

ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN TÜRK MEVZUATINA VE ULUSLARARASI KRİTERLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

*Aslıhan KÂTİP**
*Feza KARAER**

ÖZET: Uluabat Gölü su kirliliği mevsimsel olarak incelenmiş, ulusal yönetmelikler ve uluslararası standart değerlere göre değerlendirilmiştir. Buna göre, konvansiyonel parametrelerin konsantrasyonlarının genellikle yaz aylarında en yüksek seviyede olduğu, bu nedenle de kirliliğin yaz aylarında artış gösterdiği belirlenmiştir. Konvansiyonel parametreler ve ağır metaller ulusal yönetmeliklere göre değerlendirildiğinde, SKKY (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği) Teknik Usuller Tebliği'nde verilmiş olan sulama suyu kriterlerine göre göl suyu 4. sınıf kalitede, Su Ürünleri Yönetmeliğine göre, sınır değerlerin üstünde, TS266 (Türk Standartları 266) İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerine göre ise içme ve kullanma suyu sınır değerlerini aşmış bulunmaktadır. Göl, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği 'Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri' tablosuna göre değerlendirildiğinde aynı şekilde 4. sınıf su kalitesindedir. Uluslararası standartlar açısından incelendiğinde, As, B, Ni, Pb, Cd elementlerinin WHO (Dünya Sağlık Örgütü) içme suyu standart değerlerinden, Zn, Cr, Cu, Pb elementleri konsantrasyonları ise USEPA (ABD Çevre Koruma Ajansı) su kalitesi kriterleri kronik etki seviyesinden, Zn'nin de akut etki seviyesinden yüksek konsantrasyonlarda oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uluabat Gölü, Sığ Göl, Su Kalitesi, Kirlilik

Assessment of Water Quality of Uluabat Lake in Accordance with Turkish Legislation and International Criteria

ABSTRACT: Water pollution of Uluabat Lake was analyzed seasonally and assessed in accordance with Turkish legislation and international criteria. Concentrations of conventional parameters were detected higher depending on pollution increase in summer season. When the conventional parameters and heavy metals were assessed in compliance with Turkish regulations considering agricultural irrigation, lake water quality was in fourth class. Similarly, Lake water has exceeded limit values of Fisheries Regulation and TS266 (Turkish potable water standard). Also lake water quality was in fourth class water according to Inland Water Quality Criteria. Depending on international standards As, B, Ni, Pb, and Cd elements concentrations showed higher values in comparison with WHO drinking water standards. Besides, Zn, Cr, Cu and Pb concentrations have higher values than USEPA water quality criteria chronic values. Especially, Zn has a concentration value higher than the value of acute effect.

Key Words: Uluabat Lake, Shallow lake, Water Quality, Pollution

1. GİRİŞ

Sulak alanlar, suya doymuş toprak koşullarında yaşayan bitki örtüsünün yaygın olduğu, yer altı suyu ya da yüzey sularıyla beslenen suya doymuş alanlardır. Bataklık, ıslak çayırlar, nehir taşkınlarının oluşturduğu alanlar, sığ göller ve göletler genellikle farklı özelliklerdeki bitki örtüsüne sahip olmaları dolayısıyla sulak alan kapsamındadırlar (Kent, 2001).

Sulak alanlar, geniş çeşitlilikteki flora ve fauna için yaşam alanı sağlamakta, kirlenmiş suların temizlenmesi ile ilgili hidrolojik ve kimyasal döngülerde, önemli fonksiyonları bulunmaktadır. Taşkınların önlenmesini, kıyı şeridinin korunmasını, yer altı suyunun

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.
İletişim Yazarı: A. Kâtip (aballi@uludag.edu.tr)

depolanmasını sağlamaktadırlar. Ayrıca, yiyecek ve enerji üretimi konusunda yer almaları nedeniyle dünya üzerindeki en önemli ekosistemlerdir. Maalesef, çoğu sulak alan, tarımsal alana dönüştürülmüştür ve endüstriyel, ticari amaçlı ya da yerleşim alanı olarak kullanılmaktadır. Tüm bu etkilerin sonucunda, sulak alanların su kalitelerinde azalmalar ve bunu takiben ekosistem yapısında bozulmalar gözlenmektedir. (Prescott ve Tsanis, 1997).

Nüfus ve sanayi yoğunlaşmasının odaklandığı Marmara Bölgesi'nde yer alan Uluabat Gölü Havzasında çok sayıda yerleşim yeri, fabrika, iş yeri, tarım arazisi ve maden ocakları bulunmaktadır. Bu durum, gölün su kalitesinin azalmasına yol açmaktadır ve trofik seviyesini etkilemektedir (Akdeniz, 2005). Yapılan çalışmalardaki ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması sonucunda kirliliğin giderek arttığı görülmektedir. Uluabat Gölü Havzası'nda bulunan kirletici kaynakların ve göl dibindeki sediment tabakasının sağladığı iç yüklerin neden olduğu görülmektedir (Karaer ve diğ., 2009, Dalkıran ve diğ., 2006). Ayrıca, askıda katı madde konsantrasyonunun artması sebebiyle ışık geçirgenliğinde, göl hacmi ve yüzey alanında sürekli bir düşüş gözlenmektedir (Salihoğlu ve Karaer, 2004). Bunların haricinde, son yıllarda yapılan çalışmalarda göl suyunda ve sedimentinde ağır metal kirliliğine rastlanmıştır (Katip ve diğ., 2011, Kurtoğlu, 2006, Elmacı ve diğ., 2007).

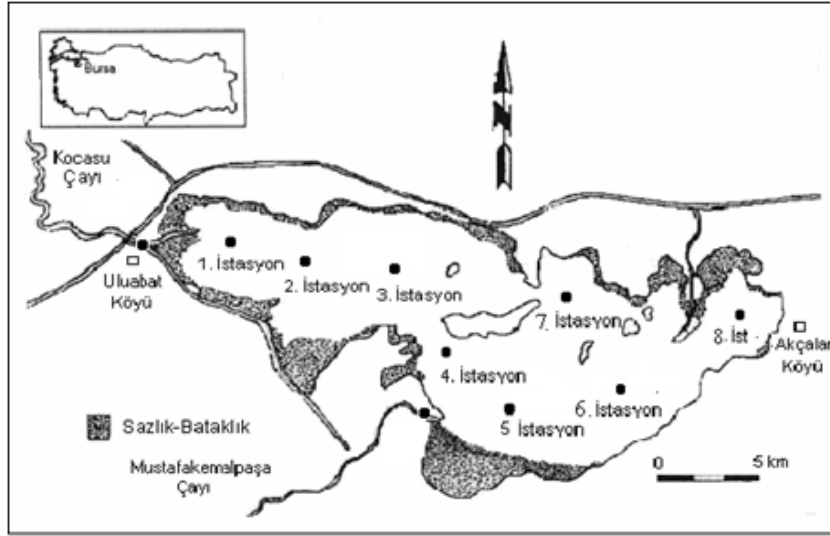
Uluabat Gölü, 1971 yılında İran'ın Ramsar kentinde kabul edilen "Özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öne Sahip Sulak alanlar Hakkında Sözleşme" veya kısaca RAMSAR Sözleşmesine tabidir ve GNF (Global Nature Fund) tarafından yürütülen Living Lakes (Yaşayan Göller) ağının bir üyesidir. 1998 yılından beri dünya çapında yürütülen "Living Lakes" çalışmaları, dünyadaki en değerli sulak alanların, su kaynaklarının korunması ve bu bölgelerde sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesi için yapılmaktadır. Bu ağa dahil edilen göllerin mevcut durumlarına uygun koruma projeleri veya yönetim planları oluşturulmaktadır. Living Lakes (Yaşayan Göller) ağında 30'u aşkın göl bulunmaktadır. Uluabat Gölü, dünya çapında öneme sahip bu göller arasında yer alarak, uluslararası arenada tanınmakta ve destek görmektedir (www.livinglakes.org, Karaer ve diğ., 2009).

Bu çalışmanın amacı, Uluabat Gölü'nde 2008-2009 yılı içerisinde yapılan su kalitesi parametrelerinin ölçümlerine göre su kalitesinin belirlenmesi ve türk mevzuatına ve uluslararası kriterlere göre değerlendirilmesidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı, Örnek Alma ve Analiz

Uluabat Gölü, Türkiye'nin kuzey batısında bulunan Marmara Bölgesi'nde, 40° 10' kuzey ve 28° 35' doğu koordinatları arasında yer almaktadır. Susurluk Havzası'nın önemli bir parçası olan Doğu-batı yönündeki uzunluğu 24 km, kuzey-güney yönündeki genişliği 12 km'dir. Deniz seviyesinden olan yüksekliği 9 m'dir. Gölün ortalama derinliği 3 m'dir. Kurak aylarda 1.52 m, yağışlı aylarda, 4.04 m olmaktadır. Gölün yüzey alanı, maksimum su seviyesinde 161 km², minimum su seviyesinde 138 km² olarak belirlenmiştir (Kâtip, 2010). Uluabat Gölü'nün su kalitesini belirlemek için alınan su numuneleri, kirletici kaynaklara olan uzaklıklar, farklı derinlikler ve hidrodinamik özellikler göz önüne alınarak seçilen göl içindeki 8 ölçüm istasyonundan, Mayıs 2008 ile Mayıs 2009 arasında bir yıl boyunca aylık olarak alınmıştır (Kâtip, 2010, İleri, 2010). *Şekil 1*'de Uluabat Gölü ve numune alma noktaları gösterilmiştir.



Şekil 1:

Uluabat Gölü ve numune alma noktaları

Su numunelerinin alınması sırasında sahada, HACH marka Sension 156 model cihaz kullanılarak çözülmüş oksijen, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ölçülmüştür. Laboratuvar ortamında ise, BO_5 , KO_2 parametreleri standart metotlara göre (APHA, 1998), NH_4-N , NO_3-N , TN (Toplam Azot) su buharı destilasyonu yöntemiyle (Bremner ve Mulvaney, 1982), PO_4-P , TP (Toplam Fosfor) askorbik asit yöntemiyle (APHA, 1998) belirlenmiştir. Suda çözülmüş halde bulunan ağır metallerin belirlenebilmesi için örnekler önceden ağırlığı tartılmış $0.45 \mu m$ gözenek çapındaki Milipore filtre kâğıdından süzölmüştür. Filtre edilmiş su örneği sırasıyla deterjan, su, nitrik asit, Mili-Q su ile temizlenmiş cam şişelerde % 2 (v/v) konsantre nitrik asit ile asitlendirilerek $4 ^\circ C$ 'de buz dolabında korunmuştur (Nguyen ve diğ., 2005). Ağır metallerin (As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, B) okumaları VARIAN marka ICP-OES cihazının VISTA- MPX modeli kullanılarak yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Uluabat Gölü suyunun fiziko-kimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda, parametrelerin mevsimsel olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür. Sıcaklık ve TN maksimum değerlerini yaz mevsiminde, minimum değerlerini ise kış mevsiminde almışlardır. Yaz ve kış arasındaki bu farklılık, yaz boyunca artan sıcaklık ve buharlaşma konsantrasyonlarda artışa, kışın meydana gelen yağışlar ve havzadan gelen yüzeysel akışlar nedeni ile meydana gelen seyrelmelere bağlanmıştır (Singh ve diğ., 2008). TP parametresi maksimum değerini yazın minimum değerini ilkbaharda almıştır. Bunun nedeni olarak ilkbahar mevsiminde fotosentezin hızlanması sonucunda alglerin fosforu kullanmasının ve yağışların artmasıyla gölde seyrelmenin meydana gelmesinin olabileceği düşünülmüştür. pH değerlerinin mevsimsel ortalamaları birbirine yakın olmakla beraber en yüksek değer yaz mevsimi içerisinde Temmuz Ayı'nda (8.64) görülmüştür. Doğal suların pH aralıkları 6 ile 9 arasında bulunmaktadır. Bileşimleri ise asit ve baz ilişkilerinden etkilenmektedirler. Fotosentez, solunum gibi biyolojik aktiviteler, $CaCO_3$ 'ün çökmesi ya da çözünmesi CO_2 'yi azaltıp artırdığı için pH'ı etkilemektedir. Oksitlenme reaksiyonları pH'ı düşürürken, denitrifikasyon ve sülfatın indirgenmesi pH'ı artırmaktadır (Stumm ve Morgan, 1996).

Temmuz Ayı'ndaki yüksek pH değerinin nedeni olarak yaz aylarında artan fotosentez sırasında planktonların çözülmüş inorganik karbonu asimile etmeleri sırasında asidik özelliğin azalması ve alkalitenin artmasının olabileceği düşünülmüştür. En yüksek sıcaklık hava şartlarının sıcak ve kurak geçtiği yaz mevsiminde Ağustos Ayı'nda (27.06 °C), en düşük sıcaklık ise 4.76 °C ile Aralık Ayı'nda görülmüştür. Yaz mevsiminin gelişimiyle birlikte sıcaklıkların artması ve güneş ışığının doğrudan yeryüzüne ulaşması ile beraber fotosentez olayı hızlanmaktadır. Toplam azot konsantrasyonları incelendiğinde en yüksek değer Haziran Ayı'nda 23.23 mg/L en düşük konsantrasyon da 3.89 mg/L ile Nisan Ayı'nda bulunmuştur. Toplam fosfor konsantrasyonları arasında en yüksek ve en düşük değerler Ağustos ve Şubat Ayları'nda 0.480 ve 0.076 mg/L olarak bulunmuştur. Sudaki fosfor konsantrasyonunun azalmasında, çökme önemli bir mekanizmadır. Çökme ile oluşan net kayıp sığ göllerde çok azdır. Bunun sebebi, stabil olmayan tabakalaşma, çöken materyalin tekrar askıda hale geçmesi ve nütrientlerin sedimentten serbest hale geçerek suya karışmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, sığ göller derin göllere göre daha yüksek fosfor konsantrasyonuna ve fitoplankton biyomasına sahiptirler (Hejzlar ve Vyhalek, 1998).

Sularda organik kirlenmeyi gösteren parametrelerden olan çözülmüş oksijen, BOİ ve KOİ konsantrasyonlarının aylara göre değişimleri incelenmiştir. Ağustos Ayı çözülmüş oksijenin en düşük, KOİ'nin en yüksek olduğu aydır. Bu ayda BOİ de oldukça yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Bu ayda çözülmüş oksijen değeri, 4.49 mg/L, KOİ değeri 66 mg/L, BOİ 40.62 mg/L bulunmuştur. BOİ'nin maksimum değeri Kasım Ayı'nda 44.125 mg/L olarak belirlenmiştir. Kasım Ayı'nda KOİ değeri 59.37 mg/L olarak bulunmuş olup yine yüksek değerdedir. Bunun sebebinin yeni başlayan yağışların neden olduğu yüzeysel akış sonucu sudaki organik maddelerin artması olarak düşünülmüştür. Yaz aylarında mikrobiyal aktivitenin artması sebebiyle organik maddelerin bozunma hızları artmaktadır. Bu nedenle de çözülmüş oksijen seviyesi düşmekte, BOİ ve KOİ artmaktadır. Bahar ve kış aylarında yağmurların ve rüzgarların şiddetinin artmasıyla sirkülasyon oluşması ve gölü besleyen su debilerinin artması sebebiyle meydana gelen karışımların etkisiyle göl suyu tekrar oksijen kazanmaktadır (Singh ve diğ., 2008). Ayrıca seyrelmenin artmasıyla organik kirleticilerin konsantrasyonları düşmektedir. Çözülmüş oksijen maksimum değere (11.54 mg/L) Şubat Ayı'nda ulaşmıştır. Şubat Ayı'nda BOİ diğer aylara göre oldukça düşük değerde olup 18.62 mg/L, KOİ göl ortalamasına yakın bir değerde olup 42 mg/L olarak bulunmuştur. BOİ ve KOİ 2008'in Mayıs Ayı'nda minimum değerleri sırasıyla 13.43 ve 24 mg/L'dir.

Uluabat Gölü'nde çözülmüş halde bulunan Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd, Cu, As, Pb ve B konsantrasyonları sırasıyla, 0.0653 ile 15.7298, 0 ile 0.1732, 0.0011 ile 1.3471, 0 ile 0.3508, 0.0016 ile 1.9597, 0 ile 0.3846, 0 ile 0.116, 0 ile 0.3846, 0.0012 ile 0.0933, 0 ile 0.5028, 0.2253 ile 5.5038 mg/L, arasında değişmiştir. Aylık değişimlerinin yüksek olduğu metallerin (As, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb) yağmurların olmadığı yaz aylarında ve sonbaharın başlangıcı Eylül Ayı'nda yüksek, yağışların bol olduğu ilkbahar, sonbaharın ortaları ve kış aylarında seyrelmelerden dolayı düşük konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Cu'nun yüksek değerleri yaz aylarında olmasına rağmen en düşük değeri Ekim Ayı'nda bulunmuştur. Bunun nedeninin yağışların bu ayda başlamasıyla yüzeysel akışın göle getirdiği AKM'nin artış göstermesi ve henüz kışa göre daha sığ olan gölün daha kolay karışmasının neden olduğu adsorbsiyon olaylarının artışı olduğu tahmin edilmiştir. Uluabat Gölü Su Kalitesi Parametreleri yıllık ortalama ve maksimum-minimum değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Uluabat Gölü su kalitesi Türkiye ve Dünya'daki standart değerler ile karşılaştırılmıştır. Parametrelere göre su kalitesi sınıfları belirlenirken 8 istasyonun yıllık ortalama değerleri göz önüne alınmıştır. SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu (Anonim, 1991)

ile karşılaştırıldığında sıcaklık, NO₃-N ve NH₄-N parametrelerine göre 1. sınıf, iletkenlik, BOI₅ ve tuzluluk değerlerine göre 2. sınıf, AKM'ye göre 4. sınıf bulunmuştur. pH için verilen aralığa göre 1., 2. ve 3. sınıf sulama standart değerlerine uymaktadır. En yüksek sınıftaki parametreye göre değerlendirme yapılması nedeni ile Uluabat Gölü, sulama suyu kriterlerine göre 4. sınıfta bulunmuştur. SKKY Teknik Usüller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu'na göre su kalite sınıfları, 1. sınıf çok iyi, 2. sınıf iyi, 3. sınıf kullanılabilir, 4. sınıf ihtiyatla kullanılabilir, 5. sınıf zararlı uygun değil olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Uluabat Gölü Su Kalitesi Parametrelerinin yıllık ortalama ve maksimum-minimum değerleri

Parametre	Ort±SD	Mak-Min
Sıcaklık (°C)	18.053±7.709	28.9-4.1
pH	8.305±0.287	9.7-7.16
İletkenlik (µs/cm)	553.02±82.57	686-403
AKM (mg/L)	48.87±77.06	980-4
ÇO (mg/L)	7.998±2.546	12.09-3.43
BOI (mg/L)	28.01±12.73	52.5-5
KOI (mg/L)	48.94±17.71	80-16
NH ₄ -N (mg/L)	0.222±0.812	7-0
NO ₃ -N (mg/L)	0.2005±0.736	4.2-0
TOP-N (mg/L)	9.191±8.239	63.7-1.4
PO ₄ -P (mg/L)	0.1234±0.12	0.4267-0.009
TOP-P (mg/L)	0.1789±0.138	0.5572-0.048
As (mg/L)	0.0182 ±0.0176	0.0012 - 0.0933
Cr (mg/L)	0.0848 ± 0.2092	0.0016 - 1.9597
Cd (mg/L)	0.0097 ± 0.0371	0 - 0.3846
Pb (mg/L)	0.0355 ± 0.0567	0 - 0.5028
Cu (mg/L)	0.0128 ± 0.0141	0 - 0.116
Ni (mg/L)	0.0304 ± 0.0416	0 - 0.3508
Fe (mg/L)	0.5116 ± 1.2313	0.0653 - 15.7298
Mn (mg/L)	0.0123 ± 0.0217	0 - 0.1732
Zn (mg/L)	0.1595 ± 0.2169	0.0011 - 1.3471
B	2.1668 ± 0.9964	0.2253 - 5.5038

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY), "İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler" (Anonim, 2005a) tablosunda verilen standart değerlere göre incelenen parametreler değerlendirildiğinde, NO₃-N ve PO₄-P parametreleri sınır değerlerin altında, NH₄-N sınır değerinin üstünde bulunmuştur.

TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin (Anonim, 2005b) sınıflandırma tablolarına göre NO₃-N ve pH'a göre 1. sınıf, NH₄-N'e göre 2. sınıf, iletkenlik değerine göre de 2. sınıf sınır değerini aşmış bulunmaktadır. Bu kriterlere göre Uluabat Gölü içme ve kullanma sınır değerlerini aşmış bulunmaktadır.

WHO içme suyu standartlarına (Anonim, 2006 b) göre $\text{NO}_3\text{-N}$ 'nin sınır değerin (50 mg/L) altında olduğu ancak sertlik, tuzluluk, pH, KOİ ve $\text{PO}_4\text{-P}$ parametrelerine ait standart değerlerin bulunmaması nedeniyle bir değerlendirme yapılamamıştır. Uluabat Gölü su kalitesinin değerlendirilmesinde kullanma, sulama suyu, içme suyu ve alıcı ortam standartları Tablo 2'de verilmiştir (Anonim 1991, Anonim 2005a, Anonim 2005b).

Uluabat Gölü su kalitesinin Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen "Kıtaıçi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması" ve "Kıtaıçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablolarından faydalanılarak (Anonim, 2004), ölçüm istasyonlarındaki parametre grupları için (A, B, C) ayrı ayrı kalite sınıfları belirlenmiştir. A grubu fiziksel ve inorganik-kimyasal, B grubu organik ve C grubu inorganik kirlenme parametrelerini içermektedir. Bu parametrelere göre su kalitesi sınıfları belirlenirken 8 istasyonun yıllık ortalama değerleri göz önüne alınmıştır. Sıcaklığa göre 1. sınıfa, pH'a göre, 1. ve 2. sınıfa birden girmektedir. Çözünmüş oksijene göre 1. sınıf, toplam çözünmüş maddeye göre 1. sınıf, BOİ'ye göre 4.sınıf, KOİ'ye göre 2. sınıf, $\text{NH}_4\text{-N}$ 'e göre 2.sınıf, $\text{NO}_3\text{-N}$ 'e göre 1. sınıf, TKN'ye göre 4. sınıf, TP'a göre 3. sınıf olarak bulunmuştur. Ancak bu parametrelerin tümü birden değerlendirildiğinde, BOİ ve TKN'nin 4. sınıfa girmesi sebebiyle su kalitesi 4. sınıf olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Uluabat Gölü su kalitesinin değerlendirilmesinde kullanma, sulama suyu, içme suyu ve alıcı ortam standartları

Parametreler	SKKY, Tek. Usül. Teb., 1991					SÜY 2005 Tolere değer	TS266, 2005	
	I	II	III	IV	V		Sınıf 1 ve sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	30	30	35	40	>40	-	-	-
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.0	<6 - >9	-	6.5<pH<9.5	6.5<pH<9.5
Elektriksel iletkenlik (μScm^{-1})	0-250	250-750	750-2000	2000- 3000	> 3000	-	0.65	2.6
Nitrat iyonu (NO_3^-) (mg L^{-1})	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50	4.2	25	50
Amonyum iyonu (NH_4^+) (mg L^{-1})	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50	0.02	0.05	0.50
Orto-fosfat iyonu (PO_4^{3-}) (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	15	-	-
Kalsiyum (Ca^{++}) (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	800	-	-
Magnezyum (Mg^{++}) (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	14	-	-
Sodyum (Na^+) (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	85	-	-
Potasyum (K^+) (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	50	-	-
Klorür (Cl^-) (mg L^{-1})	0-142	142-249	249-426	426-710	>710	170	-	-
Sülfat (SO_4^{2-}) (mg L^{-1})	0-192	192-336	336-575	575-960	>960	90	-	-
BOİ (mg L^{-1})	0-25	25-50	50-100	100-200	>200	-	-	-
KOİ (mg L^{-1})	-	-	-	-	-	-	-	-
Askıda katı madde (mg L^{-1})	20	30	45	60	>100	-	-	-
Toplam tuz konsantrasyonu (mg L^{-1})	0-175	175-525	525-1400	1400- 2100	>2100	-	-	-
Sodyum adsorbsiyon oranı	<10	10-18	18-26	>26		-	-	-

Çözünmüş halde bulunan metallerin yıllık ortalama konsantrasyonlarına göre toksik olma dereceleri uluslararası standartlar yardımı ile değerlendirilmiştir. Buna göre As, B ve Ni Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standart değerlerine göre yüksek (Anonim, 2006 b), EPA sınır değerlerine (Anonim, 2006 a) göre ise düşük konsantrasyonlarda (B hariç) oldukları görülmüştür. Pb'nin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standart değerlerine ve EPA'nın kronik etki seviyesine göre yüksek, akut etki seviyesine göre düşük konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür. Mn ve Fe konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin standartların altında kaldığı ancak Mn, Fe ve Pb'nin standart sapmalarının yüksek olması nedeniyle bazı aylarda standart değerleri aştıkları belirlenmiştir. Cd'nin WHO ve EPA standartlarının her ikisinden de yüksek olduğu, Cu'nun kronik toksisite seviyesini aştığı ve akut seviyeye çok yakın değerde olduğu, Cr'nin kronik toksisite seviyesinden yüksek olduğu ve Zn'nin kronik ve akut toksik sınır değerlerinin her ikisinden de yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu belirlenmiştir. Tablo 3'te Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler ile karşılaştırması gösterilmiştir.

Tablo 3. Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler (Anonim, 2006 b, Anonim, 2006a).

Metaller (mg/L)	WHO İçme Suyu	USEPA, Su Kalitesi Kriterleri		Bu Çalışma
		CMC	CCC	
As	0.01 ^P	0.34 _{A,D,K}	0.15 _{A,D,K}	0.0182 ± 0.0176
B	0.5 ^T			2.1668 ± 0,9964
Cd	0.003	0.002 _{D,E,K}	0.00025 _{D,E,K}	0.0097 ± 0.0371
Cr		0.57 _{D,E,K}	0.074 _{D,E,K}	0.0848 ± 0.2092
Cu	2	0.013	0.009 _{D,E,K}	0.0128 ± 0.0141
Fe			1	0.5116 ± 1.2313
Mn	0.4			0.0123 ± 0.0217
Ni	0.02 ^P	0.47 _{D,E,K}	0.052 _{D,E,K}	0.0304 ± 0.0416
Pb	0.01	0.065 _{D,E}	0.0025 _{D,E}	0.0355 ± 0.0567
Zn		0.12 _{D,E,K}	0.12 _{D,E,K}	0.1595 ± 0.2169

CMC: Akut

CCC: Kronik

P: Kesin olmayan değerdir. Tehlikeli olduğu bilinmektedir ancak sağlık etkileri hakkında bilgiler sınırlıdır.

T: Kesin olmayan bilgidir. Hesaplanan değerler arıtılabilir seviyenin altındadır.

A: Tavsiye edilen kriter As (III) için türetilmiştir. As (V) ile benzer etkiler göstermesi nedeniyle toplam As için kabul edilmiştir.

D: Tavsiye edilen su kalitesi kriteri su canlıları için oluşturulmuş kriterlerden dönüşüm faktörü (CF) ile çarpılarak oluşturulmuştur.

E: Su kolonundaki sertliğin bir fonksiyonu olarak hesaplanan ve yüzeysel sular için geliştirilmiş standart değerler.

K: 1995 yılında su canlıları için oluşturulmuş kriterlerden adapte edilmiştir.

Belirlenen konsantrasyonlar ulusal standart değerler ile karşılaştırılmıştır. Uluabat Gölü su kalitesinin Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen "Kıtaıçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosundan (Anonim, 2004) faydalanılarak yapılan değerlendirmesi sonucunda As, Cu, Mn ve Zn için 1. sınıf, Fe ve Ni için 2. sınıf, Cd, Cr ve Pb için 3. sınıf ve B için 4. sınıf olarak belirlenmiştir. Ancak su kalitesi sınıfı en yüksek seviyede bulunan kirleticije göre belirlendiği için Uluabat Gölü 4. Sınıf olarak kabul

edilmiştir. Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosuna göre yapılan sınıflandırmada su kalite sınıfları, 1. sınıf yüksek kaliteli su, 2. sınıf az kirlenmiş su, 3. sınıf kirli su, 4. sınıf çok kirlenmiş su olarak verilmektedir.

SKKY Teknik Usüller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu (Anonim, 1991) ile karşılaştırıldığında As, Cu, Fe, Pb, Zn, Mn ve Ni için verilen sınır değerlerin altında ve her türlü zemin için sulamaya uygun bulunmuştur. Cd ve Cr sınır değerlere çok yakın bulunmuşlardır. Standart sapmaları düşünüldüğünde, Cd ve Cr bakımından bazı aylarda sulama suyu için uygun bulunamayabileceği tespit edilmiştir. B için 4. sınıf (ihtiyatla kullanılabilen) sulama suyu kalitesinde bulunmuştur. Bu nedenle Uluabat Gölü'nün sulama amaçlı olarak kontrollü bir şekilde kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SÜY), "İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler" (Anonim, 2005a) tablosunda verilen standart değerlere göre değerlendirildiğinde, As, B, Fe, Mn, Ni ve Pb için uygun, Cd ve Cr için uygun olmakla birlikte sınır değere çok yakın, Cu ve Zn için sınır değerlerin üstünde bulunmuşlardır.

TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin (Anonim, 2005b) sınıflandırma tablolarına göre As, B, Cd, Cr, Ni ve Pb için sınıf 2 tip 2 (içme ve kullanma suyu) sınır değerlerinin üstünde, Cu, Fe ve Mn için sınıf 1 tip 1 (işlem görmüş memba suları) sınır değerlerine uygun bulunmuştur. Buna göre Uluabat Gölü'nün içme ve kullanma amaçlı olarak değerlendirilemeyeceği belirlenmiştir. Ağır metal ve iz elementlerin değerlendirilmesinde kullanılan ulusal sınır değerler Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Ağır metal ve iz elementlerin değerlendirilmesinde kullanılan ulusal sınır değerler

Metaller (mg/L)	SKKY 2004				SKKY, Tek. Usül. Teb., 1991	SÜY 2005	TS266, 2005	
	I	II	III	IV		Tolere değer	Sınıf 1 ve sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 ve tip 2
As	0.02	0.05	0.1	>0.1	0.1	0.1	0.01	0.01
B	1	1	1	>1	2	3	0.001	0.001
Cd	0.003	0.005	0.01	>0.01	0.01	0.01	0.005	0.005
Cr	0.02	0.05	0.2	>0.2	0.1	0.1	0.05	0.05
Cu	0.02	0.05	0.2	>0.2	0.2	0.01	0.1	2
Fe	0,3	1	5	>5	5	0.7	0.05	0.2
Mn	0.1	0.5	3	>3	0.2	1	0.02	0.05
Ni	0.02	0.05	0.2	>0.2	0.2	0.3	0.02	0.02
Pb	0.01	0.02	0.05	>0.05	5	0.1	0.01	0.01
Zn	0.2	0.5	2	>2	2	0.003	-	-

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uluabat Gölü 2008-2009 yılı kirlilik izlemesi çalışmalarına göre, çok çeşitli flora ve fauna için yaşam alanı sağlayan özellikle de su kuşları için çok büyük önem taşıyan ve ekosistemin çok önemli bir parçası olan Uluabat Gölü su kalitesinin bozulduğu tespit edilmiştir. Özellikle içme ve kullanma amaçlı olarak kullanılamayacağı, sulama amaçlı olarak ihtiyatlı kullanılması gerektiği, endüstriyel kullanım açısından da uygun olmadığı ancak arıtma yapıldıktan sonra kullanılabilirliği belirlenmiştir. Bu nedenle, alınacak önlemlerin kullanım amacına göre değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Öncelikle havza bazında kirlenici sınırlamaları getirilerek dış kaynaklı kirlenici yüklerin azaltılması gerekmektedir. Arıtması olmayan yerleşim yerlerine ve endüstriyel tesislere arıtma tesisleri yapılarak arıtma verimliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, havza içerisinde yeni kurulacak tesislerin flora ve faunaya zarar vermeyecek, göl suyunun kalitesini ve miktarını etkilemeyecek şekilde planlanması ve denetlenmesi önem taşımaktadır. Korumanın sağlanabilmesi için de mevcut Yönetim Planının etkin hale getirilmesi, havza boyutunda yönetim ve eşgüdüm çalışmalarının yürütülmesi bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) Araştırma Destek Programları Başkanlığı'nın Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Destek Grubu (ÇAYDAG) (Proje No: 107Y278) tarafından ve Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu (Proje No: M-2007/27) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Akdeniz, S. (2005). *Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi*, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa. 126 s.
2. Anonim. (1991). *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği Ankara*. Resmi Gazete, Tarih 7 Ocak 1991 Sayı: 20748.
3. Anonim. (2004). *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*. Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı. Ankara. Resmi Gazete, Tarih 31 Aralık Cuma 2004 Sayı:25687.
4. Anonim. (2005a). *T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığundan Su Ürünleri Yönetmeliği*, 09.08.2005 tarihli Resmi Gazete No: 25901.
5. Anonim. (2005b). *TS266 Türk Standardı, SULAR - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular*, Nisan 2005.
6. Anonim. (2006a). *USEPA National Recommended Water Quality Criteria Correction Office of Water*, EPA 822-z-99-001, p. 25.
7. Anonim. (2006b). *WHO, A Compendium of Drinking-Water Quality Standards in The Eastern Mediterranean Region*.
8. APHA, AWWA. (1998). *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 20th Edn. Washington, D. C.
9. Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982). *Methods of Soil Analysis*. American Soc. of Agronomy, Inc., Publisher. 1159 s.
10. Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Dere, S., Sentürk, E., Torunoğlu, T. (2006). Factors Affecting The Current Status of a Eutrophic Shallow Lake (Lake Uluabat, Turkey): Relationships Between Water Physical and Chemical Variables. *Chemistry and Ecology* 22, 279–298.

11. Elmacı, A., Teksoy, A., Topaç, F.O., Özengin, N., Kurtoğlu, S., Başkaya, H.S. (2007). Assessment of heavy metals in Lake Uluabat, Turkey, *African Journal of Biotechnology*, 6 (19), 2236-2244.
12. Hejzlar, J., Vyhnálek, V. (1998). Longitudinal Heterogeneity of Phosphorus and Phytoplankton Concentrations in Deep-valley Reservoirs. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 83, 139-146.
13. <http://www.livinglakes.org>
14. İleri, S. (2010). *Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin Fiziko-Kimyasal Parametreler Açısından Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
15. Karaer, F., Katip, A., Aksoy, E., İleri, S. ve Sarmaşık, S. (2009). Sulak Alanların Önemi, Sorunları ve Uluabat Gölü, *Türkiye Sulakalanlar Kongresi*, 81-87, 22-23 Mayıs, Bursa.
16. Kâtip, A. (2010), *Uluabat Gölü Su Kalitesinin İzlenmesi*, Doktora Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
17. Katip, A., Karaer, F., Başkaya, H.S., İleri, S. and Sarmaşık, S. (2011). Fraction distribution and risk assessment of heavy metals and trace elements in sediments of Lake Uluabat, *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s10661-011-2348-4.
18. Kent, D.M. (2001). *Applied Wetlands Science and Technology* (Second Edition). Lewis Publishers, USA, 454 p.
19. Kurtoğlu, S. (2006). Uluabat Gölü Sedimentinde Bazı Kimyasal Parametrelerin Belirlenerek Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa.
20. Nguyen, H.L., Leermakers, M., Osán, J., Török, S., Baeyens, W. (2005). Heavy Metals in Lake Balaton: Water Column, Suspended Matter, Sediment and Biota, *Science of the Total Environment*, 340, 213-230.
21. Prescott, K.L. and Tsanis, I.K. (1997). Mass Balance Modelling and Wetland Restoration. *Ecological Engineering*, 9, 1-18.
22. Salihoğlu, G. and Karaer, F. (2004). Ecological Risk Assessment and Problem Formulation for Lake Uluabat, a Ramsar State in Turkey, *Environmental Management*, 33 (6), 899-910.
23. Singh, A., Srivastava, P.C., Srivastava, P. (2008). Relationships of Heavy Metals in Natural Lake Waters with Physico-chemical Characteristics of Waters and Different Chemical Fractions of Metals in Sediments. *Water Air Soil Pollut*, 188, 181-193.
24. Stumm, W., Morgan, J. (1996). *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Water*, third ed. Wiley, New York.

Makale 29.02.2012 tarihinde alınmış, 26.03.2012 tarihinde düzeltilmiş, 29.03.2012 tarihinde kabul edilmiştir.