



Araştırma Makalesi / Research Article

Köyceğiz Gölü Su ve Taban Sedimanlarının Sıcaklık Dağılımı Distribution of Water and Bottom Sediment Temperature of Lake Köyceğiz

Özgür AVŞAR , Bedri KURTULUŞ 

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Menteşe, MUĞLA

Geliş (Received): 4 Temmuz (July) 2017, Düzeltme (Revised): 5 Ağustos (August) 2017, Kabul (Accepted): 11 Ağustos (August) 2017

ÖZ

Köyceğiz Gölü, 52 km² yüzölçümüyle Türkiye'nin en büyük 16. gölüdür. Yapılan öncel çalışmalar bu gölün meromiktik karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında, 40 adet noktada CTD ve termoprob cihazlarıyla Nisan ayında ölçümler yapılmış, göl suyu sıcaklığının uzaysal dağılımı ile taban sedimanlarının sıcaklığının alansal dağılımı detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Su gözlem noktalarında elektriksel iletkenlik ve pH ölçümlerini de içeren incelemede, gölde, fiziksel özellikleri birbirinden farklı dört adet su kütesinin olduğu tespit edilmiştir. Kuzey ve güney çanağındaki su ile taban sedimanı sıcaklıkları karşılaştırıldığında, gölün kuzey çanağında daha soğuk olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bazı sualtı kaynaklarının, çevresindeki su ve sedimanların sıcaklığını artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Meromiktik, Sualtı Jeotermal Kaynak, Termal Tabakalanma, Termoprob, Uzaysal Dağılım.

ABSTRACT

With its 52 km² areal extent, the Lake Köyceğiz is the 16th largest lake in Turkey. As it is indicated in the earlier studies, the lake is meromictic. Within the scope of this study, thermoprobe and CTD measurements were done in April covering 40 locations and spatial distribution of the lake water temperature and the areal distribution of the lake bottom sediments were investigated in detail. Investigations including electrical conductivity and pH measurements at water monitoring locations show that there are physically four distinct water bodies in the Lake Köyceğiz. The water and sediment temperatures in northern basin are slightly less than the southern basin. In addition, subaqueous springs increase the temperature of the water and sediment, and create a positive temperature anomaly around these locations.

Keywords: Meromictic, Subaqueous Geothermal Spring, Thermal Stratification, Thermoprobe, Spatial Distribution.

GİRİŞ

Göllerle ilgili çalışmalarda suyun sıcaklık, pH ve EC gibi özelliklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi limnoloji çalışmalarının ilk adımını oluşturmaktadır. Bu ölçümler uzun yıllar elle ve basit ölçüm cihazları ile yapılmıştır. Son yıllarda yüksek frekanslı ölçüm cihazlarının gelişmesiyle birlikte yapılan ölçümlerin zaman aralıkları ve miktarı artmış, bu ölçümler nispeten küçük cihazlarda depolanabilmiştir.

Güneybatı Anadolu'da bulunan Köyceğiz Gölü 52 km² alanıyla Türkiye'nin en büyük 16. gölüdür. Gölün sıra dışı kimyasal ve fiziksel özellikleri birçok araştırmacının ilgisini çekmiş, limnolojik ve çevresel özelliklerini inceleyen önemli çalışmalar yapılmıştır (Kazancı vd., 1992; Ertürk, 2002; Ertürk vd., 2014; Ertürk vd., 2017). Köyceğiz Gölü'ndeki en kapsamlı çalışmayı Bayarı vd. (1995) gerçekleştirmiştir. Göl suyu sıcaklığının ölçümü yanında eco-sounding tekniği ile taban sedimanlarını görüntülemişler, göl tabanından geçen fayları tespit etmişlerdir. Bu araştırmanın sonucunda Bayarı vd. (1995), gölün meromitik bir göl olduğu, yüzeyden 10 m derinlikte bir "termoklin" olduğu ve daha derinde oksijensiz, durgun, ölü bir su kütesinin bulunduğu sonucuna varmışlardır. Yaptıkları su bütçesinden, gölü besleyen sıcak ve soğuk su kaynaklarının olduğunu belirtmişler, hatta bazı su çıkışlarını jeofizik çalışmalarla ve sualtı akım ölçümleriyle tespit edebilmişlerdir. Köyceğiz Gölü ile ilgili yapılan bir diğer çalışma Kazancı ve Girgin (2001) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kazancı ve Girgin (2001), Köyceğiz ve Dalaman'daki 5 adet termal kaynaktan su kimyası ve yosun çeşitliliği üzerine çalışma yapmış ve bu sahaların korunması gerektiğini savunmuştur. Köyceğiz Gölü'nde, Avşar vd. (2017) yaptıkları detaylı çalışmada, gölde 2 adet sualtı soğuk su kaynağı ve 3 adet sualtı sıcak su kaynağı tespit etmişlerdir. Avşar vd. (2016)'nın, göl

çökellerinden aldıkları karot örnekleri üzerinde yaptıkları çalışmada, 370 yıllık varv kayıtlarına rastlanmış, bu kayıtlar tarihsel depremlerle ilişkilendirilerek bölgenin depremselliği ile ilgili önemli sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek frekanslı sıcaklık ölçüm cihazları kullanarak, Köyceğiz Gölü'nün su sıcaklığını ve taban çökellerinin sıcaklığının alansal dağılımını belirlemektir. Bu amaçla, 40 noktada düşey sıcaklık profilleri ve taban çökel sıcaklıkları noktasal olarak ölçülmüştür. Çalışmada, gölün su sıcaklığına ek olarak pH ve EC değerleri yüksek çözünürlüklü bir şekilde ölçülmüş ve gölün fizikokimyasal modeli ortaya konmuştur. Öncel çalışmalarda her ne kadar kabaca gölün su sıcaklık dağılımı çıkarılsa da, bu çalışmada olduğu gibi detaylı bir sıcaklık (pH ve EC) ölçümü daha önce yapılmamıştır. Termoprob isimli cihaz ile taban sediman sıcaklığının 40 noktada ölçülmesi, taban sedimanlarının sıcaklık dağılımı ile ilgili önemli bilgilere ulaşılmasını sağlamıştır.

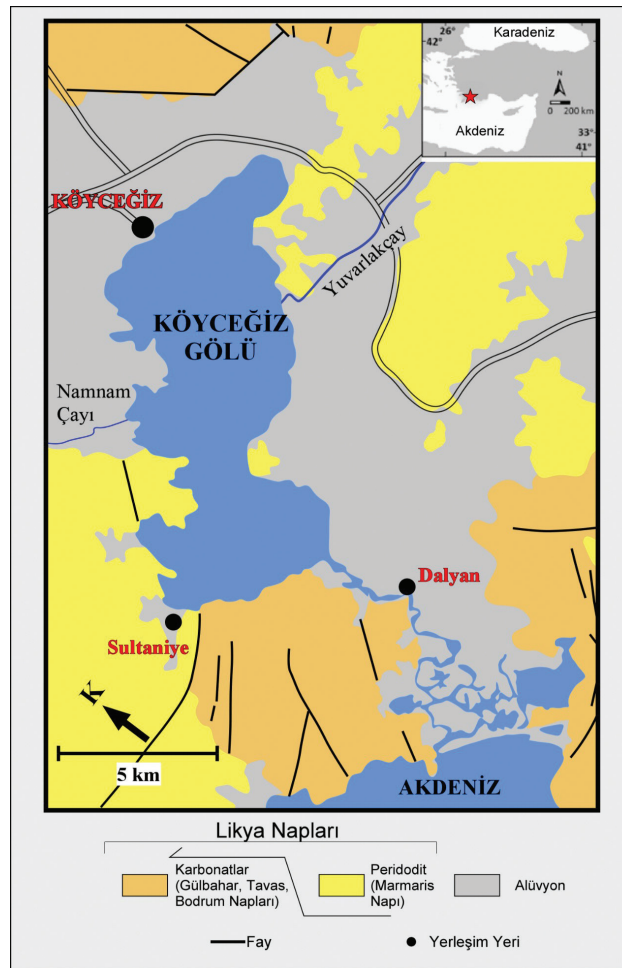
ÇALIŞMA ALANI

Yukarıda belirtildiği gibi, yaklaşık 52 km² alanıyla Köyceğiz Gölü, Türkiye'nin en büyük ilk 20 gölü arasında yer almaktadır. 10 km uzunluğundaki Dalyan kanalı ile Akdeniz'e bağlanan göl "Köyceğiz-Dalyan Havzası Özel Çevre Koruma Bölgesi" adıyla devlet tarafından koruma altına alınmıştır. Ender bulunan ekolojik yapısı, bölgeyi koruma altına alınmaya değer kılmıştır. Bölgede tipik Akdeniz iklimi hakimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Kuzeyde ve güneyde iki çanak oluşan gölün kuzeydeki en derin yeri 25 m, güneydeki ise 32 m'dir. Bu iki çanak D-B uzanımlı, su derinliğinin 2-3 metreye düştüğü bir sırt ile ayrılmaktadır. Öncel çalışmalar, göl suyunun yüzeyin 10 m altından tabana kadar olan derinlikte soğuk,

oksijensiz, ölü bir su kütleinin olduğunu göstermiştir (Bayarı vd., 1995; Kazancı ve Girgin, 2001).

İnceleme alanının üzerinde bulunduğu Güneybatı Anadolu, birçok bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Genellikle jeolojik oluşum süreçleri üzerine teoriler üreten bu araştırmalar, bölgenin oluşum tarihçesi, jeolojik birimlerin tanımlanması ve birbirine göre konumları ile ilgili çok değerli ve detaylı bilgiler sunmaktadır (Rimmelé, vd., 2003a; 2003b, Ten Veen vd., 2009; Hinsbergen, 2010; Hinsbergen vd., 2010; Sözbilir vd., 2011). Bu çalışmada, Şenel (1997)

tarafından hazırlanan 1/100000 ölçekli jeoloji haritası sadeleştirilerek Şekil 1'de sunulmuştur. İnceleme alanının tamamında Likya napları olarak bilinen allokton birimler yüzlek vermektedir (Şekil 1). Kuvaterner alüvyon bütün birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Likya napları, adından da anlaşılacağı üzere, sınırında düşük açılı bindirme fayları olan nap birimlerinin üst üste istiflenmesiyle oluşmuştur. Likya napları kaba olarak peridotit (Marmaris Napı) ve neritik/pelajik karbonatlar (Gülbahar, Tavas ve Bodrum Napları) olarak iki ayrı alt birime ayrılmıştır (Şenel, 1997; Gökğöz ve Tarcan, 2006).



Şekil 1. Köyceğiz gölü çevresi jeoloji haritası (Şenel, 1997).

Figure 1. Geological map of the Lake Köyceğiz and its vicinity (Şenel, 1997).

Sahanın yapısal jeolojisi paleotektonik döneme ait bindirmeler ve aktif normal faylarla karakterize olmuştur. Erken Eosen – Erken Oligosen dönemi boyunca etkin olan sıkışma tektoniği nap sisteminin oluşmasına neden olurken, Geç Miyosen ile başlayan ve etkisi günümüze kadar devam eden gerilme tektoniği güncel normal fayların ve horst graben sistemlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Bozkurt ve Park, 1999; Rimmelé vd., 2003a; 2003b). Bindirme fayları ile birbirinden ayrılan jeolojik formasyonlarla ve bunları kesen daha genç normal faylarla morfolojisi şekillenen sahada, jeotermal sistemlerin gelişimi, bu yapısal jeoloji ile kontrol edilmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, göl suyunun sıcaklık, pH ve EC değerlerinin belirlenmesinden (Multiparametre Ölçüm Cihazı) ve taban sedimanlarının sıcaklık ölçümlerinden (Termoprob Cihazı) oluşmaktadır. 2017 yılının Nisan ayında yapılan arazi çalışmaları 3 gün sürmüştür. Söz konusu çalışmada 10 m uzunluğunda bir tekne kiralanmış ve 40 noktada ölçümler yapılmıştır.

Su Ölçümleri

Köyceğiz göl suyunun üç boyutlu değerlendirilebilmesi için, YSI marka (6600) Multiparametre Ölçüm Cihazı ile, 2 saniyede bir ölçüm yapacak şekilde sıcaklık, pH ve EC değerleri belirlenmiştir. Göl alanına düzgün dağılacak şekilde 40 adet noktada düşey ölçüm yapılmıştır. Çalışma boyunca koordinatları kaydetmek amacı ile (2 saniye aralıkla) Garmin marka (421S) Küresel Konumlandırma Cihazı (GPS) kullanılmıştır. Ölçüm yapılması planlanan noktaların koordinatları GPS'e kaydedilmiş, hedef noktaya varıldığında ipin ucuna bağlanan

prob gölün tabanına doğru indirilip geri çekilerek düşey sıcaklık, pH ve EC ölçümleri yapılmıştır. Bu üç parametreye ek olarak, su derinliğini de ölçen Multiparametre Ölçüm Cihazı, bu parametrelerin derinlikle değişiminin incelenebileceği profillerin oluşturulmasını da sağlamıştır. Ölçüm noktalarının (40 adet) dağılımı ve derinlikleri (1.7 m ile 31.9 m arasında) göz önünde bulundurulduğunda; sıcaklık, pH ve EC değerlerinin, tüm göl yüzeyini temsil edecek şekilde belirlendiği söylenebilir. Bu yaklaşım, bir noktada derinlemesine ölçüm değerlerini, yüzeyde yatay olarak yapılan ölçümlerle karşılaştırma olanağı sağlamıştır.

Sıcaklık, EC ve pH verilerinin, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) bünyesinde yürütülen Çevresel Teknolojiler Verifikasyon Programı (ETV) kapsamında belgelenen aletsel ölçüm hata miktarları sırasıyla ± 0.15 °C, $\pm 5\%$, ± 0.2 birimdir. Çalışmalarda, ölçümlere yönelik kalite kontrol ölçümleri yapılmamıştır.

Taban Çökel Sıcaklığı Ölçümleri

Çalışma alanında, taban çökellerinin sıcaklığını ölçmek için Termoprob Cihazı kullanılmıştır. Termoprob, kromdan imal edilmiş, 2 m boyunda, 3.2 cm çapında sivri uçlu silindirik bir çubuktur. Kazık şeklindeki bu çubuğun içinde uca doğru bulunan bir hazneye Onset marka (HOBO) yüksek frekanslı sıcaklık ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. Termoprob, üstüne bağlanan bir iple, göl tabanına 2-3 metre kalana kadar indirilir ve bu yükseklikten bırakılarak tabana saplanması sağlanır. Tabana saplanmış olarak 5-6 dakika bekledikten sonra yüzeye çekilir. Kazığın içindeki silindirik ölçüm cihazı, tüp şeklindeki haznenin içinde, tabana çarpmada ve saplanmada oluşabilecek titreşimden zarar görmemesi için önünden ve arkasından yayla desteklenmiştir.

Cihaz, saniyede bir sıcaklık ölçüp kaydetmeye ayarlanmıştır. Hafızası 12 saat ölçüm yapmaya uygundur. 5-6 dakikalık bekleme, çamura en az 1 metre saplanmış olan Termoprob'un çevre sıcaklığını algılaması için yeterli bir süredir. Zamanı ve sıcaklığı saniyede bir ölçüp kaydeden cihazın, tabana saplanmış vaziyette kaldığı sürenin başlangıcı ve sonu çalışma defterine kaydedilir. Cihazdan kişisel bilgisayara indirilen zamana karşılık sıcaklık verilerinden, istenilen zaman aralığındaki veri, o noktanın verisi olarak kaydedilir. 5-6 dakikalık ölçüm sırasında okunan sıcaklık, göl taban sedimanının o noktada, o andaki sıcaklığı olarak kaydedilir. Bulunan bu

sıcaklık değerleri, göl boyunca taban sediman sıcaklık dağılım haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Bütün dağılım haritaları ve kesitler, Surfer 10 (Golden Software Inc., 2012) bilgisayar programında hazırlanmıştır.

Elde edilen su ve taban sedimanı ölçüm değerleri (Çizelge 1) kullanılarak dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, gölden alınan 3 adet kesit üzerinde; göl suyuna ait sıcaklık, pH ve EC dağılımı ve taban sıcaklık değişimi gösterilmiştir. Bu veriler ışığında gölün fizikokimyasal dinamiğini anlamaya yönelik yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Çizelge 1. Köyceğiz gölünde yapılan ölçümlerle ilgili genel bilgiler.

Table 1. General information about the measurements done in the Lake Köyceğiz.

	Ölçüm Noktası	Koordinat (UTM/WGS84)		Su Derinliği (m)	Ölçüm Tarihi	Yüzey Suyu Sıcaklığı (°C)	Taban Suyu Sıcaklığı (°C)	Çamur Sıcaklık (°C)	Su çamur sıcaklık farkı (°C)
1	K1	649660	4090803	19.959	09.04.2017	18.78	12.67	15.008	2.338
2	K2	651100	4090197	18.741	09.04.2017	18.93	12.54	14.888	2.348
3	K3	652167	4089873	15.546	09.04.2017	18.71	12.18	14.505	2.325
4	K5	653227	4089755	10.630	09.04.2017	19.02	11.76	14.768	3.008
5	K6	650566	4088869	22.994	09.04.2017	17.20	13.07	15.199	2.129
6	K7	649905	4089654	24.619	09.04.2017	16.55	13.43	15.079	1.649
7	K8	648680	4090069	22.374	09.04.2017	15.71	12.92	15.079	2.159
8	K9	649036	4089123	24.146	09.04.2017	17.89	13.39	15.247	1.857
9	K10	649480	4088373	23.083	09.04.2017	16.67	12.95	15.031	2.081
10	K11	650516	4087689	22.081	09.04.2017	18.20	12.69	15.127	2.437
11	K12	649519	4087243	10.290	29.04.2017	20.04	12.77	14.553	1.783
12	K13	648495	4087675	22.108	29.04.2017	20.04	13.34	15.031	1.691
13	K14	648261	4088538	22.583	29.04.2017	20.11	13.50	15.199	1.699
14	K15	647209	4087482	20.574	29.04.2017	20.04	12.77	15.079	2.309
15	K16	648322	4086833	18.117	29.04.2017	20.14	13.16	14.888	1.728
16	K17	649044	4086125	4.037	29.04.2017	20.06	19.41	18.414	-0.996
17	K18	647869	4085559	4.187	29.04.2017	20.18	19.76	18.247	-1.513
18	K19	647334	4086400	17.739	29.04.2017	20.14	12.87	14.864	1.994
19	K20	646065	4086861	15.079	29.04.2017	20.21	13.37	14.745	1.375
20	K21	646513	4085863	4.852	29.04.2017	20.39	20.13	17.748	-2.382
21	K22	645274	4085535	4.401	29.04.2017	20.49	19.30	17.439	-1.861
22	K23	645732	4084839	3.360	29.04.2017	20.34	19.89	18.224	-1.666
23	K24	645300	4083755	5.173	29.04.2017	21.23	19.27	18.414	-0.856
24	K25	644399	4084237	22.167	30.04.2017	21.64	15.36	16.630	1.270
25	K26	643190	4084503	30.712	30.04.2017	20.65	15.35	16.558	1.208

Avşar, Kurtuluş

Çizelge 1. (devamı)

Table 1. (continued)

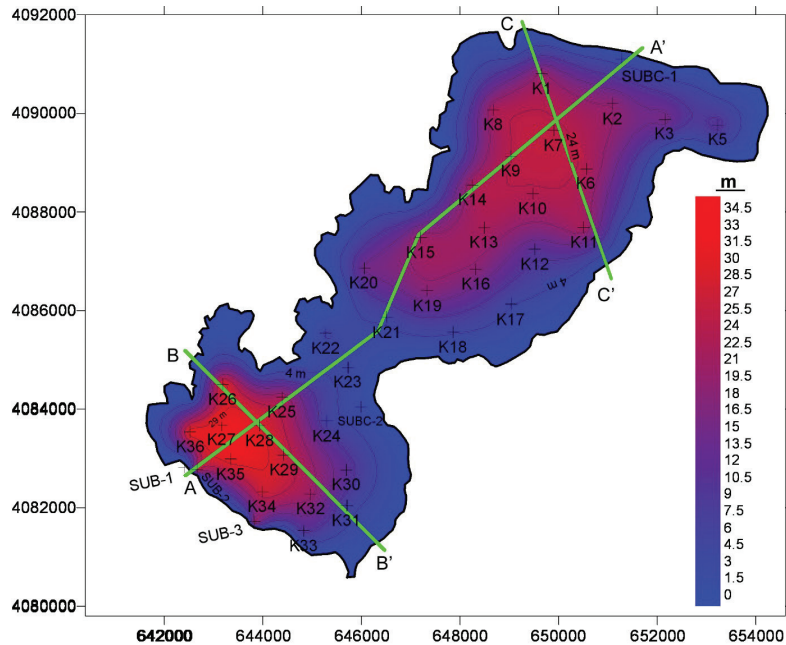
26	K27	643176	4083673	31.528	30.04.2017	20.97	15.33	16.606	1.276
27	K28	643937	4083666	28.668	30.04.2017	21.07	15.30	16.534	1.234
28	K29	644426	4083064	26.089	30.04.2017	21.16	15.36	16.630	1.270
29	K30	645701	4082755	11.448	29.04.2017	21.06	15.19	17.558	2.368
30	K31	645710	4082043	5.625	29.04.2017	20.87	19.95	18.771	-1.179
31	K32	644964	4082271	20.328	29.04.2017	21.22	15.23	16.439	1.209
32	K33	644835	4081528	10.122	29.04.2017	21.49	15.40	16.129	0.729
33	K34	644000	4082322	26.679	30.04.2017	21.42	15.33	16.630	1.300
34	K35	643349	4082984	31.025	30.04.2017	20.72	15.38	16.558	1.178
35	K36	642526	4083532	31.924	30.04.2017	21.09	15.41	16.606	1.196
36	SUB1	642408	4082821	27.665	30.04.2017	21.07	15.34	16.344	1.004
37	SUB2	642676	4082773	26.299	30.04.2017	20.90	15.36	16.511	1.151
38	SUB3	643831	4081711	21.025	30.04.2017	20.76	15.43	17.368	1.938
39	SUBC-1	651289	4091105	1.742	30.04.2017	20.21	20.21	19.508	-0.702
40	SUBC-2	645999	4084040	2.111	29.04.2017	21.12	21.03	19.270	-1.760

BULGULAR

Su Ölçümleri

Öncel çalışmalarda da belirtildiği gibi, Köyceğiz Gölü güney ve kuzeyde iki ayrı çanaktan oluşmaktadır. Gölün orta kısmında, su derinliğini 2 metreye kadar düşüren bir sırt, bu

iki çanağı birbirinden ayırmaktadır. Köyceğiz Gölü'nün, CTD (Conductivity-Temperature-Depth) cihazının derinlik verisi ile oluşturulan batimetri haritası incelendiğinde, kuzey çanağın en derin noktasının 24 m civarında, güney çanağın ise en derin yerinin 32 m civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).

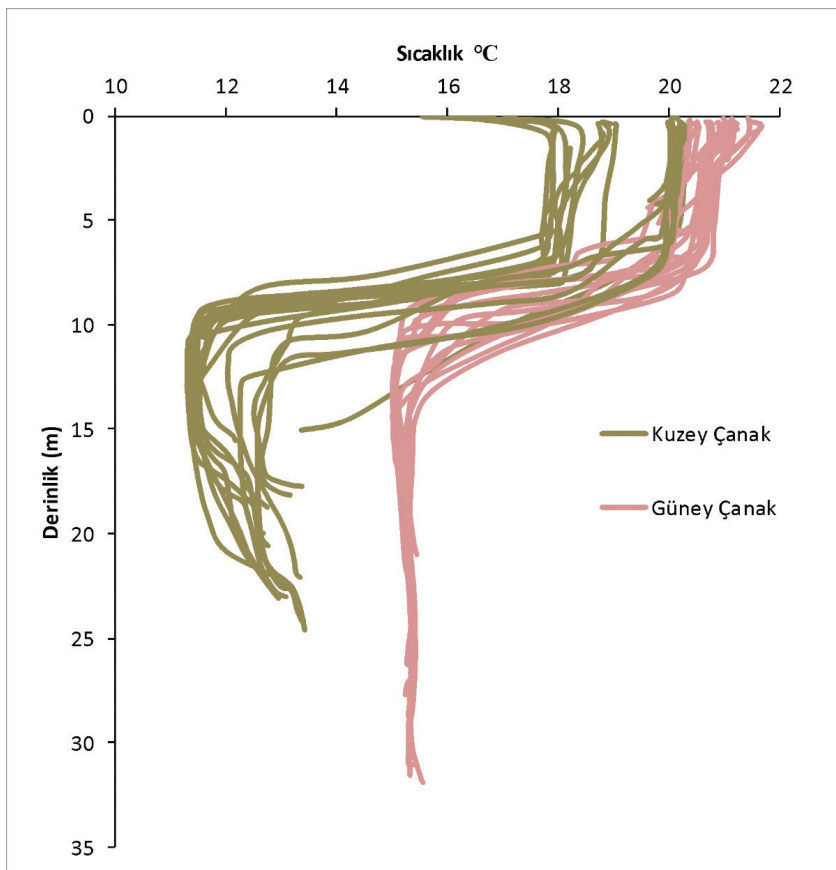


Şekil 2. Batimetri haritası.

Figure 2. Bathymetry map.

Şekil 3a'daki Su Sıcaklığı - Derinlik grafiği incelendiğinde, kuzey ve güney çanaklarda gölün suyunun termal olarak tabakalandığı, tabanda ve yüzeyde farklı sıcaklıkta iki su tabakasının bulunduğu ve bu tabakaların sınırının yüzeyden yaklaşık 8 m derinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu sınır, kuzey çanakta daha keskindir. Güney çanakta ise, yaklaşık 7 metre kalınlıkta bir geçiş zonundan sonra alttaki tabakaya geçilmektedir. Su Sıcaklığı - Derinlik grafiğinde gözlemlenen bir diğer husus ise, alt ve üst tabakaların sıcaklıklarının çanaktan çanağa farklılık göstermesidir. Kuzey çanakta üstteki tabakanın sıcaklığı genellikle $17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $19.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişirken, alttaki tabakanın sıcaklığı 11.3

$^{\circ}\text{C}$ ile $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Güney çanakta ise üstteki tabakanın sıcaklığı genellikle $19.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $21.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişirken, alttaki tabakanın sıcaklığı $15.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır. Bu veriler ışığında güney çanaktaki su sıcaklığının kuzey çanağa göre her iki tabaka için de yüksek olduğu söylenebilir. Sıcaklık dağılımı ile ilgili diğer önemli bir nokta ise kuzey çanağın güney kısmında gerçekleştirilen ölçümlerle ilgilidir. K12'den K21'e kadar olan noktaları kapsayan bu ölçümlerde yüzeye yakın sıcaklıklar güney çanağın üst kısmındaki sıcaklıklarla benzerlik göstermektedir. Bu durum güney çanağın üst tabakasının ortadaki sırtı aşarak kuzeye doğru bir miktar ilerlediğini göstermektedir.

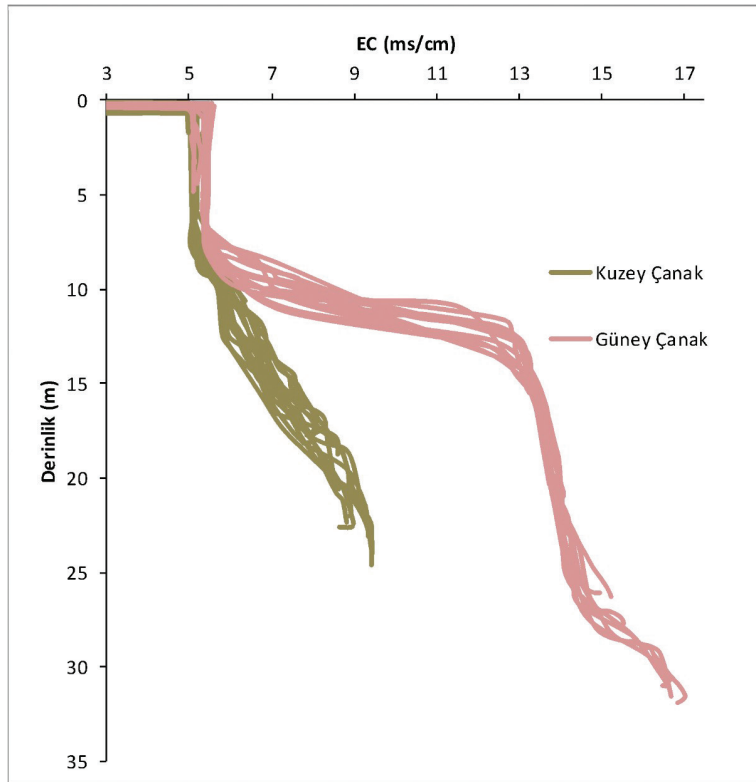


Şekil 3. a. Derinlik - sıcaklık grafiği.

Figure 3. a. Depth vs. temperature graph.

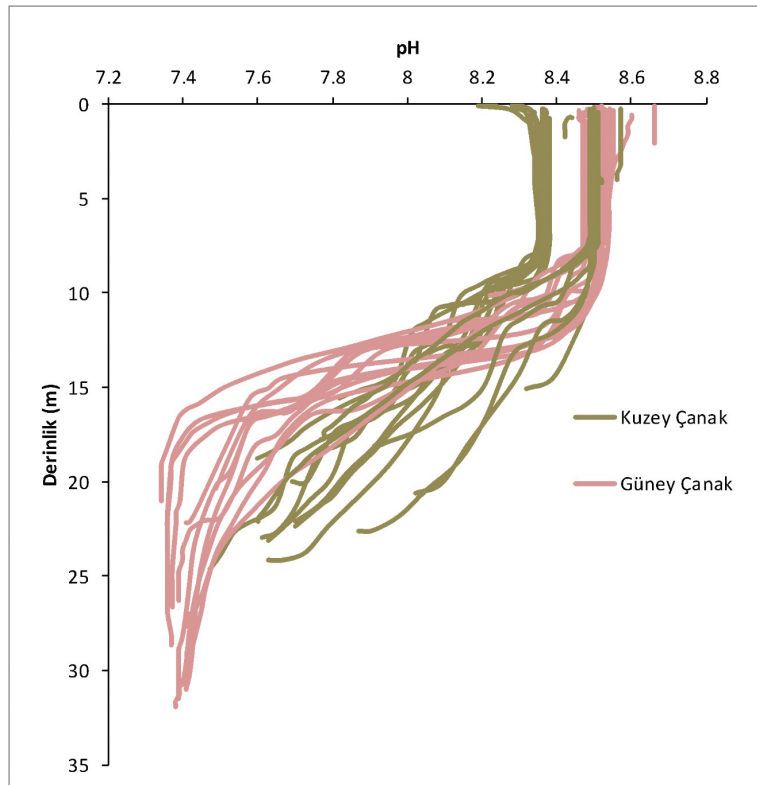
Bu araştırmada öncelikle göl suyu ve sediman sıcaklıklarının alansal/hacimsel değişimine odaklanılmıştır. Bununla birlikte EC (düzeltilmemiş, su sıcaklığındaki değerler) ve pH gibi parametreler de ölçülmüştür. EC - Derinlik grafiği incelendiğinde her iki çanakta da üst tabakanın kalınlığının 7 m olduğu söylenebilir (Şekil 3b). Her iki çanakta da 5 mS/cm civarında sabit bir EC gözlemlenmektedir. Bu derinliğin altında kuzey çanak sularının EC'si sabit bir eğimle düşüm gösterirken, güney çanak suları yine yaklaşık 7 m'lik bir geçiş zonu sergilemekte, bu zonun altında 13 mS/cm civarında sabit bir değere ulaşmaktadır. Güney çanakta 27 m derinlikten sonra, EC değerlerinde 2 mS/cm seviyelerine hafif bir yükseliş eğilimi gözlemlenmektedir. Suyun EC'sinin

sıcaklık artışıyla beraber arttığı bilinmektedir. Köyceğiz Gölü'nde derine indikçe sıcaklığın düşmesine rağmen EC'nin artması, altta ve üste toplam çözülmüş madde miktarı birbirinden tamamen farklı su fasiyelerinin bulunduğunu göstermektedir. pH - Derinlik grafiğinde, üst tabakanın kalınlığının 8 m civarında olduğu görülmektedir (Şekil 3c). Üst tabakada yine kuzey çanak suları 8.35 civarında sabit bir pH değeri sergilerken, güney çanak üst tabaka suları 8.5 civarında sabit bir değer sergilemektedir. 8 m derinliğin altında kuzey çanakta pH değeri düzgün bir eğimle 7.6 değerine doğru azalma eğilimine girmekte, güney çanakta yaklaşık 8 m'lik bir geçiş zonundan sonra 7.45 civarında sabitlemektedir.



Şekil 3. b. Derinlik - EC grafiği.

Figure 3. b. Depth vs. EC graph.



Şekil 3. c. Derinlik - pH grafiği.

Figure 3. c. Depth vs. pH graph.

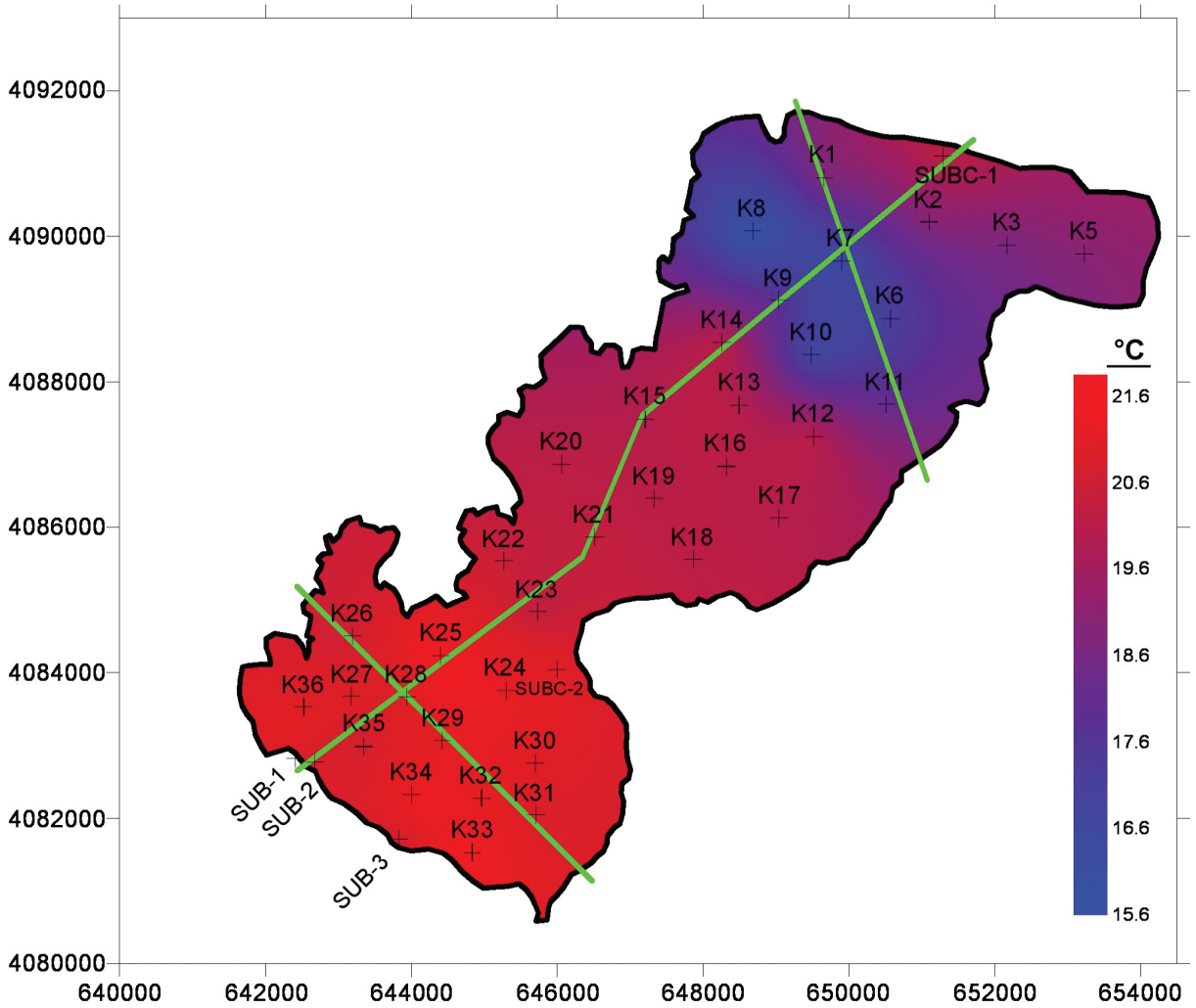
Su sıcaklığının alansal dağılımını gözlemek için, her bir ölçüm noktasından gelen/ölçülen dikine profillerden, yüzeyde ölçülen sıcaklığın ve en derin noktada ölçülen su sıcaklığının alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4). Bu haritalar incelendiğinde, sıcaklıklar çanakların içinde sabitken, iki ayrı çanak içindeki suların sıcaklıkları hem derindeki hem de yüzeydeki tabakada farklılık göstermektedir. Başka bir deyişle, kuzey çanaktaki su, güney çanaktaki sudan daha soğuktur. Şekil 3'te verilen Sıcaklık - Derinlik grafiğinde de gözlemlenen, güney çanak üst tabaka suyunun kuzeye doğru bir miktar ilerlemesi durumu, yüzey suyu sıcaklığı dağılım haritasında da açıkça gözlemlenmektedir. Her

iki çanağın alt tabakalarında birbirleriyle bir etkileşim gözlemlenmemiştir. Yüzey ve taban suyu sıcaklık dağılım haritasında gözlemlenen bir diğer husus da; gölün kuzey sınırında bulunan SUBC-1 isimli sualtı soğuk su kaynağı etrafında pozitif sıcaklık anomalisi varken, diğer sualtı kaynaklarının (SUB-1, SUB-2, SUB-3, SUBC-2) etrafında pozitif veya negatif herhangi bir belirgin anomali gözlemlenmemiş olmasıdır. Bu durum aşağıdaki bölümlerde tartışılmaktadır.

Köyceğiz Gölü suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini üç boyutlu olarak algılayabilmek için, alansal dağılım haritalarına ek olarak 3 adet kesit hazırlanmış ve Şekil 5'te sunulmuştur. Bu kesitler incelendiğinde her iki çanakta da iki adet tabaka gözlemlenmektedir. Üst tabakanın

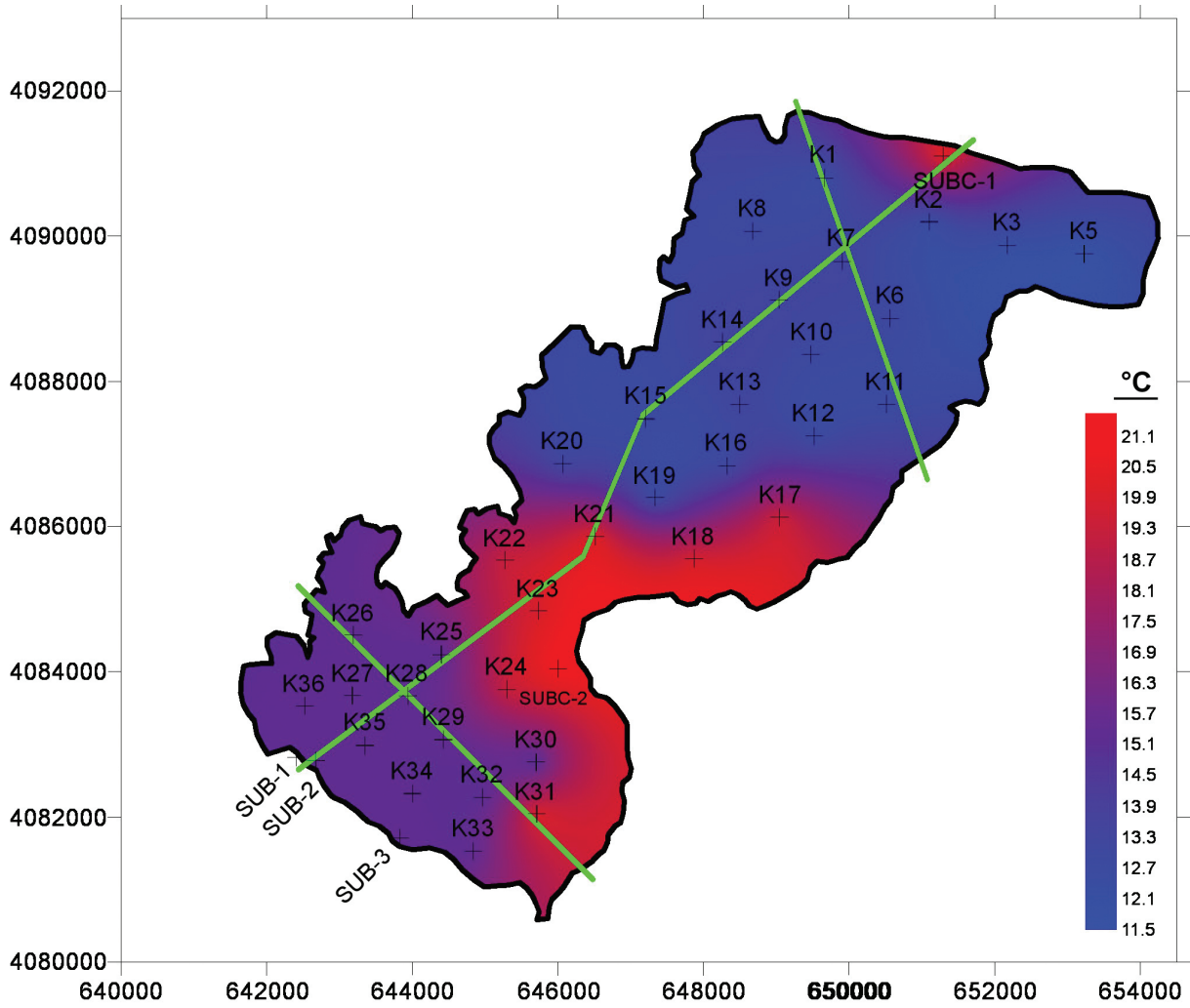
alt sınırı yüzeyden 7-9 m derinliktedir. Daha önce Derinlik - Sıcaklık grafiğinde gözlemlenen tabakalanmanın geometrisi ve iki çanak arasındaki farklılıklar, bu kesitlerde daha belirgindir. Kesitlerden de görüleceği üzere, kuzey çanaktaki alt ve üst tabakalar güney çanağa göre daha soğuktur. Bu kesitlerden özellikle

AA' hattı boyunca alınanlarda gözlemlenen en çarpıcı nokta, kuzey ve güney çanaklarda suların fiziksel özelliklerinin genellikle birbirinden farklı olmasına rağmen, güney çanağın üst tabakasındaki suyun ortadaki sırtı aşmış kuzey çanağın güneyine doğru yerleşmiş olmasıdır.



Şekil 4. a. Yüzey suyu sıcaklığı dağılım haritası.

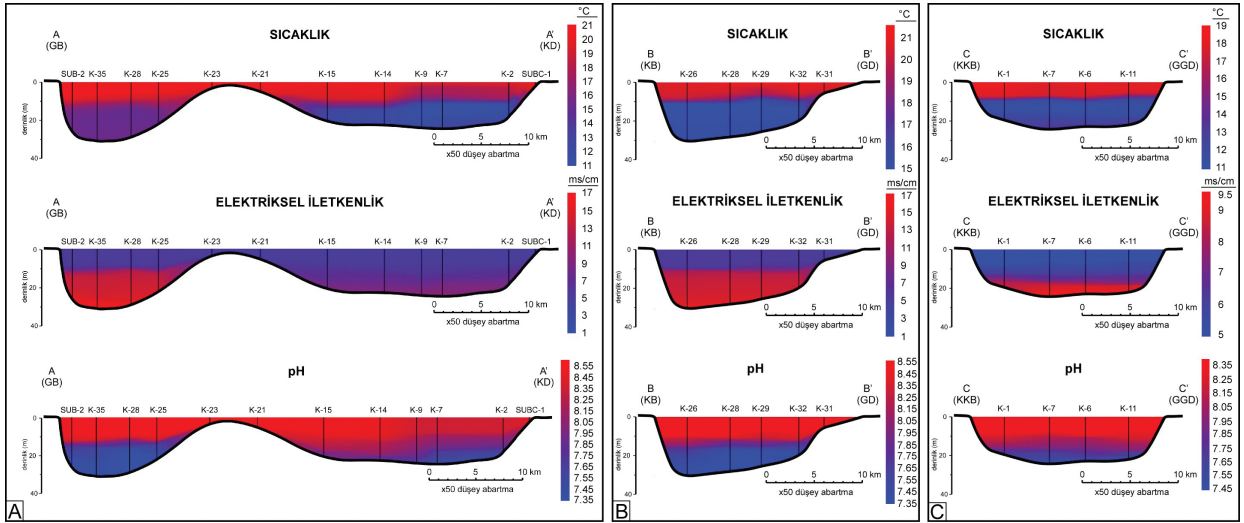
Figure 4. a. The temperature distribution map of the surface water.



Şekil 4. b. Taban suyu sıcaklığı dağılım haritası.

Figure 4. b. The temperature distribution map of the bottom water.

Avşar, Kurtuluş



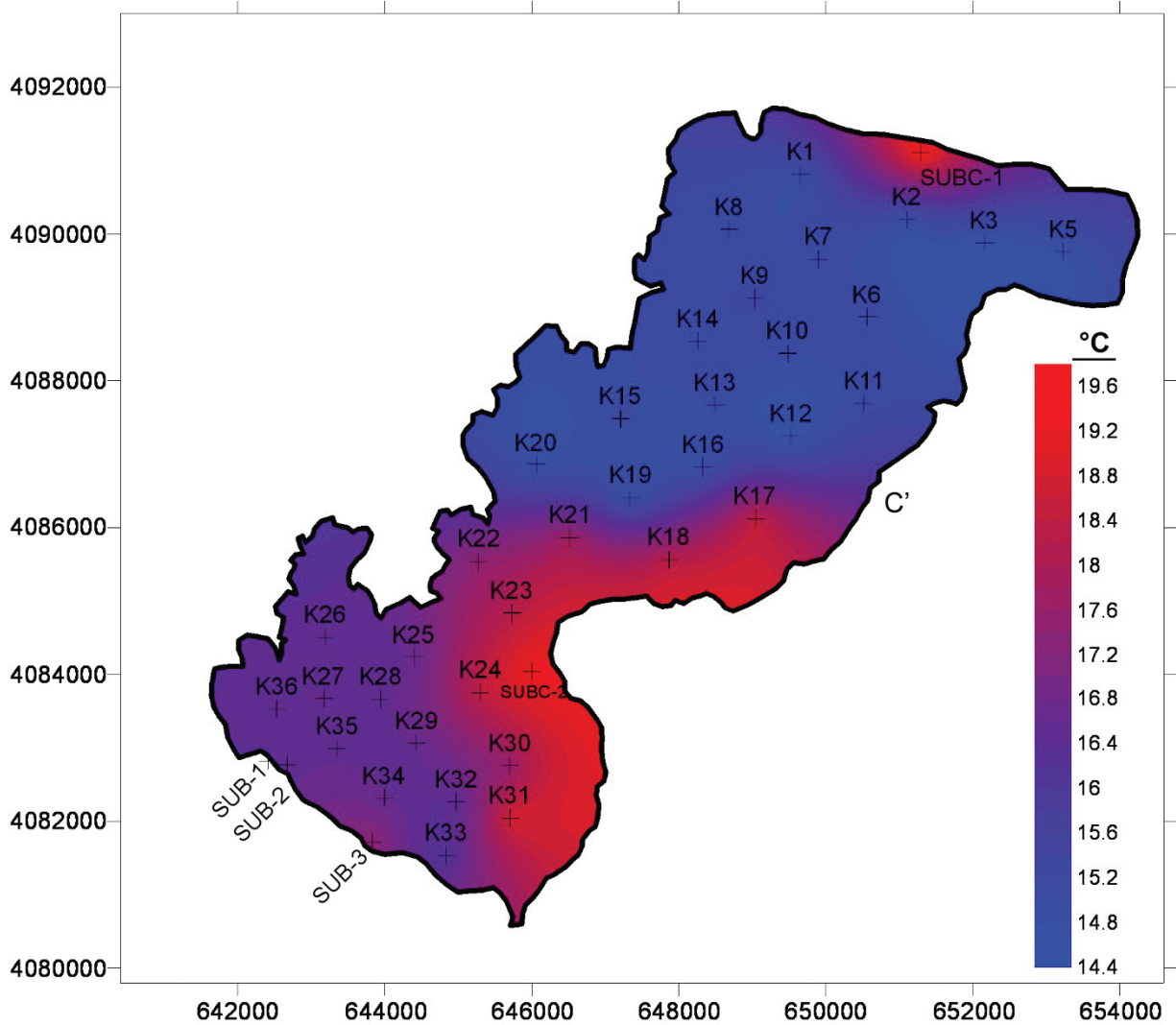
Şekil 5. Sıcaklık, elektriksel iletkenlik, ve pH kesitleri a) AA', b) BB', c) CC'.

Figure 5. Temperature, electrical conductivity and pH cross sections a) AA', b) BB', c) CC'.

Sediman Ölçümleri

Ölçüm noktalarında Termoprob Cihazı ile ölçülen taban sediman sıcaklıkları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu veriler aracılığı ile, göl tabanındaki sedimanların sıcaklıklarının alansal dağılımını incelemek amacıyla alansal dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 6). Bu harita incelendiğinde, göl suyunun sıcaklığında olduğu gibi, taban sediman sıcaklığı da aynı çanak içinde genellikle benzer sıcaklık dağılımını sergilerken, çanaktan çanağa sıcaklık değişmektedir. Ortalaması 17.12 C° olan güney çanağı taban sedimanlarının sıcaklığı,

ortalaması 15.71 C° olan kuzey tabanı sedimanlarından daha sıcaktır. Göl tabanında bulunan soğuk su kaynaklarının etrafında bir sıcaklık anomalisi gözlemlenmektedir ve bu kaynaklar etrafındaki sediman sıcaklıklarının, gölün diğer kısmındakilerden daha yüksek olduğu söylenebilir. Yine gölün güney kısmında bulunan sualtı sıcak su kaynaklarından SUB-3, pozitif bir sıcaklık anomalisi sergilerken; SUB-1 ve SUB-2 kaynaklarında herhangi bir anomali gözlenmemektedir. Sualtı kaynaklarının, taban sedimanlarının ve göl suyunun sıcaklıklarına etkisi Tartışma bölümünde irdelenecektir.



Şekil 6. Taban sedimanları sıcaklık dağılım haritası.

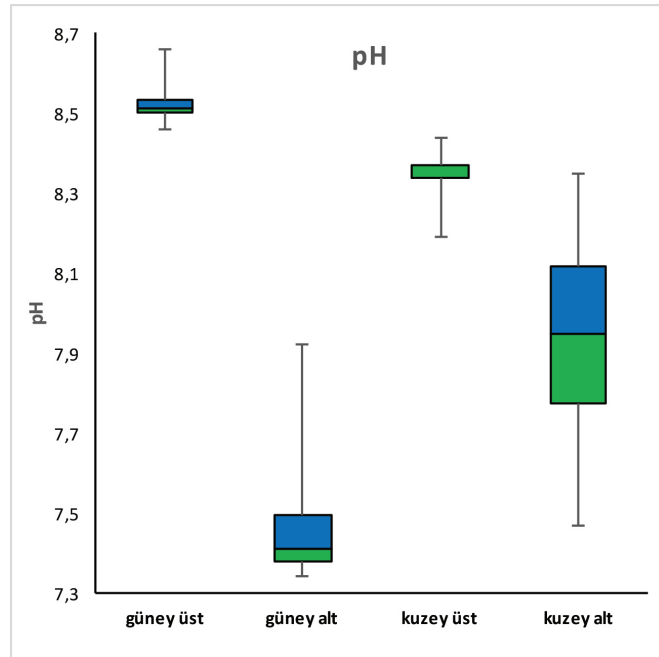
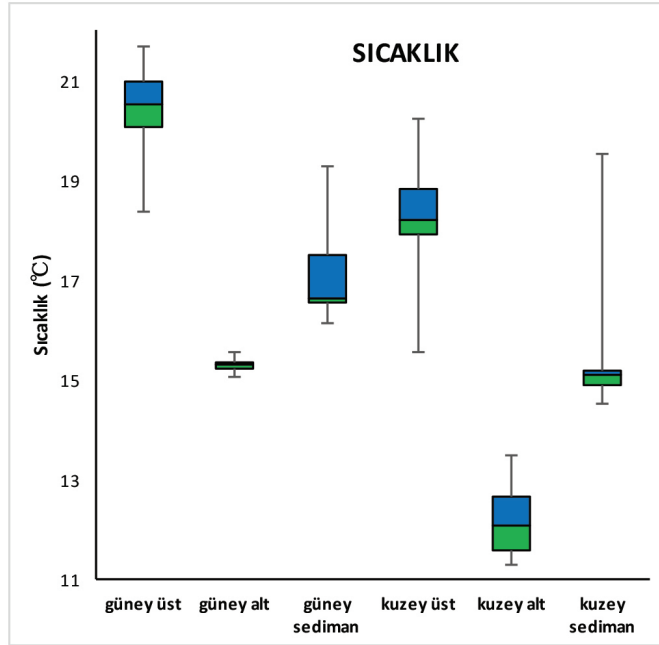
Figure 6. The temperature distribution map of the bottom sediments.

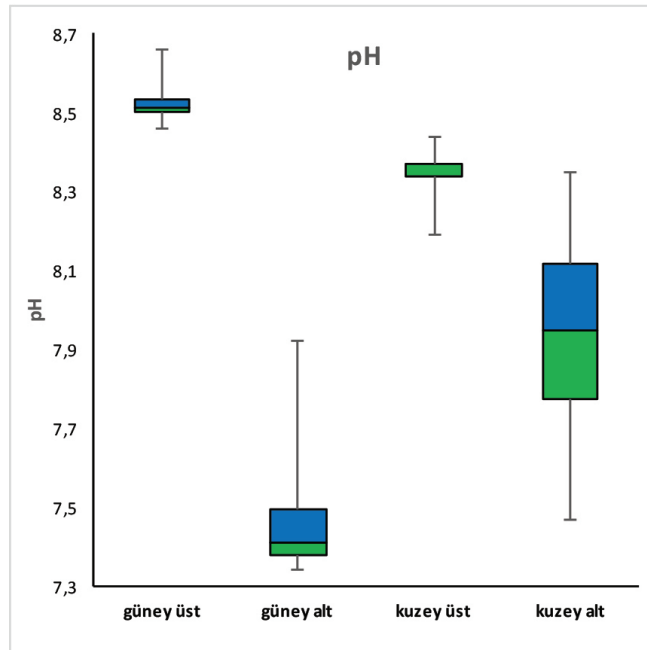
40 lokasyonda su ve sediman sıcaklığında yapılan ölçümler, gölde 4 adet su kütesinin bulunduğunu göstermiştir. Bunun yanı sıra, sediman sıcaklıkları da güney ve kuzey çanakta birbirinden farklı değerler vermektedir. Bu 4 adet su kütesini ve iki farklı çanakta farklı sıcaklıklar sunan sedimanları, sayısal olarak daha iyi anlayabilmek için sıcaklık (su ve sediman), EC ve pH ölçüm sonuçlarının her bir kütle/alan

için kutu diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 7). Şekil 7 incelendiğinde, her iki çanaktaki taban sediman sıcaklıklarının, yüzey suyundan daha soğuk, taban suyundan daha sıcak olduğu görülmektedir. Güney ve kuzey çanaktaki EC değerleri, üst tabakada daha düşük, alt tabakada ise daha yüksektir. Kuzey ve güney çanaklar karşılaştırıldığında, üst tabaka değerleri birbirine yakınken, alt tabakada güney çanak daha

yüksek değerler sergilemektedir. pH verilerine bakıldığında, her iki çanakta da üst tabaka, alt tabakaya göre daha yüksek değerler vermektedir. Üst tabakada, güney çanaktan kuzey çanağa

geçildiğinde pH değeri düşmektedir. Çanakların alt tabakaları pH açısından karşılaştırıldığında, kuzey çanağın daha yüksek pH değerine sahip olduğu görülmektedir.





Şekil 7. Köyceğiz Gölü ölçümlerinin kutu diyagramları (mavi: medyan ve 75 persantil arasındaki değerleri, yeşil: 25 persantil ve medyan arasındaki değerleri, kutunun altına ve üstüne doğru uzanan çizgiler: sırasıyla en düşük ve en yüksek değerleri göstermektedir).

Figure 7. The box plots of the Lake Köyceğiz measurements (blue: the values between the median and the 75 percentile, green: the values between the 25 percentile and the median, lines below and above the box: the minimum and maximum values respectively).

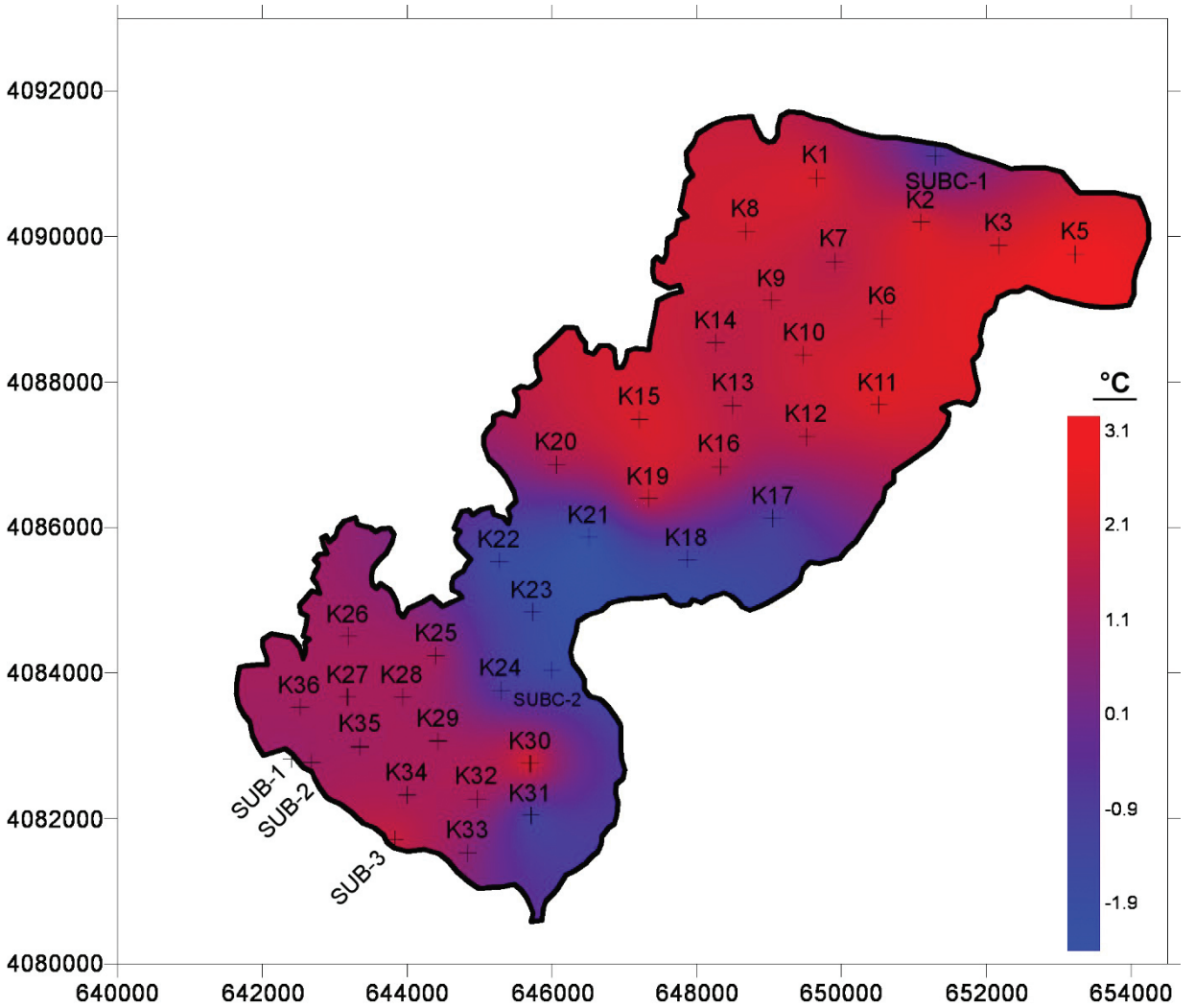
TARTIŞMA

Bulgular kısmında belirtildiği gibi, Köyceğiz Gölü termal bir tabakalanma sergilemektedir. Bu tabakalanmanın yanı sıra bir diğer çarpıcı nokta ise, gerek göl suyunun gerekse taban sedimanlarının kuzey çanakta daha soğuk olduğudur. Taban sedimanları ile göl suyunun birbiriyle etkileşimini inceleyebilmek için, taban sedimanlarının sıcaklığından taban su sıcaklığı çıkarılmış, bulunan bu sonuçlar kullanılarak sıcaklık farkı alansal dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 8). Bu haritada görülmektedir ki; her iki çanakta da sedimanlar gölün tabanındaki sudan yaklaşık 1.7 C° daha sıcaktır ve bu fark her iki çanak için genellikle sabittir. İki çanak arasındaki nispeten sığ bölgede ise su sıcaklığının taban

sedimanlarının sıcaklığından daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum göstermektedir ki; güney çanak sedimanları ve suları kuzey çanağa göre aynı oranda daha sıcaktır. Güney çanaktaki bu tutarlı sıcaklık, güneydeki Sultaniye Kaplıcaları, Delibey Girmesi, Kelgirme Kaynağı ve sualtı sıcak su kaynakları ile sahada kendini gösteren jeotermal aktivite ile açıklanabilir. Sediman ve sulardaki bu paralel sıcaklık yükselmesi ya göle deşarj olan sıcak suların göl suyunu ısıtmasından ya da halihazırda sıcak olan taban kayaların, üzerindeki sedimanın ve dolayısıyla suyun sıcaklığını bir miktar arttırmasından kaynaklanmaktadır. Her iki durumda da, güneyde jeotermal kaynakların komşusu olan güney çanağın sediman ve su sıcaklığının kuzey çanağa göre bir miktar fazla olması jeotermal aktiviteyle tutarlı görünmektedir. Su altındaki ve karadaki

jeotermal kaynaklar, buldukları bölgedeki su ve taban sedimanların sıcaklığını genellikle noktasal olarak yükseltecek ve pozitif anomali verecek yönde etkilememektedir. Ancak, güney çanaktaki termal kaynakların zamana bağlı bir sıcaklık birikimiyle daha geniş alanlarda küçük sıcaklık yükselmelerine yol açtığı söylenebilir.

Su ve sediman sıcaklık ölçümleri ile ilgili dikkat çekici diğer bir bulgu, sualtı sıcak ve soğuk su kaynaklarının sediman ve su sıcaklıklarına etkisidir. Sualtı sıcak su kaynaklarından SUB-3 yakınında taban sediman sıcaklığı, yakın çevredeki diğer ölçümlere göre bir miktar



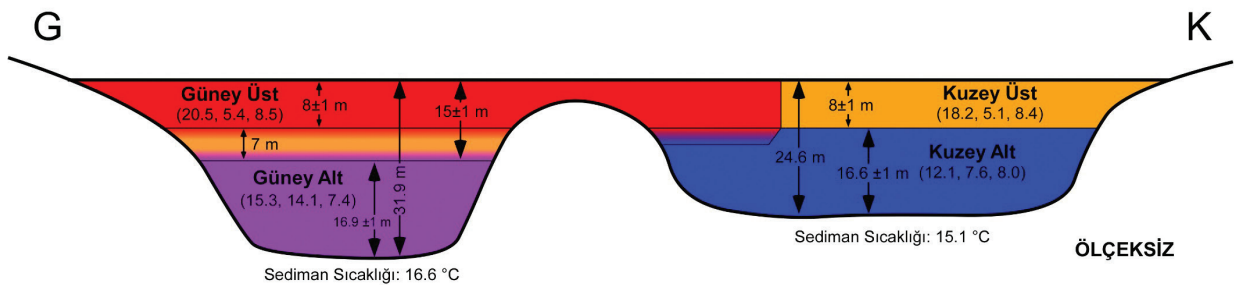
Şekil 8. Sediman sıcaklığı ile taban suyu arasındaki sıcaklık farkı dağılım haritası.

Figure 8. The distribution map of the temperature difference between sediments and bottom water.

yüksektir (Şekil 6). Bu durum, kaynaktan çıkan suyun sedimanları ısıtmasıyla açıklanabilir. SUB-3'deki çamur sıcaklığı ölçümü, kaynağın olduğu noktada tabanın kaya olması ve termoprobun saplanamamasından dolayı tam olarak bu noktada değil, kaynağın yaklaşık 90 m kuzeyinde yapılmıştır. Dikey su sıcaklığı profili de yine bu noktadan alınmıştır. Bu noktada, su sıcaklığında bir anomali gözlenmeyip sediman sıcaklığında bir anomali gözlenmiştir. Bu durum göstermektedir ki, 90 m uzaktaki sedimanlar sualtı kaynağı tarafından ısıtılmıştır. Ancak sualtı kaynağından çıkan sıcak su 90 m uzakta göl suyuyla karıştığından suda herhangi bir sıcaklık anomali vermemiştir (Şekil 4). Tabanın kaya olma durumu SUB-1 ve SUB-2'de de gözlemlenmiş, SUB-1'de 95 m kuzey doğudan, SUB-2'de 60 m kuzeyden ölçümler alınmıştır. Alınan bu ölçümlerde de, suda ve taban sedimanlarında herhangi bir sıcaklık anomali gözlenmemiştir (Şekil 5). Bunun nedeni, gerçek kaynak noktası ile ölçüm alınan nokta arasındaki

mesafenin, birbirinden etkilenmeyecek kadar çok olmasıdır.

Sualtı kaynak noktalarının çevresindeki sıcaklık anomalileri ile ilgili bir diğer ilginç konu, Avşar vd. (2017) tarafından soğuk sualtı kaynağı olarak tanımlanan SUBC-1 kaynağının etrafında, hem sedimanlarda hem de sularda pozitif bir anomali görünmesidir (Şekil 4 ve Şekil 6). Soğuk sualtı kaynaklarının, göl suyu ve taban sedimanlarını soğutması ve bu noktaların etrafında negatif bir sıcaklık anomali oluşturması gerekirdi. Sualtı soğuk su kaynakları, Avşar vd. (2017) tarafından göl suyunun sıcaklığının 20 C°'nin üstünde olduğu yaz aylarında keşfedilmiş ve sıcaklığı göl suyundan düşük olduğu için soğuk su kaynağı olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmadaki ölçümler Nisan ayında yapıldığı için, göl suyu sıcaklığı yaz aylarına göre düşüktür ve çıkış sıcaklığı nispeten sabit olan sualtı kaynağı bu ölçümde pozitif bir sıcaklık anomalisine sebep olmuştur.



Şekil 9. Köyceğiz Gölü'nün taslak kesiti (Ölçeksiz. Parantez içindeki değerler sırasıyla sıcaklık (C°), EC (mS/cm) ve pH ölçümlerinin medyan değerleridir. Taban sediman sıcaklık değerleri medyan değerleridir).

Figure 9. Sketch cross section of the Lake Köyceğiz (Not to scale. The values in the parenthesis are the median values of temperature (°C), EC (mS/cm) and pH respectively. Bottom sediment temperature values are medians).

SONUÇ

Çalışma sonucunda elde edilen bütün veriler birlikte değerlendirilerek Şekil 9'da sunulan taslak kesit oluşturulmuştur. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Kuzey ve güneyde olmak üzere gölde iki farklı çanak bulunmaktadır. Kuzeydeki çanağın ölçülen en derin yeri 24.6 m iken güney çanağın en derin yeri 31.9 m'dir. Göldeki su ve sediman sıcaklıkları iki çanakta da farklılık göstermektedir.
- 40 noktada yapılan dikey sıcaklık, EC, ve pH ölçümleri gölde fiziksel özellikleri birbirinden farklı iki yatay su tabakası bulunduğunu göstermektedir. Bu yatay su tabakaları, güney ve kuzey çanakta birbirinden farklı fiziksel özellikler sunduğu için, gölde birbirinden farklı dört adet su kütlesi tanımlanmıştır.
- Kuzey çanakta üstteki tabakanın sıcaklığı 15.6 C° ile 20.2 C° arasında değişiyorken, alttaki tabakanın sıcaklığı 11.3 C° ile 13.5 C° arasında değişmektedir.
- Güney çanakta üstteki tabakanın sıcaklığı 18.4 C° ile 21.7 C° arasında değişiyorken (medyan: 20.5), alttaki tabakanın sıcaklığı genellikle 15.3 C° civarındadır.
- Üst tabakanın tabanı her iki çanakta da 8 ± 1 m derinliktedir. Güney çanakta iki tabaka arasında yaklaşık 7 m kalınlığında bir geçiş zonu vardır. Kuzey çanakta ise geçiş zonu yoktur ve değerler sert bir şekilde değişmektedir. Güney çanaktaki üst tabaka, ortada iki çanağı ayıran sırtı/yükseltiyi aşmış kuzey çanağına doğru hücum etmiştir. Alt tabakanın kalınlığı her iki çanakta da yaklaşık 17 m'dir.
- Kuzey çanaktaki taban sedimanlarının sıcaklığı (medyan: 15.1 C°), güney çanak sedimanlarının sıcaklığından (medyan: 16.6 C°) daha düşüktür.
- Sedimanların ve suların sıcaklıklarına bakıldığında güney çanakta hem sedimanların hem de suların sıcaklıkları (her iki tabaka için de) daha yüksektir. Bu durum, güneyde Sultaniye Kaplıcaları, Delibey Girmesi, Kelgirme ve sualtı termal kaynaklar ile açığa çıkan jeotermal aktiviteyle açıklanabilir.
- Göl tabanındaki suyun sıcaklığı taban sedimanlarının sıcaklığı ile karşılaştırıldığında, her iki çanakta da taban sedimanlarının, hemen üzerindeki sudan bir miktar daha sıcak olduğu gözlemlenmektedir. Ortadaki sırttan alınan ölçümlerde ise, su sıcaklığının sediman sıcaklığından daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Sualtı kaynaklardan SUB-3 taban sedimanı sıcaklığını, SUBC-1 ise hem göl suyu sıcaklığını hem de taban sediman sıcaklığını arttırarak, çevrelerinde pozitif bir sıcaklık anomalisi oluşmasına neden olmaktadır.
- Bu çalışma, göl suyu ve taban sedimanları sıcaklığına odaklansa da, EC ve pH değerleri de ölçülmüştür. Ölçülen bu veriler analiz edildiğinde, EC değerlerinin her iki çanaktaki üst tabakada 5 mS/cm civarındayken, alt tabakada bir miktar yükselerek güneyde 14.1 kuzeyde ise 7.6 mS/cm medyan değerine ulaştığı görülmektedir. pH verileri ise, üst tabakada 8.5, alt tabakada güneyde 7.4 kuzeyde 8.0 değerine ulaşmaktadır.
- Sıcaklık, EC ve pH parametrelerine ilişkin değerler ve yorumlar Nisan ayı verileri sonuçlarıdır.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, arazi çalışmalarına katılan Recep Karakaya'ya teşekkür eder. Bu çalışmadaki ölçümler, 112Y137 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında alınan CTD ve Termoprob Cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Avşar, Ö., Avşar, U., Arslan Ş., Kurtuluş, B., Niedermann, S., Güleç, N., 2017. Subaqueous hot springs in Köyceğiz Lake, Dalyan Channel and Fethiye-Göcek Bay (SW Turkey): Locations, chemistry and origins. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.07.016>
- Avşar, U., Jónsson, S., Avşar, Ö., Schmidt, S., 2016. Earthquake-induced soft-sediment deformations and seismically amplified erosion rates recorded in varved sediments of Köyceğiz Lake (SW Turkey). *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 121, 4767-4779, doi:10.1002/2016JB012820.
- Bayarı, C. S., Kazancı, N., Koyuncu, H., Çağlar, S. S., Gökçe, D., 1995. Determination of the origin of the waters of Köyceğiz Lake, Turkey. *Journal of Hydrology*, 166, 171-191.
- Bozkurt, E., Park, R. G., 1999. The structure of the Palaeozoic schists in the Southern Menderes Massif, western Turkey: a new approach to the origin of the main Menderes Metamorphism and its relation to the Lycian nappes. *Geodinamica Acta*, 12, 25-42.
- Ertürk, A., 2002. Köyceğiz-Dalyan Lagün Sistemi'nin hidrolik modellenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 178 s (yayımlanmamış).
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Cüceloğlu, G., Gönenç, E., 2017. Model-based assessment of groundwater vulnerability for the Dalyan Region of southwestern Mediterranean Turkey. *Regional Environmental Change*, 17 (4), 1193-1203.
- Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Güzel, C., Gönenç, E., 2014. Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed. *Science of the Total Environment*, 499, 437-447.
- Golden Software Inc., 2012. Surfer 10 versiyonu. Golden, Inc., CO 80401 USA.
- Gökgöz, A., Tarcan, G., 2006. Mineral equilibria and geothermometry of the Dalaman-Koycegiz thermal springs, southern Turkey. *Applied Geochemistry*, 21, 253-268.
- Hinsbergen, D. J. J., 2010. A key extensional metamorphic complex reviewed and restored: The Menderes Massif of western Turkey. *Earth-Science Reviews*, 102, 60-76.
- Hinsbergen, D. J. J., Dekkers, M. J., Bozkurt, E., Koopman, M., 2010. Exhumation with a twist: paleomagnetic constraints on the evolution of the Menderes metamorphic core complex (western Turkey). *Tectonics*, 29, 1-33.
- Kazancı, N., Girgin, S., 2001. Physico-chemical and biological characteristics of thermal springs in Köyceğiz and Dalaman basins in southwestern Turkey and recommendations for their protection. *Water Science and Technology*, 43 (5), 211-221.
- Kazancı, N., Plasa, R. H., Neubert, E., İzbirak, A., 1992. On the limnology of Lake Köyceğiz (SW Anatolia). *Zoology in the Middle East*, 6 (1), 109-126.
- Rimmelé, G., Jolivet, L., Oberhänsli, R., Goffé, B., 2003a. Deformation history of the high-pressure Lycian nappes and implications for tectonic evolution of SW Turkey. *Tectonics*, 22, 1007-1027.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B., Jolivet, L., Candan, O., Çetinkaplan, M., 2003b. First evidence of high-pressure metamorphism in the "Cover Series" of the southern Menderes Massif. Tectonic and metamorphic implications for the evolution of SW Turkey. *Lithos*, 71, 19-46.
- Şenel, M., 1997. 1:100000 Ölçekli, Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi. No. 1, Jeoloji Haritası Fethiye L7 paftası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 30 s.

Sözbilir, H., Sarı, B., Uzel, B., Sümer, Ö., Akkiraz, S., 2011. Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey. *Basin Research*, 23, 423-448.

Ten Veen, J. H., Boulton, S. J., Alçiçek, M. C., 2009. From palaeotectonics to neotectonics in the Neotethys realm: the importance of kinematic decoupling and inherited structural grain in SW Anatolia (Turkey). *Tectonophysics*, 473, 261–281.