

## Aygır Gölü Çökellerinin Çoklu Proksi Verilerine Göre Kuzeydoğu Anadolu'da Son 550 Yıldaki İklimsel Salınımlar

*Climatic oscillations in the last 550 years in northeast Anatolia based on multiple proxy data of lake Aygır sediments*

Çağlar Çakır<sup>\*1</sup>, Ahmet Evren Erginal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akdeniz Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Antalya

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi Ana Bilim Dalı, Çanakkale

**Öz:** Doğu Anadolu Bölgesi'nde Kars'ın Susuz ilçesi sınırları içerisinde 2300 metre yükseklikte bulunan Aygır Gölü, 4 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahip bir lav seti gölüdür. Gölün bulunduğu bu yüksek sahada yıllık ortalama sıcaklık ve yağış sırasıyla 4,9 °C ve 483 mm'dir. Bu çalışmada, Aygır Gölü'nden Kajak Sediment Karot Örnekleyici kullanılarak alınan 66 cm uzunluğundaki sediman karotundan hazırlanan 2cm kalınlıktaki örneklerin majör ve iz element bileşimleri ile toplam organik karbon (Corg) ve toplam kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) içerikleri paleoiklimsel proksiler olarak değerlendirilmiştir. Örneklerin majör ve iz element analizleri Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile yapılmıştır. Corg ve CaCO<sub>3</sub> ise sırasıyla Walkley-Black Titrasyon yöntemi ve Scheibler Kalsimetresi ile ölçülmüştür. Karotta organik karbon değerinin yüksek olduğu 56-60 cm derinlikteki bir örnekten AMS Radyokarbon tarihlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Asal Bileşenler Analizi (ABA) ile değerlendirilmiş ve böylece proksiler gruplandırılmıştır. AMS Radyokarbon tarihlendirmesine göre incelenen sediman karotu son 500-440 yıldaki çökme evresini kapsar. Ortalama çökme hızı 0,83 mm/yıl'dır. Proksi elementler olarak ele alınan Ca, Sr, Zr, Hf, Nb, Rb, Fe ve Al ile Corg, CaCO<sub>3</sub> ölçüm sonuçları yanı sıra Ca/Fe ve Ca/Ti oranları da paleoiklimsel proksi olarak burada değerlendirilmiştir. ABA sonuçlarına göre, yağışlı ve nemli dönemlerde göle taşınan Zr, Hf, Nb, Rb, Al, Fe ve Corg ilk bileşeni oluşturur. Kuraklığın belirteçleri olan ve yüksek Ca, Sr, Ca/Fe, Ca/Ti ve CaCO<sub>3</sub> ise ikinci bileşeni oluşturmaktadır. Karotun 48-66 cm'ler arasındaki en alt kısmında tüm proksilerde tipik kısa süreli salınımlar egemendir. 48 cm seviyesi kuraklığın en etkili yaşandığı dönemdir ve ikinci bileşendeki proksilerin tamamında artışa karşın ilk komponent bileşenlerinde azalışla temsil edilir. Bu derinlikten günümüze ise kuraklık kısa süreli olarak önce hızla azalmış, ardından günümüze doğru çok yavaş da olsa artış eğilimine girmiştir. Sonuç olarak, çalışılan iklimsel proksiler karot boyunca anlamlı ve karşılaştırılabilir bir dağılım göstermiştir. 48 cm derindeki katman olasılıkla Küçük Buzul Çağı'nın sonunu, yani 1800'leri belirlemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklimsel proksi, Asal Bileşenler Analizi, AMS Radyokarbon, Paleoiklim, Aygır Gölü.

**Abstract:** Lake Aygır, which is located at an elevation of 2300 meters in the Susuz district of Kars in Eastern Anatolia is a volcanic barrier lake with a surface area of 4 km<sup>2</sup>. The average annual temperature and rainfall in this highland where the lake is located is 4.9 °C and 483 mm, respectively. In this study, major and trace element compositions together with total organic carbon (Corg) and total calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) contents of 2 cm-thick subsamples taken from 66 cm-long sediment core using Kajak Sediment Core Sampler from Lake Aygır were studied as paleoclimatic proxies. Major and trace element analyzes of the samples were performed by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Corg and CaCO<sub>3</sub> were measured by Walkley-Black Titration method and Scheibler Calcimeter, respectively. AMS Radiocarbon dating was carried out from one sample at a depth of 56-60 cm where organic carbon is at high amount. The results obtained were evaluated by Principal Component Analysis (PCA) and the proxies were grouped,

\* İletişim yazarı: Çağlar Çakır, e-posta: caglaracakir@akdeniz.edu.tr

accordingly. According to the AMS radiocarbon dating, the studied sediment core covers a depositional period during the last 500-440 years. The average sedimentation rate is 0.83 mm/year. The proxy elements Ca, Sr, Zr, Hf, Nb, Rb, Fe and Al, Corg and CaCO<sub>3</sub> values as well as Ca/Fe and Ca/Ti ratios are considered here as paleoclimatic proxies. Based on results of PCA, Zr, Hf, Nb, Rb, Al, Fe and Corg transported into the lake during rainy and humid periods constitute the first component. The second component comprises high Ca, Sr, Ca/Fe, Ca/Ti and CaCO<sub>3</sub> which are indicators of drought. At the lowermost part of the core at between 48-66 cm, short-term oscillations predominate in all proxies. The level at 48 cm depth is the most effective period of drought and is represented by the increase in the all proxies of the second component contrary to decrease in those of the first component. As from this depth, the drought first decreased rapidly for a short time and then tended to increase slowly until the present. Consequently, the studied climatic proxies showed a significant and comparable distribution along the core. The level at 48 cm depth presumably documents the end of the Little Ice Age, i.e.1800s.

**Keywords:** Climatic proxy, Principal Component Analysis, AMS Radiocarbon, Paleoclimate, Lake Aygır.

## 1. Giriş

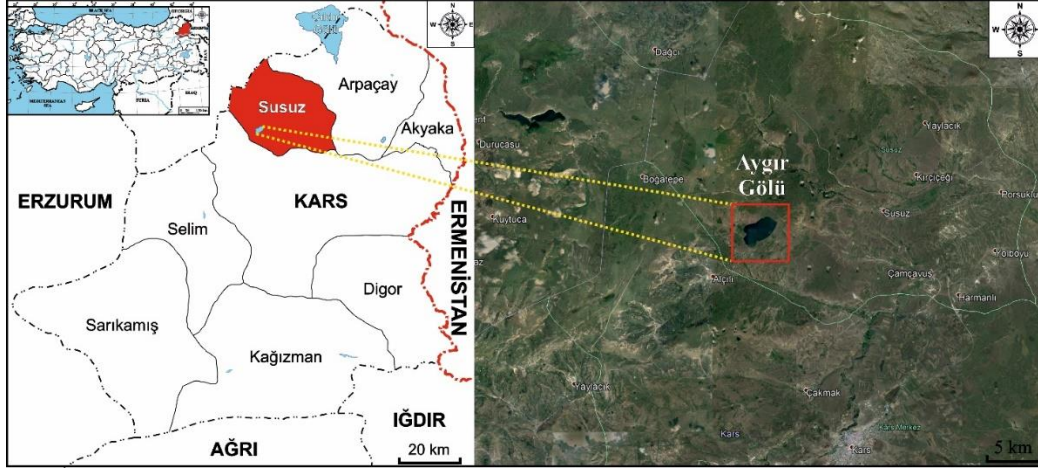
Dünya’da geçmişte etkili olan iklim özelliklerini araştırma ve onları yeniden kurgulama çabası, gelecekte karşılaşılabileceğimiz iklim şartlarına ait öngörülerde bulunmak ve zamansal olarak iklim salınımlarının frekansını tahmin etmek bakımından büyük öneme sahiptir (Overpeck ve Cole, 2006). Bu bağlamda göl çökelleri, iklim de dahil olmak üzere çevresel koşulların geçmişte sahip oldukları özellikleri incelemek için eşsiz bir arşivdir (Jones ve Roberts, 2008; von Gunten, vd., 2009). Göl çökellerinin çoklu proksi tabanlı analizleri, Holosen süresince meydana gelen iklim değişikliklerinin tespit edilmesinde önemli bilgiler sunmaktadır (Karloğlu Kılıç, vd., 2018). Son yirmi iki yıllık süreçte Türkiye’de Van (Lemke ve Sturm, 1996; Çağatay, vd., 2014; Litt, vd., 2014), Eski Acıgöl (Roberts, vd., 2001; Jones, vd., 2007; Jones ve Roberts, 2008), Tuz (Kashima, 2002), Nar (Jones, vd., 2006; England, vd., 2008), Gölhisar (Eastwood, vd., 2007), Sapanca (Leroy, vd., 2010), Tecer (Kuzucuoğlu, vd., 2011), Küçükçekmece (Akçer Ön, vd., 2011; Erginal, vd., 2017), İznik (Ülgen, vd., 2012; Roeser, vd., 2012), Sünnet (Ocakoğlu, vd., 2013), Terkos (Erginal, vd., 2017) ve Aktaş (Karloğlu Kılıç, vd., 2018) gölleri çökellerinden hareketle gerçekleştirilen araştırmalarda, iklim başta olmak üzere diğer coğrafi unsurların Geç Kuvaterner’de gösterdikleri değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmada, Aygır Gölü çökellerinin sık aralıklarla yapılan element bileşimi, otijenik-çökemiş kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>), toplam organik karbon (TOC) analizleri sonucunda elde edilen jeokimyasal ve fiziksel belirteçlere dayanarak, Kuzeydoğu Anadolu’da gerçekleşen iklimsel salınımların belirlenmesi amaçlanmıştır.

### 1.1. Çalışma Sahası

Aygır Gölü, Doğu Anadolu Bölgesi Erzurum-Kars Bölümü’nde bulunan Kars iline bağlı Susuz ilçe sınırları içerisinde, 40° 45' 07.99"-40° 46' 29.65" Kuzey enlemleri ile 42° 59' 24.48"-43° 01' 23.03" Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Göl, Kars il merkezinin 20 km kuzeybatısında, Susuz ilçe merkezinin ise 10 km batısındadır. Yüzey alanı 4,08 km<sup>2</sup> olan Aygır Gölü volkanik set gölü olup, su yüzeyi deniz seviyesinden 2300 m yüksektedir. Tabanından çıkan tatlı su kaynakları sebebiyle, gölün suları tatlıdır. Göl çevresinde karasal iklim şartları etkilidir. Susuz Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 4,9°C, yıllık yağış tutarı da 483 mm’dir. Çalışma alanında hâkim bitki örtüsü antropojen steplerdir. Saha, Erzurum-Kars volkanik bölgesinin bir parçasıdır. Gölün yakın çevresinde volkanikler egemendir. Çalışma alanındaki en yaşlı litolojik birim, inceleme alanı ve çevresinde etkili olan volkanizmanın ilk evresinde gelişen Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Kura volkanitleridir. Aygır Gölü’nün güneyinde uzanan litolojik birim aglomera, tuf ve andezitlerden oluşmaktadır (Aktimur, vd., 1991; 1992). Göl çevresinde en geniş yayılışa sahip olan litolojik birim Dumanlıdağ piroklastikleridir. Farklı renklerde belirgin tabakalanmalı tuf,

andezit, pomza, perlit ve obsidyen gibi çoğu asidik türde volkanitlerden oluşan bu birim kalkalkalen nitelikte olup, saha ve çevresinde etkili olan volkanizmanın üçüncü evresinde oluşmuştur (Aktimur, vd., 1991; 1992).



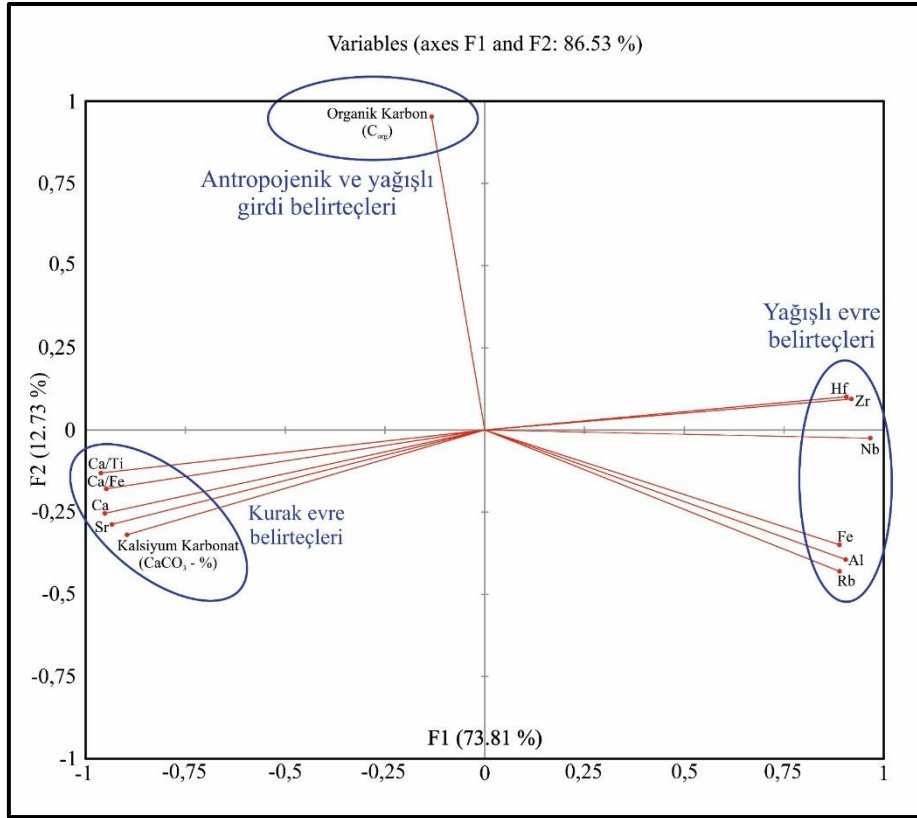
Şekil 1. Çalışma sahasının lokasyon haritası.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma materyalini, 6 cm çapında örnekleme tüplü Kajak Sediment Karot Örnekleyici kullanılarak, gölün orta bölümünden alınan 66 cm uzunluğundaki sığ karot oluşturmaktadır. Alınan karot için örnekleme aralığı 2 cm olarak belirlenmiştir. Böylece, güncel göl tabanından 66 cm derinliğe kadar 32 örnek üzerinde paleoiklimsel belirteçlerin tespiti için analizler yapılmıştır. Örneklerin çoklu element analizleri Kanada'da bulunan Bureau Veritas Mineral Laboratuvarları'nda, İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplam organik karbon (TOC) ölçümleri Walkley-Black titrasyon yöntemiyle (Gaudette, vd., 1974), kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ölçümleri Scheibler tipi kalsimetre ile yapılmıştır. Karotun 55-60 cm aralığından alınan, organik madde açısından zengin materyalden ABD'deki Beta Analytic Laboratuvarı'nda AMS Radyokarbon tarihlendirmesi yapılmıştır. Belirteç elementler Al, Ca, Fe, Hf, Nb, Rb, Sr, Ti ve Zr belirteç elementler olarak seçilmiştir. Buna ek olarak, gölde iklim kontrolünde gerçekleşen sedimantasyonu değerlendirebilmek için Ca/Fe, Ca/Ti ve Rb/Sr gibi belirteç element oranları hesaplanmıştır (Jin, vd., 2015; Karlıoğlu Kılıç, vd., 2018). Belirteç olarak seçilen elementlerin ICP-MS analizi ve Ca/Fe, Ca/Ti, Rb/Sr oranlamaları sonucunda elde edilen değerler üzerinden yapılan Asal Bileşenler Analizi (ABA) ile element taşınım ve çökeltme dinamikleri belirlenmiştir.

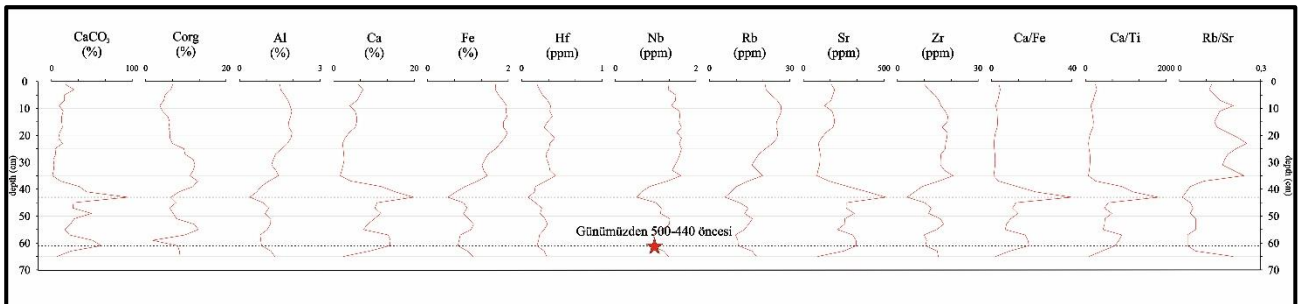
## 3. Bulgular ve Sonuç

AMS Radyokarbon analiz sonuçlarına göre çalışılan karot göldeki son 500-440 yıllık çökeltme evresine ait bulguları içermektedir. Alınan karotun derinliği ve AMS Radyokarbon tarihleri göz önünde bulundurulduğunda, gölde gerçekleşen sedimantasyonun hızı 0,83 mm/yıl'dır. Asal Bileşenler Analizi sonuçlarına göre  $\text{CaCO}_3$ , Ca, Sr ve Ca/Fe, Ca/Ti ile Rb/Sr, Al, Fe, Hf, Nb, Rb, Zr elementlerin birinci bileşende beraber oldukları, buna karşılık yönlerinin ters olduğu görülmektedir. Bu bağlamda her ne kadar aynı bileşende olsalar da aralarında negatif, yani ters ilişki vardır. Bu bileşen, kendi başına değişkenliğin % 73,8'ini açıklamaktadır ki söz konusu değer oldukça yüksek ve değişkenliği anlamak için önemlidir. Diğer yandan TOC kendi başına ikinci bileşende bulunmakta ve değişkenliğin % 12,7'sini açıklamaktadır. ABA sonucunda elde edilen değerlerin kartezyen koordinatındaki değerleri çizildiğinde, üç ayrı bileşen tespit edilmiştir. Böylece beraber taşınan ve etkileşimde bulunan elementler ortaya çıkmaktadır. Buna göre, yağışlı ve nemli dönemlerde göle taşınan Zr, Hf, Nb, Rb, Al, Fe ve TOC ilk iki bileşeni oluşturmuştur. Kuraklığın belirteçleri olan ve yüksek Ca, Sr, Ca/Fe, Ca/Ti ve  $\text{CaCO}_3$  ise üçüncü bileşeni oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Asal Bileşenler Analizi (ABA) sonuçlarına göre yağışlı ve nemli dönemleri temsil eden Zr, Hf, Nb, Rb, Al, Fe ve TOC ilk bileşeni, kurak dönemleri temsil eden Ca, Sr, Ca/Fe, Ca/Ti ve CaCO<sub>3</sub> ise üçüncü bileşeni teşkil etmektedir.

Karotun 48-66 cm'ler arasındaki en alt kısmında tüm proksilerde tipik kısa süreli salınımlar egemendir (Şekil 3). 48 cm seviyesi kuraklığın en etkili yaşandığı dönemdir. Bu seviyede ikinci bileşendeki proksilerin tamamında artış gerçekleşirken, ilk bileşenler azalışla temsil edilmektedir. Bu derinlikten itibaren kuraklık kısa süreli olarak önce hızla azalmış, ardından günümüze doğru çok yavaş da olsa artış eğilimine girmiştir. Sonuç olarak, çalışılan iklimsel proksiler, karot boyunca anlamlı ve karşılaştırılabilir bir dağılım göstermiştir. Karotun, güncel göl tabanının 48 cm altındaki seviyesi büyük olasılıkla, sıcaklık değerlerinin 1950 ortalamasından sadece 0.5-0.7°C düşük olmasına rağmen; Avrupa'da kış mevsimlerinde göl, kanal ve nehirlerin donduğu, buzulların yükseklerden daha düşük rakımlara doğru ilerlediği ve iklimde soğumaya bağlı olarak tarımsal üretimin düşmesi ile birlikte açlık, toplumsal karmaşa (Osmanlı İmparatorluğu'nda meydana gelen Celali İsyanları gibi) ve savaşların baş gösterdiği (Tuchman, 1978; Muller ve McDonald, 2000; Mann, 2002; Akçer Ön, 2017), Küçük Buzul Çağı'nın sonunu, yani 1800'leri belgelemektedir.



Şekil 3. Ayrılık Gölü'ndeki paleoiklimsel belirteçlerin dikey dağılışı.

## Referanslar

- Akçer Ön, S., Çağatay, M.N., Sakınç, M. (2011). Küçükçekmece Lagünü'nde (İstanbul) "Küçük Buzul Çağı" ve "Orta Çağ Ilık Dönemi" çökel kayıtları, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 10 (4): 131-140.
- Akçer Ön, S. (2017). Küçük Buz Çağı'nda Güneş etkisine bağlı iklim değişimleri: Köyceğiz Gölü çökel kayıtları (GB Anadolu), *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60: 569-588.
- Aktimur, H.T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M.E., Ercan, T., Keçer, M., Ürgün, B.M., Gürbüz, M., Can, B., Yaşar, T. (1991). Kars, Arpaçay dolayının jeolojisi ve Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanitlerin petrolojisi, *44. Türkiye Jeoloji Kurultayı (4-8 Şubat 1991) Bildiriler Kitabı*, Ankara: 24.
- Aktimur, H.T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M.E., Ürgün, B.M., Ercan, T. (1991). 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No: 40 Kars D 36 paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Çağatay, M.N., Öğretmen, N., Damcı, E., Stockhecke, M., Sancar, Ü., Eriş, K.K. Özeren, S. (2014). Lake level and climate records of the last 90 ka from the Northern Basin of Lake Van, eastern Turkey, *Quaternary Science Reviews*, 104: 97-116.
- Eastwood, W.J., Leng, M.J., Roberts, C.N., Davis, B. (2007). Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: A comparison stable isotope and pollen data from Lake Gölhisar, southwest Turkey, *Journal of Quaternary Science*, 22 (4): 327-341.
- England, A., Eastwood, W.J., Roberts, C.N., Turner, R., Haldon, J.F. (2008). Historical landscape change in Cappadocia (central Turkey): A palaeoecological investigation of annually laminated sediments from Nar lake, *The Holocene*, 18 (8): 1229-1245.
- Erginal, A.E., Akbaş, A., Kaya, H., Çakır, Ç., Karabıyıkoglu, M. (2017). Belirteç element dağılımlarına göre Küçükçekmece Gölü'nde son 700 yıllık iklimsel salınımların izleri, *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu (12-14 Ekim 2017) Bildiriler Kitabı*, Elazığ: 649-650.
- Erginal, A.E., Kaya, H., Kükrer, S., Çakır, Ç., Akbaş, A. (2017). Paleoclimatic implications of Lake Terkos (Durusu) sediments over the last 700 years, *Proceedings of the International Congress on the 75<sup>th</sup> Anniversary of Turkish Geographical Society (8-10 November 2017)*, Ankara: 625-626.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L., Folger, D.W. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments, *Journal of Sedimentary Research*, 44 (1), 249-253.
- Jin, Z., An, Z., Yu, J., Li, F., Zhang, F. (2015). Lake Quinghai sediment geochemistry linked to hydroclimate variability since the last glacial, *Quaternary Science Reviews*, 122: 63-73.
- Jones, M.D., Roberts, C.N., Leng, M.J., 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.
- Jones, M.D., Roberts, C.N., Leng, M.J. (2007). Quantifying climatic change through the last glacial-interglacial transition based on lake isotope palaeohydrology from central Turkey, *Quaternary Research*, 67 (3): 463-473.
- Jones, M.D., Roberts, C.N. (2008). Interpreting lake isotope records of Holocene environmental change in the Eastern Mediterranean, *Quaternary International*, 181: 32-38.
- Karlıoğlu Kılıç, N., Caner, H., Erginal, A.E., Ersin, S., Selim, H.H., Kaya, H. (2018). Environmental changes based on multi-proxy analysis of core sediments in Lake Aktaş, Turkey: Preliminary results, *Quaternary International*, 486: 89-97.
- Kashima, K. (2002). Environmental and climatic changes during the last 20,000 years at Lake Tuz, central Turkey, *Catena*, 48 (1-2): 3-20.
- Kuzucuoğlu, C., Dörfler, W., Kunesch, S., Goupille, F. (2011). Mid-to late-Holocene climate change in central Turkey: The Tecer Lake record, *The Holocene*, 21 (1): 173-188.
- Lemke, G., Sturm, M.N. (1996).  $\delta^{18}\text{O}$  and trace element measurements as proxy for the reconstruction of climate changes at Lake Van (Turkey): Preliminary Results. In: *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse*, Dalfes, H.N., Kukla, G., Weiss, H. (Ed.), Springer, Series I: Global Environmental Change Volume 49, Heidelberg, 653-678.
- Leroy, S.A.G., Schwab, M.J. Costa, P.J.M. (2010). Seismic influence on the last 1500-year infill history of Lake Sapanca (North Anatolian Fault, NW Turkey), *Tectonophysics*, 486 (1-4): 15-27.
- Litt, T., Pickarski, N., Heumann, G., Stockhecke, M., Tzedakis, P.C. (2014). A 600,000 year long continental pollen record from Lake Van, eastern Anatolia (Turkey), *Quaternary Science Reviews*, 104: 30-41.

TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu  
*International Geography Symposium on the 30<sup>th</sup> Anniversary of TUCAUM*  
3-6 Ekim 2018 /3-6 October 2018, Ankara

- Mann, M.E. (2002). Little ice age, Medieval climatic optimum. In: *Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change*, Munn T., Wiley J., Ghil M. (Ed), John Wiley & Sons, Chichester, 544-549.
- Muller, R.A., MacDonald, G.J. (2000). *Ice Ages and Astronomical Causes: Data, Spectral Analysis and Mechanism*, Paraxis Publishing: UK.
- Ocakoğlu, F., Kır, O., Yılmaz, İ.Ö., Açıkalın, S., Erayık, C., Tunoğlu, C., Leroy, S.A.G. (2013). Early to Mid-Holocene lake level and temperature records from the terraces of Lake Sünnet in NW Turkey, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369: 175-184.
- Overpeck, J.T., Cole, J.E. (2006). Abrupt change in Earth's climate system, *Annual Review of Environment and Resources*, 31: 1-31.
- Roberts, N., Reed, J.M., Leng, M.J., Kuzucuoğlu, C., Fontugne, M., Bertaux, J., Woldring, H., Bottema, S., Black, S., Hunt, E., Karabıyık, M. (2001). The tempo of Holocene climatic change in the eastern Mediterranean region: New high-resolution crater-lake sediment data from central Turkey, *The Holocene*, 11 (6): 721-736.
- Roeser, P.A., Franz, S.O., Litt, T., Ülgen, U.B., Hilgers, A., Wulf, S., Wennrich, V., Akçer Ön, S., Viehberg, F.A. Çağatay, M.N. (2012). Lithostratigraphic and geochronological framework for the paleoenvironmental reconstruction of the last ~ 36 ka cal BP from a sediment record from Lake İznik (NW Turkey), *Quaternary International*, 274: 73-87.
- Tuchman, G. (1978). *Making News: A Study in the Construction of Reality*, Free Press: New York.
- Ülgen, U.B., Franz, S.O., Biltekin, D., Çağatay, M.N., Roeser, P.A., Doner, L., Thein, J. (2012). Climatic and environmental evolution of Lake İznik (NW Turkey) over the last ~4700 years, *Quaternary International*, 274: 88-101.
- Von Gunten, L., Grosjean, M., Rein, B., Urrutia, R., Appleby, P. (2009). A quantitative high-resolution summer temperature reconstruction based on sedimentary pigments from Laguna Aculeo, central Chile, back to AD 850, *The Holocene*, 19 (6): 873-881.