



**Küçük Buz Çağı'nda Güneş Etkisine Bağlı İklim Değişimleri:  
Köyceğiz Gölü Çökel Kayıtları (GB Anadolu)**  
*Climatic variability related to solar activity during the Little Ice Age:  
Lake Köyceğiz Sediment Records (SW Anatolia)*

**Sena Akçer-Ön** 

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kötekli, 48000 Muğla*

Geliş/Received : 29.11.2017 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 13.12.2017 • Kabul/Accepted : 15.12.2017 • Baskı/Printed : 29.12.2017

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Köyceğiz Gölü Batı Anadolu'da bulunan doğal bir kanal olan Dalyan ile Akdeniz'e bağlanan iki havzadan oluşan bir doğal kıyı baraj gölüdür. Çalışma kapsamında gölün kuzeyinden, Köyceğiz havzasından iki adet, güneyde Sultaniye havzasından bir adet ve iki havzayı ayıran Gedova Sirtından bir adet olmak üzere toplam dört adet kısa (maksimum 800 mm) gravite karot alınmıştır. Alınan bu karotların litolojik tanımlamaları yapıldıktan sonra 5 mm aralıklarla  $\mu$ XRF element taraması (ITRAX), ve Çok Sensörlü Karot Tarayıcısı (MSCL) ile Manyetik Duyarlılık (MS) ölçümleri yapılmıştır. Üç karotta 20 mm aralıklar ile *Cyprideis torosa* (ostracoda) kavkısından  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  analizleri ile belirlenen seviyelerden toplanan kavkılardan C-14 yaşlandırması yapılmıştır. Elde edilen yaşlar ve önceki çalışmalardan bilinen sedimantasyon hızına ve Akdeniz lagünlerinin bilinen sert su/lokal rezervuar etkisine göre hesaplanarak Köyceğiz havzasında 2100±90 yıl olduğu varsayılmış ve karotların yaş modelleri oluşturulmuştur. Modellere göre, karotlar yaklaşık son 500 yıllık sedimanter istifi temsil etmektedir. Çoklu belirteç verilerinin sonuçlarına göre, Küçük Buz Çağı'nın gözlemlendiği karotlarda Güneşteki patlamaların azalmasına bağlı olan Spörer, Maunder ve Dalton Minimum dönemlerinin Köyceğiz Gölü çökel kayıtlarında soğuk/kuru dönemlere denk geldiği gözlenmiştir. Buna göre, bölge ikliminin güneşteki lekelerin artıp azalmasına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Dalton Minimum, Geç Holosen, Köyceğiz Gölü (Muğla), Maunder Minimum, Paleoiklim, Spörer Minimum.

**Abstract:** Lake Köyceğiz, at Southwest Anatolia, is natural coastal dam lake that have two basins and is connected to Mediterranean via a natural channel called Dalyan. In the scope of this study, two of the four short (max 800 mm) gravity cores were recovered from Köyceğiz Basin (north of the lake), one from Sultaniye Basin (south of the lake) and one core from the ridge between these two basins. Recovered cores are lithologically described and cores are analyzed for multi-element geochemical analyses at 5 mm resolution using  $\mu$ XRF core scanner (ITRAX) and Multi Sensor Core Logger (MSCL) for Magnetic Susceptibility. *Cyprideis torosa* (ostracoda) shells were picked and analyzed for  $^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  analysis at 20 mm resolution. The cores were dated through AMS  $^{14}\text{C}$  analysis of various shells. The results of AMS  $^{14}\text{C}$  analysis are corrected by assuming the hard water/local reservoir ages effect as 2100±90 years; according to the sedimentation rates from previous studies and known hard water/reservoir effects in Mediterranean lagoons. According to the age models, the cores span approximately last 500 years. Multi-proxy results suggest that Lake Köyceğiz cores cover Little Ice Age and show good correlation with decreases in Solar Activity spells, namely, Spörer, Maunder and Dalton Minimum. These periods are characterized as cold/dry periods in Lake Köyceğiz sediment records. So we can say that, climate of the region depends on the variability of sunspot numbers.

**Keywords:** Dalton Minimum, Lake Köyceğiz (Muğla), Late Holocene, Maunder Minimum, Paleoclimate, Spörer Minimum.

## GİRİŞ

Günümüzde göllerde paleoklim çalışmaları Türkiye’de giderek yaygınlaşmakta ve gelişmektedir. Göllerde gerçekleştirilen gerek nicel gerekse de çok disiplinli çalışmaların başarısı, göl çalışmalarının önemini arttırmaktadır. Göl ve denizlerde dip çökellerinin fiziksel, jeokimyasal, biyolojik değişimlerini ve su seviyesini kontrol eden mekanizmaların başında iklim gelmektedir. İklim değişimlerinin özellikle göllerde daha hassas saptanabilmesinin arkasında göllerin kapalı sistemler olması yatmaktadır. Göllerde yersel iklim değişimlerini bölgesel ve küresel değişimlerden ayırt edebilmek daha kolay olduğundan, benzer çalışmaların göllerde yapılması ile elde edilecek bulguların daha sağlıklı ve doğru olması beklenmektedir. Holosen boyunca özellikle Avrupa’nın kuzeyinde iklim salınımları görülür. Bu değişimlere güneşteki patlamaların, volkanik aktivitenlerin, eriyen buzulların termohaline olan etkisinin sebep olduğu düşünülmektedir. Geç Holosen’de gözlenen Küçük Buz Çağı, Ortaçağ İklim Anomalisi veya Güneş Etkisine (Solar Activity) bağlı iklim değişimleri tarihsel ve yazılı kayıtlarla dünya literatüründe gözlenmektedir.

Küçük Buz Çağı (Little Ice Age), farklı bölgelerde farklı zamanlarda gözlenmesiyle beraber en yaygın görüş, 1450-1850 yılları arasında olduğudur (Masson-Delmotte vd., 2013). Bu soğumanın etkisi, özellikle kuzey yarıkürede dağlık bölgelerde gözlenmiştir. Sıcaklığın 1950 ortalamasından sadece 0.5-0.7°C düşük olmasına karşın; Avrupa’da, bugün gözlenemeyen bir durum olan, kışları göl, kanal ve nehirlerin donduğu, buzulların alt kotlara doğru ilerlediği ve soğumanın sonucu olarak da açlık, toplumsal karmaşa ve savaşların baş gösterdiği bilinmektedir (Muller ve McDonald, 2000; Mann, 2002; Tuchman, 1978). Fakat bunun küresel bir değişim olup olmadığı ve soğumanın sebepleri hala tartışılmaktadır (Winkler, 2000). Bu çağın en soğuk dönemi olan Late Maunder Minimum’un (M.S.1675-1715, Luterbacher vd., 2001) çok belirgin kayıtları

Karadeniz çökellerinde bulunmuştur (Çağatay ve diğ., 2005; Güngör ve Çağatay, 2007). Aynı zamanda Güneş Etkisine bağlı iklim değişimleri henüz tartışmalı bir konu olmasına rağmen, güncel iklim kayıtlarında da gözlenmekte ve gelecek iklim projeksiyonlarına değişken olarak eklenmektedir (Lean, 2010). Ayrıca, geçmiş iklim kayıtlarında hem makro ölçekte (Ör: Chambers vd., 1999; Bond vd., 2001; Magny, 2004), hem de yerel ölçekte gözlenmiştir (Ör: Danladi ve Akçer-Ön, 2017).

Bu çalışma kapsamında Batı Anadolu’da Geç Holosen iklim ve ortam değişimlerinin anlaşılabilmesi için Köyceğiz Gölü’nden (Muğla) dört farklı lokasyondan kısa gravite karotlar alınmıştır. Elde edilen çökel istiflerinde çoklu-belirteçler (jeokimyasal, fiziksel özellikler) kullanılarak Geç Holosen iklim değişimleri araştırılmıştır.

## Çalışma Alanı

Köyceğiz Gölü, güneybatı Anadolu’da Muğla İli sınırları içerisinde yer alır (Şekil 1). Köyceğiz ve Dalaman çöküntüleri Akdeniz’in bir koyu iken bugün alüvyonlar ile dolmaları neticesinde, ovaya dönüşmüşlerdir. Bu çöküntülerin tam olarak ne zaman Akdeniz’den ayrıldığı bilinmese de batı Anadolu’da benzer jeomorfolojik değişimler görülmektedir (Ör: Bafa Gölü). Büyük ihtimalle, Kuvaterner’deki iklim salınımları ve yerel tektonik olaylar ile bu çöküntüler dolarak Dalaman Çayı’nın Dalyan civarında geliştirdiği set ile, buradaki körfez kapanarak Köyceğiz Gölünü oluşturmuş olmalıdır (Yeşertener, 1986). Göl havzası, Toros tektonik kuşağının batı ucunda yer alır. Gölün çevresi üç ayrı kaya-stratigrafik istiftten oluşmuştur; alttan üste doğru otokton karbonatlar ve detritikler, allokton Likya Napları (kireçtaşı, dolomit) ve ofiyolit napıdır (peridotit, harzburgit, dünit ve serpantin). Pliyo-kuvaterner yaşlı post-orosenik sedimanlar bu birimlerin üzerinde yer alır (Graciansky, 1968; Gülenbay, 1982, Yeşertener,

1986). Günümüzde göl ile Akdeniz arasındaki bağlantıyı sağlayan Dalyan kanalı ise göle boşalan akarsuların (Namnam ve Yuvarlakçay) denize ulaşmak üzere açtıkları doğal bir yarık olarak değerlendirilmektedir (Bayarı vd., 1995; Bayarı ve Kurttaş, 2000).

Göl, KD-GB yönünde 20 km. uzunluğunda olup en geniş yeri 12 km'dir, güneye doğru daralarak 8 km.ye iner (Şekil 1). Yaklaşık 55 km<sup>2</sup>'lik yüzey alanına sahip meromiktik bir göldür. Alttaki oksijence fakir, hidrojen sülfürlü ve üstte oksijence zengin iki farklı su tabakasından oluşur (Bayarı ve Kurttaş, 2000) ve yaklaşık 14 km uzunluğunda, doğal bir kanal olan Dalyan üzerinden Akdeniz'e bağlanır. Deniz seviyesinden 7 m yukarıdadır. Yaklaşık 750 milyon m<sup>3</sup> su içeren gölün Sultaniye havzasındaki en derin yeri 32 m, Köyceğiz havzasında ise 26 m'dir (Avşar vd. 2016; Avşar vd. 2017). Güney kıyıda bulunan Sultaniye sıcak su kaynağından göle 7 milyon m<sup>3</sup>/yıl düzeyinde su boşalmaktadır. Gölün güney havzasında (Sultaniye) sualtı sıcak su çıkışları da bulunmaktadır (Avşar vd, 2017). Yapılan çalışmalarda alt tabaka sularının yenilenme süresi, Sultaniye havzası için yaklaşık 18 yıl, Köyceğiz havzası için yaklaşık 25 yıl olarak belirlenmiştir (Bayarı ve Kurttaş, 2000).

Bölge, Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Yazları sıcak ve kurak, kışları oldukça yağışlı ve ılıman geçmektedir. Bu denli yüksek mevsimsel yağış farklarının olduğu gölde, Sultaniye havzasında varlı sedimentler gözlenmiştir. Avşar vd. (2016) 90 cm uzunluğundaki karotta yaklaşık 370 yılı temsil eden sürekli varlıları gözlemlemişlerdir. Köyceğiz havzasına ait ortalama yıllık sıcaklık

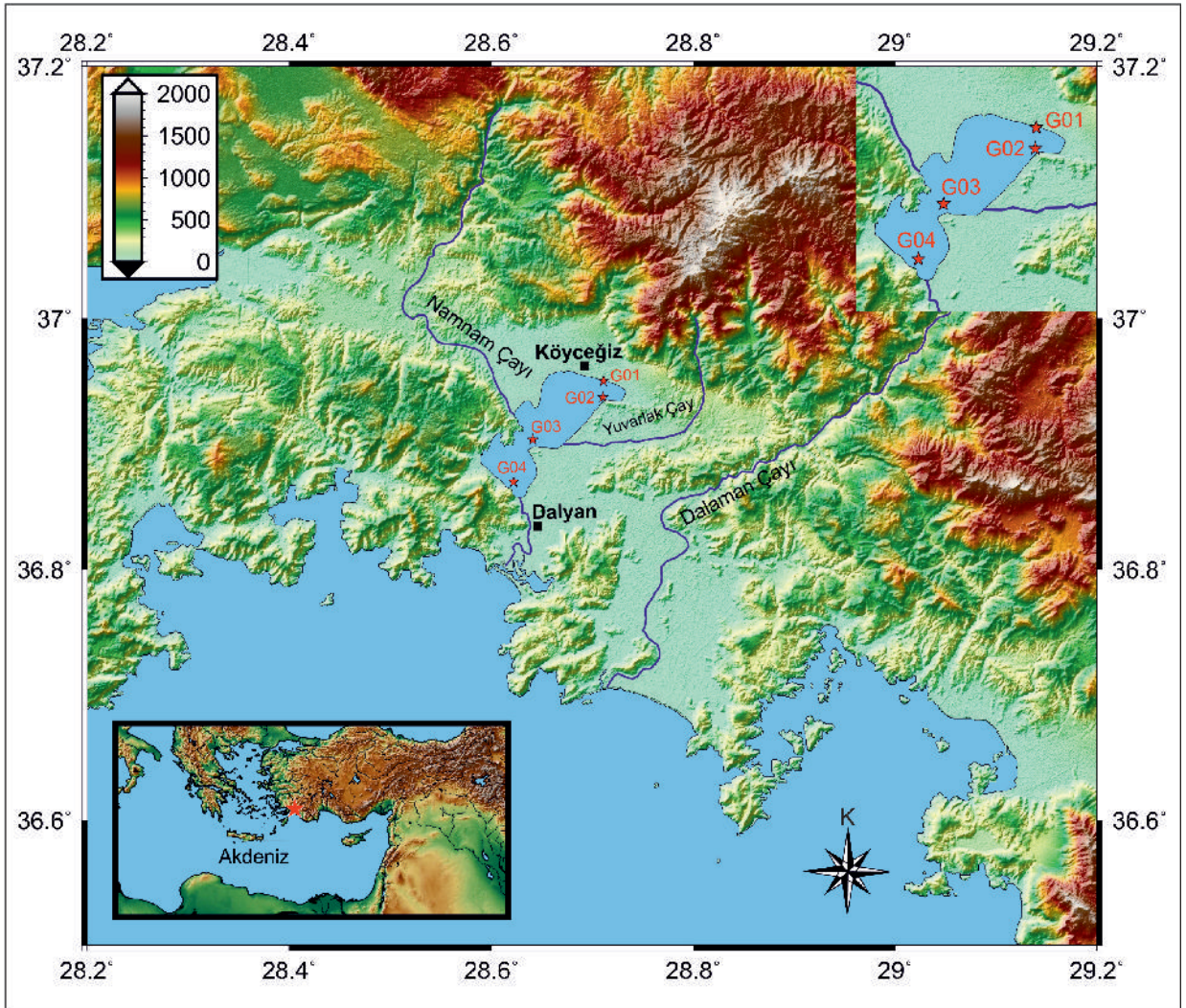
değeri 17.9 °C, ortalama yıllık yağış değeri 1300 mm/m<sup>2</sup>/yıl olarak belirlenmiştir. Ortalama yıllık potansiyel buharlaşma miktarı 1464 mm/m<sup>2</sup>/yıl olarak saptanmıştır. Gölü çevreleyen alüvyondan sızma ile beslenme 76 milyon m<sup>3</sup>/yıl düzeyindedir (Güner, 1997).

## **MALZEME VE YÖNTEM**

### **Karotların alınması**

Eylül 2013'te Köyceğiz Gölü'nden tekneyle farklı derinliklerden gravite yöntemi ile dört adet karot alınmıştır. Karotların iki tanesi (KÖYC-G01 ve G02) kuzeyde Köyceğiz havzasından, bir tanesi iki havza arasındaki sırttan (KÖYC-G03) ve bir tanesi de güneyde Sultaniye Havzası'ndan (KÖYC-G04) alınmıştır. Karotların lokasyonları Şekil 1'de, su derinlikleri, uzunlukları ve koordinatları ise ve Çizelge 1'de verilmektedir.

**µXRF Karot tarayıcısı:** İTÜ EMCOL (Eastern Mediterranean Centre for Oceanography and Limnology) Karot Analiz Laboratuvarındaki µXRF-EDS (X-ışınları floresans – enerji saçım spektroskopisi) cihazı (Itrax XRF Core Scanner; Cox Analytical Systems) ile 5 mm çözünürlükte çoklu element (Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, Ta, W, Pb, Th, U) taramaları yapılmıştır. Ölçümler Molibden tüp ile 50 kV, 50 mA ile 8 saniye sayım ile gerçekleştirilmiştir. µXRF taramaları yarı kantitatif olup; standartlar kullanılarak CPS (count per second, saniyede sayım) verileri ppm veya % ağırlık değerlerine çevrilebilmektedir. Bu çalışmada yarı-kantitatif saniyede sayım değerleri kullanılmıştır.



**Şekil 1.** Köyceğiz Gölü yer bulduru haritası ve alınan karotların lokasyonları. Harita, ücretsiz bir program olan, GMT (versiyon 5.2.1) kullanarak oluşturulmuştur (Wessel vd., 2013).

**Figure 1.** Location map of Lake Köyceğiz and recovered cores. Map is constructed by free software; GMT (version 5.2.1., Wessel et al., 2013).

**MSCL (Çok Sensörlü Karot Tarayıcısı):** İstanbul Teknik Üniversitesi, EMCOL Karot Analiz Laboratuvarında bulunan MSCL cihazı (GEOTEK) ile çökel istiflerin manyetik duyarlılık, yoğunluk, gözeneklilik ve p-dalgası hızı gibi fiziksel özellikleri 0.5 cm çözünürlükte taramış ve bu parametrelerin karot boyunca değişimleri elde edilmiştir (Weaver ve Schultheis, 1990; Weber vd., 1997). Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan

sadece Manyetik Duyarlılık (MS;  $SI \times 10^{-6}$ ) verisi değerlendirilmiştir.

**Faktör analizleri:** Faktör Analizi veride varolan lineer ilişkileri bulabilmek için kullanılan bir yöntemdir. Ancak, varyans-kovaryans matrisi üzerinden tanımlandığı için aykırı değerlere duyarlıdır. KOYC-G01 karotu  $\mu$ XRF verileri üzerine faktör analizi uygulamadan önce aykırı değerler (toplamda 1 satır) Mahalanobis uzaklığı

kullanarak, Wilks metodu ile %95 güven aralığında MATLAB yazılımında temizlenmiştir (Rencher, 2002; Trujillo-Ortiz vd., 2006). Aykırı değerlerin ayrılmasından sonra 3 faktör belirlenmiştir ve bu faktörler toplam varyansın %84'ünü ifade etmektedirler.

**Çizelge 1.** Köyceğiz Gölü'nden alınan karotların koordinatları, uzunlukları ve alındıkları derinlikler.

**Table 1.** Recovered cores' coordinates, lengths and water depths from Lake Köyceğiz.

Karot	Koordinatlar	Su derinliği	Karot Uzunlukları
KÖYC-G01	36°57'.007 K 028°42'.677 D	7.1 m	600 mm
KÖYC-G02	36°56'.239 K 028°42'.633 D	9.0 m	580 mm
KÖYC-G03	36°54'.221 K 028°38'.469 D	5.60 m	560 mm
KÖYC-G04	36°52'.201 K 028°37'.332 D	15.0 m	820 mm

#### **Duraylı oksijen ve karbon izotop analizleri:**

Arizona Üniversitesi İzotop Jeokimyası Laboratuvarında 20 mm aralıklar ile karbonat örneklerinde (*Ostrakod kavkısı-Cyprideis torosa*)  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  analizleri, Finnigan MAT 252 kütle spektrometresi ve buna bağlanmış KIEL-III marka otomasyonlu karbonat hazırlama cihazı kullanılarak yapılmıştır. Toz numuneler susuz fosforik asitle işlendikten sonra, izotop oranları NBS-19 and NBS-18 standartları kullanılarak tespit edilmiştir. Metodun tekrar edilebilirliği (precision) (1 sigma)  $\delta^{18}\text{O}$  için ‰  $\pm 0.1$ ;  $\delta^{13}\text{C}$  için ‰  $\pm 0.06$ 'dır.

**C<sup>14</sup> yaşlandırma yöntemi ve yaş modelinin oluşturulması:** Çökel karotlarından belirlenen seviyelerden alınan CaCO<sub>3</sub>'lü kavkılar (bivalvia, ostrakoda, foraminifer) AMS (accelerated mass spectrometry) radyokarbon yöntemi ile Arizona Üniversitesi'nde analiz edilmiştir. Yaşlar ve hata payları, <sup>13</sup>C düzeltilmesi yapıldıktan sonra günümüzden önce (G.Ö.) <sup>14</sup>C yılı olarak

hesaplanmıştır (Çizelge 2). KÖYC-G01 karotunun yaş modeli Bacon paketinde, 2100±90 yıllık  $\Delta R$  değeri ile, Marine 13 kalibrasyonu kullanılarak oluşturulmuştur (bkz Bulgular ve Tartışma bölümü). Diğer karotlardaki radyokarbon yaşları, Sultaniye Baseninde Köyceğiz Baseninden farklı seviyede bir sert su / rezervuar etki yaşı olması gerektiği düşünüldüğünden kalibre edilmemiştir. KÖYC-G02, G03 ve G04 yaş modelleri, KÖYC-G01 karotundan elde edilen yaş modeline göre belirteçler yeniden çizildikten sonra, tüm karotlardan elde edilen Inc/Coh verileri ile görsel olarak AnalySeries 2.0 programı (Paillard vd., 1996) ile denetirilerek oluşturulmuştur.

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

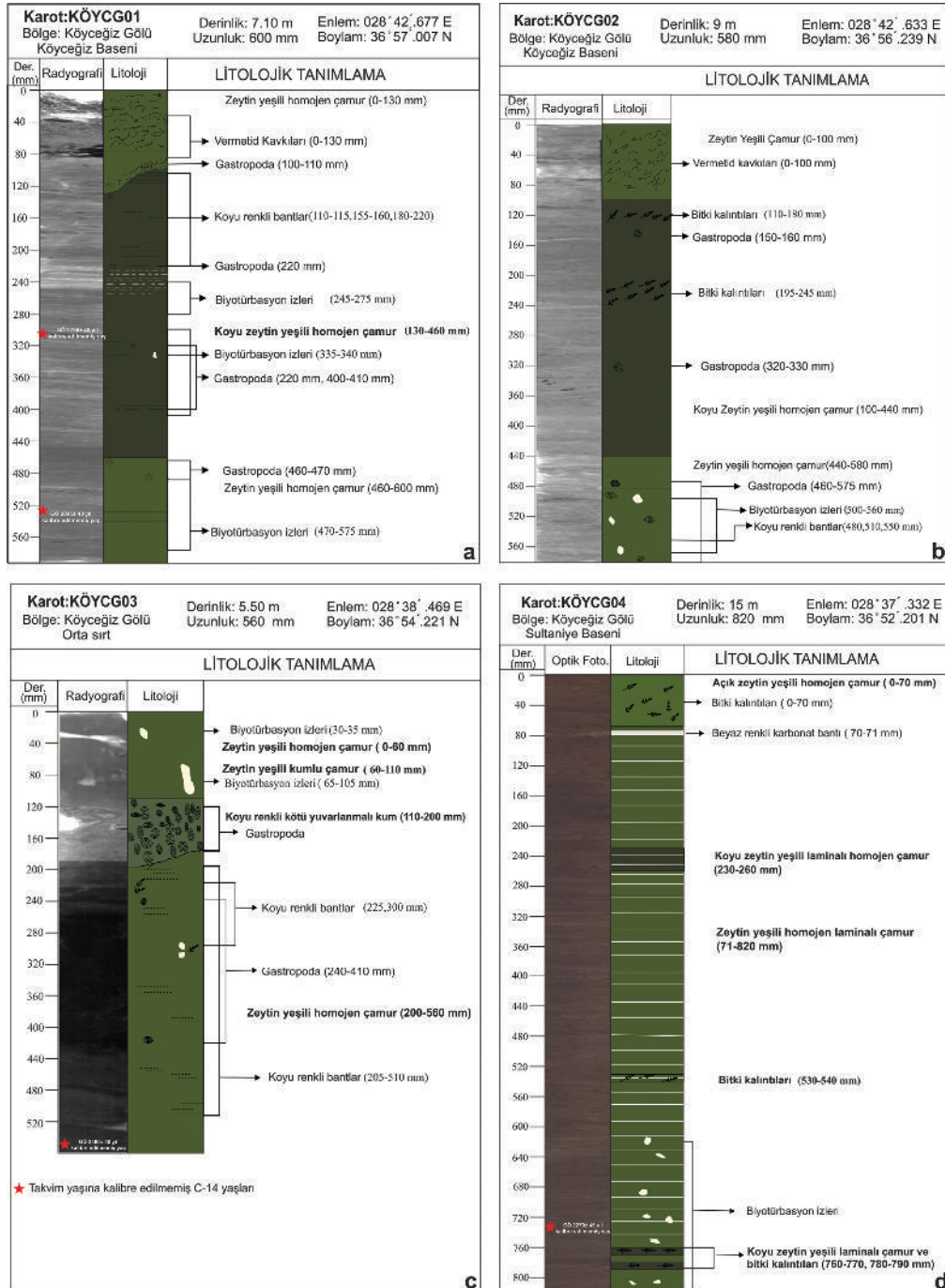
### **Litostratigrafi**

Köyceğiz Gölü, kuzeyde Köyceğiz havzasından, 7.1 m derinlikten alınan 600 mm uzuluğundaki KÖYC-G01 karotunun alttan 50 mm'si zeytin yeşili homojen çamurdan oluşmaktadır. Yer yer biyotürbasyon izlerinin görülmesi çamurun yerinde çökeldiğini göstermektedir (Şekil 2a). 470-460 mm arasında gastropod kavkılarında rastlanmıştır. 460-130 mm arasında koyu zeytin yeşili homojen çamur gözlenmiştir. Bu seviyeler içinde yine yer yer biyotürbasyon izlerine ve gastropod kavkılarında rastlanmaktadır. 110-115 mm, 155-160 mm, 180-220 mm arasında koyu renkli bantlar görülür. 130-0 mm arasında ise bol miktarda vermetid gastropod kavkılarında gözlenmiştir. Karotun en tepesi çamurlu vermetid kavkılarında oluşmaktadır.

Yine Köyceğiz havzasından, 9 m derinlikten alınan 580 mm uzunluğundaki KÖYC-G02 karotunda 580-440 mm arasında zeytin yeşili homojen çamur gözlenmektedir (Şekil 2b). Biyotürbasyon izleri ve gastropod kavkılarında çeşitli seviyelerde görülmektedir. Yer yer koyu renkli bantlar görülür. 440-100 mm arasında koyu zeytin yeşili homojen çamur içinde gastropod kavkılarında

(160-150 mm), bitki kalıntıları (245-195 mm ve 180-110 mm) görülmektedir. Yine karotun

tepesinde (100-0mm) bol miktarda çamurlu vermetid gastropod kavrıkları mevcuttur.



**Şekil 2.** Köyceğiz Gölü'nden alınan karotların litolojik tanımlamaları. a) KÖYCG-01 karotu, b) KÖYCG-02 karotu, c) KÖYCG-03 karotu, d) KÖYCG-04 karotu.

**Figure 2.** Lithological description of cores that recovered from Lake Köyceğiz. a) KÖYCG-01 core, b) KÖYCG-02 core, c) KÖYCG-03 core, d) KÖYCG-04 core.

Gölün iki havzasının ortasında bulunan sırttan, yaklaşık 5.5 m su derinliğinden alınan 560 mm uzunluğundaki KÖYC-G03 karotunun alttan 360 mm'si (560-200 mm) zeytin yeşili homojen çamurdan oluşmaktadır (Şekil 2c). Yer yer koyu renkli bantların (510-205 mm) ve gastropod kavkılarının (410-240 mm) bulunduğu bu seviyenin üstünde koyu renkli, kötü yuvarlanmalı kum tabakası görülür (200-110 mm). 110-60 mm arasında zeytin yeşili kumlu çamur, 60-0 mm arasında ise yine aynı renkte homojen çamur görülmektedir. Yer yer biyotürbasyon izleri ve gastropod kavkıları karot boyunca gözlenir.

Sultaniye havzasından, 15 m derinlikten alınan 820 mm uzunluğundaki KÖYC-G04 karotunun 820-70 mm arasında zeytin yeşili laminalı çamur gözlenmektedir (Şekil 2d). Yer yer biyotürbasyon izleri, bitki kalıntıları görülür. 260-230 mm arasında koyu zeytin yeşili laminalı çamur mevcuttur. Karotun en üst seviyesinde, 70-0 mm arasında açık zeytin yeşili, bitki kalıntıları içeren homojen çamur ve hemen altında 71-70 mm arasında beyaz renkli karbonat çökeliği görülmektedir. Bu karotun radyografisi alınamadığından optik fotoğrafı litolojik loga eklenmiştir.

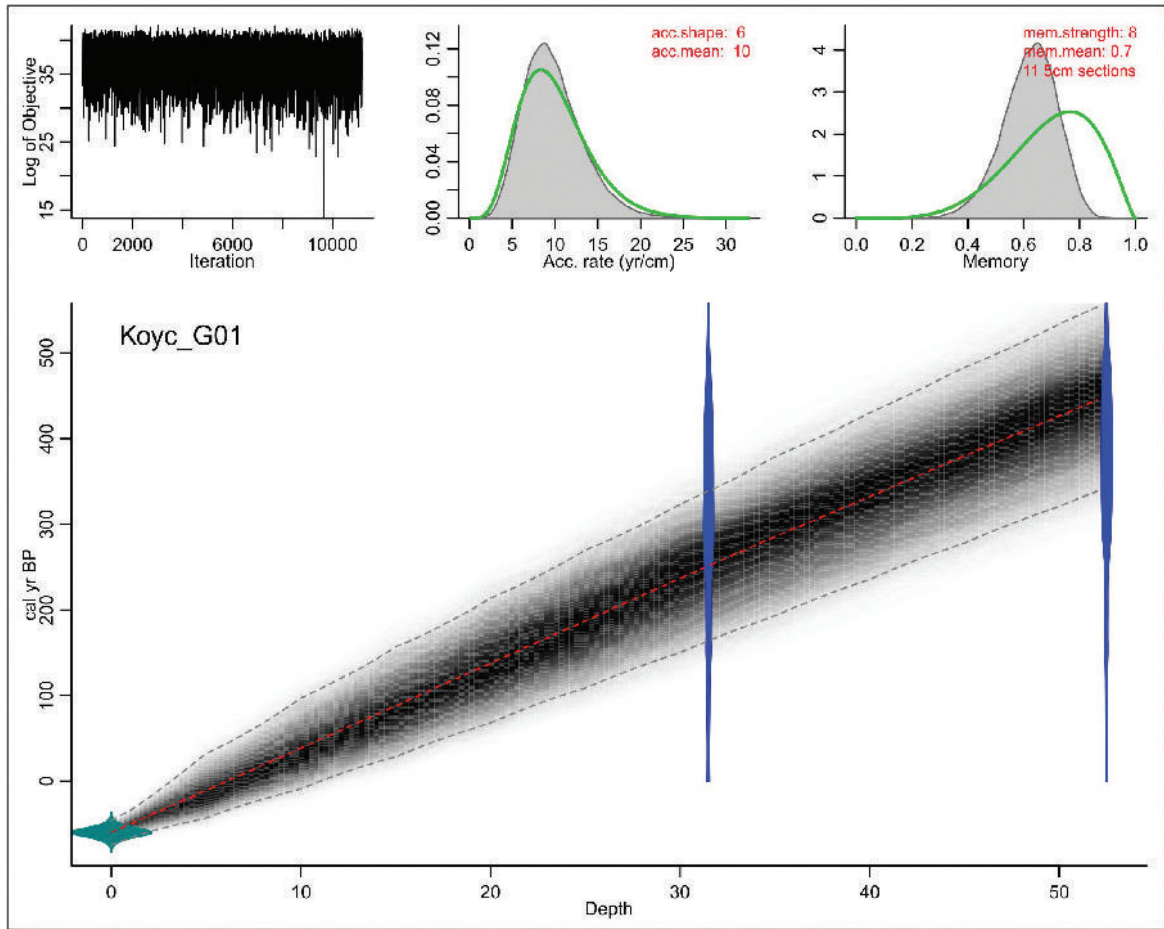
#### **C-14 Yaşlandırma ve yaş modeli**

Köyceğiz Gölü'nden alınan yaşlar, 300 ila 750 mm uzunluğundaki karotlardan alınmalarına rağmen hepsi 2000 yıldan fazla radyokarbon yaşı vermektedir (Çizelge 2). Özellikle, KÖYC-G01 karotundaki ~315 mm derinlikte GÖ 2780±40 ve ~525 mm derinlikte GÖ 2845±40 radyokarbon yaşları, karotun en üst seviyesinin bugüne (yani GÖ -60 yıl) karşılık geldiği düşünülünce, toplanan kavkılarının sert su etkisinde olması ve/veya lokal rezervuar yaşının fazla olması gerektiğini düşündürmektedir. Akdeniz'de, bölgelerin jeolojik

yapısı ve drenaj havzası gibi etkilerle beraber,  $\Delta R$  (Delta R) değerinin göreceli olarak yüksek bulunduğu lagünler vardır. Örneğin, Sabatier vd. (2010), KB Akdeniz'de yer alan Pierre Blanche Lagünü için 605±30 yıllık  $\Delta R$  değeri ve Akçer-Ön vd. (hazırlanmakta) Bafa Gölü'nün lagünel fazında 973±58 yıllık bir  $\Delta R$  değeri öngörmüşlerdir. KÖYC-G01 karotu 16445 ve 16446 kodlu örnekler,  $\Delta R$  -400 alınarak, Calib programında (Stuiver vd., 2017) Marine-13 kalibrasyonuna (Reimer ve diğ., 2013) tabi tutulduğunda %95 güven aralığında sırasıyla GÖ 2848-3109 (medyan değer GÖ 2975) ve GÖ 2935-3190 (medyan değer GÖ 3064) yıllarında çıkmaktadır. Elimizde  $\Delta R$  değerini bulmak için herhangi bir materyal yoktur. Yukarıda bahsedilen iki seviye için sabit sedimantasyon hızı kabul edersek, yaklaşık 200 mm'lik bu bölümün 100 ila 350 yıllık bir sürede çökeldiği görülmektedir. Bu bilgiler ışığında sabit sedimantasyon hızını ~1mm/y kabul edersek 315 mm seviyesi yaklaşık GÖ 255 yıl, 525 mm seviyesi ise yaklaşık GÖ 465 yıl çıkmaktadır. Bu seviyelerde  $\Delta R$  hesaplaması yapıldığında (Reimer ve Reimer, 2017) sırasıyla, 2192±92 ve 2026±94 yıl elde edilmektedir. Bu iki değer yaklaşık ortalaması olan 2100±90 yıllık  $\Delta R$  değeri kabul edilmiş ve R yazılımında (R Core Team, 2017), Bacon (Bayesian accumulation) paketi (Blauw ve Christen, 2011) kullanarak Marine 13 kalibrasyonu ile yaş modelini oluşturulmuştur (Şekil 3). Model sonuçlarına göre 315 mm ve 525 mm derinlikte yaşlar sırasıyla GÖ 252 ve 450 yıl çıkmıştır. Buna göre KÖYC-G01 lineer yaş modeline göre sedimantasyon hızı yaklaşık 1.2 mm/y hesaplanmıştır. Ulaş Avşar ile yapılan kişisel görüşmede (Kasım, 2017), yayınlanmamış veriye göre, Köyceğiz havzasında günümüz çökelleme hızlarının 1.5-2 mm/y olduğunu belirtmiştir. Bu bilgiler,  $\Delta R$  değerinin iyi bir varsayım olduğunu düşündürmektedir.

**Çizelge 2.** Köyceğiz Gölü karotlarında kavkılardan yapılan C-14 yaşlandırma analizi sonuçları.**Table 2.** C-14 dating results from Lake Köyceğiz core shells

Lab. Kodu	Örnek adı	Malzeme	Ham yaşlar (GÖY)	d13C
16445-AA104032	KÖYC-G01 310-320 mm	Kavkı parçaları	2780±40	-12.0
16446-AA104033	KÖYC-G01 510-540 mm	Kavkı parçaları	2845±40	-10.7
16447-AA104034	KÖYC-G03 560-570 mm	Kavkı parçaları	2400±40	-10.0
16448-AA104035	KÖYC-G04 720-730 mm	Kavkı parçaları	2270±45	-9.9

**Şekil 3.** KÖYC-G01 karotunun Bacon paketi ile oluşturulmuş yaş modeli.**Figure 3.** Construction of age model of core KÖYC-G01 with Bacon package

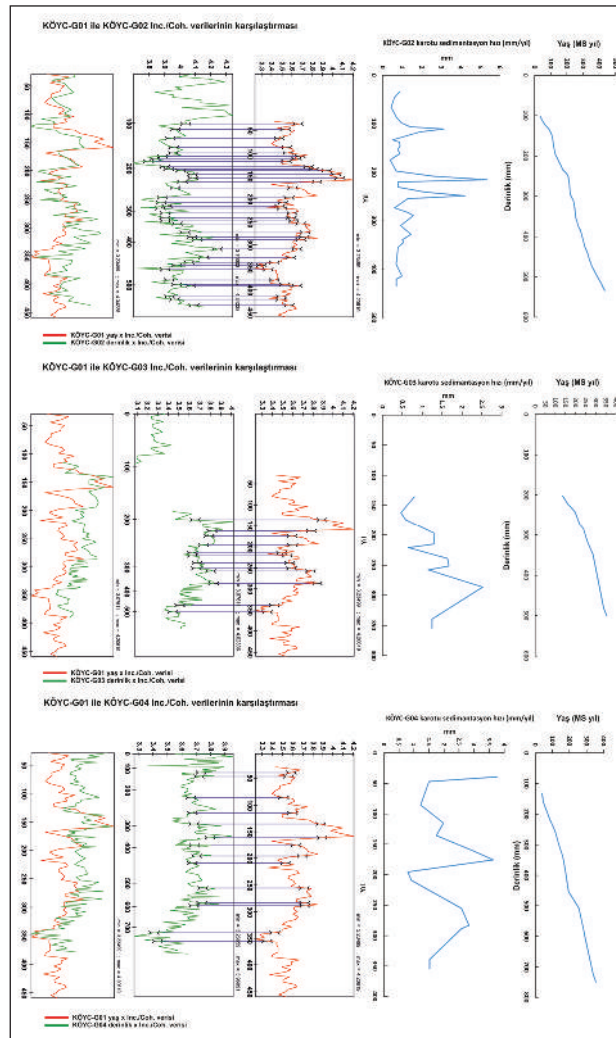
Güneyde yer alan Sultaniye havzası, kuzeydeki Köyceğiz havzasından Gedova Boğazı ile ayrılmaktadır. Gedova Boğazı ortalama 6 m derinliğe sahiptir. Gedova Boğazı'nın, gölün iki farklı havzasında tabakalanmaya güçlü bir katkısı vardır (Bayarı ve Kurttaş, 2000).

Tabakalanma Sultaniye havzasında yaklaşık 12 m derinlikte görülürken, Köyceğiz havzasında 12-16 m derinlikte görülmektedir. Bu iki havzanın radyokarbon karakterlerinin farklı olabileceği, alınan yaşlarda da görülmektedir. Ayrıca, Sultaniye havzasının hem rezervuar yaşı



daha düşük olan Akdeniz ile olan irtibatı, hem de termal kaynaklarla beslenmesinden dolayı, karstik kaynaklarla beslenen Köyceğiz havzasına göre karbonatça daha fakirdir (bkz. Bayarı ve Kurttaş, 2000, Şekil 12). Bu yaklaşıma göre, Sultaniye havzasından alınan yaşların daha düşük  $\Delta R$  değerlerine sahip olması beklenir. Elimizde KÖYC-G03 ve KÖYC-G04 karotları için yeterince veri olmadığı için, bu karotlarda radyokarbon yaşlarını kalibre etmek yerine Inc/Coh eğrileri

KÖYC-G01 Inc/Coh eğrisi ile denştirilerek yaş modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4). Sonuç olarak elde edilen yaş-derinlik modeline göre bu havzada -sedimentasyon hızı Köyceğiz havzasından daha hızlı; yaklaşık 2 mm/yıl hesaplanmıştır. Avşar vd., 2016) çalışmalarında Sultaniye havzasında sedimentasyon hızını 2.3 mm/y hesaplamışlardır. Buna göre sedimentasyon hızları iki çalışmada da benzer görülmektedir (Bkz Avşar vd., 2016, Şekil 2 (c)).



Şekil 4. KÖYC-G01 karotu ile diğer karotların Analy.Series (2.0) programı ile denştirilmesi sonucu elde edilen sedimentasyon hızı ve yaş-derinlik grafikleri.

Figure 4. Sedimentation rate and age-depth plots as results of correlation of KÖYC-G01 with the rest of the cores, through Analy.Series (2.0) software

### Faktör analizi sonuçları

KÖYC-G01 karotu  $\mu$ XRF taramaları sonucunda elde edilen sonuçlardan 400 (cps, saniyede sayım-count per second)'nin üzerinde olan ve çevresel değişimler ile ilişkilendirilebilecek anlamlı elementler (K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr) ile toplam organik karbon temsilcisi belirteç olan Inc./Coh. (Rodriguez-Germade vd., 2014) sayımları üzerinde faktör analizi uygulanmıştır. Buna göre üç faktör elde edilmiştir (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Faktör analizi sonuçları

**Table 3.** Result of Factor analysis

Faktör yükleme matrisi	faktör1	faktör2	faktör3
K	-0.723044	0.1051748	0.6393486
Ca	0.7695887	-0.591209	-0.103678
Ti	-0.76004	-0.086701	0.5339422
Mn	0.105799	-0.714247	0.1101949
Fe	-0.717375	0.1194875	0.6664085
Sr	0.8500509	-0.275566	-0.199282
Inc/Coh	0.17867	0.1797859	-0.824842

Faktör 1'de K, Ti ve Fe elementleri beraber davranırken bu elementlerle ters ilişkili olup kendi içinde ilişkili olan Ca ve Sr elementleri görülür. Faktör 1'de bulunan K, Ti ve Fe elementleri havzaya kırıntılı olarak gelen detrital elementlerini, bunlarla ters ilişkili olan Ca ve Sr elementleri ise havzada otojenik çökelen elementleri temsil etmektedir.

Faktör 2'de ise Ca ve Mn yüksek ilişkili görülmektedir. Bu ilişkiye göre kırıntı girdisiyle gelebilecek bu iki elementin diğer K, Ti ve Fe ile ilişkili olmaması, sedimanda biyojenik (kavkılının etkisi) ve/veya kimyasal (karbonat-bikarbonat oluşumu ve indirgenme-yükseltgenme) etki ile çökelmiş olabileceğini düşündürmektedir.

Faktör 3 ise kırıntılı malzeme girdisini gösteren K, Ti ve Fe elementlerinin Inc/Coh oranı (Toplam Organik Karbon) ile ters ilişkili olduğunu

göstermiştir. Buna göre Toplam Organik Karbon (Inc/Coh) kırıntılı malzeme girdisinin arttığı dönemlerde azalmakta, azaldığı dönemlerde de arttığının belirteci durumundadır.

### Çoklu-belirteç verileri

Yaş modeli oluşturulan karotlarda geçmiş iklim ve ortam değişimlerinin belirlenebilmesi için üç faktörün temsilcileri; Ca, Fe, Inc./Coh ve Ca/Fe, Sr/Ca, Mn/Fe, MS (manyetik duyarlılık), duraylı oksijen ve karbon izotop verileri bu çalışmada verilmektedir.

Faktör 1 temsilcisi olan Fe elementi bu çalışmada havzaya kırıntılı malzeme girdisini temsil etmektedir. Artan neme bağlı yağışlar ile kırıntılı malzeme girdisinin artması, kurak dönemlerde de azalması beklenir. Kırıntılı elementler (Fe, Ti, K) ile ters ilişkili olan Ca ve Sr elementlerin ise nemli/sıcak dönemlerde azalması, nispeten soğuk/kurak dönemlerde ise artması suda endojenik olarak artan karbonat çökelişini temsil etmektedir. Ca ve Sr elementleri her ne kadar baskın olarak endojenik çökelişini gösterse de aynı zamanda kırıntılı malzemeler ile havzaya gelebilmektedir bu sebeple Ca/Fe normalize edilerek otojenik çökelişini temsilen grafiklerde gösterilmiştir. Sr/Ca oranı bu çalışmada sıcak dönemlerde artan kuraklığa bağlı çökelişini temsil eder. Mineralojik çalışma olmadığından dolayı burada kafes yapısı daha durağan olan aragonit çökelişinin kalsit çökelişine oranını gösterdiği kabul edilmiştir. Buna göre Sr/Ca oranının arttığı dönemler nispeten daha sıcak dönemleri vermektedir. Bir diğer belirteç ise Toplam Organik Karbon temsilcisi olan Inc./Coh. belirteçidir. Faktör analizi sonuçlarında f3'de kırıntılı malzeme girdisinin temsilcisi K,Ti ve Fe ile ters ilişkili sonuç veren bu belirtecin nispeten soğuk/kurak dönemlerde arttığı görülür. Bu da toplam organik karbon miktarının kırıntılı malzeme girdisinden çok göldeki biyojenik/kimyasal olaylar ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Manyetik duyarlılık

(MS) belirteci ise çamurda bulunan ferromanyetik minerallerin miktarına bağlı olarak değişmektedir. Hematit, manyetit gibi minerallerin fazla olması MS değerlerinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Genelde redoks koşullarının baskın olmadığı ortamlarda bu mineraller, detrital elementler ile benzer değişimler gösterir ve kırıntılar halinde taşınarak havzaya gelir. Bu çalışmada MS değerlerinin nispeten sıcak/nemli olan dönemlerde arttığı görülmektedir.

Mn, Fe elementine oranla redoks koşullarına daha duyarlıdır. Buna göre Mn/Fe oranının arttığı dönemlerde göl suları oksijen bakımından zenginleşmektedir (Mackereth, 1966; Wersin vd., 1991; Naeher vd., 2013). Tabakalı göllerde, anoksik su kolonu koşullarında Fe, Mn elementine göre daha az indirgenir. İndirgenen dip suyu koşullarında Mn<sup>++</sup> iyonları anoksik dip sularında kalır ve sedimanda azalır, bu da Mn/Fe değerlerinin azalmasından anlaşılabilir. Oksik su kolonu koşullarında ise Mn, Mn oksit olarak çökeler ve çökelerde Mn/Fe artmasına sebep olur. Köyceğiz'in meromiktik (sürekli tabakalanma) bir göl olmasından dolayı sürekli tabakalanma görülmektedir. Buna göre dipte bulunan anoksik koşullarda; günümüz sıcak/nemli koşullarda Mn/Fe oranının az olması, daha soğuk/kurak koşullarda ise artması beklenmektedir.

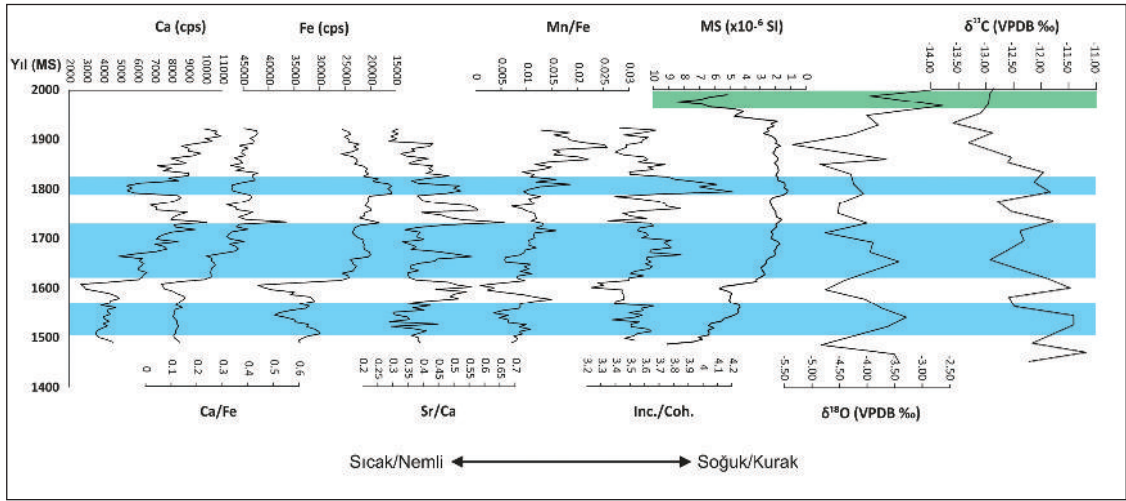
Duraylı oksijen ve karbon izotop analizi sonuçlarında  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinin değişimi çevrenin hidrolojik özellikleri, analizin yapıldığı malzemenin türü ve bunlara bağlı özellikleri ile ilişkilidir. Bu çalışmada bölgenin hidrolojik özellikleri ile ilgili detaylı bir çalışma yapılmamış fakat genel olarak iklime bağlı değişimlerin etken olduğu varsayımı ile yola çıkılarak çoklu belirteçler ile birlikte değerlendirilmiştir. Analizler, *Cyprideis torosa* ostrakod türünün kavkısından yapılmıştır. Bu çalışmada evaporasyona bağlı olarak  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri kurak dönemlerde artış göstermekte,

nispeten nemli dönemlerde ise azalmaktadır. Buna sebep yağmur suyunun izotop değerlerinin daha düşük olması gösterilebilir.

$\delta^{13}\text{C}$  izotoplarının değişimleri ise göldeki biyolojik özelliklere, atmosfer karbondiyoksit miktarının değişimine, çözünmüş inorganik karbon miktarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bunun dışında analizin yapıldığı malzemenin özellikleri de farklılık yaratabilir. Bu çalışmada  $\delta^{13}\text{C}$  izotoplarının kendi içinde göreceli değişimleri ile iklimsel değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Genelde kapalı sistemlerde  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  birlikte değişim göstermektedir. Köyceğiz Gölü'nün Dalyan sistemi ile Akdeniz'e bağlı olmasına rağmen  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  izotop değerlerinin birlikte değiştiği (co-vary) gözlenmektedir. Buna göre  $\delta^{13}\text{C}$  izotop değerleri kurak dönemlerde nispeten artmakta, nemli dönemlerde ise azalmaktadır.

Köyceğiz havzasından alınan KÖYC-G01 karotu yaklaşık son 600 yılı (MS 1400) kapsamaktadır (Şekil 5). En üst seviyede vermedit kavkılarının yoğunluğundan dolayı  $\mu\text{XRF}$  verileri elde edilememiştir. Yaklaşık MS 1500-1950 yılları arasında kısa salınımların dışında Ca elementinde, MS, Mn/Fe, Ca/Fe, Inc./Coh. belirteçlerinde genel olarak artan bir eğim görülür. Fe elementi ve MS değerleri ise azalmaktadır. Duraylı oksijen ve karbon izotoplarının ise birlikte değişimi gözlenir. 1950 yılından günümüze MS ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinin artışı birbiriyle çelişkilidir. Fakat insan etkisinin en yoğun olduğu bu dönem hakkında sadece çevresel faktörlere bağlı yorum yapmak doğru değildir. Bu sebeple karotun en üst seviyesinin gerek yoğun vermedit kavkı ile kaplı olmasından analizlerin tam yapılamaması gerek de insan etkisi sebebiyle değerlendirilmemesi uygun olacaktır.

Bu veriler ışığında yaklaşık 1500-1580 yılları, 1620-1720 yılları arasında ve 1800 yılı civarında nispeten daha kurak/soğuk dönemler olduğu gözlenmiştir.



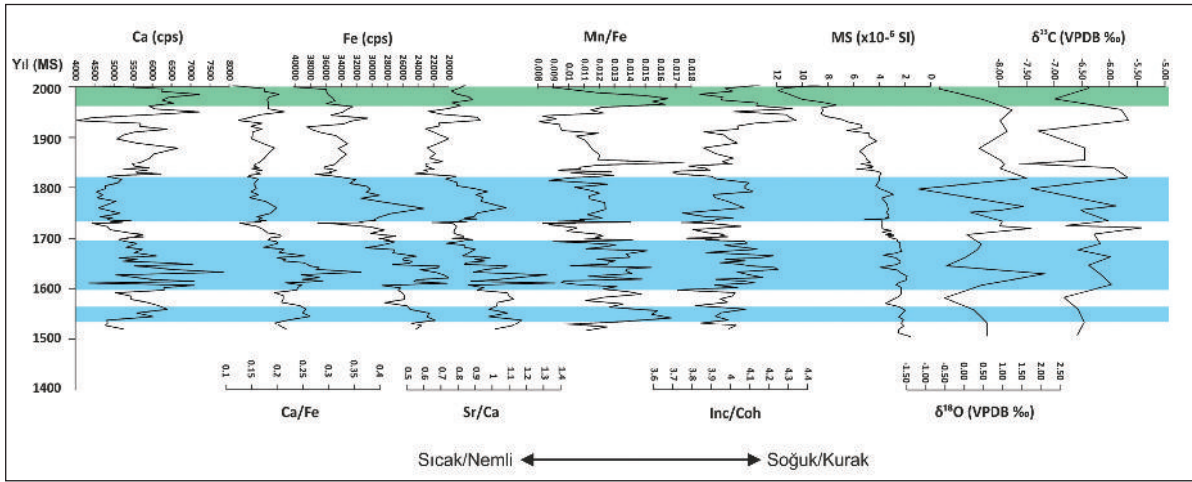
**Şekil 5.** KÖYC-G01 karotu, yaşa (MS yılı) göre çoklu belirteç grafiği. Mavi; soğuk/kurak, yeşil ise sıcak/nemli dönemleri göstermektedir.

**Figure 5.** Multi-proxy vs age plot of KÖYC-G01 core. Blue and green indicate cold/dry and warm/wet spells, respectively.

KÖYC-G01 karotu ile aynı havzadan alınan KÖYC-G02 karotu yaklaşık son 500 yılı (MS 1500) temsil etmektedir (Şekil 6). Bu karotta ise yaklaşık MS 1600-1700 yılları arasında Ca, Ca/Fe, Mn/Fe, Inc./Coh.,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinde artış görülürken Fe ve MS değerleri azalmaktadır.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinde salınımların gözlenmesinin sebebi analiz çözünürlüğünün düşük olması olabilir. Yakından alınan KÖYC-G01 karotunun aksine yaklaşık 1650-1800 yılları arasında Ca ve Ca/Fe değerleri nispeten düşük olmasına rağmen diğer belirteçlerde (MS ve Fe hariç) artış görülmektedir. Soğuk/kurak bir dönem olduğu düşünülen MS 1720-1810 yılları arasında Ca

ve Ca/Fe değerlerinin nispeten düşük olması artan kırıntılı malzemenin bu dönemde karbonat çökelimini seyreltmış olmasından kaynaklanabilir.

Buna göre yaklaşık MS 1550 yılı civarında, 1600-1700 yılları arasında ve 1720-1810 yılları arasında nispeten soğuk/kurak ve 1820-2000 yılları arasında nispeten nemli/sıcak dönemler gözlenmiştir. Kıyıda daha uzaktan alınan bu karotta KÖYC-G01 karotunda olduğu kadar insan etkisinin gözlenmesi beklenmese de 1950 yılından sonraki verilerin çevresel değişimler açısından güvenilirliği yine de çok fazla olmadığı akılda tutulmalıdır.



Şekil 6. KÖYC-G02 karotu, yaşa (MS yıl) göre çoklu belirteç grafiği. Mavi; soğuk/kurak, yeşil ise sıcak/nemli dönemleri göstermektedir.

Figure 6. Multi-proxy vs age plot of KÖYC-G02 core. Blue and green indicate cold/dry and warm/wet spells, respectively.

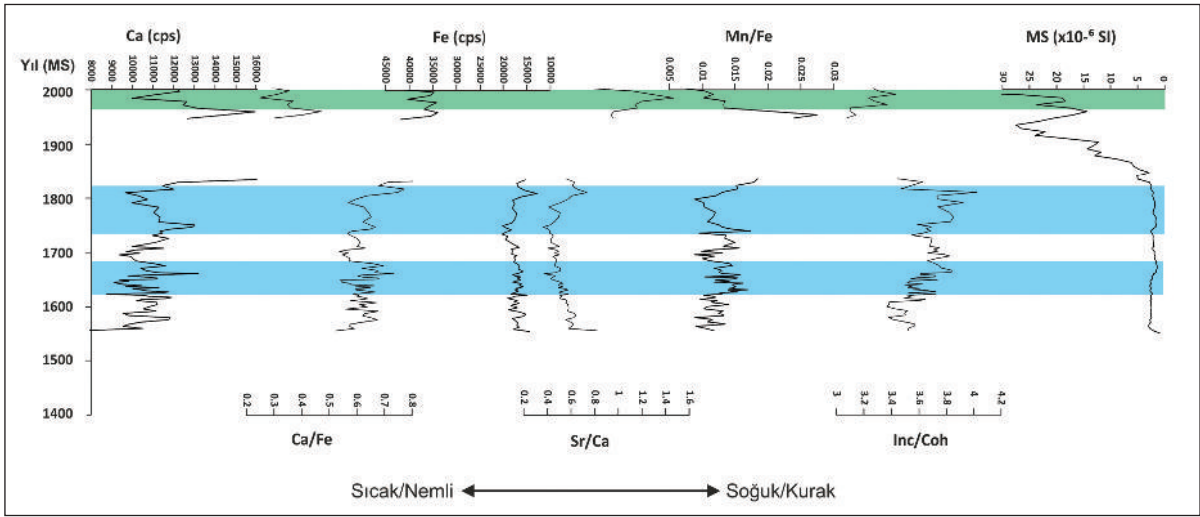
Köyceğiz ve Sultaniye havzalarının orta sırtından alınan KÖYC-G03 karotu yaklaşık son 450 yılı (MS 1550) kapsamaktadır (Şekil 7). Karotun üst-ara seviyesinde bulunan kumlu seviyeden dolayı buradan (MS 1800-1950 yılları arası)  $\mu$ XRF verisi elde edilememiştir. Karotun en üst seviyesinin de kumlu çamur olmasından dolayı  $\mu$ XRF verileri çok sağlıklı olmayabilir. Ca, Ca/Fe, Mn/Fe, Inc./Coh. değerleri MS yaklaşık 1550-1800 yılları arasında 1950-2000 yılları arasına oranla oldukça düşüktür. MS, Fe elementi ve Sr/Ca değerleri ise tam tersi yüksektir.

Bu da kısa bölünmeler dışında MS yaklaşık 1500-1800 yılları arasının nispeten soğuk/kurak, 1950-2000 yılları arasının ise sıcak/nemli olduğunu göstermektedir.

Sultaniye havzasından alınan KÖYC-G04 karotu yaklaşık son 400 yılı (MS 1600) kapsamaktadır (Şekil 8). Bu karotun da en üst seviyesinde (1950-2000 yılları arası) bulunan bitki kalıntılarının yoğunluğundan dolayı  $\mu$ XRF verileri elde edilememiştir. MS 1600-1900 yılları arasında Ca, Ca/Fe, Sr/Ca değerleri daha durağan ve salınımlar daha az gözlenmektedir. 1900

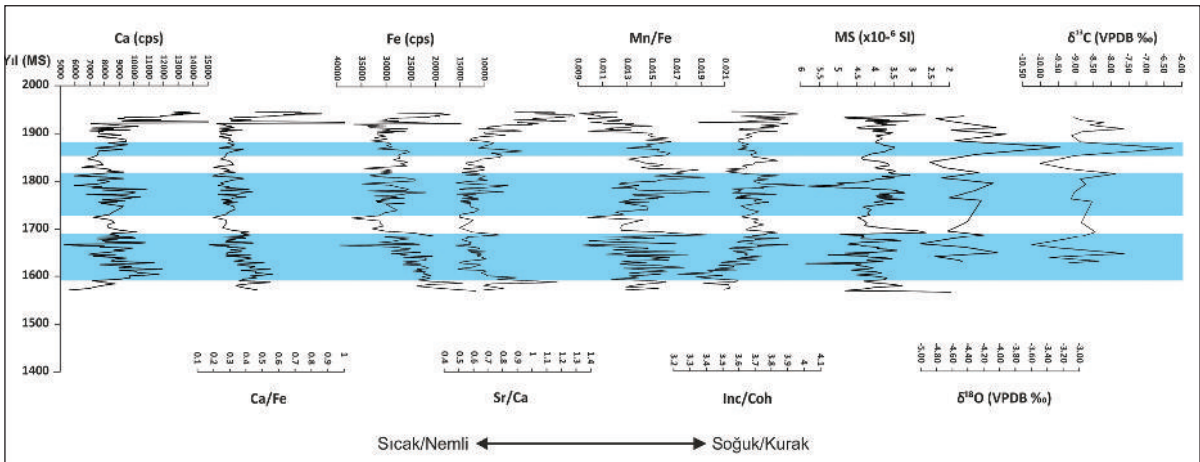
yılından günümüze doğru Ca, Ca/Fe, Sr/Ca, Inc./Coh. değerlerinde artış, Fe, MS ve duraylı izotop değerlerinde ise azalma görülmektedir. Tüm belirteçler birlikte değerlendirildiğinde yaklaşık MS 1600-1700, 1720-1810 yılları arası ve 1850 yılı civarında iklimin nispeten soğuk/kurak olduğu görülür.

Tüm karotlar birlikte değerlendirildiğinde yaklaşık MS 1600-1850 yılları arasının kısa dönem salınımlar dışında daha kurak/soğuk olduğu görülmektedir. Bu da küresel ölçekte gözlenen Küçük Buz Çağı'na (MS 1450-1850) denk gelmektedir. Küçük Buz Çağı'nın sebepleri hala tartışmalı olsa da küresel olarak gözlenmektedir. Anadolu'da Sofular Mağarası speleotem (KB Anadolu), Nar Gölü (İç Anadolu), Çubuk Gölü (İç Anadolu), Salda Gölü (GB Anadolu), Küçükçekmece Lagünü (Marmara Bölgesi) çökellerinde ve GB Anadolu ağaç halkası verilerinde gözlenmiştir (Göktürk vd., 2011, Jones vd., 2006, Ocakoğlu vd., 2016, Danladi ve Akçer-Ön, 2017, Akçer-Ön vd., 2011, Touchan vd., 2007).



**Şekil 7.** KÖYC-G03 karotu, yaşa (MS yılı) göre çoklu belirteç grafiği. Mavi; soğuk/kurak, yeşil ise sıcak/nemli dönemleri göstermektedir.

**Figure 7.** Multi-proxy vs age plot of KÖYC-G03 core. Blue and green indicate cold/dry and warm/wet spells, respectively.



**Şekil 8.** KÖYC-G04 karotu, yaşa (MS yılı) göre çoklu belirteç grafiği. Mavi; soğuk/kurak, dönemleri göstermektedir.

**Figure 8.** Multi-proxy vs age plot of KÖYC-G04 core. Blue indicates cold/dry and warm/wet spells.

Elde edilen diğer önemli bir sonuç toplam organik karbon belirteci olan Inc./Coh oranının nispeten soğuk/kurak dönemlerde gösterdiği artıştır. Faktör analizi sonucundan elde edilen veriler ışığında kırıntılı malzeme girdisiyle ters ilişkili olan Inc/Coh oranı sıcak/nemli dönemlerde

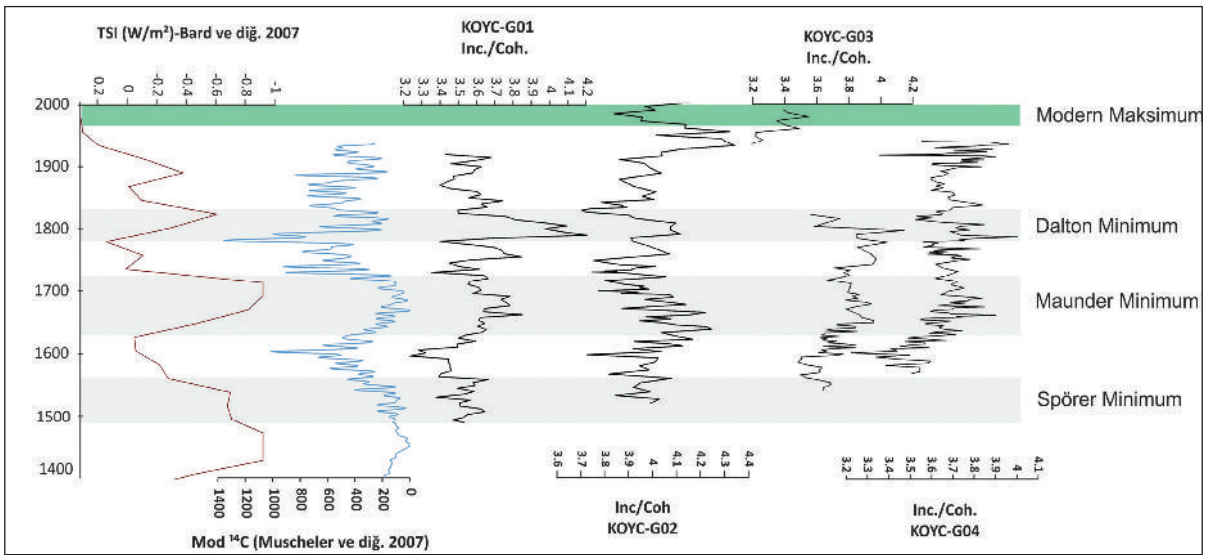
azalmakta, soğuk/kurak dönemlerde ise göreceli artış göstermektedir.

Toplam Organik Karbon'un arttığı seviyeler Küçük Buz Çağı dönemi içindeki Güneşteki patlamaların sayıca azaldığı Spörer (MS 1460-1550), Maunder (MS 1645-1715) ve Dalton

Minimum (MS 1790-1830) dönemlerine denk gelmektedir. Toplam Solar Parlaklık (Total Solar Irradiance) ve C-14'e bağlı Solar Modülasyon Fonksiyonu (Solar Modulation Function; kozmojenik radyonükleid) grafikleri ile Köyceğiz Gölü'nden alınan karotlardaki Inc/Coh. grafiklerinin karşılaştırması Şekil 9'da verilmektedir. Güneş Etkinliğine bağlı bu iki referans veriye (Bard vd., 2007 ve Steinhilber vd., 2012) göre Inc/Coh verilerinin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Buna göre Güneşteki lekelerin azalması ve iklimin nispeten soğuması ile göl sedimanlarında oluşan toplam organik karbon miktarı artmaktadır.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada Köyceğiz Gölü'nden alınan kısa karotlar ile yaklaşık son 500 yılın (1500-2000 yılları arası) iklim değişimleri değerlendirilmiştir. Köyceğiz Gölü karotları yaş modeline göre küresel olarak gözlenen Küçük Buz Çağı dönemine (MS 1450-1850) denk gelmektedir. Bu dönem içinde üç soğuk/kurak dönem gözlenmiştir. Bu soğuk dönemlerin güneşteki lekelerin azalmasına bağlı soğuma dönemleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Anadolu'da daha önceki çalışmalarda gözlenen Küçük Buz Çağı döneminde son 500 yılda güneş etkisi ile iklim değişimleri



**Şekil 9.** MS 1400-2000 yılları arası Toplam Solar Parlaklık (TSI, Bard vd., 2007), Mod <sup>14</sup>C (Muscheler vd., 2007) grafikleri ile Köyceğiz Gölü Inc./Coh. verilerinin karşılaştırması. Gri ile gösterilen bölgeler soğuk/kurak dönemleri, yeşil ise nispeten sıcak/nemli dönemi göstermektedir. Buna göre Spörer, Maunder ve Dalton Minimumları ve Modern Maksimum grafiklerde gösterilmiştir.

**Figure 9.** Comparison of Total Solar Irradiance ((TSI, Bard et al., 2007), Mod <sup>14</sup>C (Muscheler et al., 2007) vs Inc./Coh. data of Lake Köyceğiz cores the dates between AD 1400-2000. Grey and green zones indicates cold/dry and relatively warm/wet spells, respectively. So the Spörer, Maunder and Dalton Minimums and Modern Maximum has shown on plot.

ve bunların göller üzerindeki jeokimyasal ve fiziksel etkileri güneybatı Anadolu'da Salda Gölü verilerinden sonra ilk defa Köyceğiz Gölü kayıtlarında da gözlenmiştir. Buna göre Yaklaşık MS 1490-1570, 1620-1710 yılları arası ve 1800 yılı civarında artan soğuk/kurak koşullar sırasıyla; Spörer Minimum, Maunder Minimum ve Dalton Minimum olarak adlandırılmış güneş etkilerinin azaldığı dönemlere denk gelmektedir.

## KATKI BELİRTME

Çeşitli katkılarından dolayı Zeki Bora Ön, Dursun Acar, Zeynep Ankut, Sebahat Ercan, Taner Korkmaz ve Cannur Eroğlu'na teşekkür ederim. EMCOL laboratuvar imkanlarını bana açan Prof. Dr. Namık Çağatay, Doç.Dr.Kadir Eriş ve Y.Müh. Dursun Acar'a çok teşekkür ederim. Bu makaleyi değerlendiren hakemler; Demet Biltekin ve Ulaş Avşar'a ve özel sayının editörü Mehmet Korhan Erturaç'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

## EXTENDED SUMMARY

*Lakes and lagoons are important archives for past climate and past environment studies. Especially, closed lake systems are very sensitive to small changes, where evaporation-precipitation regime is sensitive and important.*

*Since the beginning of the Earth, climate has varied at different time scales. Orbital variations, continental drift, solar output, variations in Earth's albedo, changes in greenhouse gas concentrations and evolution of the sun are believed to be the causes of climate variations. The global nature of the Holocene climate variations are still a matter of debate. Sunspots, volcanic activities, effects of melting-glacials on thermohaline circulation could be the origin of these variations. Different centennial-scale climatic variations such as Little Ice Age, Medieval Climate Anomaly and Solar activity records observed in North Europe and America are also expected to be detected in Western Anatolia Lakes. Comparison of the Western*

*Anatolian climate records with the regional and global climate records is important and useful in understanding human history and predicting future climate changes, where Holocene climate studies are still scarce in Anatolia.*

*For this purpose, I collected four short interface cores (max 800 mm) from Lake Köyceğiz (Figure 1, Table 1). Two cores were recovered from the northern basin; called Köyceğiz, one from the southern basin; called Sultaniye and the last one is from the ridge between these two basins. The split cores were lithologically described and analyzed for physical properties (magnetic susceptibility: MS) at 5 mm resolution using Multi Sensor Core Logger (MSCL) and multi elemental analysis at 3 mm resolution using  $\mu$ XRF (X-Ray Fluorescence) core scanner. Most abundant and continuous ostracoda species (*Cyprideis torosa*) were picked at 30 mm resolution from three of the cores, and analyzed for  $\delta^{18}O$  and  $\delta^{13}C$ . The cores were dated through AMS  $^{14}C$  analysis of various carbonate shells. The results are corrected for hard water/local reservoir ages as assuming  $2100 \pm 90$  years, according to the previous studies' sedimentation rates and known hard water/local reservoir effects in Mediterranean lagoons, and consequently, age model is constructed for KÖYC-G01. Other cores' age models are constructed by comparison of KÖYC-G01 core by AnalySeries 2.0 software (Fig.4). In this study, the results of principal component factor analysis of  $\mu$ XRF data, which have more than 400 count per seconds (K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr elemental profiles) are presented and interpreted.*

*Köyceğiz Lake cores can mainly be described as olive green colored homogenous mud and each of them consist of vermedite shells for the upper 100 mm, except for the KÖYC-G03 which was recovered on the ridge (Figure 2). All cores have gastropod shells, plant remains and bioturbation tracks in various levels. KÖYC-G03 core has a sand level between 200-120 mm. Laminations are observed at KÖYC-04 core which was recovered from Sultaniye basin.*



In order to calibrate the radiocarbon dates, there is no available data to find the hard water effect. Therefore, two radiocarbon dates in KÖYC-G01 core have been calibrated without the any reservoir age correction through MARINE-13 calibration. Then the sedimentation between these two levels has been assumed constant through the core, and accordingly by assuming the top of the core present, a linear age model is constructed. The dates, according to this model, of the levels with dated material give approximately  $2100 \pm 90$  years of hard water effect. Consequently an age model is constructed with this assumed hard water effect via Bacon package (Figure 3). The results show that, KÖYC-G01 covers approximately the last 500 years BP (~ AD 1450, Figure 5). The age model of the rest of the cores have been constructed through Analy.Series 2.0 software, since according to the radiocarbon dates, different basins have different hard water effects. KÖYC-G02, G03 and G04 represents approximately 500 years BP (Figure 6, 7, 8).

The result of factor analysis on  $\mu$ XRF data gives three different factors; i) K, Ti, Fe and negatively correlated with Ca, Sr; ii) Ca and Mn, iii) K, Ti, Fe negatively correlated with Inc./Coh. F1 refers to K, Ti, Fe detrital input to the basin and negatively correlated with carbonate precipitation in lake sediments. F2 refers to Ca and Mn as both detrital materials but Ca also refers to chemical and/or biological precipitation and Mn refers to redox conditions in sediment. The correlation is not so high in this factor. The last factor; 3 refers to detrital input elements versus Inc./Coh. Ratio that is assumed as total organic carbon. Accordingly, increase of detrital input results in a decrease of the total organic carbon (Inc/Coh) amount.

In this study Ca, Ca/Fe, Fe, Sr/Ca, Mn/Fe, Inc/Coh, Ms,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  proxies are used to understand past climate changes for last BP 500 years. Fe (f1) refers the detrital input to the basin and negatively correlated to Ca element, which is assumed as a proxy for carbonate precipitation.

In warmer/wetter (colder/drier) conditions, detrital input has increased (decreased) and carbonate precipitation decreased (increased). Ca is normalized to Fe to ignore detrital input of Ca to basin and assumed as  $\text{CaCO}_3$  precipitation in the sediment. Sr/Ca ratio is assumed and used as a proxy aragonite/calcite ratio. During Warm/dry conditions aragonite/calcite ratio is expected to increase and cold/wet conditions and vice versa. Mn/Fe ratio is mostly used to understand redox reactions. Mn element is more sensible than Fe element for oxygenation. So increasing Mn/Fe ratio refers to enrichment of oxygenation. Inc/Coh ratio is used as total organic carbon. As it is seen from factor 3, total organic carbon concentration is negatively correlated with detrital input elements, (Fe, K, Ti) that means TOC is enriched in colder/drier conditions.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  mostly covary in closed systems. Even Lake Köyceğiz may not be counted as a closed system (outflows to Mediterranean), it can be seen that  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  covaries for all three cores.  $\delta^{18}\text{O}$  is mostly related to evaporation-precipitation regime in Eastern Mediterranean. So it is expected to have high values during dry periods and low values during wet periods.

According to the results, between AD 1470-1570, 1620-1710 years and around AD 1800 it colder/drier in Lake Köyceğiz (Fig., 4, 5, 6, 7). This time interval has been known as Little Ice Age (AD 1450-1850) which is a cold spell and has been observed globally. Furthermore these periods show good visual correlation with the decreases in total solar irradiance (Fig. 9). These, decreased sunspot number spells, are named as Spörer Minimum (AD 1460-1550), Maunder Minimum (AD 1645-1715) and Dalton Minimum (AD 1790-1830).

## ORCID

Sena Akçer Ön  <https://orcid.org/0000-0002-0708-8629>

**DEĞİNİLEN BELGELER**

- Akçer-Ön, S., Greaves, A.M., Manning, S., Ön, Z.B., Çağatay, N., Sakinç, M., Oflaz, A., Tunoğlu, C., yayınlanmamış. The evolution and environmental history of Bafa Gölü, SW Turkey: New dating models and interpretative methods for investigating historic lagoon formation.
- Akçer Ön, S., Çağatay, N., & Sakinç, M., 2011. Küçükçekmece Lagünü'nde (İstanbul)" Küçük Buzul Çağı" ve" Orta Çağ Ilık Dönemi" çökel kayıtları. *ITU Journal Series D: Engineering*, 10(4).
- 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* 345, 81–97.
- 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(6), 4767-4779.
- Bard, E., Raisbeck, G., Yiou, F., Jouzel, J., 2007. Comment on "Solar activity during the last 1000 yr inferred from radionuclide records" by Muscheler et al. (2007). *Quat. Sci. Rev.* 26, 2301-2308.
- Bayarı, C.S., Kazancı, N., Koyuncu, H., Çağlar, S.S; And Gökçe, D., 1995. Determination Of The Origin Of The Waters Of Köyceğiz Lake, Turkey; *Journal Of Hydrology* ,166,171-191 P.
- Bayarı, C.S., Kurttaş, T., 2000. Türkiye Gölleri Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal, Jeokimyasal ve Çevresel İzotopik İncelenmesi Pilot Projesi Köyceğiz Gölü, TÜBİTAK Projesi No: YDABÇAG-201.
- Blaauw, M., Christen, J.A., 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 6, 457-474.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., et al., 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the holocene. *Science* 294, 2130-2136.
- Chambers, F.M., Michael, I.O., Jeffrey, J.B., 1999. Palaeoenvironmental evidence for solar forcing of holocene climate: linkages to solar science. *Prog. Phys. Geogr.* 23 (2), 181-204.
- Çağatay, M.N., Güngör, N., Yılmaz, Y.Z., Sarı E., 2005. Rapid changes in the ecological conditions of the Black Sea over the last 3kyr: Evidence from sediment geochemistry. In: Özerler, M. and Sayın, E. (eds.), *The Role of Marine Studies in Ecosystems, ECOSYSTEM 2003*, Izmir, Turkey, pp.85-96.
- Danladi, I. B., & Akçer-Ön, S. 2017. Solar forcing and climate variability during the past millennium as recorded in a high altitude lake: Lake Salda (SW Anatolia). *Quaternary International*.
- Graciansky, P.C., 1968. Teke Yarımadası (Likya) Toroslarının Üst Üste Gelmiş Ünitelerinin Stratigrafisine Dinaro-Toroslardaki Yeri, M.T.A. Dergisi, 71, s.73-92.
- Göktürk, OM, Fleitmann, D., Badertscher, S., Cheng, H., Edwards, R.L., Leuenberger, M., Fankhauser A., Tüysüz, O., Kramers, J., 2011. Climate on the Southern Black Sea Coast during the Holocene: Implications from the Sofular Cave record. *Quaternary Science Reviews*, Manuscript Number: JQSR-D-11-00029R1
- Gülenbay, A., 1982. Aşağı Dalaman Havzası Karst Hidrojeoloji İncelemesi, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Yeraltı suları Dairesi Başkanlığı, Yüce tepe-Ankara.
- Güner, N., 1997. Köyceğiz Gölü Havzasının Hidrojeoloji İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 91s.
- Güngör ve Çağatay, 2007. Karadeniz'de son 3000 yıldaki ani çevresel değişimler. *İTÜ Dergisi*, 5(4): 23-33.
- Jones, M.D., Roberts, C.N., Leng, M.J. ve Türkeş, M., 2006. A high-resolution late Holocene lake isotope record from Turkey and links to North Atlantic and monsoon climate. *Geology* 34(5): 361–364.
- Lean, J. L. (2010). Cycles and trends in solar irradiance and climate. *Wiley interdisciplinary reviews: climate change*, 1(1), 111-122.
- Luterbacher, J., Rickli, R., Xoplaki, E., Tinguely, C., Beck, C., Pfister, C., & Wanner, H. 2001. The late Maunder minimum (1675–1715)—a key period for studying decadal scale climatic change in Europe. *Climatic Change*, 49(4), 441-462.
- Mackereth, F.J.H., 1966. Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* 250, 165-213.

- Magny, M., 2004. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quat. Int.* 113, 65e79.
- Mann, M.E., 2002. Little Ice Age, Medieval Climatic Optimum, *Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change* Ed: Munn T., Wiley J., Ghil M., Vol:1, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, p:544-549.
- Masson-Delmotte, V., M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski, J.F. González Rouco, E. Jansen, K. Lambeck, J. Luterbacher, T. Naish, T. Osborn, B. Otto-Bliesner, T. Quinn, R. Ramesh, M. Rojas, X. Shao and A. Timmermann, 2013: Information from Paleoclimate Archives. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Muller ve Mac Donald, 2000. Ice Ages and Astronomical Causes: Data, spectral analysis and mechanisms, *Praxis Publishing*, UK.
- Naeher, S., Gilli, A., North, R.P., Hamann, Y., Schubert, C.J., 2013. Tracing bottom water oxygenation with sedimentary Mn/Fe ratios in Lake Zurich, Switzerland. *Chem. Geol.* 352, 125-133.
- Ocañoğlu, F., Dönmez, E.O., Akbulut, A., Tunoğlu, C., Kır, O., Açıklın, S., Erayık, C., Yılmaz, Ö.E., Leroy, S.A., 2016. A 2800-year multi-proxy sedimentary record of climate change from Lake Çubuk (Göynük, Bolu, NWAnatolia). *Holocene* 26 (2), 205-221.
- Reimer, R., & Reimer, P., 2017. An Online Application for  $\Delta R$  Calculation. *Radiocarbon*, 59(5), 1623-1627.
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliadson, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffman, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., Van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.
- Paillard, D., Labeyrie, L., Yiou, P., 1996. Macintosh Program performs time-series analysis. *Eos Trans. AGU* 77 (39), 379-379.
- Rencher, A. C., 2002, *Methods of Multivariate Analysis*. 2nd. ed. New-Jersey: John Wiley & Sons. Chapter 13 (pp. 408-450).
- R Core Team, 2017. R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodriguez-Germade, I., Rubio, B., Rey, D., 2014. XRF scanners as quick screening tool for detecting toxic pollutant elements in sediments from Marin harbour in the Ria de pontevedra (NW Spain). *Mar. Pollut. Bull.* 86, 458e467.
- Sabatier, P., Dezileau, L., Blanchemanche, P., Siani, G., Condomines, M., Bentaleb, I., & Piquès, G., 2010. Holocene variations of radiocarbon reservoir ages in a Mediterranean lagoonal system. *Radiocarbon*, 52(1), 91-102.
- Steinhilber, F., Abreu, J.A., Beer, J., Brunner, I., Christl, M., Fischer, H., Heikkila, U., Kubik, P.W., Mann, M., McCracken, K.G., Miller, H., Miyahara, H., Oerter, H., Wilhelms, F., 2012. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences Published Ahead of Print April 2, 2012.* <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1118965109>.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., and Reimer, R.W., 2017, CALIB 7.1 [WWW program] at <http://calib.org>, accessed 2017-11-30
- Touchan, R., Akkemik, Ü., Erkan, N., 2007. MayeJune precipitation reconstruction of southwestern Anatolia, Turkey during the last 900 years from tree rings. *Quat. Res.* 68, 196-202.
- Trujillo-Ortiz, A., R. Hernandez-Walls, A. Castro-Perez and K. Barba-Rojo., 2006. MOUTLIER1: Detection of Outlier in Multivariate Samples Test. A MATLAB file. URL <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=12252>
- Tuchman, G., 1978, *Making news*. New York: Free Press.
- Weaver P.P.E. and Schultheiss P.J., 1990. Current methods for obtaininig, logging and splitting marine sediment cores. *Marine Geophysical Researches*, 12:85-100.

- Weber M.E., Niessen F., Kuhn G., Wiedicke M., 1997. Calibration and application of marine sedimentary physical properties using a multi-sensor core logger. *Marine Geology*, 136: 151-172.
- Wersin, P., Höhener, P., Giovanoli, R., Stumm, W., 1991. Early diagenetic influences on iron transformations in a freshwater lake sediment. *Chem. Geol.* 90, 233-252.
- Wessel, P., Smith, W. H., Scharroo, R., Luis, J., & Wobbe, F., 2013. Generic mapping tools: improved version released. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94(45), 409-410.
- Yeşertener, C., 1986. Aşağı Dalaman (Fethiye KB) Havazsının Karst Hidrojeolojisi İncelemesi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji Anabilim Dalı) Yüksek Mühendislik Tezi, 275s.