişim Peryotları Üzerine Bir Araştırma" Sak.Ün., Fen Bil.Ens.Y.lisans Tezi, Sakarya 1997.
27. "Su Kirlenmesi ve Denetimi" DSİ Genel Yayın No:864, 1978
28. Sümer, B., İleri, R., "Sapanca Gölü Trofik Kademesinin İncelenmesi" Sak.Ün.Müh.Fak. Adapazarı, Eylül 1996.
29. T.C. Çevre Bak.Kocaeli İli Çev.Müd. "Sapanca Gölü" 1995.
30. Thomann, R.V., Mueller, J.A., "Principles Of Surface Water Quality Modeling and Control" Harper and Row, Publishers, New York.
31. Tuğrul, S. Morkoç, E., and Çikoğlu, S., "Determination Of Limnological Characteristic Of The Sapanca Lake" First Technical Report July-September , Tübitak, 1989.

32. Tüfekçi, H., "Sapanca Gölünün Limnolojik Özelliklerinin Saptanması" İst. Ün. Deniz Bil. ve Coğrafya Y.lisans Tezi, 1993.

33. Yalçın, N., Sevinç, V., "Sapanca Gölünün Çeşitli Kaynaklar İle N ve P Yüklenmesi" Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu I Bildiriler 2.Cilt, B.Ü. 21-22 Mayıs İstanbul, 1991.

34. Yalçın, N., Sevinç, V., "Sapanca Gölüne Besi Maddesi Yüklenmesi ve Gölün Trofik Durumu" Doğa-Tr.J.Of Engineering and Environmental Sciences 17 (1993), 289-296, Tübitak.

35. Yiğit, V., Müftügil, N., "Sapanca Gölünün Su Kirliliği ve Besin Durumu Üzerinde Bir Araştırma" Tübitak-MBEAE, Beslenme ve Gıda Tekn., Haziran, 1984.

36. Zakrı, F., "Evaluation of The Eutrophication Process in Lake Iznik" B.Ü., Y.lisans Tezi, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Gaziantep ' te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gaziantep ' te tamamladı. 1993 yılında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü ' n ü bitirdi. 1995 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü ' nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

