

HAZAR GÖLÜ SU KALİTESİNİN FİZİKSEL VE İNORGANİK-KİMYASAL PARAMETRELER AÇISINDAN İNCELENMESİ

Ayhan ÜNLÜ, Fatih ÇOBAN ve M. Sara TUNÇ

Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23279, Elazığ
aunlu@firat.edu.tr, m-pati@hotmail.com, saratunc@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 26.02.2007; Kabul/Accepted: 16.07.2007)

ÖZET

Göller oldukça büyük arazi parçalarının drenaj sularını aldıklarından göl ve gölü çevreleyen kara arasında sürekli bir alışveriş vardır. Göller yüzeysel sular arasında kirlenmeye karşı en hassas su grubunu oluştururlar. Elazığ Kenti'nin güneydoğusunda yer alan Hazar Gölü Doğu Anadolu Fay Kuşağı üzerinde oluşmuş yurdumuzun en önemli tektonik göllerinden biridir. 1994 yılında Çevre Bakanlığı tarafından uluslararası öneme sahip B sınıfı sulak alan ilan edilmiştir. Ayrıca Bakanlar Kurulu tarafından göl ve çevresi turizm merkezi olarak ilan edilmiştir. Hazar Gölü için yapılan bu çalışmada dokuz örnekleme noktasından ve her bir noktada farklı beş derinlikten alınan su örneklerinin fiziksel ve inorganik-kimyasal parametrelerinin analizleri yapılarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki (SKKY) kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri belirlenmiş ve ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri ile de karşılaştırılmıştır. Hazar Gölü SKKY'deki sınıflandırmaya göre I ve III. sınıf su kalitesinde bulunmaktadır. Ancak toplam fosfor açısından IV. sınıf su kalitesindedir. Toplam fosfor değerleri ötrofikasyon kontrolü sınır değerlerinin üzerindedir. Gölde sürekli bir izleme programının uygulanması, çevresel yönetim için oldukça yararlı bilgiler sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hazar Gölü, fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler, su kirliliği, ötrofikasyon.

INVESTIGATION OF LAKE HAZAR WATER QUALITY ACCORDING TO PHYSICAL AND INORGANIC CHEMICAL PARAMETERS

ABSTRACT

There is a continuous relationship between a lake and its surrounding land because lakes receive drainage waters from rather large land parts. Lakes constitute the most sensitive water group among surface waters against pollution. Lake Hazar is located southeast of Elazığ. Formed on the East Anatolia Fault Zone, it is one of the most important tectonic lakes of our country. It was declared as B class wetland of international importance by Environmental Ministry in 1994. Furthermore, the lake and its surroundings were declared as a tourism area by Council of Ministers. In this study, analysis of physical and inorganic-chemical parameters of water samples taken from five different depths at nine sampling points were carried out for Lake Hazar. Its quality was determined according to the categories of the continental water sources in Water Pollution Control Regulation(WPCR) in Turkey and were also compared with eutrophication control limitation values. According to WPCR classification, Lake Hazar was found to be the first and third class water quality. However, it was in the fourth class water quality according to total phosphorus level. Total phosphorus values exceeded eutrophication control limitation values. A continuous observation programme of the lake will provide rather useful knowledges for environmental management .

Keywords: Lake Hazar, physical and inorganic-chemical parameters, water pollution, eutrophication.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Genel olarak su kirliliği, kentsel atıklardan, sanayiden, tarımsal faaliyetlerden, taşımacılık, termik ve nükleer santrallerden kaynaklanmaktadır. Başlıca kirleticiler

organik ve inorganik maddeler, tuzlar, mikroorganizmalar, deterjanlar, pestisitler, ağır metaller, askıda katı maddeler, radyoaktivite, yağlar, petrol ürünleri, atık ısı vb'dir [1]. Çeşitli insan aktiviteleri sonucunda oluşan ve çok değişken yapıya sahip olan atıksular nehir, göl

ve deniz gibi alıcı ortamlara boşaltıldıklarında ortam suyunun fizikokimyasal ve biyolojik yapısını önemli ölçüde değiştirmekte ve suyun dip yapısında da önemli değişikliklere neden olmaktadır.

Göl kirlenmesinde temel taşınım yolları akarsular ve atmosferdir. Akarsularla taşınan çözünmüş ve askıdaki maddelerin miktarının önemli bir bölümü erozyon ve kimyasal çözünme sonucu oluşur. Bu girdilerde arazi kullanımındaki değişim ve yağmurun asitlenmesi gibi nedenlerle artış olabilir. Göle giren kirleticilerin büyük bir kısmı akarsular, endüstriler ve drenaj yoluyla taşınmasına karşılık atmosferle kirlilik taşınımı da küçümsenmemelidir. Atmosfer çeşitli maddelerin (kükürt ve azot oksitleri, hidrokarbonlar, endüstri gaz atıkları, vb) uzun mesafelere taşınımını sağlar.

Göller oldukça büyük arazi parçalarının drenaj sularını aldıklarından göl ve gölü çevreleyen kara arasında sürekli bir alışveriş vardır. Yüzey ve yüzey altı akışları göle girer ve çıkar. Bu akışlar da çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri, organik maddeleri, tortu ve diğer pek çok maddeyi beraberinde sürükler. Bu akışların hızı gölün coğrafi yapısı, iklim ve mevsimsel şartlara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

Akarsulara göre akış kısıtlaması olan göllerdeki kirliliğin boyutları daha farklıdır. Bir gölün drenaj alanındaki kaya tipi, göl suyunun inorganik bileşimini belirleyen en önemli unsurdur. Özellikle dışarıya akışı olmayan göllerde ağır metaller, zor parçalanabilen pestisitler gibi bozunmayan kirleticilerin giderek kirlilik potansiyelini arttırmaları, yüzeysel sular arasında kirlenmeye karşı en hassas su grubunu oluşturan göllerin korunmasında ne denli hassas olunması gerektiğini ortaya koymaktadır [2].

Göllerdeki termal tabakalaşma mevsimlik su hareketlerini kontrol eder. Bir su kütleğinde mevsimlik sıcaklık değişimleri olduğu gibi, su kalitesinde de mevsimlik değişimler vardır. Özellikle su kalitesi gradyanı ile termal gradyan yazın ortaya çıkan sükunet fazında çok belirgindir. Kışın sükunet devresinde ise daha az barizdir. İlkbahar ve sonbahar karışımları ile bu gradyanlar ortadan kaldırılır. Bütün derinliklerde su kalitesi aynı olur [3].

İlkbahar ve sonbaharda yüzey ile dip kısımlardaki sıcaklık farkı azaldığı için tabakalaşmalar etkisini kaybetmekte ve en küçük bir rüzgar hareketi ile günlük sıcaklık değişimleri suyu karıştırmaya yetmektedir. Bu nedenle suyun kalitesi önemli derecede bozulmakta alg patlaması olabilmektedir [4].

Göllerde özgü en tipik kalite bozulmalarının bir çeşidi de ötrifikasyondur. Evsel ve bazı endüstriyel atıksular ile tarımsal drenaj suları azot ve fosforca zengindir. Bu nütrient maddelerin belirli sınırların üzerine çıkması halinde göllerde fotosentezle aşırı alg üremesine ve organik madde miktarının artmasına yol açarlar. Üreyen algler dışarıdan atıksularla göle verilen organik

kirleticilere çok benzeyen davranışlara girerler ve sudaki oksijen bilançosunu etkilerler. Ötrifikasyon olayı bir defa başladıktan sonra göle giren besin maddelerinin girişi tamamen önlense bile ötrifikasyonun olumsuzlukları (alg patlaması, bulanıklığın artması, organik madde ve buna bağlı olarak oksijen ihtiyacının artması, dipte oksijensiz koşullar nedeniyle H_2S , CH_4 , NH_3 , vb. gazların açığa çıkması, vb.) uzun bir süre daha devam eder. Sadece dip çamurundaki fosforun geri çözünmesi bile alglerin birkaç yıl kitlesel üremelerine yol açar [5].

Türkiye'nin doğusunda bulunan Hazar Gölü, Doğu Anadolu Fay Kuşağı üzerinde oluşmuş tektonik bir göl olup eliptik bir geometriye sahiptir. Uzun eksenini doğu-güneydoğu ve batı-güneybatı yönünde yaklaşık 20 km'dir. Hazar Gölü'nün ortalama genişliği 4,5 km ve en geniş bölümü doğu kesiminde 5,4 km, dar bölümü 3,8 km'dir. Yüzey alanı 81 km²'dir. Rakımı deniz seviyesinin 1248 m üzerinde olup dünyada bu seviyede bulunan nadir göllerden biridir. Göl havzasının alanı basamaklı ve kıraktır. Hazar Gölü kuzeyde Çelemlik-Mastar sıradağları ve güneyden Hazar-Yaylın dağları tarafından kuşatılmıştır. Doğu Anadolu Fay Kuşağı gölün altından geçmektedir [6,7]. Gölün en derin kesimi (yaklaşık 213 m) kuzeydoğu ucunda bulunmaktadır. Göldeki sedimentlerin tahmini kalınlığı 680 m'dir [8].

Hazar Gölü'nün Maden Çayı'na giden bir çıkışı olduğu halde, 1957 yılında elektrik üretimi ve sulama amaçlı inşa edilen Hazar Hidroelektrik Santrali'nin (HES-I) devreye girmesiyle bu çıkış kısmen kapanarak göl kapalı bir havza durumuna gelmiştir. Bu hidroelektrik santralin işletmeye açıldığı 1957 senesinde gölün seviyesi 1248 m kotunda iken $7,5 \cdot 10^9$ m³ su hacmine sahip olduğu bildirilmiştir [9]. Hazar HES-I'i besleyen Hazar Gölü'nün suyunu takviye amacıyla 1958 yılında Dicle Nehri'ne suyunu gönderen Maden Çayı'nın bir kolu olan Behrimaz (Kavak) Deresi üzerinde 10 m'lik bir sedde inşa edilmiştir. Böylece Hazar Gölü Havzası içerisinde yer almamasına rağmen bir çevirme ile bu dere Hazar Gölü'ne bağlanmıştır. DSİ kayıtlarına göre bu sayede Hazar Gölü'ne giren su miktarı yaklaşık olarak %50 artmıştır. Hazar Gölü'nün drenaj alanı, Behrimaz derivasyonu dahil 275 km²'dir [10]. Uzun zaman periyodunda Hazar HES-I ve HES-II'nin çalıştırılmasıyla göl seviyesi 1248 m'den 1236 m'ye kadar düşmüştür. Gölün ekolojik dengeleri bozulduğundan özelleştirilmiş olan hidroelektrik santrallerin işletilmesi Ocak 2006'dan itibaren durdurulmuştur [11].

Gölü besleyen en önemli akarsular göle batıdan karışan Kürk Çayı ve Mogal Deresi, kuzeydoğudan karışan ve Mastar Dağı güney eteklerinden gelen Zikkım Deresi, kuzeybatı-güneydoğu istikametinde akan Sevsak Deresi, havza içerisinde yer almamasına rağmen göle DSİ tarafından güneyden derine edilen Kavak (Behremaz) Çayı'dır. Hazar Gölü'nün güney sahilinden Elazığ-Diyarbakır Demiryolu, kuzey kesiminden Elazığ-Diyar-

bakır karayolu geçmektedir. Gölün Elazığ-Diyarbakır karayolu çevresi yapılarla neredeyse kapanmış durumundadır.

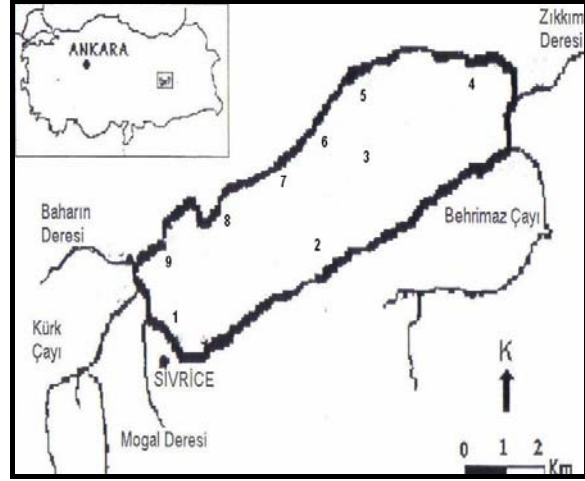
Hazar Gölü rekreasyon, balıkçılık, su sporları, enerji ve Keban Baraj Gölü suları ile karıştırılarak sulama amaçlı olarak kullanıldığından günümüz koşullarında değeri son derece artmıştır. Göl kıyıları bir dantela gibi kıvrıntılarla açılıp kapanmakta ve böylece birbirinden ayrı yüzlerce çeşitli büyüklükte plajlar teşekkül etmekte olup, göl her türlü su sporlarına imkan verebilecek durumdadır. Özellikle yaz aylarında göl ve çevresi önemli bir turizm potansiyeline sahiptir. Mavi bayrağa sahip olan Hazar Gölü'nde çevre sorunlarının çözümüne son yıllarda önem vermeye başlanmıştır. Göl Çevre bakanlığı tarafından 1994 yılında uluslararası öneme sahip B sınıfı sulak alan ilan edilmiştir. Ayrıca Bakanlar Kurulu kararı ile, Sivrice İlçesi mücavir alanlarının bir kısmı "Elazığ Hazar Gölü Sivrice, Güneyköy Turizm Merkezi" olarak ilan edilmiştir. Ancak Hazar Gölü her geçen gün biraz daha fazla evsel atıksuların alıcı ortamı haline gelmektedir. Sivrice İlçesi ve mücavir sahasının evsel atıksuları kanalizasyon sistemi ile toplanmış olmakla birlikte atıksu arıtma tesisi henüz inşa edilmediğinden toplanan atıksular göl kıyısındaki fosseptiklere verilmektedir. Diğer yerleşim alanlarının atıksuları da genellikle fosseptiklere, dolaylı olarak da göle verilmektedir.

Hazar Gölü su kalitesi ile ilgili araştırmaları genellikle Üniversiteler ile DSİ 9. Bölge Müdürlüğü yapmaktadır. DSİ tarafından sadece üç örnekleme istasyonu için yüzeyden alınan örneklerle analizler yapılmaktadır. Cici [12], Ünlü ve diğ.[13], Ünlü ve Uslu [14], Şen ve diğ.[15] Hazar Gölü su kalitesi ile ilgili araştırmalar yapmışlardır.

Bu çalışmanın amacı, 2005 Nisan-2006 Mart arasında bir yıl boyunca aylık olarak Hazar Gölü'nün belirli örnekleme istasyonlarında yüzeyden ve belirli derinliklerinden alınmış olan su örneklerinin analizi ile göl suyunun fiziksel ve inorganik-kimyasal özelliklerine ait parametreleri su kalitesi açısından irdeleyerek, mevsimsel değişimleri araştırmak, atıksuların ve diğer kirlenici kaynakların göl suyuna etkisini incelemektir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada örnekleme noktaları evsel ve endüstriyel yerleşimler, gölden su alma noktaları, gölün hidrolojik durumu, göle giren dereler, örnekleme noktalarına ulaşılabilirlik gibi etkenler göz önünde tutularak tespit edilmiştir. Örnekler, Sivrice İlçesi (İzcilik Kampı) Sahili(1), DDY Kampı(2), Göl Ortası(3), Gezin Beldesi Sahili(4), Karayolları Kampı(5), DSİ Kampı(6), Emniyet Kampı(7), Turpol Dinlenme Tesisi(8), Halk Plajı(9) olmak üzere 9 örnekleme istasyonundan alınmıştır (Şekil 1). Örnekler 2005 yılı Nisan ayından itibaren birer aylık periyotlarda alınarak 2006 yılı Mart ayında sona erdirilmiştir.



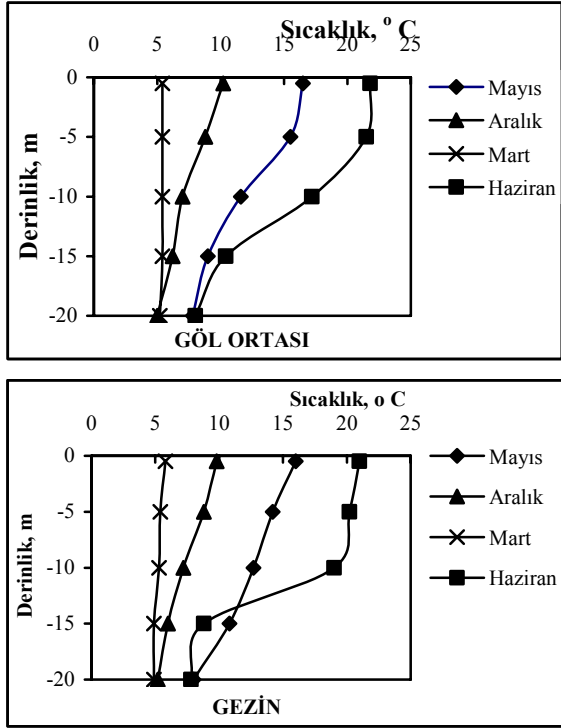
Şekil 1. Hazar Gölü'nden örneklerin alındığı istasyonlar (Stations where samples were taken from Lake Hazar)

Gölden su örnekleri TS 5089, TS 5090 ve TS 5106 Su Kalitesi Numune Alma Standartlarına uygun olarak ve derin su numune alıcısı (nanser şişesi) yardımıyla, kapma yöntemi ile 0.5 m, 5 m, 10 m, ve 20 m derinliklerden alınmıştır. pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, elektriksel iletkenlik yerinde tespit edilmiş, diğer parametreler ise örnekler kapalı plastik şişelerle Çevre Mühendisliği Laboratuvarına aynı gün getirilerek hemen belirlenmiştir. Analizler Standart Metotlara göre yapılmıştır [16]. Sıcaklık 0.1 °C hassasiyete sahip civalı termometre, pH Orion pH metre(Model SA 720), çözülmüş oksijen WTW Oxi 330 oksijen metre, elektriksel iletkenlik Jenway iletken ölçer aleti, sodyum ve potasyum Eppendorf Flame Fotometre, kalsiyum ve magnezyum Perkin Emler Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Sertlik EDTA titrasyon metodu, toplam alkalinite potansiyometrik titrasyon metodu, toplam fosfor persülfat parçalama metodu, klorür arjenometrik metot, askıda katı madde filtre kağıdından süzüp 105 °C'de kurutma metodu ile yapılmıştır. Amonyum azotu KİT kullanılarak Spektroquant Fotometre ile ölçülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Sıcaklık (Temperature)

Sıcaklık göllerde tabakalaşmanın belirlenmesinde ölçülmesi gereken en önemli parametredir. Sıcaklık su kaynağındaki biyolojik, kimyasal işlemleri etkilediğinden pek çok parametrenin konsantrasyonu değişir. Hazar Gölü'nde yüzeyde ölçülen en yüksek sıcaklık değeri 25.6 °C ile Ağustos ayında en düşük değer ise 5.4 °C ile Mart ayında ölçülmüştür. Sıcaklığın aylara ve derinliklere göre büyük değişimler gösterdiği görülmüştür. Yaz aylarında ölçülen sıcaklık değerlerine bağlı olarak derinlikle birlikte tabakalaşma ortaya çıkmaktadır. Gezin istasyonunda Haziran ayında 10-15 m derinlikleri arasında termoklin tabakası açıkça görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Göl Ortası ve Gezin İstasyonlarında sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (Change of temperature depending on time in the mid-lake and Gezin stations)

3.2. pH (pH)

Hazar Gölü'nde yıllık ortalama pH değeri 8.90 olup istasyonlara, zamana ve derinliklere göre önemli bir değişiklik görülmemektedir. En yüksek pH değeri

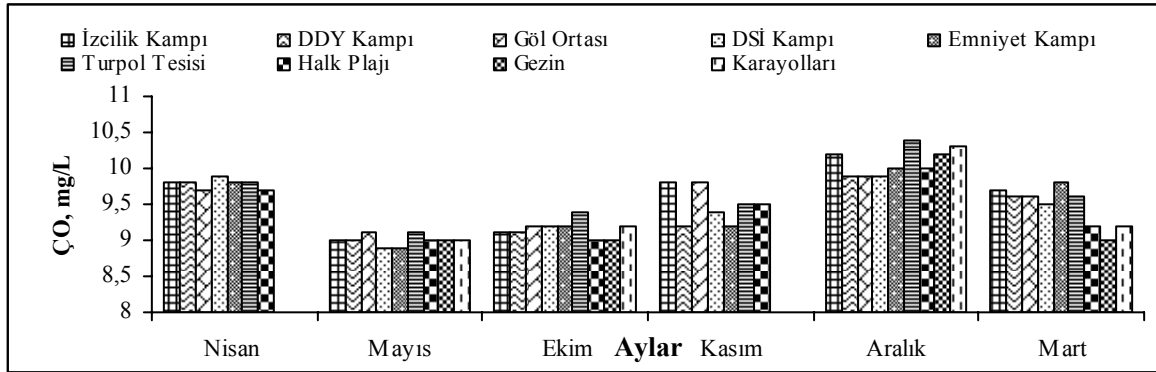
Aralık ayında 9.10, en düşük pH değeri ise 8.75 ile Mart ayı içerisinde ölçülmüştür. Sonuçlar gölün bazik karakterde olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarla [13, 14] kıyaslandığında zamanla pH'da fazla bir değişim gözlenmemiştir.

3.3. Çözünmüş Oksijen (Dissolved Oxygen)

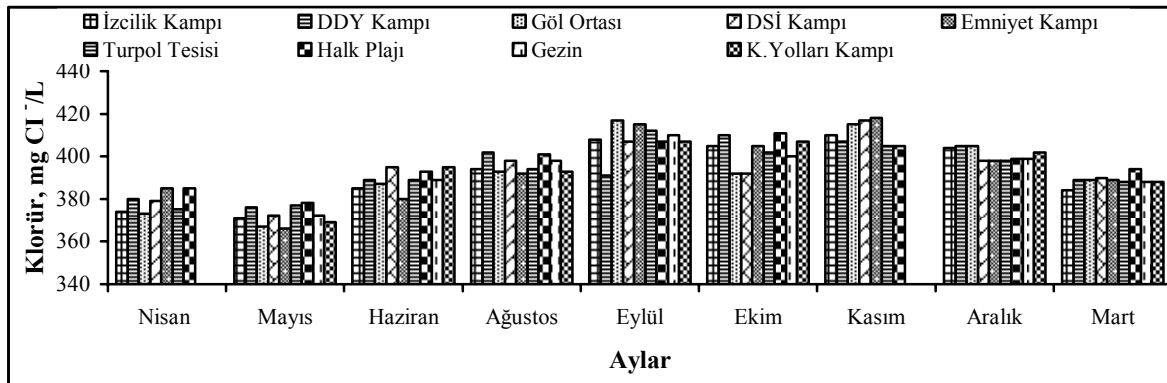
Çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu suyun kirlenme derecesini, sudaki organik madde konsantrasyonunu ve suyun kendi kendini ne derece temizleyebileceğini ifade eder. Hazar Gölü'nde ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonunun yıllık ortalaması 9.6 mg/L olmuştur. ÇO miktarında derinliğe bağlı olarak az da olsa azalmalar görülmüştür. Minimum ÇO değeri 8.4 mg/L ile Mart ayında Gezin İstasyonunda 20 m derinlikte, maksimum ÇO değeri ise 10.4 mg/L ile Aralık ayında 0.5 m derinlikte ölçülmüştür. Bir yıl boyunca gölün 20 m derinliğe kadar olan her noktasında yüzeyden dibe doğru bol oksijenli neredeyse homojen bir ortam mevcut olup doygunluk yüzdesi %80-90'dır. Hazar Gölü ötrofikasyon sınır değerlerinin (7.5-5.0 mg/L) üzerinde ÇO seviyesine sahiptir (Şekil 3). Bu şekildeki grafik her istasyonda derinliğe bağlı ÇO ortalamaları alınarak çizilmiştir. Bu çalışmada Sivrice İlçesi sahilinde geçmiş yıllara oranla daha düşük ÇO değerleri bulunmuştur. Bunun sebebi toplanan kanalizasyon sularının yine fosseptiklerde toplanmasıdır.

3.4. Klorür (Chloride)

Tabii sularda bulunan klorür anyonu suyun temasta olduğu jeolojik formasyonlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. Çözünmüş oksijen değerlerinin zamana göre değişimi (Change of dissolved oxygen versus time)



Şekil 4. Klorür değerlerinin zamana göre değişimi (Change of chloride concentrations versus time)

Aksi takdirde endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklanan kirliliğin göstergesi olabilir ya da tuzlu suların tatlı sulara, akiferlere karışması sonucu olabilir. Yüksek klorür konsantrasyonu metal boru ve yapılarla, ağaç ve bitkilerin çoğuna zararlıdır [17]. Klorür içeriği sulara mineral içeriğinin fazla olması anlamına gelir ve 250 mg/L'den yüksek konsantrasyonlarda tuz tadı oluşturur.

Hazar Gölü'nde derinliklere ve ölçüm istasyonlarına bağlı olarak çok farklı değişimler gözlenmemiştir. Bütün derinliklerin ortalama değerlerine göre çizilen Şekil 4 incelendiğinde yağışın az buharlaşmanın çok olduğu aylarda klorür konsantrasyonunda artış görülmüştür. Ölçülen en düşük klorür değeri 354 mg/L ile Nisan ayında İzçilik Kampı istasyonunda, en yüksek değer ise 418 mg/L olarak Kasım ayında Emniyet Kampı istasyonunda ölçülmüştür. İzçilik Kampı civarında göle dökülen derelerin fazlalığı bu istasyonda klorür değerlerinin daha düşük olmasının sebebi olabilir. Emniyet Kampı civarı ise daha sakin koylara sahiptir. Sulara bulunan toplam çözünmüş katı madde içinde klorür iyonlarının genellikle en önemli bileşeni oluşturduğu söylenebilir. Klorür değerlerinin yüksek oluşu, tuzluluğun ve buna bağlı olarak EC'nin de yüksek değerde olduğunun göstergesidir. Klorür konsantrasyonunun alacağı değerler, gerek içme ve endüstriyel su kalitesi gerekse de sulama suyu kalitesi açısından doğrudan önem taşımaktadır.

3.5. Elektriksel İletkenlik (Electrical Conductivity)

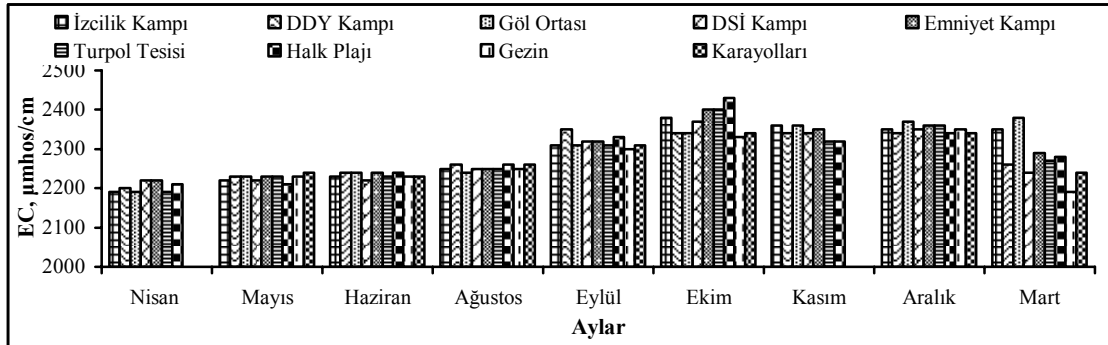
Suların iletkenliği sulardaki iyon sayısı hakkında bilgi verir. Hazar Gölü'nde ölçülen elektriksel iletkenlik (EC)

değerleri genel ortalama olarak 2260 $\mu\text{mhos/cm}$ 'lik bir değere sahip olup sulama suyu açısından değerlendirildiğinden IV. sınıf su kalite grubuna girdiği ve dolayısıyla sulamaya elverişsiz olduğu görülmektedir [18]. Derinliğe bağlı olarak önemli bir azalma veya artma gözlenmemiş olup 2150-2430 $\mu\text{mhos/cm}$ aralığında değişim göstermiştir. Klorürde olduğu gibi buharlaşmanın çok olduğu aylarda EC değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 5). Ünlü ve Uslu'nun [14] yapmış oldukları çalışma ile karşılaştırıldığında EC açısından zamanla önemli bir değişim gözlenmeyip Hazar Gölü acı sular grubunda bulunmaktadır.

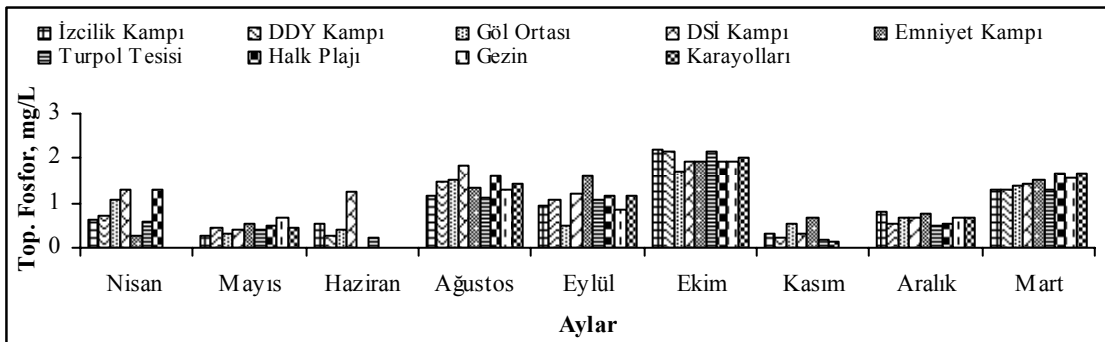
3.6. Amonyum Azotu (Ammonium Nitrogen)

Bu çalışmada teknik nedenlerle bütün aylarda amonyum azotunun ölçümü yapılamamıştır. En yüksek değer 0.13 mg/L ile DSİ Kampında, en düşük değer 0.09 mg/L ile DDY Kampı civarında ölçülmüştür. İstasyonlara bağlı olarak çok farklı amonyum azotu değişimi gözlenmemiştir. Cici [12]'nin 1995 yılında yaptığı araştırma ile karşılaştırıldığında amonyum azotunda zamanla azalma görülmektedir. Bunun sebebi göl çevresinde uygulanan tedbirler (kanalizasyonla suların toplanması, göl çevresindeki katı atıkların uzaklaştırılması vb.)'dir.

Amonyum iyonu suda yaşayan organizmalar için önemli ölçüde toksik değildir. Ancak yüksek pH ve sıcaklığa bağlı olarak amonyum amonyağa dönüşerek su ortamı, içindeki balık yaşamı için ve diğer canlılar için toksik hale gelebilmektedir. Ülkemizde balık yaşayan sulara amonyum için tolerans sınırı 0.10 mg/L'dir.



Şekil 5. Elektriksel iletkenlik değerlerinin zamana göre değişimi (Change of electrical conductivity values versus time)



Şekil 6. Toplam fosfor değerlerinin zamana göre değişimi (Change of total phosphorus concentration versus time)

3.7. Toplam Fosfor (Total Phosphorus)

Su ekosisteminde fosfor, çok yönlü ve karmaşık biyo-kimyasal ve kimyasal dengenin anahtar elemanlarından biridir. Özellikle fotosentez yapan ototrof ve heterotrof organizmaların büyümelerinde sınırlayıcı olan fosfor suda yeterli miktarda bulunmuyorsa büyümeleri engellenir. Thoman ve Mueller[19]'e göre toplam fosfor $10 \mu\text{g/L}$ ise göl oligotrofik, $10-20 \mu\text{g/L}$ mezotrofik ve $>20 \mu\text{g/L}$ ise ötrofiktir.

Aylara bağlı olarak minimum fosfor miktarı 0.15 mg/L ile Mayıs ayında ölçülmüştür. Maksimum fosfor miktarı ise 2.21 mg/L ile Ekim ayında İzcilik Kampı İstasyonunda 0.5 m derinlikte ölçülmüştür (Şekil 6). Bu durum Sivrice İlçesi fosseptiklerinden göle fosforun sızdığının göstergesidir. Göldeki fosfor miktarının Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki ötrofikasyon sınır değerlerini ($0.005-1.0 \text{ mg/L}$) aştığı görülmektedir. Bunun başlıca sebepleri, göl civarındaki yerleşimlerden göle bırakılan evsel atıksular, tarımsal atıklar, fosseptiklerden gelen sızıntı sularıdır. İlkbahar ve sonbahar karışımlarında derinlerde bulunan fosfor da yüzeye çıktığından toplam fosfor miktarında artış görülmüştür.

3.8. Sodyum, Potasyum, Kalsiyum ve Magnezyum (Sodium, Potassium, Calcium and Magnesium)

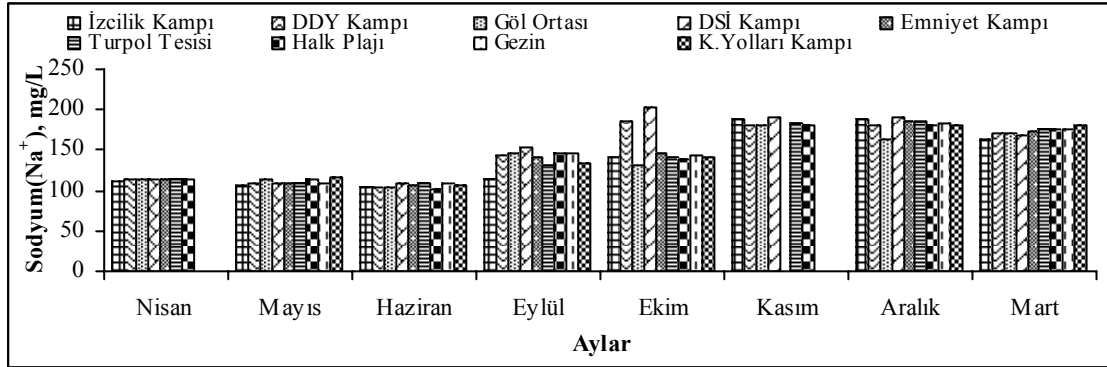
Sulama sularının kalitesinin belirli sürelerde kontrolü gereklidir. Sulama sularında genellikle sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum tuzları bulunur. Sodyum içeriği yüksek sularla sulama yapıldığında sodyum, kalsiyum ve magnezyumla yer değiştirerek toprağın yapısını ve geçirimsizliğini olumsuz yönde etkiler ve

alkali toprakların oluşmasına yol açar. Göl suyunun sulama amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde en uygun parametre sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)'dır. Hazar Gölü'nde sodyum miktarı $96.0-228.4 \text{ mg/L}$ arasında değişmiştir. Farklı derinliklerde ölçülen değerlerin ortalamalarına göre sodyum değerlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 7'de görülmektedir. Nisan ayında 114 mg/L civarında olan sodyum değerleri Aralık ayında 228.4 mg/L civarında bir değere yükselmiştir. Sodyum da yıllar itibarıyla az da olsa bir artış görülmektedir. Bunun sebebi olarak gittikçe artan oranda evsel atıksuyun göle verilmesi ve göl çevresindeki topraklardan ve kayaçlardan erozyonla birlikte göl içerisine taşınan sodyum tuzlarının artışı gösterilebilir.

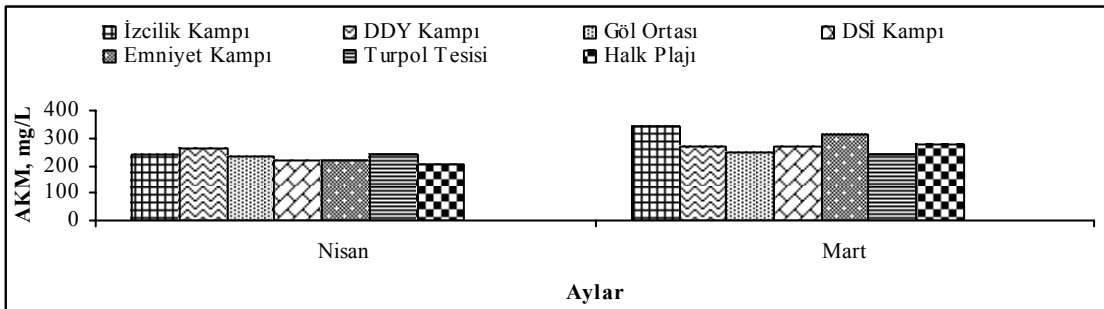
Hazar Gölü'nde göl suyunda kalsiyum miktarı $2.3-16.2 \text{ mg/L}$ aralığında, magnezyum $15.2-144.0 \text{ mg/L}$ aralığında, potasyum ise $4.7-16.0 \text{ mg/L}$ aralığında değişmiştir. Sodyum, kalsiyum ve magnezyum değerlerine göre $\text{SAR}=32.4-47.5$ arasında çıkmaktadır. Buna göre Hazar Gölü suları sulama suyu olarak sakıncalıdır. Halbuki yıllarca Hazar Hidroelektrik Santralinden çıkan sular Keban Baraj Gölü sularıyla belirli oranlarda karıştırılarak Uluova Bölgesi'nde sulama suyu olarak kullanılmıştır. Ancak Hazar HES'in Ocak 2006'dan beri çalışması durdurulmuştur.

3.9. Askıda Katı Madde (Suspended Solids)

Alıcı su ortamlarına evsel ve endüstriyel atıksularla taşınan askıda katı maddelerin (AKM) yanı sıra, erozyon nedeniyle toprak örtüsünün yok olması ile verimli toprak üst katmanları su ortamlarına taşınarak, bu ortamlarda



Şekil 7. Sodyum değerlerinin zamana göre değişimi (Change of sodium concentration versus time)



Şekil 8. Askıda katı madde miktarının Mart ve Nisan aylarında istasyonlara göre değişimi (Change of suspended solids with respect to the stations in March and April)

AKM yükü olarak ortaya çıkmaktadır. AKM'ler suyun bulanıklığını artırırlar ve ışık geçirgenliğini azaltırlar. Güneş ışınlarının su bitkilerine ulaşmasını engelleyerek fotosentezi etkileyerek sudaki CO_2 'nin azalmasına neden olurlar. Ayrıca dibe çökerek tabanda yaşayan bentik canlıların yaşam ortamlarını olumsuz etkilerler.

Hazar Gölü'nde teknik sebeplerle sadece karışım ayları olan Mart ve Nisan aylarında AKM tayini yapılabilmektedir. Buna göre ortalama AKM miktarı 270 mg/L civarındadır. En yüksek değer 400 mg/L ile Nisan ayında İzcilik Kampı istasyonunda, en düşük değer ise 180 mg/L ile Mart ayında DSİ Kampı istasyonunda elde edilmiştir (Şekil 8). Derinliğe bağlı olarak az da olsa AKM miktarı azalmıştır. Elde edilen bu değerlerin Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen ötrofikasyon kontrolü sınır değerlerinin (5-15 mg/L) çok üzerinde olduğu görülmektedir. Mart ayında en yüksek AKM yükü İzcilik Kampı ve Gezin istasyonlarında çıkmıştır. Bu bölgeler akarsuların göle bağlandığı bölgeler olup aynı zamanda evsel atıksuların göle sızdığı bölgelerdir. Geçmiş yıllarda aynı aylarda yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında zamanla AKM'de artışlar görülmektedir.

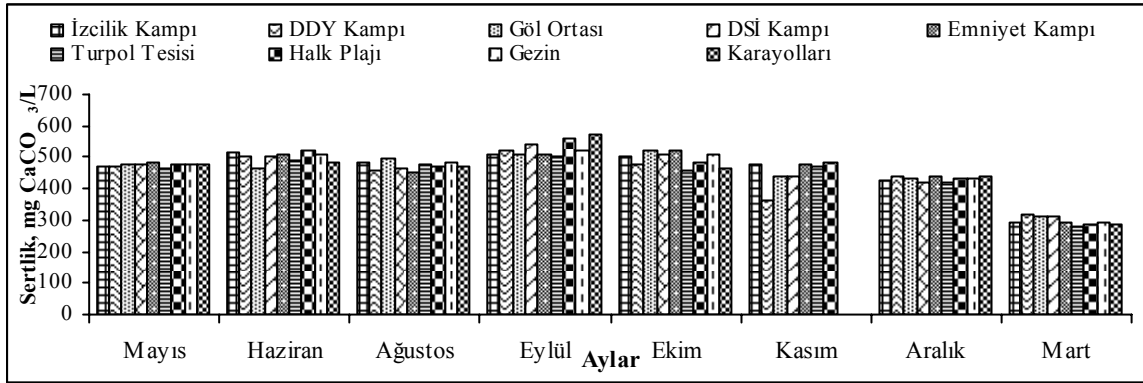
3.10. Sertlik (Hardness)

Suyun sertliği sabunu çöktürme kapasitesidir. Pratikte kalsiyum ve magnezyum bikarbonatları geçici sertliği, bu elementlerin klorür, nitrat, sülfat, fosfat ve silikatları ise kalıcı sertliği verirler [20]. Elde edilen en yüksek sertlik değeri Eylül ayında Karayolları kampı civarında

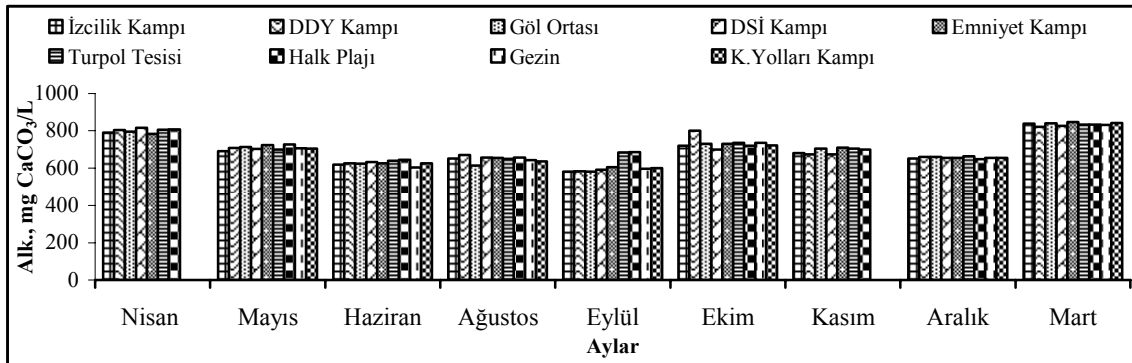
0.5 m derinlikte 572 mg CaCO_3 /L olarak, en düşük değer ise Mart ayında Turpol Tesisi civarında 10 m derinlikte 275 mg CaCO_3 /L olarak ölçülmüştür (Şekil 9). Aylık ölçüm değerlerinde istasyon ve derinliklere göre büyük farklılıklar görülmemiştir. Ölçülen bütün değerler dikkate alındığında yıl boyunca gölün çok sert su özelliği ($>30^\circ \text{Fr}$) taşıdığı görülmektedir. Mart ayındaki düşüş göle giren akarsulardaki su miktarının artışından ve karışımından kaynaklanmış olabilir

3.11. Toplam Alkalinite (Total Alkalinity)

Birçok madde suyun alkalinitesine katkıda bulunmakla beraber, doğal sularda alkalitenin en önemli kısmı; hidroksitler, karbonatlar ve bikarbonatlardan ileri gelmektedir [20]. En yüksek toplam alkalinite değeri 862 mg CaCO_3 /L olarak Mart ayında, en düşük alkalinite ise 570 mg CaCO_3 /L olarak Eylül ayında ölçülmüştür. Bölgelere ve derinliklere göre çok farklı değişimler gözlenmemiştir (Şekil 10). Ölçülen değerler Hazar Gölü'nün alkali göller sınıfına girdiğini göstermektedir. Şekil 10 incelendiğinde ilkbahar aylarındaki yüksek alkalinite değerleri yaz aylarının başlamasıyla birlikte düşüşe geçmiş, sonbaharda tekrar artmaya başlamıştır. Özellikle ilkbahar ve sonbahar karışımlarında dip karışımının yüzeye çıkmasıyla bu alkali değerlerin arttığı söylenebilir. Alkalinite ve pH'nın yüksek olması halinde sıcaklığın da artışıyla birlikte amonyum iyonu amonyağa dönüşeceğinden su ortamı özellikle balık ve diğer organizmalar için toksik hale gelecektir. Bu nedenle alkali göllere evsel atıksuların



Şekil 9. Sertlik değerlerinin zamana göre değişimi (Change of hardness versus time)



Şekil 10. Toplam alkalinitenin zamana göre değişimi (Change of total alkalinity versus time)

deşarjı daha tehlikeli hale gelmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Hazar Gölü için yapılan bu çalışmada dokuz örnekleme noktasından ve her noktada farklı beş derinlikten alınan su örneklerinin fiziksel ve inorganik-kimyasal parametrelerinin analizi yapılarak Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki (SKKY) kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri ve göllerin ötrofikasyon kontrolü sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklık mevsimlere ve derinliklere göre çok büyük değişimler göstermiştir. Yaz aylarında tabakalaşma 10-15 m derinlikleri arasında açıkça ortaya çıkmıştır. İstasyonlara göre önemli farklılıklar olmamakla beraber daha az rüzgar alan ve derinliği az olan koylarda sıcaklığın az da olsa diğer istasyonlardan fazla olduğu görülmektedir.

Hazar Gölü'nün yıllık ortalama pH değeri 8.90'dır. Buna göre göl bazik karakterde olup III. sınıf su kalitesi grubuna girmektedir. Göl suyunun yüksek pH'a sahip oluşu balıkçılık açısından sınırlandırıcı bir parametredir. Çözünmüş oksijen değerleri 8.4 -10.4 mg/L aralığında ölçülmüştür. Buna göre ÇO açısından göl I.sınıf su kalitesindedir.

Klorür değerleri 354-418 mg Cl/L aralığında değişmiştir. Klorür değerlerinin yüksek oluşu, tuzluluğun ve buna bağlı olarak EC'nin de yüksek değerde olduğunun bir göstergesidir. SKKY'ne göre III. sınıf su kalite grubuna girmektedir. Elektriksel iletkenlik değerlerine göre (ortalama 2260 µmhos/cm) Hazar Gölü sulama suyu açısından IV. sınıf su kalitesinde olup sulamaya elverişsizdir. SAR değerleri >12 olduğundan sulama suyu olarak sodyum açısından da sakıncalıdır.

Bütün aylarda ölçülmemiş olmakla beraber amonyum azotunun ortalama değeri 0.11 mg NH₄⁺-N/L ve maksimum değeri 0.13 mg NH₄⁺-N/L bulunmuştur. Buna göre göl amonyak azotu açısından tolerans sınırı (0.1 mg/L) civarında bulunmaktadır. Yıllar itibarıyla amonyum azotunda azalma olmuştur.

Toplam fosfor değerleri (0.15-2.21 mg P/L aralığında) SKKY'ne göre ötrofikasyon kontrolü sınır değerlerinin üzerinde olup IV. sınıf su kalitesindedir. Ölçülmüş olan AKM değerleri (180-400 mg/L) SKKY'deki ötrofikasyon sınır değerlerinin (5-15 mg/L) çok üzerindedir. Yıllar itibarıyla de bir artış görülmektedir.

Hazar Gölü sularının çok sert su özelliği (>30 °Fr) taşıdığı görülmektedir. Toplam alkalinite değerleri 570-862 mg CaCO₃/L aralığındadır. Bu yüksek alkalinite pH'nın yüksek olmasıyla doğru orantılıdır. Bu durumda yüksek sıcaklık, organik madde ve diğer toksik maddelerin de bulunmasıyla göl canlı yaşamı için toksik hale gelebilecek özelliktedir.

Hazar Gölü SKKY'deki kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasına göre I. ve III. sınıf su kalitesinde bulunmaktadır. Ancak toplam fosfor açısından IV. sınıf su kalitesindedir. SKKY'ne göre o gruba ait en düşük kalite sınıfı o grubun sınıfını belirlediğinden Hazar Gölü IV. sınıf kalitede bir su olarak kabul edilecektir. Bu nedenle Hazar Gölü, yağış havzası ile bütün olarak ele alınmalı, havzadaki noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar tespit edilmeli, göle katı atıkların boşaltılması, evsel ve endüstriyel atıkların deşarjı önlenmelidir. Fosforun kontrol altına alınabilmesi için atıkların ileri arıtma yöntemleriyle arıtılması bu göl için bir zorunluluktur.

Kıyı korunmasına yönelik yasal düzenlemelerin uygulanması konusunda titizlik gösterilerek göl çevresindeki düzensiz ve plansız yapılaşma kontrol altına alınmalıdır. Gölün su seviyesi ekolojik dengeleri bozmayacak şekilde korunmalıdır.

Bir su kaynağının amaçlara uygun olarak kullanılabilmesi için periyodik olarak sürekli izlenmesi gerekir. Verileri tam olarak değerlendirecek şekilde yönetilen bir izleme programı, çevresel yönetim için oldukça yararlı bilgiler sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, Hazar Gölü Su Kalitesinin Araştırılması adı altında 1164 nolu proje olarak Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ellis, K.V., White, G. and Warn, A.E., **Surface Water Pollution and Its Control**, Antony Rome Ltd., Chippenham, Wiltshire, 1989.
2. Çakmak, L. ve Demir, T., Su Kirliliği ve Etkileri, **Çevre ve İnsan Dergisi**, 36, 27-29, 1997.
3. Muslu, Y., **Göl ve Haznelerde Su kalitesi Yönetimi ve Alg Kontrolü**, İSKİ, İstanbul, 2001.
4. Wetzel, R.G., **Limnology**, Saunders, London, 1975.
5. Forsberg, C., Which policies can stop large scale eutrophication, **Water Science and Technology**, 37(3), 193-200, 1998.
6. Doğru, M. ve Külahci, F., Iso-radioactivity curves of the water of the Hazar Lake, Elazığ, Turkey, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 260(3), 557-562, 2004.
7. Kulahci, F., Özer, A.B. and Doğru, M., Prediction of the radioactivity in Hazar Lake (Sivrice, Turkey) by artificial neural Networks, **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, 269(1), 63-68, 2006.
8. Cetin, H., Güneşli, H. and Mayer L., Paleoseismology of the Palu-Lake hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, **Tectonophysics**, 374, 163-197, 2003.

9. DSİ(1971), **Elazığ-Uluova Sulama Projesi**, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı Yayınları, Ankara.
10. DSİ(1993), **Elazığ Hatunköy Projesi Planlama Raporu**, 1993.
11. Çoban, F., **Hazar Gölü Su Kalitesinin Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
12. Cici, M., Hazar Gölü Su Kalitesi, **I.Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu Bildiriler**, Sivrice Kaymakamlığı Yayınları, Yayın No:2, 23-26, Sivrice, 1995.
13. Ünlü, A., Uslu, G., Emiroğlu, M.E, Şekerdağ, N., Hazar Gölü Su Kalitesinin Araştırılması, **II. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu**, Sivrice Kaymakamlığı, Sivrice, 1996.
14. Ünlü, A. ve Uslu, G., Hazar Gölü'nde Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, **Ekoloji Dergisi**, 32, 7-13, 1999.
15. Şen, B., Alp, M.T. ve Koçer, M.A.T, Hazar Gölü ve Özellikleri, **XII.Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu**, Elazığ, 87-93, 2003.
16. APHA, AWWA, WPCF, **Standart Methods For the Examination of Water and Wastewater**, 1989.
17. Bartram, J. and Ballance, R., **Water Quality Monitoring**, United Nations Environment Programme E and FN SPON, an imprint of Chapman and Hall, 2004.
18. Uslu, O. ve Türkman, A., **Su Kirliliği ve Kontrolü**, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müd. Yayınları, No:1, Ankara, 1987.
19. Thoman, R.V. and Mueller, J.A., **Principle of Surface Water Quality Modelling and Control**, Harper and Row Publishers, New York, 1987.
20. Şengül, F., Müezzinoğlu, A., **Çevre Kimyası**, D.E.Ü. Çevre Mühendisliği Basım Ünitesi, İzmir, 1993.