



Erçek Gölü su kolonunun mevsimsel sıcaklık dinamiği, Doğu Anadolu/Türkiye

Seasonal temperature dynamics of Lake Erçek water column, Eastern Anatolia/Turkey

Ayşegül Feray MEYDAN^{1*} , Suna AKKOL² 

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye.

feraygokdere@yyu.edu.tr

²Zootekni Bölümü, Ziraat Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye.

sgakkol@yyu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.06.2019
Kabul Tarihi/Accepted: 24.10.2019

Düzeltilme Tarihi/Revision: 21.10.2019

doi: 10.5505/pajes.2019.64436
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Erçek Gölü, Türkiye'nin doğusunda farklı iklim sistemlerin kesiştiği kilit bir noktada yer almasıyla birlikte, Van Gölü'nden sonra havzada yer alan ikinci büyük kapalı havza gölüdür. Su kolonunda daha önce gerçekleştirilen çalışmalar, su kolonunun yıl boyunca sıcaklığında meydana gelen değişimlerin açıklanması için yeterli değildir. Bu çalışma kapsamında 2016-2017 yılları arasında 12 ay süresince gölün en derin noktasından dikey olarak su kolonunda CTD cihazı ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Göl suyu sıcaklığının değişiminin incelendiği bu çalışmada elde edilen veriler kapsamında, göl su kolonunun Mayıs-Kasım ayları arasında termal tabakalanma gösterdiği ve kış mevsiminde su kütlelerinin karıştığı ortaya konulmuştur. Tüm veriler doğrultusunda Erçek Gölü "Holomiktik Göl" sınıfına dahil edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Erçek Gölü, Termal tabakalanma, Su kolonu.

Abstract

Lake Erçek is located in eastern Turkey which has a key point where different climatic systems intersect and after Lake Van it is the second largest closed basin lake in the basin. Previous studies in the water column are not sufficient to explain changes in the water column's temperature throughout the year. With this study's scope, temperature measurements were carried out in the water column vertically from the lake's deepest point for 12 months between 2016-2017 with CTD device. In this study, the lake water temperature change was investigated and it was revealed that the lake water column showed thermal stratification between May and November, and the water body mixed in winter. All data showed that Lake Erçek is included in the "Holomictic Lake" class.

Keywords: Lake Erçek, Thermal stratification, Water column.

1 Giriş

Göllerin su kolonunu konu alan çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir terim olan termal tabakalanma, gölün güneş ışınları ile ısınmasıyla su kolonunda meydana gelen tabakalaşmaya verilen addır. Termal tabakalanma göllerde temel ve önemli bir fiziksel süreç olan dikey profillerde su sıcaklığının değişken dağılımını ifade etmektedir. Besin maddesince kısıtlı olan buna rağmen ışığın bol olduğu yüzey suları atmosfer ile temas halinde olduğundan güneş ışınları ile kolay bir şekilde ısıtılır. Buna karşın ışığın yetersiz olduğu ve besin maddesince bol olan derin sularda sıcaklık az ve durağandır [1]. İyi karışmış yüzey suları (epilimniyon) ile nisbeten daha durağan dip suları (hipolimniyon) arasında keskin bir sıcaklık değişiminin gözlemlendiği bölge termoklin tabakası (metalimniyon) olarak tanımlanmaktadır. Su sütununun bu şekilde sınıflandırılmasının çözünmüş oksijen, besin maddesi ve ışık gibi birçok fiziksel ve kimyasal olay üzerinde önemli etkisi vardır. Bu nedenle termal tabakalanma sudaki organizmalar için besin tedarikini sınırlayan, oksijen ve diğer çözünmüş gazların dikey taşınmasını sınırlayan kararlı bir durumdur [2]. Termal tabakalanmanın kararlılığı (sürekliliği) sediman ve su kolonu arasında meydana gelen kimyasal elementlerin değişimi ile su kütlelerinin kimyasal özelliklerini değiştirir [3]. Termal tabakalanma, birçok iç ve dış etken tarafından kontrol edilir. Bu etkenlerden en önemlisi iklim değişiklikleridir.

Çoğunlukla kurak, yarı-kurak iklimde yer alan tuzlu ve kapalı göllerin su kolonundaki karışım iklim koşullarına hassasiyet göstermektedir [4]. İklimde meydana gelen değişiklikler göllerin termal tabakalanma özelliklerini değiştirmektedir. Bu değişimler tabakalanmanın oluşum süresi, termoklin tabakasının derinliği ile kalınlığı ve termal tabakalanmanın süresi gibi özelliklerde meydana gelen değişimlerdir. Birçok çalışmada iklimde meydana gelen ısınmanın termal tabakalanmanın yoğunlaşmasını sağladığı, uzun vadede sıcaklığın arttığı bununla birlikte kısa vadede aşırı sıcakların termoklin derinliğini düşürdüğü ve göllerde gözlenen termal tabakalanmanın kararlılığının uzun sürdüğü gözlenmiştir [5],[7]. Uzun vadede termal tabakalanmadaki kararlılık başta ötrofikasyon olmak üzere göllerde yaşamı tehdit edecek birçok sonuç doğurabilmektedir. Bu nedenle termal tabakalanmanın anlaşılması küresel ısınmanın göllerin ekolojik çevrelerinde meydana getirdiği değişimlerin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.

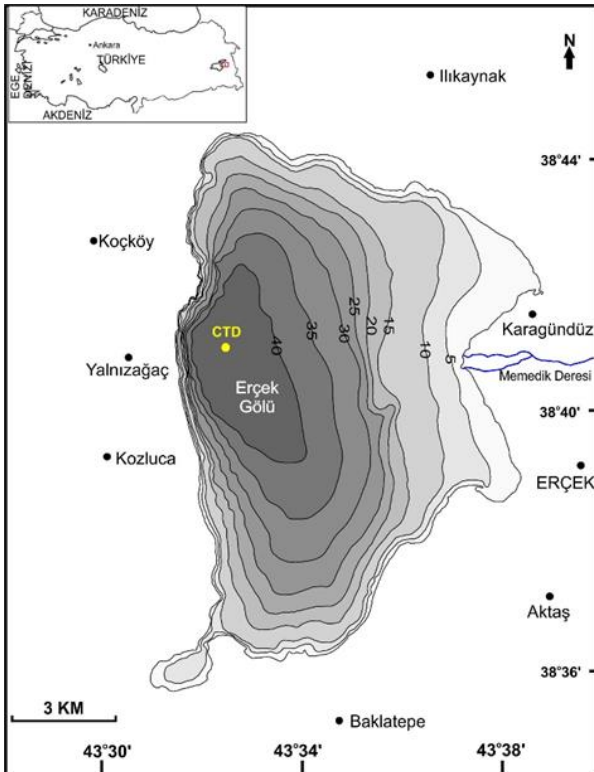
Bu konudaki birçok çalışma Kuzey Avrupa, Kuzey Amerika ve Ekvatoryal bölgelerde yer alan göllerde gerçekleştirilmiştir [8]-[11]. Buna rağmen Asya kıtasında sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır [12],[13]. Doğu Anadolu'da yer alan Erçek Gölü tuzlu ve kapalı olması, iklim değişikliklerine hassas bir noktada yer alması, balıkçılığın yörede önemli bir geçim kaynağı olması ve bununla birlikte bu konuda önceden yüksek çözünürlüklü verilerin sunulduğu bir çalışmanın yapılmamış olması nedeni

*Yazışılan yazar/Corresponding author

ile önemli bir göldür. Göl sularının dikey özelliklerini konu edinen literatürde tek bir çalışma mevcuttur. Bu çalışma esasen göldeki zooplankton türlerinin dağılımını konu edinmiş olup bununla birlikte göl su kolonuna ait fiziksel ölçümleri içermektedir. Bu çalışmada ölçümler 10 m aralıklarla su numunelerinin örneklenmesi ve bu numunelerin yüzeye çıkarıldıktan sonra termometre ile ölçülmesine dayanmaktadır [14]. 24 ay süren bu çalışmada göl su kolonundan elde edilen ortalama su sıcaklıkları verilmiş ve sıcaklık-derinlik ilişkisi aylık ölçekte açıklanmaya çalışılmıştır. Fakat bu çalışma termal tabakalanma mekanizmasının anlaşılması için yeterli çözünürlüğe sahip değildir. Bu nedenle, bu çalışmada Erçek Gölü'nde 12 aylık zamansal ve örneklem açısından yüksek çözünürlüklü su sıcaklığı profil verileri kullanılmıştır. Bu veriler ile sıcaklık profillerindeki değişimler, termal kararlılık ve termal tabakalanma parametreleri aylık ölçekte belirlenmiş ve tabakalanma döngüsü süreci belirlenmiştir.

2 Çalışma alanı

Erçek Gölü, Türkiye'nin doğusunda deniz seviyesinden 1803 m yükseklikte yer almaktadır (Şekil 1). Van Gölü'nün 30 km doğusunda yer alan göl 106.2 km² alana sahiptir. Maksimum derinliği 40 m ve ortalama derinliği 18.45 m'dir [15]. Gölün drenaj havzası yaklaşık 1526 km²'dir [16],[17]. Göl suları alkali özellikte olup pH değeri 9.40-10.75 ve tuzluluğu ‰24'tür [14]. Göl sularında magnezyum miktarı 93 mg/l olarak ölçülmüş ve bu durum drenaj havzasında bol miktarda bulunan ultrabazik ve karbonatlı kayaların varlığına bağlanmıştır [18].



Şekil 1. Çalışma alanını gösteren batimetri haritası ([15]'ten değiştirilerek alınmıştır).

Figure 1. Bathymetry map showing the study area (modified from [15])

Erçek Gölü'nün drenaj havzası, Van Gölü'nün doğusunda yer almakla birlikte havzada Kretase öncesi metamorfik birimler,

Geç Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar, Üst Kretase-Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanosedimanter birimler, Neojen Yaşlı volkanik kayalar bulunmaktadır. Kuvaterner'den itibaren gölün çevresinde yamaç döküntüsü, alüvyon yelpazesi, göl ve akarsu çökelleri gözlenmektedir [18]-[21].

Önceki çalışmalara göre lavların havzayı kapatması ile oluştuğu düşünülen kapalı havza gölünün [22],[23], daha sonraki çalışmalarda çevresinde volkanik bir sete rastlanmadığından dolayı göl çanağında yer alan K-G yönlü faylarla oluştuğu [17], ve gölün tektonik yapısını ana fayların şekillendirdiği ortaya konulmuştur [24]. Bununla birlikte yine Erçek Gölü Havzası'nın Pliyosen başında tektonik olarak çöktüğü ve gölün Üst Pleyistosen yaşlı tektonik bir göl olduğu bildirilmiştir [17], [25].

Erçek Gölü'ne doğu kıyılarından dökülen ve yer yer ismi Büyükçaylak Deresi, Yeniçavuş Çayı ve Özalp Deresi olarak adlandırılan ve yaklaşık uzunluğu 22 km olan Memedik Çayı, gölü kontrol eden tek ana akarsudur. Erçek Gölüne döküldüğü yerde bir delta oluşturan dere, mevsimlik akış göstermektedir [25].

Erçek Gölü'nde yapılan jeofizik çalışmalarının sonuçlarına göre göl; görsel şelf (0-15m) görsel yamaç (15-25 m) ve derin havza (≥25 m) olmak üzere üç ana morfolojik bölüme ayrılmıştır [24]. Buna göre görsel yamaç ve görsel şelf batıda daha derin ve dik, doğuda geniş; kuzey ve güney sınırında morfolojik olarak benzerlik göstermektedir. Ayrıca gölün doğu, kuzey ve güney kısmının, batı kısmına göre daha sığ olduğu ortaya konmuştur [15].

3 Materyal ve yöntem

3.1 Sıcaklık ölçümleri

Bu çalışmada göl suyunun sıcaklığının dikey değişiminin belirlenmesi için, YSI Professional Plus marka CTD cihazı (Conductivity-Temperature-Depth) kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünün aletsel ölçüm hata miktarı ±0.01 °C'dir. Ölçümler, Erçek Gölü'nde mevcut olan ve balıkçılık amacıyla kullanılan tekne kiralatarak gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri Eylül 2016-Ağustos 2017 ayları arasında 1 yıl süre zarfında, her ayın 15'inde ve gölün aynı noktasından olmak üzere 40 m derinlikten (CTD, 38°41'4.59" N/43°32'36.16"D, Şekil 1) yapılmıştır. GPS vasıtasıyla önceden belirlenen koordinata geldiğinde ölçüm cihazı gölün tabanına doğru indirilirken her metrede bir sıcaklık ölçümü alınmıştır. Bu şekilde sıcaklık değerleri dikey olarak her ay ölçülmüş ve aradaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

3.2 Veri analizleri

Çalışma verilerinin analiz edilmesi için SAS 9.4 (Statistical Analysis Software) programı kullanılmıştır. Öncelikle verilere Shapiro Wilks testi uygulanarak verilerin normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir.

Derinlik-sıcaklık arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır. Hesaplanan Pearson ve Spearman korelasyon katsayıları için eşitlikler sırasıyla 1 ve 2 No.lu eşitliklerde verilmiştir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^5 x_i)(\sum_{i=1}^5 y_i)}{n}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^5 x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^5 x_i)^2}{n}\right) \left(\sum_{i=1}^5 y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^5 y_i)^2}{n}\right)}} \quad (1)$$

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde $i=1, 2, \dots, n$ (n gözlem sayısı) olmak üzere 1 No.lu eşitlikte x derinlik ve y her bir aya ait sıcaklık değerlerini göstermektedir. 2 No.lu eşitlikte yer alan $d_i = x_i - y_i$ şeklinde hesaplanan i 'nci elemana ait sıra numaraları arasındaki farklılığı ifade etmektedir.

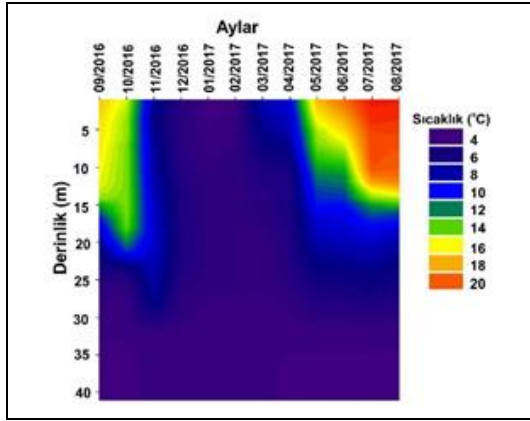
Çalışmanın bir sonraki aşamasında derinlikteki birim değişimin su sıcaklığında ortalama meydana getirdiği değişimi tespit etmek amacıyla basit doğrusal regresyon analiz yapılmış ve 3 No.lu regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Burada, y_i bağımlı değişken sıcaklığı, x_i bağımsız değişken derinliği, β_0 kesin noktasını, β_1 eğimi ve e hata terimini göstermektedir.

4 Bulgular ve tartışma

CTD ölçümlerinden elde edilen ve derinliğe göre değişen sıcaklık verileri için bir kontür grafiği oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Aylara göre derinlik-sıcaklık değişimi.

Figure 2. Monthly variation of depth-temperature.

Çalışmadan Shapiro Wilks test istatistiği kullanılarak elde edilen verilerin normal dağılıma uygunluğu test edilmiş ve derinlik ($P=0.115$) dışında aylık göl suyu sıcaklığına ait kayıtlarının normal dağılıma uygunluk göstermediği tespit edilmiştir ($P<0.001$). Bu nedenle hem Pearson hem de Spearman korelasyon katsayıları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Basit doğrusal regresyon analizi yapılarak elde edilen regresyon katsayıları, standart hatalar, t istatistik, p olasılık değerleri ve belirleme katsayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Eylül ayında elde edilen verilere göre gölde yüzeyde 17.1°C olan sıcaklık 12 m derinliğine kadar görel olarak homojendir ve iyi karışmış bir su kütlesi özelliği gösterdiği için epilimniyon tabakası olarak adlandırılmıştır (Şekil 2). 12 m derinliğinden itibaren 25 m derinliğe kadar sıcaklığın hızla azaldığı metalimniyon tabakası (termoklin) yer almaktadır. 25 m derinliğinden 40 m derinliğine göre su üst katmanlara göre soğuktur ve sıcaklık dağılımı neredeyse homojen ve 4°C civarındadır. Bu tabaka hipolimniyon olarak adlandırılmıştır. Ekim ayında epilimniyon 0-18 m arasında yer almakta ve termoklin tabakasının derinliği düşmüş ve kalınlığı azalmıştır (18-23 m).

Burada regresyon modeline ait uyumu yapılan doğru, gözlenen değerler, tahmin için %95'lik güven sınırı ve ileriye yönelik tahminler için (prediction) %95'lik güven sınırları gösterilmiştir.

Tablo 1. Aylara göre Pearson ve Spearman korelasyon katsayıları (**: $P<0.001$, öd: önemli değil).

Table 1. Pearson and Spearman correlation coefficients by months (**: $P<0.001$, öd: non significant).

Aylar	Pearson korelasyon katsayısı	Spearman korelasyon katsayısı
Eylül	-0.94346**	-0.99891**
Ekim	-0.92857**	-0.99178**
Kasım	-0.69726	-0.50181**
Aralık	-0.60631**	-0.56806**
Ocak	0.08706öd	0.02018öd
Şubat	-0.24521öd	-0.30748öd
Mart	-0.86465**	-0.97838**
Nisan	-0.91940**	-0.99450**
Mayıs	-0.97142**	-0.99895**
Haziran	-0.96143**	-0.99865**
Temmuz	-0.95218**	-0.99917**
Ağustos	-0.94231**	-0.99935**

Tablo 2. Basit doğrusal regresyon analiz sonuçları ($\hat{\beta}_1$: regresyon katsayısı; P : olasılık değeri; R^2 : belirleme katsayısı).

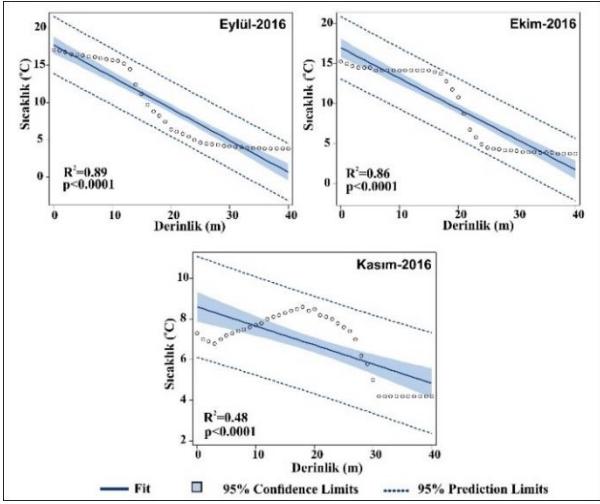
Table 2. Simple linear regression analysis results ($\hat{\beta}_1$: slope; P : probability value; R^2 : coefficient of determination).

Aylar	$\hat{\beta}_1$	Std. Hata	t	P	R^2
Eylül	-0.42699	0.02402	-17.77	<.0001	0.8901
Ekim	-0.38047	0.02435	-15.62	<.0001	0.8622
Kasım	-0.09413	0.01550	-6.07	<.0001	0.4862
Aralık	-0.02552	0.00536	-4.76	<.0001	0.3676
Ocak	0.00213	0.00389	0.55	0.5883	0.0076
Şubat	-0.00439	0.00278	-1.58	0.1223	0.0601
Mart	-0.08369	0.00779	-10.75	<.0001	0.7476
Nisan	-0.11270	0.00772	-14.60	<.0001	0.8453
Mayıs	-0.35232	0.01379	-25.56	<.0001	0.9436
Haziran	-0.39437	0.01807	-21.83	<.0001	0.9244
Temmuz	-0.54089	0.02779	-19.46	<.0001	0.9066
Ağustos	-0.54409	0.03095	-17.58	<.0001	0.8880

Hipolimniyon tabakası 23-40 m arasında yer almaktadır. Basit doğrusal regresyon analizinden elde edilen ve sonbahar mevsimine ait grafik aşağıda üç aylık verileri içerecek biçimde verilmiştir (Şekil 3).

Eylül ve ekim aylarına ait istatistiksel analiz sonuçlarına göre belirleme katsayısı (R^2) sırasıyla %89 ve %86'dır (Tablo 2). Kasım ayında havaların soğumasıyla birlikte termal tabakalanma bozulmaya başlamış, R^2 , %48 ile sonbahar mevsiminin en düşük seviyesine inmiştir. Yüzey suyu, rüzgarın artması ve güneş ışınlarının azalması nedeni ile görel olarak önceki aylara göre hızla düşüş göstermektedir. 5-20 m'den aralığında sıcaklık azda olsa profil boyunca artış göstermekte ve önceki aylara göre düşüş göstermektedir. 20-30 m aralığında ısı hızla düşmekte, 30-40 m aralığında suların sıcaklığı sabittir ve grafik boyunca en düşük değerini göstermektedir. Eylül ayında derinlikteki birim (metre) değişikliğe karşılık göl suyunun sıcaklığı 0.427°C , ekim ayında 0.381°C , kasım ayında

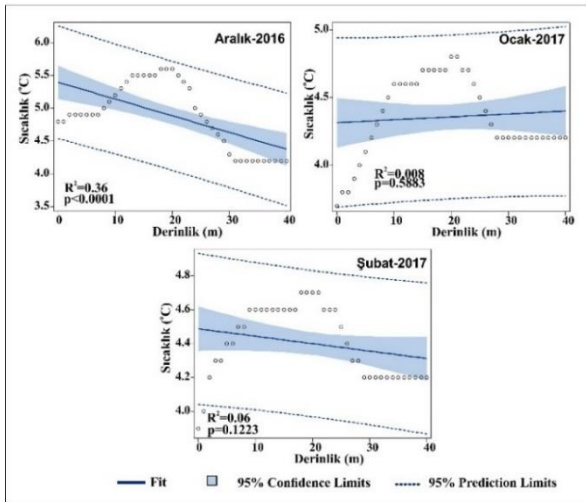
0.094 °C azalma olduğu tespit edilmiştir. Derinlikteki birim değişikliğe karşı göl suyunun sıcaklığındaki azalma miktarı oransal olarak küçüldükçe termal tabakalanma mekanizmasının değiştiği gözlenmiştir. Erçek Gölü'nde daha önce yapılan çalışmanın sonucuna göre sıcaklığı sonbahar mevsimi boyunca homojen olduğu ortaya konulmuştur [14]. Fakat bu çalışmanın grafiksel ve istatistiksel sonuçlarına göre sonbahar mevsimi süresince sıcaklık dağılımı aylar arasında ve su kolunu boyunca homojen olmayıp termal tabakalanma süresi ekim ayının sonuna kadar devam etmektedir.



Şekil 3. Sonbahar mevsimi için basit regresyon analiz grafiği.

Figure 3. Simple linear regression graph for autumn.

Aralık ayında termal tabakalanma tamamen bozulmuş ve belirleme katsayısı %37 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Yüzeyde 5 °C sıcaklığın altına düşen sıcaklık, 18 m derinlikte maksimum değerini (5.6 °C) göstermiş ve bu derinlikten itibaren azalmaya başlamıştır. Suyun sıcaklığı 30 m derinliğinde sabitlenmiş (4.2 °C) ve 40 m derinliğe kadar aynı kalmıştır. Ocak ve şubat aylarında göl su yüzeyi ortalama 40 cm kalınlığında buz tabakası ile kaplıdır. Basit doğrusal regresyon analizinden elde edilen ve kış mevsimine ait grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 4).

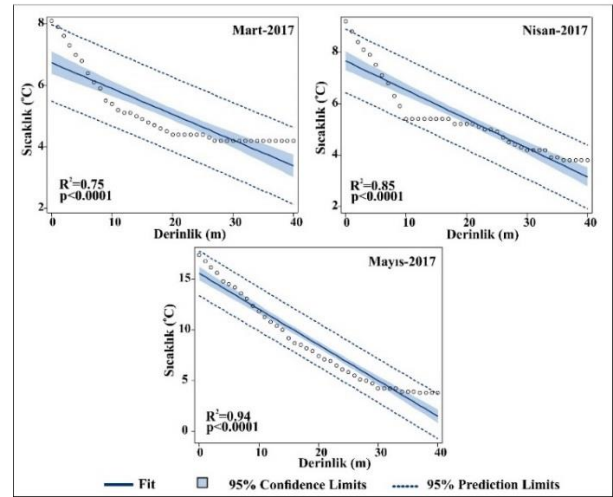


Şekil 4. Kış mevsimi için basit regresyon analiz grafiği.

Figure 4. Simple linear regression graph for winter.

Termal tabakalanmanın bozulduğu ve su kolundaki sıcaklığın neredeyse homojen bir görünüm sunduğu kış mevsiminde özellikle ocak ve şubat ayında korelasyon katsayısının anlamlı olmadığı gözlenmiştir (Tablo 1). Aynı zamanda R² miktarındaki bariz düşüş sıcaklık-derinlik ilişkisinin önemli olmadığını bariz bir şekilde göstermektedir ve bu durum güneşlenme süresinin azlığına bağlı olarak ocak ve şubat mevsiminde derinlik-sıcaklık ilişkisinin ortadan kalktığına bağlamak mümkündür. Aralık ayında derinlikteki birim değişikliğe karşılık göl suyunun sıcaklığı 0.026 °C azalmakta, ocak ayında 0.002 °C artmakta ve şubat ayında 0.004 °C azalmaktadır. Burada dikkati çeken nokta ocak ayında su kolunu sıcaklığının görel olarak artmış olması ve su sıcaklığı ile derinlik arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olmasıdır (Şekil 4). Bu nedenle ocak ayında su kolundaki karışımın gerçekleştiği söylenebilir.

Mart ayında yüzeydeki buz tabakası atmosferdeki ısınma nedeni ile tamamen yok olmuş ve yüzey suyunda ölçülen sıcaklık değeri 8.1 °C'ye ulaşmıştır (Şekil 1). Su kolundaki sıcaklık görel olarak düşmüş ve 8 metreden itibaren neredeyse sabitlenmiştir. Nisan ayında yüzey suyu sıcaklığı 9.2 °C olarak kaydedilmiş ve su kolundaki sıcaklığın dağılımı bir önceki aya göre artış göstermiştir. Mayıs itibarı ile yüzey suyunun sıcaklığı hızla artmıştır. Mayıs ayına ait dikey sıcaklık profilinde nisan ayına göre belirgin bir artış gerçekleşmiş ve termal tabakalanma tekrar oluşmaya başlamıştır. İlkbahar mevsimini temsil eden mart, nisan ve mayıs aylarına ait belirleme katsayıları sırasıyla %75, %85, %94'dür (Şekil 5). Atmosferik sıcaklığın artmasıyla su kolunu ve sıcaklık arasındaki ilişki anlamlı hale gelmiştir (Tablo 1). Mart ayında derinlikteki birim değişikliğe karşılık göl suyunun sıcaklığı 0.084 °C, nisan ayında 0.113 °C ve mayıs ayında 0.352 °C azalmaktadır. Atmosferdeki sıcaklık arttıkça, su kolundaki birim değişikliğe karşılık göl suyunun sıcaklığındaki azalma oranı artmıştır.

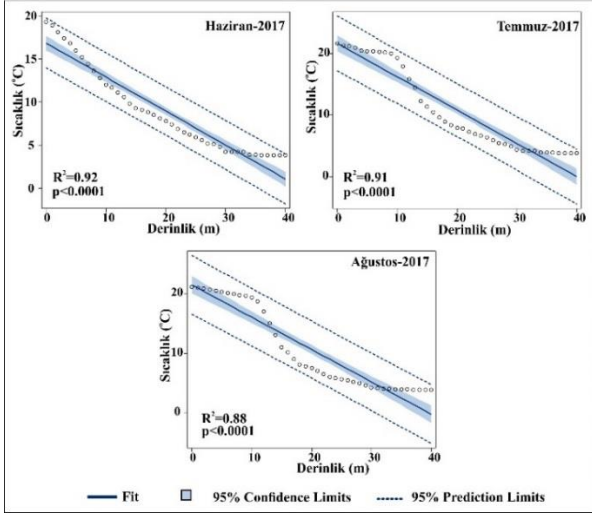


Şekil 5. İlkbahar mevsimi için basit regresyon analiz grafiği.

Figure 5. Simple linear regression graph for spring.

Haziran ayı itibarı ile yüzey sıcaklığı 19.3 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık profili göz önüne alındığında 0-10 m arasında epilimniyon, 10-30 m arasında metalimniyon ve 30-40 metre arasında hipolimniyon yer almaktadır. Temmuz ayında yüzey suyu sıcaklığı maksimum seviyesine ulaşmıştır (21.6 °C), 0-9 m arasında epilimniyon, 9-25 m arasında metalimniyon, 25-40 m arasında hipolimniyon tabakası yer almaktadır. Ağustos ayında 0-12 m epilimniyon, 12-25 m arasında metalimniyon ve 25-40

m arasında hipolimniyon yer almaktadır (Şekil 2). Yaz mevsimini temsil eden haziran, temmuz ve ağustos aylarına ait belirleme katsayıları sırasıyla %92, %91, %89'dür (Şekil 6). Haziran ayında derinlikteki birim değişikliğe karşılık göl suyunun sıcaklığı 0.394 °C, temmuz ayında 0.541 °C ve ağustos ayında 0.544 °C azalmaktadır ve bu oranlar diğer mevsimlere kıyasla en yüksek değerleri göstermektedir. Bunun nedeni termal tabakalanma mekanizmasının yaz mevsiminde oldukça güçlü olmasıdır.



Şekil 6. Yaz mevsimi için basit regresyon analiz grafiği.

Figure 6. Simple linear regression graph for summer.

Erçek Gölü'nde yapılan 1995 ve 1996 yıllarını içeren çalışmanın sonuçlarına göre, gölde ilkbahar ve sonbahar mevsiminde sıcaklık dağılımının homojen olduğu, sıcaklık tabakalarının kış ve yaz mevsiminde değiştiğinden ve 10-20 m'ler arasında termoklin varlığından söz edilmiştir [14]. Bu çalışmanın sonuçlarına göre sıcaklık dağılımı ilkbahar ve sonbahar aylarında homojen olmayıp, termal tabakalanma Mayıs ayında başlayıp, ekim ayının sonlarına kadar devam etmektedir. Kasım ayından itibaren göl suyu dikey olarak karışmakta ve bu durum kış mevsimi sonuna kadar devam etmektedir. İki çalışma arasında elde edilen sonuçların farklı olmasını değişik nedenlere bağlamak mümkündür. Öncelikle iki çalışma arasında sıcaklık ölçümü yapılan nokta sayısı bakımından çözünürlük farkı 10 kattır. İlk çalışmada su kolonundaki sıcaklık ölçüm aralığı 10 m iken bu çalışmada sıcaklık ölçüm aralığı 1 m'ye düşmüştür. Bununla birlikte derinlikle sıcaklık değişimi bizim çalışmamızda yerinde (in-situ) olarak gerçekleştirilmiş fakat diğer çalışmada her 10 m'de elde edilen su örnekleri yüzeye çıkarıldıktan sonra ölçülmüştür. Su kolonundan alınan su atmosferle temas edince sıcaklıktaki fark mevsimine göre artacak veya azalacaktır. Bu nedenle In-situ ölçümler her zaman daha doğru sonuçlar vermektedir.

Diğer taraftan Erçek Gölü'nün 30 km batısında yer alan Van Gölü'nde Temmuz 2006-Mart 2008 arasında, 450 m su derinliğinde yapılan CTD ölçümlerine göre gölün ilk 70 m'nin Mayıs ve Kasım ayları arasında termal tabakalanma gösterdiği ve kış mevsimi süresince göl su kolonunun karıştığı belirtilmiştir [26],[27]. Van Gölü su kolonunun özelliklerini konu edinen bu çalışmaların sonuçları, aynı iklim koşullarına sahip bölgede yer alan Erçek Gölü'nde yapılan bu çalışma ile benzer özellikler göstermektedir.

5 Sonuçlar

Çalışmadan elde edilen verilerin istatistiksel analizi SAS programında yapılmış ve güvenilirlikleri sınanmıştır. Ocak ayı dışında tüm aylar için ölçülen göl suyu sıcaklığı ve derinlik arasında negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Korelasyon ve belirleme katsayıları bakımından değerlendirildiğinde, yüksek korelasyonlara sahip olan ayların (ocak ve şubat ayları dışında) aynı zamanda model belirleme katsayılarının da yüksek olduğu görülmüştür. Erçek Gölü su kolonunda yapılan sıcaklık ölçümleri neticesinde, mayıs-kasım arasında termal tabakalanma gözlenmektedir. Sonbahar mevsiminin sonuna doğru termal tabakalanma mekanizması bozulmuş ve kış mevsiminde su kolonu tamamen karışmıştır. Termoklin eğrisinin kalınlığı paralel şekilde yaz mevsiminde en yüksek değerleri gösterirken, sonbahar mevsiminde azalmakta ve kış mevsiminin başında tamamen kaybolmaktadır. Bununla birlikte termoklin tabakasının oluşum derinliği yaz mevsiminden sonbahar mevsiminin sonuna doğru düşüş göstermektedir. Bu çalışmanın sonucunda Erçek Gölü, yılda en az bir kere karışımın gözlendiği "holomiktik göl" sınıfına dahil edilmiştir.

Küresel ısınmanın etkilerinin son yıllarda hissedilir derecede artması, göllerde benzer çalışmaların ivme kazanmasına sebep olmaktadır. Çünkü termal tabakalanma döngüsünün uzamasının başta ötrofikasyon olmak üzere, göl sularındaki canlı yaşamı tehdit eden birçok sonucu vardır. Erçek Gölü su kolonunun sıcaklık değişimlerini mevsimsel olarak yüksek çözünürlükte inceleyen bu çalışma ilk defa gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu çalışma Erçek Gölü'nde daha sonra yapılacak çalışmalara öncü niteliği taşımakla birlikte daha sonradan yapılacak benzer çalışmaların sonuçlarının kıyaslanmasını kolaylaştıracak ve bu sebeple küresel ısınmanın termal tabakalanma mekanizmalarını nasıl etkilemiş olduğu ortaya konulması için anahtar bir çalışma olacaktır.

6 Conclusions

The statistical analysis of the data obtained from the study was performed in the SAS program, and their reliability was tested. A negative correlation was found between lake water temperature and depth measured for all months except January. When evaluated in terms of correlation and determination coefficients, it was seen that the months with high correlations (except January and February) also had high model determination coefficients. As a result of the Lake Erçek water column's temperature measurements, thermal stratification is observed in May and November. Towards the end of autumn, the thermal stratification mechanism was broken, and the water column was completely mixed in the winter season. While the thickness of the thermocline curve shows its highest values in the summer and disappears completely at the beginning of the winter season. However, the formation depth of the thermocline layer decreases from summer to the end of autumn. As a result of this study, Lake Erçek was included in the "holomictic lake" class, where the water column mixed entirely is observed at least once a year.

Since the effects of global warming have increased in recent years, similar studies in lakes have been improved. Because the prolong the duration of the thermal stratification cycle has many consequences that threaten life in lake waters, especially eutrophication. This study, which analyzes the Lake Erçek water column's temperature changes in high resolution seasonally, was carried out for the first time. For this reason,

this study will be a basis for future studies in Lake Erçek and will facilitate the comparison of the results of similar studies to be carried out later, and therefore will be a key study to reveal how global warming has affected the thermal stratification mechanisms.

7 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK-RFBR ikili işbirliği kapsamında "114Y825" No.lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleşmesinde sağlanan destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

8 Kaynaklar

- [1] MacIntyre S, Flynn KM, Jellison R, Romero JR. "Boundary mixing and nutrient fluxes in Mono Lake, California". *Limnology and Oceanography*, 44(3), 512-529, 1999.
- [2] Schadow SG, Hamilton DP. "Effect of major flow diversion on sediment nutrient release in a stratified reservoir". *Marine & Freshwater Research*, 46, 189-195, 1995.
- [3] Giles CD, Isles PDF, Manley T, Xu YY, Druschel GK, Schroth AW. "The mobility of phosphorus, iron, and manganese through the sediment-water continuum of a shallow eutrophic freshwater lake under stratified and mixed water-column conditions". *Biogeochemistry*, 127(1), 15-34, 2016.
- [4] Hammer UT. *Saline Lake Ecosystems of the World*. Dordrecht, Netherlands. DR W. Junk Publishers. 1986.
- [5] Michelutti N, Labaj AL, Grooms C, Smol JP. "Equatorial mountain lakes show extended periods of thermal stratification with recent climate change". *Journal of Limnology*, 75, 403-408, 2016.
- [6] Oreilly C, Sharma SK, Gray DK, Hampton SE, Read JS, Rowley RJ, Schneider P, Lenters JD, McIntyre PB, Kraemer BM, Weyhenmeyer GA, Straile D, Dong B, Adrian R, Allan MG, Anneville O, Arvola L, Austin J, Bailey JL, Baron Js, Brookes JD, de Eyto E, Dokulil MT, Hamilton Dp, Havens K, Hetherington, AL, Higgins SN, Hook S, Izmet'eva Lr, Joehnk KD, Kangur K, Kasprzak P, Kumagai M, Kuusisto E, Leshkevich G, Livingstone dm, MacIntyre S, May L, Melack JM, Mueller-Navarra DC, Naumenko M, Noges P, Noges T, North RP, Plisnier PD, Rigosi A, Rimmer A, Rogora m, Rudstam LG, Rusak JA, Salmaso N, Samal NR, Schindler DE, Schladow SG, Schmid M, Schmidt SR, Silow E, Soylyu ME, Teubner K, Verburg P, Voutilainen A, Watkinson A, Williamson CE, Zhang G. "Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe". *Geophysical Research Letters*, 42, 10773-10781, 2015.
- [7] Zhang Y, Wu Z, Liu M, He J, Shi K, Wang M, Yu Z. "Thermal structure and response to long-term climatic changes in Lake Qiandaohu, a deep subtropical reservoir in China". *Limnology and Oceanography*, 59, 1193-1202, 2014.
- [8] Austin J, Colman S. "A century of temperature variability in Lake Superior". *Limnology and Oceanography*, 53, 2724-2730, 2008.
- [9] Coats R, Perez-Losada J, Schloadow G, Richards R, Goldman C. "The warming of Lake Tahoe". *Climatic Changes*, 76, 121-148, 2006.
- [10] O'Reilly C, Alin SR, Plisnier PD, Cohen AS, McKee BA. "Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tangayika, Africa". *Nature*, 424, 766-768, 2003.
- [11] Livingstone DM. "Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central Europe lake". *Climatic Change*, 57, 205-225, 2003.
- [12] Hampton SE, Izmet'eva LR, Moore MV, Katz SL, Dennis B, Silow EA. "Sixty years of environment change in the world's largest freshwater lake-Lake Baikal, Siberia". *Global Change Biology*, 14, 1947-1958, 2008.
- [13] Wang S, Qian X, Han BP, Lou LC, Hamilton DP. "Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China". *Water Research*, 46, 2591-2604, 2012.
- [14] Yıldız Ş. Erçek Gölü Zooplankton Türlerinin Aylık ve Mevsimsel Dağılımları. Doktora Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Van, Türkiye, 1997.
- [15] İpek S, Sarı M. "Erçek Gölü'nün Batimetrik Özelliklerinin Belirlenmesi". TÜBİTAK, Ankara, Türkiye, YDABÇAG-609-A, 1998.
- [16] Yılmaz M. Erçek Gölü Havzası'nın Coğrafi Etüdü. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2013.
- [17] Duman N, Çiçek İ. "Erçek Gölü yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri". *e-Journal of New World Science Academy*, 6(4), 169-188, 2011.
- [18] Ateş Ş, Mutlu G, Özerk OC, Çiçek İ, Gülmez, FA. "Van İli Kentleşme Alanları Yer Bilim Verileri". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 10961, 2007.
- [19] Şenel M, Acarlar M, Çakmakoglu A, Dağ Z, Erkanol D, Örcen S, Taşkıran MA, Ulu Ü, Ünal MF, Yıldırım H. "Özalp (Van)-İran sınırı arasındaki alanın jeolojisi". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 663, 1984.
- [20] Acarlar M, Bilgin AZ, Elibol E, Erkal T, Gedik İ, Güner E, Hakyemez Y, Şen AM, Uğuz MF, Umut M. "Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü". Ankara, Türkiye, 9469, 1991.
- [21] Yılmaz Y, Şaroğlu F, Güner Y. "Initiation of the neomagmatism in East Anatolia". *Tectonophysics*, 134, 177-199, 1987.
- [22] İnandık, H. *Türkiye Gölleri (Morfolojik ve Hidrolojik Teknikleri)*. İstanbul, Türkiye, İstanbul Üniversitesi Yayınları, 1155, 1965.
- [23] Lahn E. "Türkiye Göllerinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Etüd". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, B-12, 1948.
- [24] Toker T, Tur, H. "Structural patterns of the Lake Erçek Basin, eastern Anatolia (Turkey): Evidence from single-channel seismic interpretation". *Marine Geophysical Research*, 39, 567-588, 2018.
- [25] Duman N. Erçek Gölü Yakın Çevresinin Fiziki Coğrafyası. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi. Ankara, Türkiye, 2011.
- [26] Kaden H, Peeters F, Lorke A, Kipfer R, Tomonaga Y, Karabykoğlu M. "Impact of lake level change on deep-water renewal and oxie conditions in deep saline Lake Van, Turkey". *Water Resources Research*, 46, 1-14, 2010.
- [27] Stockhecke M. Exploring the 600.000 Year old Sedimentary Record of Lake Van (Turkey): Lithostratigraphy, Chronology and Hydroclimatic Reconstruction. ETH, Zurich, Switzerland, 2013.