

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Serdar GÖNCÜ^{1*}, Enis HASANOĞLU¹, Uğur AVDAN², Zehra YİĞİT AVDAN¹,
Erdem Ahmet ALBEK¹

BORABEY GÖLETİ'NİN TERMAL KATMANLAŞMA YAPISININ İNCELENMESİ

ÖZ

Eskişehir'de tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılan yüzeysel su kaynaklarından birisi olan Borabey Göleti, kapalı bir havza yapısına sahip olması ve havzasındaki tarımcılık faaliyetleri nedeniyle günümüzde kirlenme tehlikesi ile karşı karşıya kalma potansiyeli olan bir göl konumundadır. Tarımsal amaçlı suyun kalitesinin olumsuz düzeyde etkilenmesi ile karşı karşıya kalınmadan önce gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Bu kapsamda, Borabey Göleti'nin fiziko-hidrolojik şartlarının belirlenmesi ve mevsimsel katmanlaşma yapısının incelenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında gölün batimetrik haritasının çıkartılması, gölün sıcaklık açısından mevsimsel katmanlaşma yapısının incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Batimetrik harita çıkarımında RTK GPS kullanılarak yapılan arazi ölçümleri ile akustik doppler akım profil cihazı (ADCP) kullanılarak elde edilen batimetrik harita verileri birleştirilerek yüksek çözünürlüklü batimetri haritası elde edilmiştir. 2 yıl boyunca gerçekleştirilen monitorlama çalışmalarında, Borabey Göleti'nin derinliğe bağlı sıcaklık profili çıkartılmıştır. Ayrıca, göldeki termal katmanlaşma yapısının belirlenmesi için RTRM indisi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, Borabey Göleti'nin termal katmanlaşma yapısına bağlı olarak epilimniyon, metalimniyon, hipolimniyon tabaka hacimleri belirlenmiştir. Ayrıca gölün monomiktik göl yapısına sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Keywords: Termal katmanlaşma, Limnoloji, Göl, RTRM, ADCP

INVESTIGATION OF THERMAL STRATIFICATION IN BORABEY LAKE-TURKEY

ABSTRACT

The Borabey Pond as an irrigation water resource is prone to potential pollution by agricultural practices as its watershed. This necessitates that adequate precautions are taken before the water quality is adversely affected for its intended use. In this respect it is of importance that the physical and hydrological conditions and stratification pattern of the pond be determined which have been conducted in this study. A high resolution bathymetric map if the pond was created by combining land measurements using RTK GPS and bathmetric data obtained using ADCP. The vertical temperature profile was obtained with two year long observations. The RTRM index was utilized to determine the stratification pattern. The epilimnion, metalimnion and hypolimnion volumes were calculated. It was found that the pond has a monomictic mixing pattern.

Anahtar Kelimeler: Thermal stratification, Limnology, Lake, RTRM, ADCP

¹ Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü

*E-posta: sgoncu@anadolu.edu.tr

² Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

Geliş: 09 Şubat 2015 **Düzeltilme:** 05 Ekim 2015 **Kabul:** 23 Kasım 2015

1.GİRİŞ

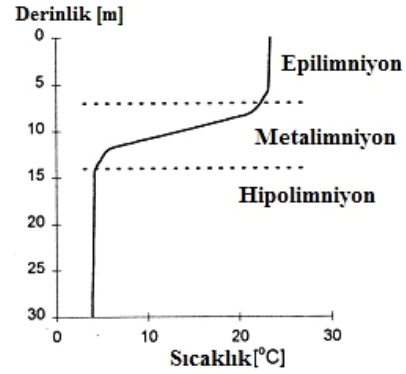
Dünya nüfusunun artışı ve gelişen endüstrinin sonucu olarak, doğal su kaynakları günden güne azalmakta ve kirlenmektedir. İnsanlığın sucul yaşama bu etkisi göz önünde bulundurulduğunda, mevcut koşulların sürdürülebilmesi için suların kalitesi konusunda daha sorumlu hareket etmek gerekmektedir. Dünyadaki toplam su miktarının yaklaşık % 0,0001'i nehir ve % 0,009'u göllerde tatlı su olarak bulunması sebebiyle (Şen, 2003) insanlığın kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple göller önemli su temin kaynaklarından birisidir.

Göllerdeki su miktarındaki ya da su kalitesindeki azalma hakkında fikir sahibi olabilmek için gereken ilk şart çevresel süreçleri anlamaktır. Bu amaçla günümüzde göllerdeki su kalitesi hakkında yapılan araştırmalar çoğalmıştır. Bu çalışmaların temelinde göllerin temel bazı fiziksel özelliklerinin iyi bir şekilde belirlenebilmesi gerçekleştirilecek çalışmalar için büyük önem arz etmektedir. Bu özelliklerden göllerdeki termal katmanlaşma özellikle göldeki madde döngüleri üzerinde doğrudan etkisi olması nedeniyle en temel düzeyde incelenmesi gereken özelliklerden birisidir.

Su kütlelerinin sıcaklıkları güneşin kısa dalga ışınımı, atmosferik uzun dalga ışınımı, su yüzeyinin ışınımı, buharlaşmayla ısı kaybı veya yoğunlaşma ile ısı kazanımı, hissedilebilir ısı akısı gibi parametrelerin oluşturduğu net ısı akısına bağlı olarak değişmektedir. Net ısı akısındaki artış ile birlikte su yüzeyleri daha fazla ısınmakta ve yüzey sıcaklığı derinlere göre daha yüksek olmaktadır. Su sıcaklığı suyun yoğunluğunu etkileyen önemli bir parametredir. Su sıcaklığının yoğunluğu üzerinde önemli bir parametre olduğu düşünüldüğünde bir su kütlesinde sıcaklık değişimlerine bağlı olarak bölge bölge farklı yoğunluklarda su kütleleri oluşmaktadır. Daha sıcak olan su yoğunluğunun daha düşük olması nedeniyle, yoğunluğu daha yüksek olan suyun üzerinde yer alarak sıcaklığına bağlı olarak sıralanmaktadır. Bu durum göllerde su kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biri olan termal katmanlaşmaya sebep olmaktadır.

Termal katmanlaşma ile birlikte göl suları epilimniyon, metalimniyon ve hipolimniyon olarak adlandırılan katmanlarına ayrılır.

Epilimniyon tabakasında rüzgar ve dalga hareketleri nedeniyle sürekli bir karışım söz konusudur ve sıcaklık bu tabakada genelde sabittir. Hipolimniyon tabakasında ise daha yoğun su bulunmakta ve üst katmanlara göre daha soğuk olmaktadır. Sıcaklık gradyanının olduğu bölge ise metalimniyon olarak adlandırılmaktadır. Bu katmanlaşmanın şematik gösterimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Göllerde derinliğe bağlı termal katmanlaşma yapısı

Göllerdeki termal katmanlaşma yapısının incelenmesinde, literatür incelendiğinde farklı amaçlara yönelik araştırmaların yapıldığı ve farklı yöntemlerin kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Katmanlaşmış göllerin incelenmeye başlanması çok eski tarihlere dayanmaktadır. Bu konu hakkındaki ilk çalışmaların Romalılar'a ait olduğu düşünülmektedir. 19. yy 'ın başlarında Norveçli istiridye yetiştiricilerinin katmanlaşmadan haberdar oldukları ve bunu önlemek için çalışmalar yaptıkları bilinmektedir (Boehrer ve Schultze, 2008). Findenegg (1933) kışın tam karışmanın gerçekleşmediği göllerdeki kimyasal farklılıkları incelemiştir. Amerikalı limnoloji uzmanı Hutchinson (1957) meromiktik göller hakkındaki birikimini toparlayarak ortaya bir çalışma çıkarmıştır ve bu çalışma hala günümüzde geçerli bir kaynak olarak görülmekte ve göllerdeki termal katmanlaşmaya bağlı sınıflandırma bu çalışma baz alınarak yapılmaktadır.

Bu çalışmaların önemli bir kısmı göllerdeki katmanlaşma yapısının belirlenmesi, izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalardır. Fischer ve ark. (1980) rezervuar ve nehirlerdeki karışımları ve nehir ağızlarındaki dikey ve

boylamsal karışımları incelemişlerdir. Imberger ve Patterson (1989) göllerin mevsimsel davranışlarını ve coğrafi konumun bu davranışlardaki rolünü incelemiştir. Farklı göllerin, buldukları çevrenin sıcaklıklarından yola çıkarak, fiziksel özellikleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Chapman ve ark. (1998) yapmış oldukları çalışmada bir krater gölünün termal katmanlaşma yapısını ortaya koymuşlardır. Lineer regresyon ile ölçülen parametrelerin birbirleri ile ilişkileri incelenmiştir. Ayrıca, bölgede oluşan depremlerin gölün limnolojik yapısına etkileri de incelenmiştir. Tate ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada, ufak akarsu göletlerindeki katmanlaşmayı belirlemeye çalışmışlar ve hava sıcaklığı ile su sıcaklığı arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. Araştırmada, hava sıcaklığının artması ile birlikte katmanlaşma büyüklüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Consi ve ark. (2008) GLUCOS gözleme sistemi ile ilkbahar katmanlaşma dinamiklerini incelemişlerdir. Ayrıca sıcaklık, iletkenlik, çözülmüş oksijen, bulanıklık parametreleri de gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda GLUCOS sistemi ile katmanlaşmanın başlangıcı saptanabilmiştir. Lap ve ark. (2009) bir göl üzerinde termal katmanlaşmanın oluşum ve sona erme zamanlarını belirlemek üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. B. F. Branco ve Torgersen (2009) katmanlaşma parametresi konusunda bilgiler vermiş ve 2 göl üzerinde yaptıkları çalışmada katmanlaşma parametrelerini hesaplayarak bu parametrenin termal katmanlaşmanın başlangıcını tahmin etmede faydalı olduğunu ortaya koymuştur. Song ve ark. (2013) yaptığı çalışmada 10 adet taşkı suyu yönetim havuzlarında düşey sıcaklık ölçümleri gerçekleştirmiş ve bu havuzların RTRM değerlerini hesaplamıştır. Ayrıca yine bu çalışmada bazı su kalitesi parametreleri ölçülerek istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Su sıcaklığına bağlı katmanlaşmanın gün içerisindeki rüzgar hızları ve güneş ışınımındaki değişimler ve gece soğumaları gibi mekanik süreçler ile oluşması ve ortadan kaybolma süreleri ve konumlarının belirlenmesi yönünde pek çok literatür çalışması mevcuttur. (Dong ve ark., 2013; Han ve ark., 2009; Lawson ve Anderson, 2007; Rodgers, 1987; Serbes ve Kavas, 2013; Sharma, 1981; Szumiec, 1985)

Termal katmanlaşmanın belirlenmesi yönünde matematiksel model kullanımları da literatürde oldukça yaygındır. Rice ve ark. (1989) yapmış oldukları çalışmada bir boyutlu

UFILS1 modelini kullanarak gölün katmanlaşma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada ilk yıl için ölçüm verileriyle model kalibre edilmiş ve bir sonraki yıl denenerek yine ölçüm verileriyle karşılaştırılmıştır. Bonnet ve ark. (2000) bir göl üzerinde, model program yardımıyla termal katmanlaşma yapısını modellemişlerdir. Nielsen ve John (2001) bir deniz üzerinde iki boyutlu potansiyel enerji modeli yardımıyla termal katmanlaşma yapısını modellemişlerdir. Sezonluk katmanlaşma döngüsünün modellendiği bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara bakıldığında su kütesinin üst kısmı ile ilgili model sonuçlarının yüksek doğrulukta olduğu, fakat dip kısımlara inildikçe modelin doğruluğunun azaldığı görülmüştür. Mercan ve Kabdaşlı (2008) yapmış oldukları 3 boyutlu hidrodinamik modelleme çalışmasında minimum ve maksimum sıcaklıklar arasındaki farklardan yola çıkarak termal katmanlaşmanın etkinliğini saptamışlardır. Ayrıca, göldeki su hareketi ve bu hareketlere etki eden parametreler belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde bu türde pek çok çalışmanın olduğu görülmektedir (Ahsan ve Blumberg, 1999; Babajimopoulos ve Papadopoulos, 1986; Beletsky ve Schwab, 2001; Belolipetsky ve ark., 2010; Bender ve ark., 2007; Colarusso ve ark., 2003; Genova ve ark., 2010; Spigel, 2008).

Termal katmanlaşmanın belirlenmesinin yanı sıra etkilerinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar incelendiğinde su kalitesinin termal katmanlaşmadan nasıl etkilendiği konusunda çalışmalar bulunurken, ekolojik anlamda da etkilerin değerlendirildiği pek çok çalışma bulunmaktadır. Baharim ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada, 4 adet örnekleme noktası seçmiştir. Bu örnekleme noktalarında sıcaklık ve çözülmüş oksijen ölçümleri 1'er metre aralıklarla yapılmıştır. Ayrıca demir ve manganez analizleri için numuneler alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda katmanlaşmanın ve karışımın oluşma dönemleri ile demir ve manganez konsantrasyonlarının katmanlaşma ile birlikte nasıl bir değişim gösterdiği incelenmiştir. Ayrıca muson dönemlerinde meydana gelen yoğun yağışların su kütlelerinin karışımına neden olduğu görülmüştür. Novotny ve Stefan (2012) yol tuzlama faaliyetlerinden kaynaklanan tuzluluğun gölün termal katmanlaşma dinamikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada hem ölçümler gerçekleştirilmiş hem de MINLAKE modeli ile simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yol tuzlama çalışmalarından kaynaklı, gölde oluşan tuzlu katmanın gölün

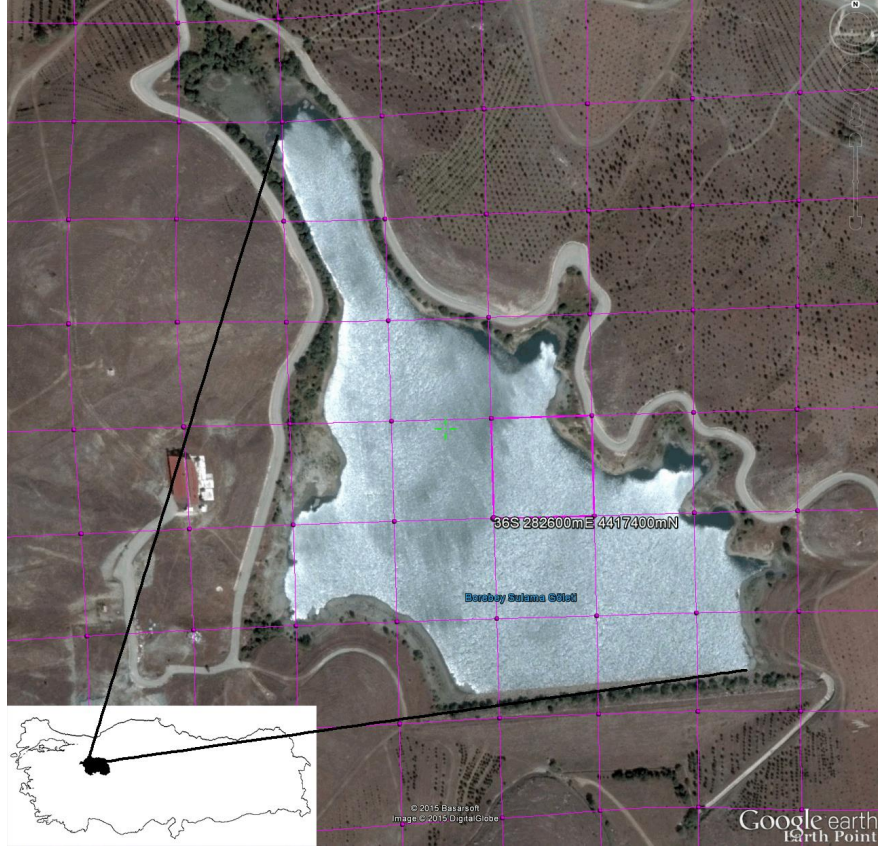
doğal karışım mekanizmalarını etkilediği ve su kalitesi açısından olumsuz bir sonuç ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Mtada (1987) termal katmanlaşmanın Kariba gölünde bulunan balık popülasyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Karışma dönemlerinde balıkların iyi bir şekilde geliştiklerini, termal katmanlaşma döneminde ise besin açısından fakir bir epilimniyon ile besin açısından zengin bir hipolimniyon tabakasının oluşmasının ardından balık veriminde azalma olduğunu ortaya koymuştur. Pinel-Alloul ve ark. (2004) zooplankton topluluklarının termal katmanlaşma sırasında göldeki dikey ve yatay dağılımlarını incelemiştir. Çalışmada, su numuneleri alınarak mikrobiyal analizler gerçekleştirilmiş ve bu analizler sonucu istatistiksel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yaz aylarındaki katmanlaşma sırasında zooplankton dağılımlarının öncelikli olarak fizikokimyasal katmanlaşmaya daha sonra ise abiyotik faktörler ve besin kaynaklarına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Başka bir çalışmada termoklin derinliği yapay olarak azaltılarak, termoklin derinliğinin fitoplankton ve zooplankton topluluklarına etkileri incelenmiştir (Cantin ve ark., 2011). Kettle ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada yeraltı suyunun ılıman ve sığ bir gölün ısı bütçesi ile sezonluk katmanlaşmasına etkilerini incelemiştir. Çalışmada yeraltı suyunun, ısı bütçesine önemli bir etkisi olduğunu ve çalışmanın yapıldığı gölün karışım ve havalandırılmasına önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Miles ve West (2011) termal katmanlaşma ile oluşan soğuk su kirliliğini önlemek amacıyla çalışma bölgesindeki baraj üzerine bir havalandırma sistemi kurmuşlar ve etkilerini incelemiştir. Havalandırma sisteminin kurulmasından önce ve sonra balık kümeleri ile sıcaklık, iletkenlik, çözünmüş oksijen, tuzluluk, bulanıklık gibi su kalitesi parametreleri örneklenmiştir. Havalandırma sisteminin baraj gölü üzerine kurulmasının ardından su sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca balık kümeleri üzerinde istatistiksel analizler yapılarak sayısal artış gözlenmiş ve yeni türlerin de görüldüğü ortaya konulmuştur. Göllerdeki termal katmanlaşmanın etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar son yıllarda büyük bir önem arz etmeye başlamıştır (A. Becker ve ark., 2010; Bini ve ark., 2001; Boegman ve ark., 2008; Elci, 2008; Goldman ve ark., 1996; Jensen ve Andersen, 1987; Rodrigo ve ark., 2000; Rogozin ve ark., 2010).

Göller üzerinde fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ekolojik olarak önemli etkilere sahip bu doğal sürecin iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi, oluş biçimi, konumu ve süresinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi gölün etkin şekilde yönetiminin sağlanması için büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada, küçük hacimli bir sulama göletinin termal katmanlaşma dinamiği izlenmiş ve katmanlaşma süreleri ve katmanlaşma derinlikleri çeşitli metotlar kullanılarak ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, Borabey Göletinin termal katmanlaşma yapısının mevsimsel davranışı ve termal katmanlaşmaya bağlı oluşan bölge hacimleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle gölün batimetrik haritası çıkartılarak gölün derinlik-alan-hacim ilişkisi belirlenmiştir. Göldeki düşey profilde sıcaklık, iletkenlik ve yoğunluk ölçümleri 2013-2014 yılları boyunca yapılarak gölün sıcaklık ve yoğunluk dinamiklerine ait veriler elde edilmiştir. Sonrasın bu veriler kullanılarak, gölün derinliğe bağlı RTRM indis değerleri elde edilmiş ve gölün epilimniyon, metalimniyon ve hipolimniyon gibi tabaka derinlikleri ve bu bölgelerin hacimleri belirlenmiştir.

1.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Termal katmanlaşmanın incelendiği Borabey göleti Eskişehir il merkezinin kuzeyinde Bozdağ yamaçlarında 920 m kotunda yer almaktadır. Borabey Sulama göleti 1991-1992 yılları arasında dönemin Köy Hizmetleri İl Müdürlüğüne 2480 dekar bir alanda 115 çiftçinin yararlanması amacıyla inşa edilmiştir. Göletin faydalı su hacmi 1,3 milyon m³'tür. (Anonim, 2011) Borabey göletinin uydu görüntüsü Şekil 2'de ve batimetrik haritası ise Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Borabey Gölü'nün uydu görüntüsü

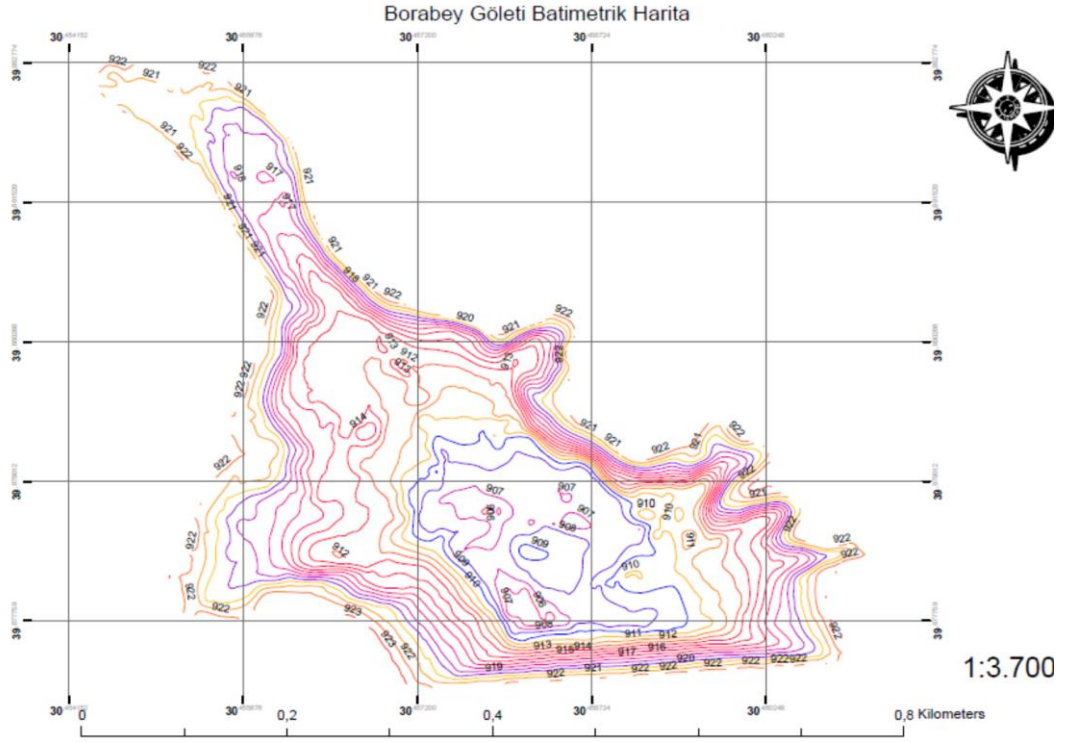
1.2. Batimetri Haritasının Çıkarılması

Borabey göletinin batimetrik haritasının çıkarılması amacıyla gerçekleştirilen arazi çalışmalarında, ölçüm işleminde 2 adet Javad marka GNSS (Global Navigation Sattelite System) alıcısı kullanılmıştır. GNSS alıcı ile Klasik RTK (RTK: GZK: Gerçek zamanlı kinematik) ölçü yöntemi ile arazide dönüşüm için kullanılacak noktaların ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada RTK yöntemi kullanılarak kırk adet nokta ölçülmüş ve dönüşüm işleminde kullanılmıştır. Ayrıca göletin ölçüm zamanındaki sınırları da ölçülmüştür. Arazide ölçülen noktalar kullanılarak ArcGIS yazılımında mevcut haritaları proje koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Dönüştürme işleminden sonra alana ait hassas sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan batimetrik haritalama çalışması için Sontek M9 Akustik Doppler Akım Profil (ADCP) cihazı kullanılmıştır. Göldeki derinliğe bağlı sıcaklık ve tuzluluk değişimlerine göre ses hızındaki

değişikliklerin ve buna bağlı ölçüm hatalarının önüne geçmek üzere cihazın üreticisi olan Sontek firması bu durumlarda kullanılmak üzere el tipi iletkenlik, sıcaklık ve derinlik (CTD) ölçüm cihazı olan CastAway CTD adlı bir ekipman daha üretmiştir. Bu cihaz kullanılarak batimetre ölçümlerinin yapıldığı tarihlerde derinliğe bağlı sıcaklık ve tuzluluk seviyeleri kayıt altına alınmıştır. Bu veriler daha sonra ADCP cihazının ölçümlerinde gerekli düzeltme faktörlerinin hesaplanması amacıyla kullanılmıştır.

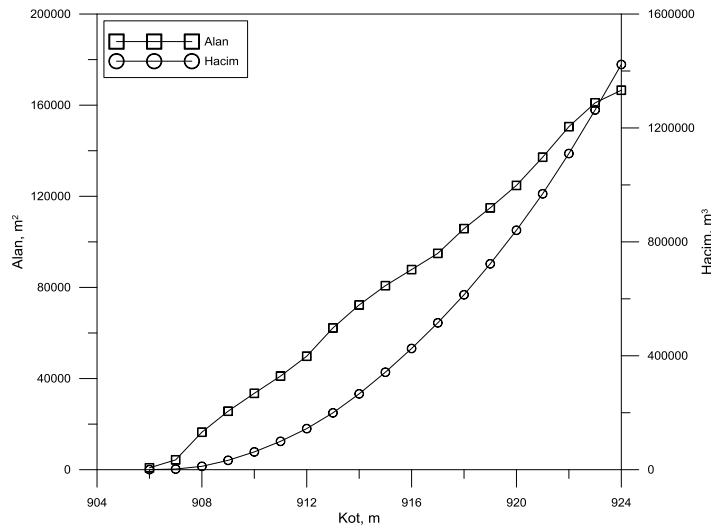
Batimetre haritasının çıkarılması çalışmasında arazide ölçülen batimetri ölçüm noktaları, Coğrafi WGS 84 koordinat sisteminde elde edilmiştir ve ArcGIS yazılımı kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamına aktarılmıştır. Batimetri ölçüm noktalarından yararlanarak Borabey göletinin taban yüksekliğini gösteren kontur haritası üretilmiştir (Şekil 3) (Göncü, Albek, ve ark., 2014), (Göncü, Avdan, ve ark., 2014).



Şekil 3. Borabey Gölü'nün batımetrik haritası.

Batımetri haritası ile birleştirilmiş hassas sayısal yükseklik modeli, göl tabanının alan ve hacim hesaplamalarında kullanılmıştır. Böylelikle gölün kot-alan-hacim ilişkisi belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4). Ayrıca gölün maksimum su kotu baz alınarak kaplayacağı maksimum alan miktarı ve hacmi belirlenmiştir.

Bu hesaplama ile gölün zamana bağlı hacim ve yüzey alanı değerinin kesin olarak saptanabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bu veriler yardımı ile gölün termal katman derinliklerine bağlı olarak her bir katmandaki su hacminin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi sağlanmıştır (Şekil 11).



Şekil 4. Borabey göletine ait kota bağlı Alan-Hacim grafikleri

Gölün fiziksel yapısı incelendiğinde ortalama genişliği yaklaşık 200 m ve ortalama uzunluğu yaklaşık 620 m olup, en geniş yeri 350 m dir. Gölün ortalama derinliği yaklaşık 8,5 m olup en derin yeri 18,8 m derinliğindedir. Gölet tarımsal sulama amaçlı kullanılması nedeniyle yıl boyunca su derinliği değişkenlik göstermektedir. Göl tabanının en düşük kotu 906 m olup, gölün taşkın amaçlı savağının ve olabilecek en yüksek su kotu 924,80 m dir. Borabey göletini besleyen dere ufak bir dere olup yağış dönemlerinde akışa geçmekte ve yaz aylarında kurumaktadır. Gölet sulama amaçlı bir göl olup çıkış noktası 906,33 m kotunda bulunan bir çıkış borusu ile mansabındaki tarım arazilerinin sulama ihtiyaçlarına göre su bırakılmaktadır.

2. MATERYAL METOT

Borabey göletinde termal katmanlaşmanın belirlenmesi amacıyla Şubat 2013-Kasım 2014 tarihleri arasında belirli aralıklarla yapılan ölçüm çalışmalarında, derinliğe bağlı sıcaklık profilleri çıkartılmıştır. Bu amaç için derinlik ve sıcaklık ölçümleri için Castaway-CTD profil cihazı (Şekil 5-a) ve HACH HQ40d multi ölçüm cihazı (Şekil 5-b) kullanılmıştır.

Castaway-CTD cihazı içerisinde bulunan üç adet sensör yardımıyla suyun iletkenliğini,

sıcaklığını ve basıncını ölçebilmektedir. Cihaz su basıncından yola çıkarak ölçüm yapılan derinlik değerini de otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Ayrıca cihaz GPS yardımıyla da ölçümün yapıldığı konumu noktasal olarak belirleyebilmektedir. Cihazın ölçüme başlangıç anında ve ölçümün bitiş anındaki GPS koordinatları kayıt altına alınarak göl üzerinde ölçüm yapılan noktadan herhangi bir kayma veya sapma olup olmadığı da rahatlıkla takip edilebilmektedir. Cihaz 5 Hz'lik bir cevap süresi ile oldukça seri şekilde ölçümler alabilmektedir. Cihaz metrik olarak işaretlenmiş bir kılavuz kablo ile suya indirilmektedir. Böylece cihazın ölçtüğü nihai derinlik değerinin, bu kılavuz kablo uzunluğu ile doğrulaması yapılmıştır. Cihazın spesifik değerlerine göre 1 m/s'lik bir suya indirme hızıyla bile doğru ölçümler alınabildiği belirtilmektedir (Sontek, 2014). Buna karşın çalışma kapsamında yapılan ölçümlerde 0,5 m/s lik indirme hızlarının üzerine çıkılmamasına özen gösterilmiştir. Cihazdaki sıcaklık ölçümleri de 0,05°C'lik hassasiyet seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçüm çalışmaları sonrası cihaz üzerindeki ekranı sayesinde yapılan ölçüm çalışmasının sonuçları grafiksel olarak gözlemlenebilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5. (a) CastAway CTD (b) Hach HQ40d cihazları

Castaway-CTD cihazı ile elde edilen veriler bluetooth ile bilgisayara aktarılmıştır. Sonrasında elde edilen ham veriler MS Excel© programı ile değerlendirilmiştir.

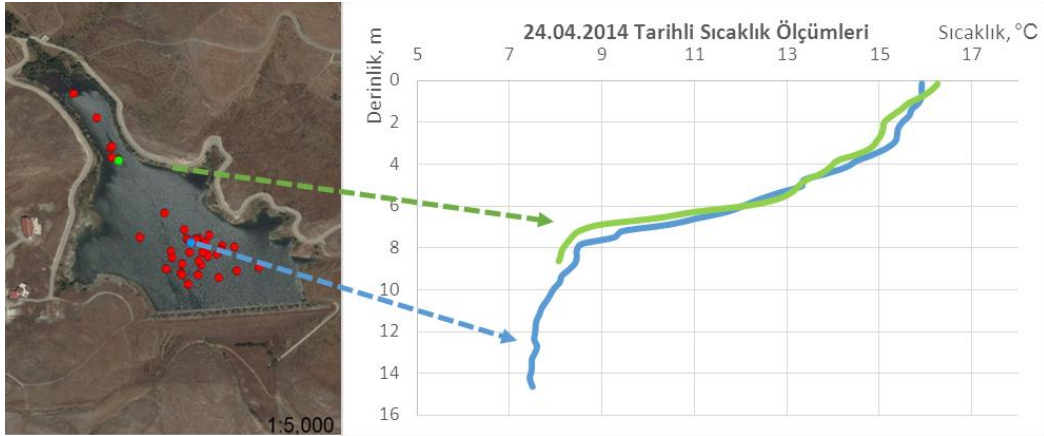
Castaway-CTD cihazı ölçüme başladığı andan itibaren derinlik, sıcaklık, iletkenlik ve basınç ölçümlerini otomatik olarak yapmaktadır. Bu cihaz kapsamında yapılan ölçümlerin doğrulaması amacıyla HACH HQ40d multi ölçüm cihazı kullanılmıştır. HACH HQ40d cihazında bulunan 30 m uzunlukta kabloya sahip LDO çözülmüş oksijen ölçüm probu ile gerçekleştirilen çözülmüş oksijen ölçümleri 1 m derinlik aralıklarıyla yapılmıştır. Cihazın çözülmüş oksijen probunun cevap süresinin uzun olması nedeniyle 1 m aralıklı ölçümlerin aralarında yeterli sürelerde beklenilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. HACH HQ40d cihazı ile elde edilen veriler ise USB data aktarım kablosu yardımıyla bilgisayara veya belleğe aktarılarak gerekli ham veriler elde edilmiştir. Bu cihazdan elde edilen veriler CastAway CTD cihazından elde edilen verilerin

doğruluğunu kontrol etme amaçlı olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, gölün orta kısmına ulaşabilmek üzere motorlu şişme bot ile ulaşım sağlanmıştır (Albek, 2014).

Gerçekleştirilen arazi çalışmaları esnasında Borabey Göleti'ndeki tüm su kütlelerini temsil edecek, mümkün olan en derin noktalarda ölçümler yapılmıştır. Çalışma kapsamında ölçüm yapılan noktalar Şekil 6'da görülmektedir. Göldeki sıcaklık profilleri su derinliğine ve çeşitli meteorolojik koşullara bağlı olarak bölgesel değişiklikler göstermektedir (Şekil 7). Fakat çalışma kapsamında gerçekleştirilen ölçüm çalışmaları suyun hacimsel olarak en büyük kısmını oluşturan, gölün en derin noktasına yakın bölgelerde yoğunluk kazanmıştır. Çalışma kapsamında 2 yıl boyunca 15 günlük zaman aralıkları ile ölçüm çalışmalarının yapılmasına gayret gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda Şubat 2013 - Kasım 2014 tarihleri arasında Borabey Göleti'nde 46 adet sıcaklık ölçümü yapılmıştır.



Şekil 6. 2013 ve 2014 yıllarında ölçüm yapılan noktalar



Şekil 7. 24.04.2014 tarihli ölçüm çalışması derinlik-sıcaklık profil sonuçları

2.1. Göldeki Termal Katmanlaşma Derinliklerinin RTRM (Relative Thermal Resistance to Mixing) Değerine Göre Belirlenmesi

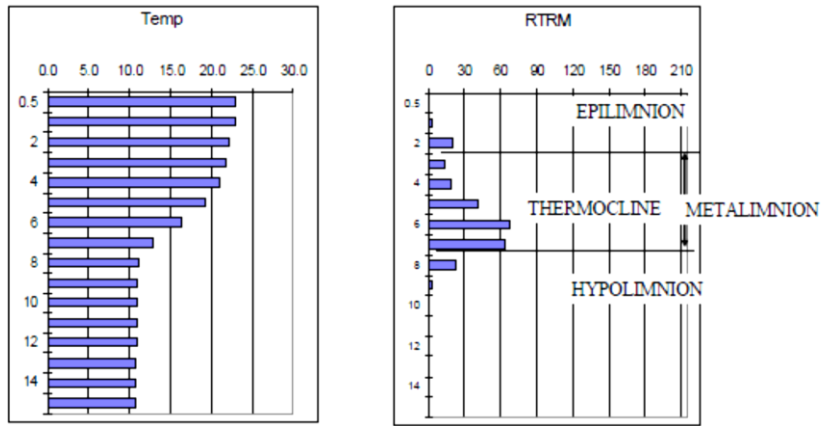
Su kütlelerinde oluşan termal katmanlaşmanın yoğunluğu ardışık derinlikler için hesaplanan bağıl termal karışım dirençlerinin (RTRM) karşılaştırılması ile elde edilebilmektedir. RTRM indeksi konusunda ilk çalışmalar Birge (1910) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu indeks birçok çalışmada RTRM olarak geçmekle birlikte V. Becker ve ark. (2009), C. W. C. Branco ve ark. (2009) ve Alpaslan ve ark. (2012) gerçekleştirdikleri çalışmalarda bu indeksten su kolonunun bağıl kararlılığı (RWCS/Relative Water Column Stability) şeklinde ifade etmişlerdir.

RTRM indeksi Denklem (1) kullanılarak hesaplanabilmektedir (Chimney ve ark., 2006).

$$\psi = \frac{\rho_{z2} - \rho_{z1}}{\rho_4 - \rho_5} \quad (1)$$

Burada ψ , RTRM indeksini ifade etmektedir ve birimsizdir; ρ_{z2} ve ρ_{z1} , z_1 ve z_2 derinliklerindeki su yoğunluğunu ifade etmektedir ve birimi kg/m^3 'tür; ρ_4 ve ρ_5 , sırasıyla 4 ve 5°C'lerde suyun yoğunluğunu ifade etmektedir (Chimney ve ark., 2006).

Birer metre aralıklarla hesaplanan RTRM değerlerinden, 20'den büyük olanlar genellikle metalimniyon bölgesinin alt ve üst sınırlarının bulunduğu derinlikleri işaret etmektedir. Ayrıca RTRM değerleri toplanabilmektedir ve toplam RTRM değeri de termal katmanlaşmanın karışıma karşı toplam direncini göstermektedir. RTRM değerlerinin kullanımı Şekil 8'de verilmiştir (Kortmann, 2011).



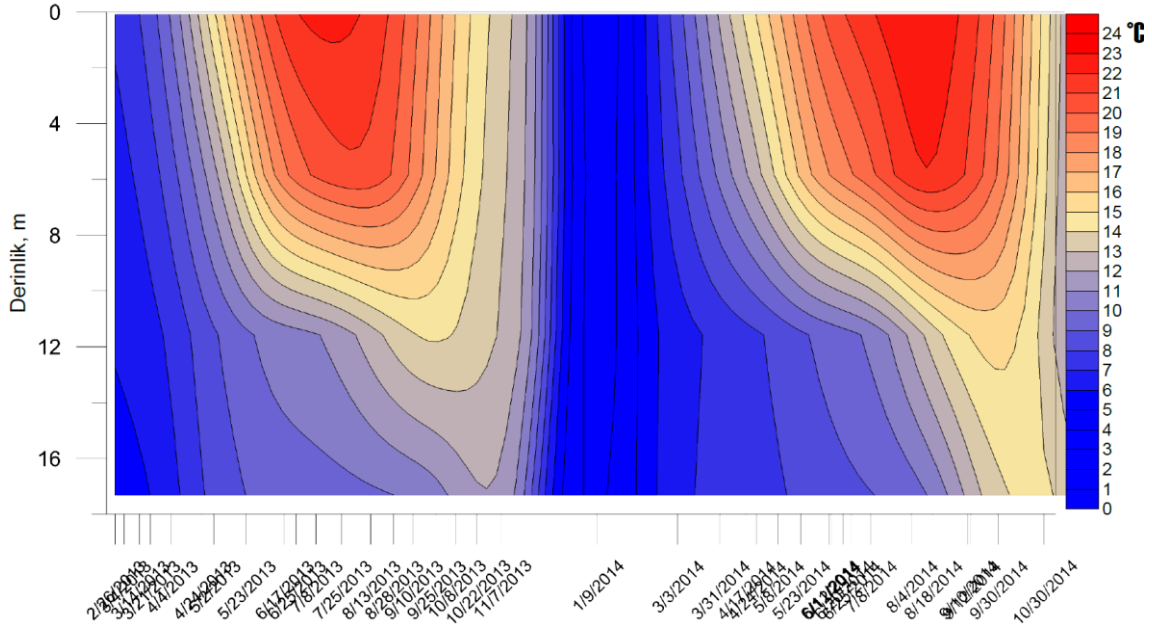
Şekil 8. RTRM İndeksinin kullanımı (Kortmann, 2011)

Kısaca RTRM değeri göllerdeki termal katmanlaşmanın ölçülmesi konusunda basit ve bilgi verici bir indekstir. Termoklin bölgesinin yerini, metalimniyon bölgesinin genişliğini ve termal katmanlaşmanın kararlılığını göstermektedir (Kortmann, 2011).

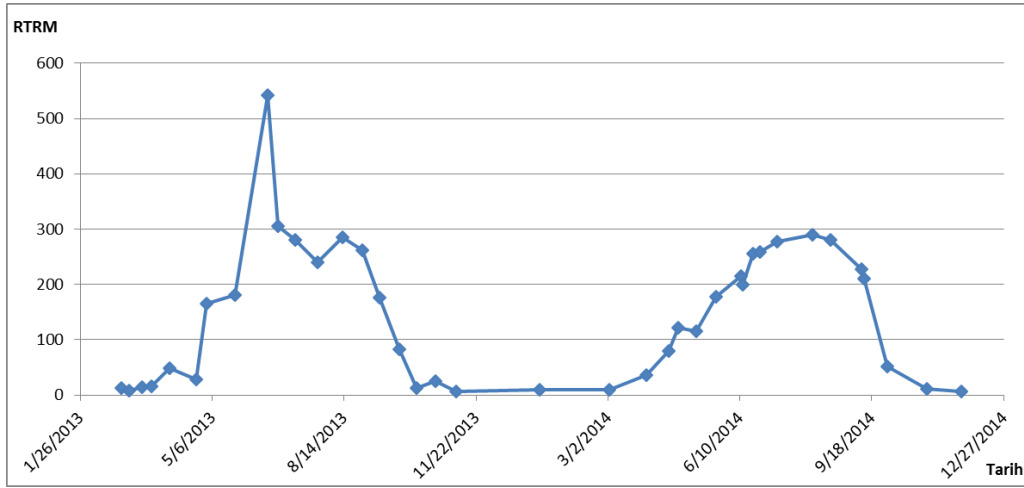
3. Sonuçlar

Borabey göletinin en derin bölgesinde yapılan ölçüm çalışmaları sonucunda 2013-2014 yıllarına ait derinliğe bağlı sıcaklık profili Şekil 9'da ve Castaway-CTD cihazından elde edilen yoğunluk verileriyle hesaplanan derinliğe bağlı toplam RTRM değerleri Şekil 10'da verilmiştir.

Derinliğe bağlı sıcaklık ölçümleri ve hesaplanan toplam RTRM değerlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, termal katmanlaşmanın 2013 yılı içerisinde Nisan ayı sonu Mayıs ayı başlangıcı gibi, 2014 yılı içerisinde ise Nisan ayının ortaları gibi oluştuğu gözlemlenmiştir. Ayrıca hesaplanan toplam RTRM değerleri incelendiğinde 2013 yılı içerisinde oluşan termal katmanlaşmanın karışım direncinin, 2014 yılı içerisinde oluşan termal katmanlaşmanın karışım direncinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. (Bkz. Şekil 10)



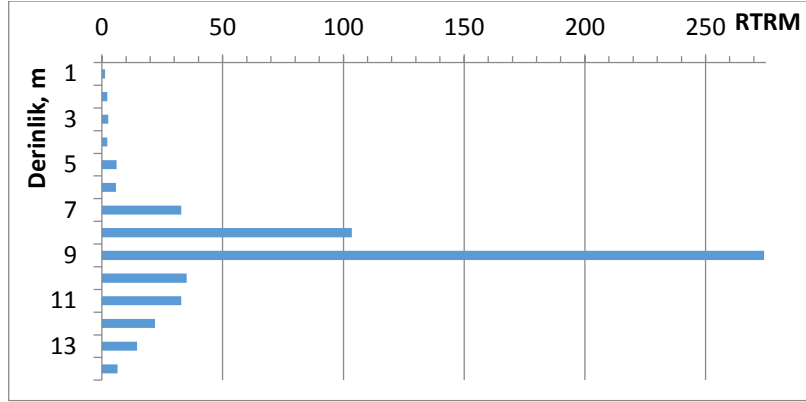
Şekil 9. Borabey Gölünün sıcaklık profili (°C)



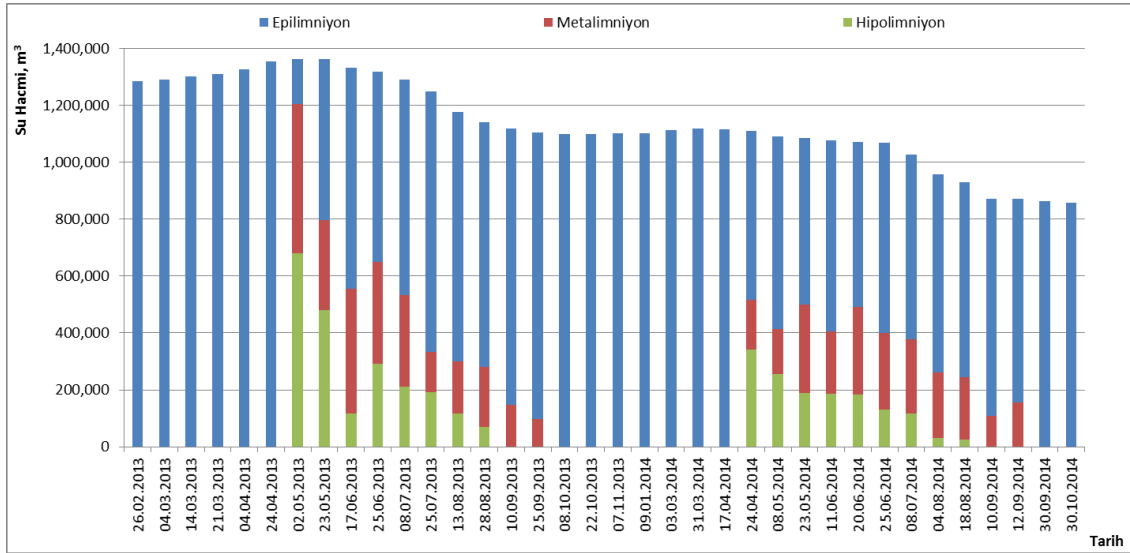
Şekil 10. Borabey Gölünün toplam RTRM değerleri

Termal katmanlaşmanın karışım direncinin en güçlü olduğu 17 Haziran 2013 tarihinde yapılan ölçüm çalışması sonucu hesaplanan, derinliğe bağlı RTRM değerleri incelendiğinde; Borabey göletinin 0-7 m derinliğinde epilimniyon bölgesinin, 7-12 m arasında metalimniyon bölgesinin ve 12 m'den sonrasında ise hipolimniyon bölgesinin oluştuğu gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 11). Bu tarihe ait

eşel ölçümü ve Borabey göletinin kot-hacim verileri kullanılarak termal katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin hacimleri belirlenmiştir. Ayrıca ölçüm yapılan tüm tarihler için de RTRM indeksleri kullanılarak, termal katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin oluşum derinlikleri belirlenmiş, eşel ölçümleri ve kot-hacim verileri kullanılarak bu bölgelerin hacimleri belirlenmiştir (Bkz Şekil 12).



Şekil 11. Borabey Göleti 17.06.2013 tarihli arazi çalışması sonucunda elde edilen derinliğe bağlı RTRM değerleri



Şekil 12. Borabey Göletinin bölge hacimleri

Sonuç olarak termal katmanlaşmanın olduğu 2013 yılı Mayıs-Ağustos ayları ve 2014 yılı Nisan-Ağustos ayları arasındaki termal katmanlaşma yapısı incelendiğinde, her bir katmana ait hacim değerleri Çizelge 1'deki gibi belirlenmiştir. Buna göre Borabey Göletinde termal katmanlaşmanın olduğu dönemde gölün toplam hacminin yaklaşık %20'lik bir kısmının Hipolimniyon, %20'lik bir kısmının Metalimniyon ve kalan %60'lık kısmının ise Epilimniyon bölgesi olarak nitelendirilebileceği görülmektedir. Fakat bu oransal dağılım yıllık ortalama hacimler esas alınması durumunda geçerlidir. Katmanlaşmanın oluşum süreci incelendiğinde Şekil 11'de görüldüğü üzere bahar aylarında hava sıcaklığının artması ile birlikte göldeki termal katmanlaşmanın yukarıdan itibaren katmanlaşmanın oluşmaya

başladığı ve Mayıs ayından itibaren hipolimniyon bölgesi hacminin göreceli olarak daha fazla olduğu görülmektedir. Zamana bağlı olarak katmanlaşma yapısı irdelendiğinde hipolimniyon tabaka hacminin giderek azaldığı ve sonbahar aylarında artan rüzgar hızlarına bağlı termal katmanlaşmanın bozulması ile bu tabakanın ortadan kalktığı görülmektedir. Kış aylarında üst katmanlarda daha düşük sıcaklıklar ve diplerde daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Kış aylarında da yüzeysel bir katmanlaşma yapısı gözlemlense de RTRM hesaplamalarında bu katmanlaşmanın önemli boyutlarda olmadığı görülmektedir. Bu nedenle gölün yılda 1 kez karışım yaptığı ve bu nedenle monomiktik bir göl olduğu söylenebilir.

Çizelge 1. Borabey Göletine ait 2013 ve 2014 yıllarındaki termal katmanların hacimleri

	Bölge Hacimleri		Bölge Yüzdeleri	
	2013	2014	2013	2014
Epilimniyon, m³	697226	645403	55	61
Metalimniyon, m³	311529	234742	24	23
Hipolimniyon, m³	270180	162288	21	16
Toplam, m³	1278935	1046434	100	100

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışma sonucunda Borabey Göletinin mevsimsel bazda sıcaklık profili değişimleri elde edilmiştir. Böylelikle göldeki termal katmanlaşma yapısının mevsimsel olarak nasıl değişim gösterdiği, yıllık bazda kaç karışım dönemine sahip olduğu belirlenmiştir.

Göl ekosistemleri ele alındığında, göllerde yaşayan kuşlar ve diğer memeliler haricindeki canlılar vücut sıcaklığını dış çevre sıcaklığına göre ayarlayan (poikloterm) bir yapıya sahiptir. Özellikle balıklar bu özelliğe sahiptir. Bunun dışındaki diğer canlılar ise daha dar sıcaklıklarda yaşayabilen (stenotermik) veya daha geniş sıcaklık aralıklarında yaşayabilen (ötermik) türler olarak karşımıza çıkmaktadır. Monomiktik özellik gösteren Borabey göletinde yaşayan sazan balığı (*Cyprinus carpio*), bu ortam koşullarında hayatını sürdürmeye devam etmektedir. Fakat bölgesel olarak yaşanabilecek şiddetli bir fırtına gibi aşırı hava olaylarının olması durumunda bu katmanlaşma ve karışım çevriminin bozulabileceği unutulmamalıdır. Özellikle bu tür olaylar sonrası dip sedimentteki birikmiş Hidrojen Sülfür (H_2S) gazının su ortamına karışması ile birlikte gölde toplu balık ölümlerine sebep olabilmektedir (Güner, 2014).

Yine göllerdeki su hareketlerinin yapısını da bu termal katmanlaşma olayı önemli düzeyde etkilemektedir. Rüzgar gibi meteorolojik dış etmenlerin etkisinin yanı sıra, termal katmanlaşma gibi iç dinamiklerdeki değişimler de göllerdeki su hareketini etkilemektedir. Bu durum göllerdeki besin maddelerinin taşınımı gibi önemli mekanizmaları da etkileyebilmektedir.

Termal katmanlaşmanın en önemli etkilerinden birisi de su kütlelerindeki çözünmüş gazların miktarını ve taşınımını etkilemesidir. Sıcaklığın gazların çözünürlüğü üzerine olan ters orantılı etkisi nedeniyle sıcak su

kütlelerinde gazların çözünürlüğü azalmaktadır. O_2 , CO_2 , H_2S , N_2 , NH_3 , SO_2 , CO vb. gibi gazların miktarları termal katmanlaşmanın etkisi ile bölgesel olarak farklılıklar gösterir. Özellikle katmanlaşmanın yoğun ve organik madde yükünün fazla olduğu göl su kütlelerinde hipolimniyon bölgesinde biyolojik aktiviteye bağlı oksijen tüketiminin yüksek olması nedeniyle anoksik veya anaerobik ortamlar ile karşılaşılabilir. Göl ortamlarında biyolojik aktivitenin göreceli olarak daha düşük olduğu oligotrofik göllerde çözünmüş oksijenin sudaki dağılımı termal katmanlaşma gibi fiziksel süreçlerden daha fazla etkilenirken, organik madde yükünün yoğun olduğu ve biyolojik aktivitenin yoğun olduğu ötrofik göl su kütlelerinde ise biyolojik süreçler, sudaki oksijenin dağılımında önemli bir etken haline gelebilmektedir.

Göllerdeki tuzluluk miktarı ve dağılımında da termal katmanlaşma ve karışım dönemlerinin etkisi oldukça fazladır. Karışım dönemlerinde dip sediment ile nispeten çözünmüş katı içeriği düşük olan üst su katmanlarının karışım esnasında etkileşimi sonucunda çözünmüş madde içeriğinin daha da artması durumu ile karşılaşılır. Bu durum sucul ekosistemin su dengesi, osmosis ve difüzyon gibi mekanizmaları üzerinde etkili olabilmektedir.

Tüm bu süreçler göz önüne alındığında göllerde termal katmanlaşma yapısının belirlenmesi ve mevsimsel değişimlerinin incelenmesi yukarıda bahsi geçen hususların değerlendirilmesi ve olumsuz bazı durumların oluşması durumunda çeşitli eylem planlarının geliştirilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışma bulgularından elde edilen veriler ışığı altında, mevcut çalışmanın kapsamı daha da genişletilmesi planlanmaktadır. Bu kapsamda göldeki çözünmüş oksijen ve tuzluluk profilleri

de irdelenerek birbirleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesine çalışılacaktır. Bu kapsamda tüm gölün yapısını ele alacak şekilde, kapsamlı bir hidrodinamik ve su kalitesi model programı kullanılarak göldeki sıcaklık, çözülmüş oksijen ve bunlarla ilişkili su kalitesi modelleme çalışması yapılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 1208F129 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca, bu çalışmaya destek verdikleri için AÜ.Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü'ne teşekkür ederiz (Proje Yürütücüsü: S.Göncü).

5. KAYNAKLAR

Ahsan, A. K. M. Q. ve Blumberg, A. F. (1999). Three-dimensional hydrothermal model of Onondaga Lake, New York. *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 125(9), 912-923. doi: 10.1061/(Asce)0733-9429(1999)125:9(912).

Albek, E. (2014). *Borabey Göleti ve Havzasının Su Kalitesinin Belirlenmesi ve Havza-Gölet Kalite Dinamiğinin İncelenmesi*. (Genel Amaçlı Ortak Proje, Proje No:1206F097), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

Alpaslan, K., Sesli, A., Tepe, R., Ozbey, N., Birici, N., Seker, T. ve Kocer, M. A. T. (2012). Vertical and Seasonal Changes of Water Quality in Keban Dam Reservoir. *Journal of FisheriesSciences.com*, 6(3), 252-262-262. doi: 10.3153/jfscom.2012029.

Anonim. (2011). Borabey Göletinin Kısa Tarihçesi. 2014, from <http://www.sehircizetesi.com.tr/yazardeta y.asp?haber=1558&yazar=8>

Babajimopoulos, C. ve Papadopoulos, F. (1986). Mathematical Prediction of Thermal Stratification of Lake Ostrovo (Vegorit), Greece. *Water Resources Research*, 22(11), 1590-1596. doi: 10.1029/Wr022i011p01590.

Baharim, N. H., Ismail, R. ve Omar, M. H. (2011). Effects of Thermal Stratification on the Concentration of Iron and Manganese in a Tropical Water Supply Reservoir. *Sains Malaysiana*, 40(8), 821-825.

Becker, A., Kirchesch, V., Baumert, H. Z., Fischer, H. ve Schol, A. (2010). Modelling the Effects of Thermal Stratification on the Oxygen Budget of an Impounded River. *River Research and Applications*, 26(5), 572-588. doi: 10.1002/Rra.1260.

Becker, V., Huszar, V. L. M. ve Crossetti, L. O. (2009). Responses of Phytoplankton Functional Groups to the Mixing Regime in a Deep Subtropical Reservoir. *Hydrobiologia*, 628(1), 137-151.

Beletsky, D. ve Schwab, D. J. (2001). Modeling Circulation and Thermal Structure in Lake Michigan: Annual Cycle and Interannual Variability. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 106(C9), 19745-19771. doi: 10.1029/2000jc000691.

Belolipetsky, P. V., Belolipetskii, V. M., Genova, S. N. ve Mooij, W. M. (2010). Numerical Modeling of Vertical Stratification of Lake Shira in Summer. *Aquatic Ecology*, 44(3), 561-570. doi: 10.1007/s10452-010-9330-z.

Bender, M. D., Kubitschek, J. P. ve Vermeyen, T. B. (2007). Temperature Modeling of Folsom Lake, Lake Natoma, and the Lower American River Special Report. Sacramento County, California.

Bini, L. M., Bonecker, C. C. ve Lansac-Toha, F. A. (2001). Vertical distribution of Rotifers on the Upper Parana River Floodplain: the Role of Thermal Stratification and Chlorophyll-a. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 36(3), 241-246. doi: 10.1076/snfe.36.3.241.2120.

Birge, E. (1910). An Unregarded Factor in Lakes Temperatures. *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett*, 16, 989-1004.

- Boegman, L., Loewen, M. R., Hamblin, P. F. ve Culver, D. A. (2008). Vertical Mixing and Weak Stratification over Zebra Mussel Colonies in Western Lake Erie. *Limnology and Oceanography*, 53(3), 1093-1110. doi: 10.4319/lo.2008.53.3.1093.
- Boehrer, B. ve Schultze, M. (2008). Stratification of Lakes. *Reviews of Geophysics*, 46.
- Bonnet, M. P., Poulin, M. ve Devaux, J. (2000). Numerical modeling of Thermal Stratification in a Lake Reservoir. Methodology and Case Study. *Aquatic Sciences*, 62(2), 105-124. doi: 10.1007/s000270050001.
- Branco, B. F. ve Torgersen, T. (2009). Predicting The Onset of Thermal Stratification in Shallow Inland Waterbodies. *Aquatic Sciences*, 71(1), 65-79. doi: 10.1007/s00027-009-8063-3.
- Branco, C. W. C., Kozlowsky-Suzuki, B., Sousa-Filho, I. F., Guarino, A. W. S. ve Rocha, R. J. (2009). Impact of Climate on the Vertical Water Column Structure of Lajes Reservoir (Brazil): A Tropical Reservoir Case. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 14(3), 175-191-191. doi: 10.1111/j.1440-1770.2009.00403.x.
- Cantin, A., Beisner, B. E., Gunn, J. M., Prairie, Y. T. ve Winter, J. G. (2011). Effects of Thermocline Deepening on Lake Plankton Communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(2), 260-276. doi: 10.1139/F10-138.
- Chapman, L. J., Chapman, C. A., Crisman, T. L. ve Nordlie, F. G. (1998). Dissolved Oxygen and Thermal Regimes of a Ugandan Crater Lake. *Hydrobiologia*, 385, 201-211. doi: 10.1023/A:1003527016384.
- Chimney, M. J., Wenkert, L. ve Pietro, K. C. (2006). Patterns of Vertical Stratification in a Subtropical Constructed Wetland in South Florida (USA). *Ecological Engineering*, 27(4), 322-330. doi: DOI 10.1016/j.ecoleng.2006.05.017.
- Colarusso, L. A., Chermak, J. A., Priscu, J. C. ve Miller, F. K. (2003). Modeling Pit Lake Water Column Stability using Ce-Qual-W2. *Tailings and Mine Waste '03*, 213-222.
- Consi, T. R., Anderson, G., Barske, G., Bootsma, H., Hansen, T., Janssen, J., and Waples, J. T. (2008). Real Time Observation of the Thermal Bar and Spring Stratification of Lake Michigan with the GLUCOS Coastal Observatory. *Oceans 2008, Vols 1-4*, 1338-1346.
- Dong, C. Y., Yu, Z. M., Wu, Z. X. ve Wu, C. J. (2013). Study on Seasonal Characteristics of Thermal Stratification in Lacustrine Zone of Lake Qiandao. *Huan Jing Ke Xue*, 34(7), 2574-2581.
- Elci, S. (2008). Effects of Thermal Stratification and Mixing on Reservoir Water Quality. *Limnology*, 9(2), 135-142. doi: DOI 10.1007/s10201-008-0240-x.
- Findenegg, I. (1933). Alpenseen ohne Vollzirkulation. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 28(3-4), 295-311. doi: 10.1002/iroh.19330280309.
- Fischer, H. B., List, J. E., Koh, C. R., Imberger, J. ve Brooks, N. H. (1980). *Mixing in Inland and Coastal Waters*: Elsevier Science.
- Genova, S. N., Belolipetskii, V. M., Rogozin, D. Y., Degermendzhy, A. G. ve Mooij, W. M. (2010). A one-dimensional Model of Vertical Stratification of Lake Shira Focussed on Winter Conditions and Ice Cover. *Aquatic Ecology*, 44(3), 571-584. doi: 10.1007/s10452-010-9327-7.
- Goldman, C. R., Elser, J. J., Richards, R. C., Reuter, J. E., Priscu, J. C. ve Levin, A. L. (1996). Thermal Stratification, Nutrient Dynamics, and Phytoplankton Productivity During the Onset of Spring Phytoplankton Growth in Lake Baikal, Russia. *Hydrobiologia*, 331(1-3), 9-24. doi: 10.1007/Bf00025403.
- Göncü, S., Albek, E., Avdan, U. ve Avdan, Z. Y. (2014). *Porsuk Baraj Gölü'nün Katmanlaşmaya Bağlı Çözünmüş Oksijen Derişiminin Monitorlanması ve Gölün*

- Doğal Özümseme Kapasitesinin Arttırılmasına Yönelik Hipolimnetik Havalandırma Yönteminin Uygunluğunun Araştırılması. (Genel Amaçlı Ortak Proje, Proje No:1208F129), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Göncü, S., Avdan, U., Yiğit Avdan, Z. ve Hasanoğlu, E. (2014). *Akustik Doppler Cihazı Kullanılarak Batimetri Haritasının Elde Edilmesi*. Paper presented at the 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Çorum.
- Güner, U. (2014). *Limnoloji*. İç Kullanım İçin Limnoloji Notları. Derleme. Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü. Retrieved from http://www.academia.edu/1746691/Limnoloji_Notlar%C4%B1
- Han, Y. M., Wang, R. Z. ve Dai, Y. J. (2009). Thermal stratification within the water tank. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13(5), 1014-1026. doi: 10.1016/j.rser.2008.03.001.
- Hutchinson, G. E. (1957). *A Treatise on Limnology: Geography, Physics, and chemistry. pt. 1. Geography and Physics of Lakes*: Wiley.
- Imberger, J. ve Patterson, J. C. (1989). Physical Limnology. In W. H. John ve Y. W. Theodore (Eds.), *Advances in Applied Mechanics* (Vol. Volume 27, pp. 303-475): Elsevier.
- Jensen, H. S. ve Andersen, F. O. (1987). Sulfate Reduction in a Coastal Lake during Summer Stratification. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 108(4), 465-481.
- Kettle, A. J., Hughes, C., Unazi, G. A., Birch, L., Mohie-El-Din, H. ve Jones, M. R. (2012). Role of Groundwater Exchange on the Energy Budget and Seasonal Stratification of a Shallow Temperate Lake. *Journal of Hydrology*, 470, 12-27. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.07.004.
- Kortmann, R. W. (2011). *RTRM Relative Thermal Resistance to Mixing*. Ecosystem Consulting Service, Inc. Retrieved from <http://science.kennesaw.edu/~jdirnber/limno/LecApplied/RTRM.pdf>
- Lap, B. Q., Tuan, N. V., Hamagami, K., Iguchi, S., Mori, K. ve Hirai, Y. (2009). Formation and Disappearance of Thermal Stratification in a Small Shallow Lake. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 54(1), 251-259.
- Lawson, R. ve Anderson, M. A. (2007). Stratification and mixing in Lake Elsinore, California: An assessment of Axial Flow Pumps for Improving Water Quality in a Shallow Eutrophic Lake. *Water Research*, 41, 4457-4467.
- Mercan, D. E. ve Kabdaşlı, S. (2008). 1998 su yılı için Beyşehir Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 7(2), 75-82.
- Miles, N. G. ve West, R. J. (2011). The use of an Aeration System to Prevent Thermal Stratification of a Freshwater Impoundment and Its Effect on Downstream Fish Assemblages. *J Fish Biol*, 78(3), 945-952. doi: 10.1111/j.1095-8649.2010.02896.x.
- Mtada, O. S. M. (1987). The influence of thermal stratification on Pelagic Fish Yields in Lake Kariba, Zambia/Zimbabwe. *The Fisheries Society of the British Isles*, 30, 127-133.
- Nielsen, M. H. ve John, M. S. (2001). Modelling Thermal Stratification in the North Sea: Application of a 2-D Potential Energy Model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 607-617.
- Novotny, E. V. ve Stefan, H. G. (2012). Road Salt Impact on Lake Stratification and Water Quality. *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 138(12), 1069-1080. doi: 10.1061/(Asce)Hy.1943-7900.0000590.
- Pinel-Alloul, B., Methot, G. ve Malinsky-Rushansky, N. Z. (2004). A Short-Term Study of Vertical and Horizontal Distribution of Zooplankton During Thermal Stratification in Lake Kinneret, Israel? *Hydrobiologia*, 526(1), 85-98. doi: 10.1023/B:Hydr.0000041611.71680.Fc.
- Rice, D. A., Tsay, T. K., Effler, S. W. ve Driscoll, C. T. (1989). Modeling Thermal Stratification in Transparent Adirondack

- Lake. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 115(4), 440-456.
- Rodgers, G. K. (1987). Time of Onset of Full Thermal Stratification in Lake-Ontario in Relation to Lake Temperatures in Winter. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(12), 2225-2229. doi: 10.1139/F87-273.
- Rodrigo, M. A., Vicente, E. ve Miracle, M. R. (2000). The Role of Light and Concentration Gradients in the Vertical Stratification and Seasonal Development of Phototrophic Bacteria in a Meromictic Lake. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 148(4), 533-548.
- Rogozin, D. Y., Trusova, M. Y., Khromechek, E. B. ve Degermendzhy, A. G. (2010). Microbial Community of the Chemocline of the Meromictic Lake Shunet (Khakassia, Russia) during summer stratification. *Microbiology*, 79(2), 253-261. doi: 10.1134/S0026261710020189.
- Şen, Z. (2003). *Su Bilimi ve Yöntemleri*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Serbes, U. C. ve Kavas, C. Y. (2013). *Borabey Göleti'ndeki Termal Katmanlaşmanın Belirlenmesi ve Göletin Batimetrik Haritasının Çıkarılması*. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Sharma, P. C. (1981). Observations on Thermal Stratification in Bhimtal Lake. *Comparative Physiology and Ecology*, 6(1), 15-16.
- Song, K., Xenopoulos, M. A., Buttle, J. M., Marsalek, J., Wagner, N. D., Pick, F. R. ve Frost, P. C. (2013). Thermal Stratification Patterns in Urban Ponds and Their Relationships with Vertical Nutrient Gradients. *J Environ Manage*, 127, 317-323. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.052.
- Sontek. (2014). CastAway CTD. 2014, from <http://www.sontek.com/productsdetail.php?CastAway-CTD-11>
- Spigel, R. (2008). Lake Ototoa Study: Modeling Thermal Stratification. Auckland Regional Council: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.
- Szumiec, M. A. (1985). Formation of Thermal Stratification in a Small Temperate Lake. *Freshwater Biology*, 15(5), 581-586. doi: 10.1111/j.1365-2427.1985.tb00228.x.
- Tate, K. W., Lancaster, D. L. ve Lile, D. F. (2007). Assessment of Thermal Stratification within Stream Pools as a Mechanism to Provide Refugia for Native Trout in Hot, Arid Rangelands. *Environ Monit Assess*, 124(1-3), 289-300. doi: 10.1007/s10661-006-9226-5.