

Geçmiş Takip Etmek - Paleolimnoloji

Tracking the past - paleolimnology

Ceran Şekeryapan^{1*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

Öz: Göller sedimanlarında çok fazla bilgi barındırırlar. Onların sedimanlarını toplayarak zaman içinde geriye gidebiliriz ve çağdaş örnekleme yoluyla elde edilemeyen geçmiş çevre koşullarını açığa çıkarabiliriz. Paleolimnoloji, göl çökellerinin incelenmesi, yaklaşık 40 yıldan beri popülerdir ve Anadolu'da bulunan bazı göllerde de yapılmış çeşitli çalışmalar vardır. Burada, Anadolu'nun farklı bölgelerindeki paleolimnolojik çalışmaların bir özeti ve onların görsel arşivlerini kullanarak Geç Buzul'dan bu yana yeniden yapılandırılmış geçmiş çevresel değişiklikler hakkında kısa bilgi bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Paleolimnoloji, Türkiye, göl sedimanları, uzun karotlar, paleoiklim

Abstract: Lakes contain huge amount of information in their sediments. Through collecting their sediments we can go back in time and reveal past environmental conditions that are not possible to obtain via contemporary sampling. Paleolimnology, studying of lake sediments, has been popular since about four decades and there have been several studies that have also been conducted in some of the lakes located in Anatolia. Here there is a summary of paleolimnological studies in different parts of Anatolia and brief information about reconstructed past environmental changes since Late Glacial using their lacustrine archives.

Keywords: Paleolimnology, Turkey, lake sediments, long cores, paleoclimate

1. Giriş

Uzun süreli çevresel izleme verisi elde etmek ekosistem değerlendirmelerinde önemlidir. Çünkü uzun süreli çevresel veri olmadan ekosistemin ne kadar bozulduğunu veya iyileştiğini göstermek, gerçekçi iyileştirici hedefler koymak ve ne seviyede bozulmanın ekosistemde negatif sonuçları ortaya çıkardığını tespit etmek ya da çevresel değişimin yörüngesini saptamak mümkün değildir (Smol, 2008). Ekosistem yönetiminde çoğunlukla yöneticiler etkilenmiş sistemle ilgili çok az geçmiş bilgi ile bozulmuş bir ekosistemle yüz yüze gelir, fakat ekosistemin sağlıklı halinin (referans koşulların) bilinmesi gerekir ki oluşan herhangi bir iyileşme ölçülebilir. Burada, sağlıklı ekosistemden kasıt kültürel etkinin öncesinde var olan ekosistemdir (Smol, 1992). Etkili bir ekosistem değerlendirmesi ve yönetimi için referans koşulların tespit edilebildiği, uzun süreli çevresel veri gereklidir (Smol, 1992). Uzun süreli çevresel izleme verisi bulmak, elde etmek hem karasal hem de sucul ekologların karşılaştığı zorluklardan biridir. Ekolojik çalışmalar genellikle birkaç yıl ile sınırlıdır (Weatherhead, 1986; Tilman, 1989; Smol, 1995). Çoğu sucul ekosistem için sadece 3 ya da daha az yılı kapsayan ekolojik izleme verisi mümkündür (Smol, 1995) ya da çoğu göl ve ırmak ekolojik olarak izlenmemektedir (Smol, 2008). Günümüzde 50 yıllık su kalitesi verisi veya zooplankton çeşitliliği verisi bulmak belki limnolojinin uzun yıllar önce geliştiği Avrupa ve Kuzey Amerika gölleri için mümkünse de ülkemizde neredeyse olanaksızdır. Oysa kısa süreli veriye bakılarak yapılacak yorumlar yanıltıcı olabilir. Örneğin kısa süreli

* İletişim yazarı: Ceran Şekeryapan, e-posta: ceran.sekeryapan@beun.edu.tr

Makale Geliş Tarihi: 09.04.2018

Makale Basıma Uygun Tarihi: 12.10.2018

veri ile anormal olan olaylar uzun süreli veri içinde değerlendirildiğinde sıradan olabilir (Weatherhead, 1986). Ekosistemin referans koşullarını bilmek bugünü daha iyi anlamamızda önemli olduğu gibi, geleceği modelleyebilmemizde de bize yardım eder (Anderson vd., 2006). Yüzerce binlerce yıl öncesinin su kimyası verisini ölçmek mümkün olamayacağından uzun süreli çevresel veri seti için limnologlar direk ölçülen verilerin yerine geçebilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik yaklaşımlar (vekil veriler yoluyla) geliştirmişlerdir. Örneğin 1980'li yıllarda Amerika'da ve Avrupa'da birçok gölün çok düşük pH'a sahip olduğu gözlenmiş; bunun üzerine bunun doğal mı yoksa insan etkisiyle mi olduğu sorusu gündeme gelmiştir. Yapılan araştırmalar hem paleolimnolojinin ilk önemli ürünlerini ortaya koymuş hem de bu göllerin çoğunun sonradan (1850'den sonra) ve asit yağmurları sonucu asidik olduğunu ortaya çıkarmıştır (Sullivan vd., 1990; Cumming vd., 1992; Charles ve Smol, 1992; Battarbee, 1994). Bunun için göl sedimanları ve sedimanda korunan diyatomların silika hücre duvarları kullanılmıştır. Paleolimnoloji günümüz sucül ekosistemlerinin benzer problemlerini daha uzun zaman ölçeğinde ve birincil araştırma materyali olarak sedimanı kullanarak çalışır (Smol, 2008). Bugün benimsenen haliyle paleolimnolojinin geçmişi yaklaşık 40 yıl öncesine dayanır (Flower, 2016). Sedimanda korunan indikatör (gösterge) veriler yardımıyla geçmiş su kimyası yeniden inşa edilebilir (Bennion vd., 2001). Bunun için çoğunlukla ilgili indikatör veri için yüzey sedimanı ve güncel izleme verilerinden oluşan bir kalibrasyon seti ile inşa edilecek transfer fonksiyonuna ihtiyaç vardır (Anderson, 1995; Bennion, 1994; Birks vd., 1990; Fritz vd., 1991; Smol, 2008). Transfer fonksiyonu, güncel deneme setlerinde tür-çevre ilişkisini bulmak ve bu ilişkiyi fosil kavkıllardan çevresel şartları inşa etmek için hala güçlü bir araçtır (Juggins, 2011). Sedimanın (yüzey sedimanı, kısa ve uzun karotlar) toplanması için birçok yöntem vardır (Glew vd., 2004; Leroy vd., 2004; Smol, 2008). Kısa ve uzun karotların tarihlendirilmesi için farklı metotlar kullanılır (Appleby, 2004; Björck ve Wohlfarth, 2004). Ekosistemdeki biyotik ve abiyotik ilişkiler çok karmaşık olabildiğinden geçmiş ekosistem değişimlerine dair daha geniş fikir edinmek için mümkün olduğunca fazla indikatör veriyle çalışmak gerekir (Smol, 2008). Çoğunlukla da günümüzde çoklu indikatör yaklaşımı yani birden fazla gösterge veriye göre geçmiş ekosistem değişimlerini takip etme yöntemi benimseniyor. Göl sedimanında korunan biyolojik indikatörlere örnek olarak silika hücre duvarına sahip diyatomlar, kalsiyum karbonat kabukları olan ostrakodlar, kitin kafa ve vücut parçaları ile cladocera'lar ve yine kitin çene yapılarına sahip chrinomidler örnek olarak verilebilir. Bu organizmalar göllerde yaşayan planktonik ve bentik organizmalardır. Canlı öldükten sonra organik kısım zamanla çürür fakat fosil olarak korunabilen silika, kalsiyum karbonat ve kitin yapıları sedimanda uzun zaman boyunca korunur ve birikir. Biyolojik indikatörlerin analizi mikropaleontolojinin konusuna da giriyor olsa da (çünkü pek çoğu çok uzun zaman dilimlerinden beri vardır; örneğin diyatomların Yerküre'de, Jura çağından beri yaşadığı düşünülüyor (Rothpletz, 1896, 1900; Battarbee vd., 2001'den alınmıştır), aslında yapılan uzun süreli çevresel değişimi takip etmek için biyolojiyi kullanmaktır. Her bir biyolojik indikatörün analizi için genel bilgi ve metodolojiye dair referanslar verilmesi gerekirse diyatom analizi için Battarbee (1986), Ingemar (1990), Battarbee vd. (2001); cladocera analizi için Frey (1960), Hann (1989), Korhola ve Rautio (2001); ostrakod analizi için Holmes (2001); chrinomid analizi için ise Walker (2001) verilebilir. Neolimnoloji (güncel limnoloji) ve paleolimnolojinin her ikisi de limnolojiyi çalışır; sadece çalıştıkları zaman aralığı ve çözünürlüğü farklıdır. Paleolimnolojiyi kullanarak 100, 1000, ve hatta 10000 yıllık geçmiş çevresel verileri yeniden inşa edebiliriz. Buna rağmen sedimanda varv oluşumu gözlenen bir gölde çalışmadığımız sürece göl sedimanları geçmişe dair yıllık veri sağlayamaz (Bradley, 1985). Ancak varv oluşturan göller yüksek çözünürlükte paleolimnolojik araştırmaya olanak verebilir (Zolitschka vd., 2015; Ojala vd., 2012). Oysaki bir (neo)limnolog genelde çalıştığı göle haftalık, aylık, her mevsimde bir ya da en azından yılda bir herhangi bir anda (anlık örneklemeler) ziyaretlerde bulunarak ilgilendiği çevresel parametreleri ölçümler, izler. Böylece göl sedimanları kullanılarak hem gölün kendisine dair hem de bölgesel ve küresel geçmiş çevresel değişimler (geçmiş su seviyesi değişimi, geçmiş ötrofikasyon, geçmiş tuzluluk, geçmiş iklim değişimi, geçmiş vejetasyon değişimi vb.) takip edilebilir. Paleolimnoloji ve neolimnoloji birbirleri ile ilişkilidir ve birbirlerini tamamlarlar (Smol, 2008). Gölün

geçmiş ile ilgili bilgiler onun şimdiki halini daha iyi anlamamıza ve daha gerçekçi yönetim planları yapmamıza olanak sağladığı gibi, sedimanda korunan bu indikatörler yardımı ile küresel veya yerel çapta geçmiş iklim, vejetasyon ve insan etkisi de yeniden inşa edilebilir. Geç Pleistosen ve Holosen boyunca bu değişkenler hem şimdiki ve gelecekteki iklim sistemini anlama ve modellemede, hem de insanların göç ve yaşam şekillerini açıklamada yardımcı olabileceği için ilgi konusudur. İlk Neolitik yerleşimlerin bulunduğu Anadolu ve Güney-iç Anadolu'nun Türkiye'de paleolimnolojik olarak ilk çalışmaların yapıldığı yer olması rastlantı değildir.

Gösterge veriler doğal arşivlerde korunan verilerdir. Göl sedimanı geçmiş çevresel değişimi takip etmek için indikatör verileri saklayan doğal arşivlerden sadece biridir. Diğer doğal arşivlere örnek olarak ırmak sedimanları (her ne kadar göl sedimanları yaygın olarak kullanılsa da ırmaklar da paleolimnolojinin konusu olabilir (Reid ve Ogden, 2006)), sulak alanlar, okyanus sedimanları, buzul karotları, dağ buzulları ve mağara birikimleri verilebilir. Her ne kadar bu yazıda göl sedimanları ve sucul ekosistemlerde (özellikle de tatlı sular) uzun süreli çevresel izleme üzerinde durulacak olsa da yukarıda bahsedilen diğer doğal arşivler vasıtasıyla da geçmiş çevresel ve iklimsel değişimler takip edilebilir.

Türkiye'de göl sedimanları kullanılarak, Geç buzul çağından günümüze (Miebach vd., 2016; Pickarski vd., 2015; Wick vd., 2003; Roberts vd., 2001; Kashima, 2011; Roberts vd., 2016; Sekeryapan vd. hazırlanıyor) ve Holosen (~ 11700 yıl öncesinden günümüze kadar geçen zaman dilimi) boyunca uzun süreli çevresel değişim çalışmaları yapılmıştır (Dean vd., 2015; Roberts vd., 2011; Jones vd., 2006; England vd., 2008; Woodbridge ve Roberts 2011; Eastwood vd.,1999a). Bunlar geçmiş su seviyesi değişimi (Kashima, 2011; Fortugne vd., 1999), insan etkisi (England vd., 2008; Eastwood vd.,1999a), vejetasyon değişimi (Wick vd., 2003; Woldring ve Bottema, 2003; Roberst vd., 2001) ve iklim değişimi çalışmalarını (Miebach vd., 2016; Pickarski vd., 2015; Wick vd., 2003; Roberts vd., 2016) içerir. Bu çalışmalarda kullanılan biyolojik indikatörler Çizelge 1'de görülebilir.

Çizelge 1. Anadolu'da çalışılan göl sedimanı arşivleri, içerdiği zaman dilimi, çözünürlüğü ve kullanılan gösterge veri(ler).

Kaynak	Göl	Kullanılan indikatör(ler)	Zaman dilimi	Çözünürlük	İklimsel veya çevresel olaylar	Bölge
Miebach vd. 2016	İznik Gölü	Polen	Son Buzul Çağından kalibre edilmiş günümüze (1950)		8200 yıl öncesi olayı, Genç Dryas, Dansgaard-Oeschger (DO) olayları	Kuzey-batı Anadolu
Wick vd. 2003	Van Gölü	Kararlı izotop, polen, kömür (charcoal), Mg/Ca oranları	Geç Buzul ve Holosen (13000 yıl öncesinden günümüze)	Yıllık lamine (tabakalı)	8200 yıl öncesi olayı, Genç Dryas	Doğu Anadolu
Pickarski vd. 2015	Van Gölü	Polen, mikroskopik kömür analizi	Son Buzul Çağı		Dansgaard-Oeschger (DO) olayları	Doğu Anadolu
Kashima 2011	Seyfe Gölü, Tuz Gölü, Kültepe, Kalehöyük	Diyatom, polen	Son Buzul Çağı ve Holosen		Holosen boyunca göl su seviyesi değişimleri, İ.Ö 6500 yıl önce Seyfe gölünde nemde artış	İç Anadolu
Kashima 2002	Aksaray bölgesi, (Tuz	Diyatom	Son Buzul Çağı (son 20 000 yıl)		20 000 ve 17 000 yıl öncesi ve yaklaşık 13	İç Anadolu

	Gözü'nün güney doğusu)				000 yıl önce yüksek su seviyesi, Holosen'de su seviyesinde düşüş	
Kashima 2003	Konya ovasının batısı	Diyatom	Son Buzul Çağı (son 40 000 yıl)		Göl suyu tuzluluk değişimleri/ su seviyesi değişimleri	İç Anadolu
Kashima 2011	Seyfe Gölü ve Kültepe, Kayseri	Diyatom, polen	Holosen		Yaklaşık 8500 yıl önce nemde artış	İç Anadolu
Roberts vd. 2001	Eski Acı Göl	Polen, diyatom, kararlı oksijen ve karbon izotopu analizi, organik karbon, karbonat ve C/N oranları, mineraloji	16000 yıl öncesinden günümüze	Lamine ve lamine olmayan sediman (6500 yıl önceden sonrası)	Geçmiş iklim ve vejetasyon değişimi, su seviyesi ve trofik durum değişimleri	İç Anadolu
Woldring ve Bottema, 2003	Eski Acı Göl	Polen	Geç Buzul ve Holosen	Varv oluşumuna sahip (lamine) alt sediman	Vejetasyon değişimi	İç Anadolu
Dean vd. 2015	Nar Gölü	Kararlı oksijen ve karbon izotopu, karbonat mineralojisi	Geç Buzul ve Holosen	~25 yıl çözünürlük/ varv oluşturan ve oluşturmeyen sediman	Geç Dryas, 82000 ve 9300 kurak dönemleri	İç Anadolu
Eastwood vd. 1999a	Göhlisar Gölü	Polen, diyatom	Holosen		BOP (Beyşehir insan işgali fazı)	Güney-batı Anadolu
Jones vd. 2006	Nar Gölü	Kararlı oksijen izotopu	Geç Holosen (yaklaşık son 1700 yıl)	5 yıl / sürekli varv oluşumu	Kurak ve yağışlı aralıklar	İç Anadolu
England vd. 2008	Nar Gölü	Polen, kömür (charcoal)	Geç Holosen (yaklaşık son 1700 yıl)	5 yıl / sürekli varv oluşumu	BOP (Beyşehir insan işgali fazı)	İç Anadolu
Woodbridge ve Roberts 2011	Nar Gölü	Diyatom	Geç Holosen (yaklaşık son 1700 yıl)	Sürekli varv oluşumu	İ.S 540 AD süresince kurak dönem	İç Anadolu

2. Anadolu'daki göl sedimanı arşivleri

Anadolu'da ilk paleoekolojik çalışmalar belki de 1960'ların başında Robert J. Braid'ın ilk insanın geçmiş çevresini yeniden inşa etmek için palinolojik çalışmaları Türkiye'de erken tarih öncesi alanlarda arkeoloji ile bütünleştirmesi ile başlıyor (Bottema, 1995). Polen kayıtlar sonrasında Anadolu ve çevresinde geçmiş vejetasyon değişimini takip etmek için sıklıkla kullanılır oluyor (Eastwood, vd., 1999a; Wick, vd., 2003; Eastwood, vd., 2007; England, vd., 2008; Pickarski vd., 2015). Çizelge 1.'e bakılacak olursa Anadolu'daki göllerde son buzul maksimumundan beri (~20 000 yıl öncesinden günümüze) takip edilen çevresel değişimler: su seviyesi ve su kalitesi değişimi, geçmiş su sıcaklığı değişimi ve geçmiş vejetasyon değişimidir. Bunları takip etmek için kullanılan indikatörler ise çoğunlukla: diyatamlar, kararlı izotop analizi ve polendir. Ne yazık ki genel olarak farklı göllerde farklı indikatörler kullanılmıştır ve benzer indikatörlerin farklı göllerde de takibi ve karşılaştırılması

çalışmaları çok azdır (Roberts vd., 2016). Biyolojik indikatör ile çalışırken tafonomi, yani çalışılan materyalin gerçekten sedimanı yansıtmayı yansıtmadığı ve gerçekten iyi korunup korunmadığının çalışılması çok önemlidir. Özellikle diyatomların sedimanda iyi korunmasının karmaşık ve çok değişkenli bir problem olduğu (Flower, 1993) ve tuzlu su koşullarında çok iyi korunmadığı bilinmektedir (Reed, 1998). Her ne kadar Anadolu'daki birçok göl halihazırda geçmiş çevresel değişimler için bilgi vermekte olsalar da belki de bunların birbirinden kopuk ve çoğunlukla kesikli (devamı gelmeyen çalışmalar) olduğu söylenebilir.

Neredeyse tüm çalışmaların söylediği Anadolu'da geç Kuvaterner boyunca su seviyesi değişimlerinin olduğudur (Kashima vd., 1997; Kashima, 2002; Kashima, 2003; Kashima, 2011; Roberts vd., 2001; Robert vd., 2016; Sekeryapan vd. hazırlanıyor) (Çizelge 2). Konya havzasının tamamını kaplayan çok büyük bir gölün Son buzul çağında var olduğu (Roberts, 1993; Kashima, 2011'den alınmıştır) ve bu bölgede en son gözlemlenen göl fazının Genç Dryas olduğu düşünülüyor (Kashima, 2011; Kashima, 2002; Kashima, 2003). Holosen boyunca ise iklimde ısınma hatta kuraklıklar gözlemlenmeye başlıyor (Kashima, 2011; Roberts vd., 2016).

İç Anadolu ve Güney İç Anadolu bölgelerinde (Nar Gölü ve Eski Acı Göl sediman kayıtlarına göre), Geç Buzul boyunca görece göl su seviyeleri daha yüksek fakat arada su seviyelerinin düşüş gösterdiği dönemlerle su seviyesinin yüksek olduğu dönemler birbirlerini takip ediyorlar (Roberts vd., 2016). Van gölü kayıtlarına göre ise Geç Buzul Çağı kurak ve Genç Dryas çok kurak (Wick vd. 2003). Holosen'in başlarında yağış miktarı Anadolu'nun çoğu yerinde (Nar Gölü, Eski Acı Göl ve Van Gölü kayıtlarına göre) artıyor (Robert vd., 2016; Roberts vd., 2001; Wick vd., 2003) fakat sonrasında Holosen'in ortaları Kuzey İç Anadolu hariç (Kashima, 20011) genellikle kurak (Roberts vd., 2016; Roberts vd., 2001) (Çizelge 2). Nar gölü kayıtlarına göre en, kurak olduğu dönemler günümüzden 4300 ile 3700 yıl öncesi arası ve 3200 ile 2600 yıl öncesi arası (Roberts vd., 2016). 14000 yıl öncesinden günümüze kadar Nar gölündeki en kurak zaman bunlardan ikincisi (Roberts vd., 2016). İç Anadolu'da yer alan Tuz gölü ve Kuzey İç Anadolu'da yer alan Seyfe gölü kayıtlarını karşılaştırdığında, Kashima (2011) yağışın fazla olduğu ve kurak dönemlerde farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin Tuz gölünden farklı olarak Seyfe gölü'nde 4000 MÖ (cal.*) çok kurak bir iklimi takip eden yağışın fazla olduğu nemli iklimin yeniden kendini iyileştirdiği bir döneme işaret edilmiştir (Kashima, 2011). Eski Acı Göl kayıtlarına göre aynı dönemlerde burada sığ göl koşulları hakimdi (Roberts vd., 2001). Aslında göl su seviyesi değişimlerinden gelen bu geçmiş iklim bilgilerinin birbirine bu kadar yakın (yaklaşık 100 km) bir alanda ve bu kadar uzun bir süre farklılık göstermesi çok kolay açıklanabilen bir durum değildir. Ve belki de Konya havzası, Tuz Gölü ve Nar gölündeki orta-Holosen boyunca gözlenen bu kuraklık insan etkisi ile su seviyesinde bir düşüş sonucu olabilir. Bu mekânsal heterojenitenin neden olduğu ve başka yerlerdeki kayıtlarda da bu mekânsal heterojenite gözleniyor mu diye araştırılması gerekir. Anadolu'da Holosen boyunca nem oranlarında gözlenen bölgesel farklılıkların (su kıtlığı) arkeolojik olayları açıklamada kullanılabilir olduğu da öne sürülmüştür (Kashima, 2011). Belki de su kıtlığının insan hareketlerini yönlendirdiği doğrudur fakat bu iklimin farklı olduğundan (gidilen yerdeki) değil de sadece var olanın aşırı kullanımı yüzünden tükenmesi sonucu yeni kaynak arayışı sonucu da olabilir. Nar ve Eski Acı göl sedimanları benzer indikatörler için 14 000 yıldan günümüze (günümüzden 6500 ile 4400 yıl önce BP arası hiyatüs olmak üzere) karşılaştırılmıştır ve özellikle oksijen izotopu verileri açısından uygunluk göstermektedirler (Roberts vd., 2016).

Kısmen lamine Van Gölü sediman kaydının, son birkaç buzul ve buzullar arası döneme dair uzun ve sürekli karasal sediman sırası sağlama potansiyeli vardır (Litt vd., 2009). Bu yüzden Van Gölü Uluslararası Karasal Bilimsel Sondajlama Programı (ICDP) içerisinde, yakın Doğu'da Kuvaterner iklim evriminin araştırılmasında (PALEOVAN) anahtar noktalardan biridir (Litt vd., 2009).

Hemisfer genişliğinde Yerküreyi etkileyen Genç Dryas olayının, Grönland'dan Akdeniz'e kadar hemen hemen eş zamanlı gerçekleştiği düşünülüyor (Wick vd., 2003) bu da Anadolu'daki göl

sedimanlarında da birkaç bin yıllık sapmayı açıklıyor. Genç Dryas sonu Van gölünde günümüzden 10460 varv yılı öncesine tarihlendiriliyor (Wick vd., 2003).

3. Kronoloji

Varv (yıllık çökelti) belirli şartlarda göllerde yıllık sediman tabakalarının oluşmasıdır. Varvlar biyolojik, kimyasal ve mineral olmak üzere çeşitli materyallerden oluşabilir ve çok farklı çevrelerde olabilir (Lamoureux, 2001). Varv yıllık birikimi gösterdiğinden yüksek çözünürlükte ve zaman ölçeğine dair güçlü veri sağlar. Varvların sayımı ve ölçümü için öncelikle yeteri kadar bozulmamış sediman (sediman-su ara yüzeyini de elde edecek şekilde) toplayıp, ortadan ikiye ayırdıktan sonra fotoğraflamak yoluyla ya da x-ray cihazı ile varv görüntüleri elde edilebilir (Lamoureux, 2001). Anadolu'da Van Gölü son 13000 yıl boyunca sürekli (Wick vd., 2003), Eski Acı Göl yaklaşık 6500 yıl öncesine kadar Geç Buzuldan beri sürekli (Roberts vd., 2001), Nar Gölü ise özellikle Geç Holosen olmak üzere sürekli olarak (Jones vd., 2006; England vd., 2008; Woodbridge ve Roberts 2011), Geç Buzul Çağından beri sürekli olmayan şekilde varv oluşumu göstermekte ve yüksek çözünürlükte veri sağlamaktadır (Dean vd., 2015). Varv oluşumu gözlenmeyen göllerde ise uzun karotları tarihlendirmek için radyoizotopik tarihlendirme yöntemlerinden biri olan ^{14}C tarihlendirmesi (Björck ve Wohlfart, 2001), kısa karotlar (yaklaşık 50 cm ve daha kısa olan karotlar) için ise ^{210}Pb and ^{135}Cs ile tarihlendirme yöntemleri kullanılır (Appleyby, 2001).

*cal. (kalibre edilmiş tarih): Radyokarbon tarihlendirmesi metodu ile elde edilen radyokarbon yaşının takvim yılına dönüştürülmüş hali.

Çizelge 2. Anadolu'da çalışılan göl sedimanları ve farklı zaman periyodları boyunca sağladıkları çevresel, iklimsel ve göl ortamı değişimleri.

Zaman periyodu	İklim	Vejetasyon	Göl suyu	Göl	Bölge	Kaynak
Son Buzul Çağı	Dansgaard-Oeschger (DO) olayları Kuru ve soğuk, DO olayları (DO-4, DO-3)	Ağaç popülasyonlarının ani yayılımı ve daralması Seyrek vejetasyon örtüsü, Bozkır, bozkır-orman, ve meşe baskın orman şeklinde değişen vejetasyon	Göl suyu	Van Gölü İznik Gölü	Doğu Anadolu Kuzey-batı Anadolu	Pickarski vd. 2015 Miebach vd. 2016
			Yaklaşık 10, 100-130, 200 000 yıl önce yüksek tuzluluk değerleri (düşük göl suyu seviyesi); 20-30 000 yıl önce ve 150-160 000 yıl önce düşük tuzluluk	Konya ovasının batısı	İç Anadolu	Kashima 2003
Geç Buzul	Kuru ve soğuk Daha ılık ve daha nemli, DO-1 Kuru ve soğuk	Düşük ağaçsı/odunsu polen seviyeleri Yaprak döken meşe hızlıca yayılmaya başladı Bozkır vejetasyonu ile beraber bozkır vejetasyonu hakim		Lake Van İznik lake Van Gölü Eski Acı Göl Aksaray bölgesi, (Tuz Gölü'nün güney doğusu) Tuz Lake Eski Acı Göl	Doğu Anadolu Kuzey-batı Anadolu Doğu Anadolu İç Anadolu İç Anadolu İç Anadolu	Pickarski vd. 2015 Miebach vd. 2016 Wick vd. 2003 Roberts vd. 2001 Kashima 2002 Kashima 2011 Woldring ve Borrema, 2003 Miebach vd. 2016
Genç Dryas	Çok kurak Daha kuru ve serin iklim Artan kuraklık Kurak	Bozkır vejetasyonu Ormanın azalması Yarı çöl	Göl su seviyesinde dramatik düşüş	İznik Gölü Van Gölü Nar Gölü	Kuzey-batı Anadolu Doğu Anadolu İç Anatolia	Wick vd. 2003 Dean vd. 2015

Erken Holosen	Nemde ani artış	Ağaçsı olmayan vejetasyonda ve Pistacia'da artış	Van Gölü	Doğu Anadolu	Wick vd. 2003
	Yağışlı	Graminea'lerde hızlı ani artış ve Artemisia'da önemli ölçüde azalış	Eski Acı Göl	İç Anadolu	Roberts vd. 2001
	Yağış ve sıcaklıkta artış	Çayır/çimenlikte artış ve artan ağaç yayılımı	Eski Acı Göl	İç Anadolu	Woldring ve Bottema, 2003
	Daha yağışlı		Nar Gölü	İç Anadolu	Dean vd. 2015
	Sıcak, kuru		Tuz Gölü	İç Anadolu	Kashima 2011
	Sıcak, kuru		Seyfe Gölü	Kuzey İç Anadolu	Kashima 2011
		Su seviyesinde düşüş	Tuz Gölü	İç Anadolu	Kashima, 2002
		Düşük göl suyu seviyesi	İznik Gölü	Kuzey-batı Anadolu	Miebach vd. 2016
~9300 yıl öncesi olayı	Daha kuru dönem		Nar Gölü	İç Anadolu	Dean vd. 2015
~8200 yıl öncesi olayı	Yüksek nem	Ormanda azalış	İznik Gölü	Kuzey-batı Anadolu	Miebach vd. 2016
	Daha kuru dönem		Van Gölü	Doğu Anadolu	Wick vd. 2003
			Nar Gölü	İç Anadolu	Dean vd. 2015
Yaklaşık 8500 yıl önce	Kurak		Tuz Gölü	İç Anadolu	Kashima 2011
	Nemde artış, (yaklaşık I.Ö 6500 yıl önce)		Seyfe Gölü	Kuzey İç Anadolu	Kashima 2011
Optimum iklim koşulları (4000 ve 6200 yıl öncesi arası)		Meşe ormanları	Van Gölü	Doğu Anadolu	Wick vd. 2003
kalibre edilmiş 6600 yıl öncesi	Kuru dönem	Yüksek göl suyu seviyesi- düşük göl suyu tuzluluğu	Nar Gölü	İç Anadolu	Roberts vd. 2011
		Orman azalışı (kalibre edilmiş günümüzden yaklaşık 6500 yıl öncesi)	İznik Gölü	Kuzey-batı Anadolu	Miebach vd., 2016
Orta Holosen	Kurak		Nar Gölü	İç Anadolu	Dean vd. 2015
Dönüşüm	Kurak		Nar Gölü	İç Anadolu	Roberts vd. 2011
~6000 BP	Yağışlı		Seyfe Gölü	Kuzey iç Anadolu	Kashima 2011
4 000 yıl öncesi olayı	Kuraklıkta artış		Van Gölü	Doğu Anadolu	Wick vd. 2003
4200 yıl öncesi	Kurak		Nar Gölü	İç Anadolu	Dean vd. 2015
Geç Holosen		Tuzlulukta artış, holomiktik	Eski Acı Göl	İç Anadolu	Roberts vd. 2001

Kuru ve daha yağışlı aralıklar	Nar Gölü	İç Anadolu	Jones vd. 2006
BOP	Nar Gölü	İç Anadolu	England vd. 2008
Yaklaşık İS 540' da kurak dönem	Nar Gölü	İç Anadolu	Woodbridge ve Roberts 2011
BOP	Göllühisar Gölü	Güney-Batı Anadolu	Eastwood vd. 1999a
İnsan aktivitesi	Van Gölü	Doğu Anadolu	Wick vd. 2003
İnsan aktivitesi (Kalibre edilmiş günümüzden 48000 yıl öncesinden beri)	İznik Gölü	Kuzey-batı Anadolu	Miebach vd. 2016

4. Holosen boyunca ani iklim değişimleri

Ani iklim değişimleri on, yüz, bin yıllık süreçlerde gerçekleşebilir. Bin yıllık skalada ani iklim değişimleri Son Buzul Çağında Grönland buzul karotlarında gözlemlenmektedir (Grootes vd., 1993). Son Buzul Çağındaki iklimdeki ani değişikliklerden biri olan Dansgaard-Oeschger olaylarına (Dansgaard vd., 1982), Kuzey-batı Anadolu'daki İznik göl kayıtlarında (Miebach vd., 2016) ve Van Gölü kayıtlarında (Pickarski vd., 2015) rastlanmıştır. Geç buzul çağındaki ani iklim değişiklikleri kayıtlarına Van Gölü (Landmann vd., 1996; Wick vd., 2003; Pickarski vd., 2015) kayıtlarında rastlanır. Ani iklim değişimi en azından Genç Dryas'da ya da Genç Dryas sonunda Anadolu'da göl sedimanı kayıtlarında gözlemlenmiştir (Wick vd., 2003; Miebach vd., 2016; Dean vd., 2015). Görece ılık Holosen boyunca ise Kuzey Atlantik ve Tropik'den toplanan okyanus sediman kayıtlarına göre iklimin kararlı olmadığı ve ani (birkaç bin yıllık) soğuma olaylarının olduğu biliniyor (deMenocal vd., 2000; Bond vd., 1997). Bunlardan en bilinenleri 8200 yıl öncesi (Alley vd., 1997; Alley ve Agustsdottir 2005; Dansgaard vd., 1993; Rasmussen vd., 2006) ve 4200 yıl öncesi (Cullen vd., 2000) olayları. Kuzey Atlantik'teki bu soğuma olaylarının İç Anadolu'nun iklimine etkisinin Son Buzul Çağı boyunca, Holosen ve geç Holosen boyunca kuraklık olarak ortaya çıktığı düşünülüyor (sırasıyla Bartov vd., 2003, Jones vd., 2006; Dean vd., 2015). 8200 olayı Anadolu'daki bazı göl kayıtlarında kurak dönem olarak gözlemleniyor (Miebach vd., 2016; Dean vd., 2015), buna rağmen Van gölü için bu dönem nemde artışın gözlemlendiği bir dönemdir (Wick vd., 2003). 4200 olayı ise Nar Gölü ve Van Gölü sediman kayıtlarının her ikisinde de gözlemlenmiştir (Roberts vd., 2016; Wick vd., 2003).

5. Geçmiş vejetasyon değişimi

Geç Buzul ve Holosen boyunca polen diyagramları Eski Acı Göl (Woldring ve Bottema 2003), Van Gölü (Wick vd., 2003), İznik Gölü (Miebach vd., 2016) için yayınlanmıştır. Nar Gölünün yüksek çözünürlüklü Geç Holosen sedimanı (England vd., 2008) ve Gölhisar Gölünün Holosen boyunca sediman kayıtları (Eastwood vd., 2009a) ayrıca Anadolu'daki diğer polen kayıtlarındandır. Eski Acı Göl ve Van Gölü'nde Holosen başında büyük ihtimal yağışın bol olmasına bağlı arboreal (ağaçsı) polen yüzdesinde artış; buna rağmen step vejetasyonunda ani bir azalış gözlemlenmektedir (Woldring ve Bottema 2003; Wick vd., 2003).

Sedimanda korunan polenler sadece dolaylı olarak geçmiş iklimi takip etmek için kullanılmaz. Geçmiş vejetasyon değişimi aynı zamanda geçmiş insan etkisini açıklamak için de kullanılabilir (örneğin, kültür bitkilerinin ekilmesi, evcil tarım bitkilerinin kullanılmaya başlanması, vb.). Milattan sonra 300 yılından günümüze yüksek çözünürlüğe sahip Nar gölü sedimanındaki polen kayıtları İç Anadolu'da bu zaman dilimindeki dört farklı, insanın toprağı kullanma fazını (insan etkisini) ortaya seriyor (England vd., 2008). Bu dört fazdan biri olan Beyşehir Occupation phase (BOP) (Beyşehir (insan) işgal fazı), Eastwood vd., (1999a) tarafından Holosenin ortalarında (1240 cal. BC – 700 cal. MS arasında), Güney-batı Anadolu'da yer alan Gölhisar gölü sedimanı kayıtlarında da gözlemlenmiştir. BOP ormanların kesildiği, tahıl ve ağaçların yetiştirildiği (zeytin, ceviz, dişbudak ve üzüm asma vb.), Güney Anadolu'nun içlerinden kıyılara kadar geniş bir alanda gözlemlenen bir dönemi işaret eder (Eastwood vd., 1999a). Van Gölü sediman kayıtlarında ilk insan etkisi günümüzden 3800 yıl öncesine (varırlar sayılarak) tarihlendirilip, 600 yıl öncesinde ise etkisinin arttığı gözlemleniyor (Wick vd., 2003). Kuzey-batı Anadolu'da yer alan İznik Gölü sediman kayıtlarına göre ise bölgede insan etkisi Holosenin ortalarından beri görülmekte (günümüzden 4800 kalibre yıl önce) (Miebach vd., 2016). İç Anadolu'da (Nar gölü sedimanında korunan polen kayıtlarına bakılarak izlenen) 3900 yıl öncesinden sonra yaprak dökme meşe ormanlarının azalması, hem insanlar tarafında ormanların tahrip edilmesi hem de o sıradaki kurak iklim yüzünden olabilir (Roberts vd., 2016). Ayrıca göl havzasındaki bozulmaya işaret eden klastik akın (girdi) de İç Anadolu'da Neolitik yerleşim sırasında (günümüzden 9370–8150 yıl önce) artış gösteriyor (Roberts vd., 2016). Roberts vd. (2001)'e göre Eski Acı Göl sedimanında polen kayıtlarına

göre günümüzden 4500 -4000 kalibre yıl önce meşe ormanlarındaki ani düşüş yine bölgedeki insan etkisini göstermektedir. Geç Holosenden sonra/beri Van Gölü, Nar Gölü, Gölhisar ve İznik Göllerinde insan aktivitesi gözlemlenmiştir (sırasıyla Wick vd., 2003; England vd., 2008; Eastwood vd., 1999a; Miebach vd., 2016).

Göl sedimanlarında ayrıca geçmiş yangın hikayesini ortaya çıkarmak için kömür (charcoal) analizi uygulanabilir (Pickarski vd., 2015). Bunların dışında, havada uçucu kül ve sferoid karbonlu partiküller özellikle sanayi devrimi sonrası ve içinde bulunduğumuz Antroposen boyunca insan etkisini takip etmede kullanılabilir (Rose, 2008; Rose, 2001). Fakat henüz Anadolu'daki göl sedimanlarında uçucu kül ve sferoid karbonlu partiküller izlenmeye başlamamıştır.

6. Geçmiş katastrofik olaylar

Göl sediman kayıtları geçmiş katastrofik olayları (doğal afetleri) (sismik aktivite, tsunami vb.) izlemekte de kullanılabilir (Sawai vd., 2008). Anadolu'da bu amaçla çalışılan göller: Manyas gölü ve onun Geç Holosen'deki ani çevresel değişiminin tsunami ile ilişkilendirilmesi (Leroy vd., 2002); Sapanca gölü ve geçmiş sismik aktivitenin açığa çıkarılması (Leroy vd., 2010). Santorini volkanik patlaması sonucu açığa çıkan Tefra katmanlarını da Güney-batı Anadolu'da yer alan Gölhisar Gölü sediman kayıtlarında (Günümüzden ~3000 yıl öncesi ile İsa'dan ~1600 kalibre yıl öncesi arası) (Eastwood vd., 1999b) görmek mümkündür. Ayrıca kıyısız göl ve lagünlerde tsunami veya fırtına kabarması (storm surge) etkisi ile deniz suyu girdisindeki artış yine geçmiş tuzluluk değişimlerini yeniden inşa yoluyla gösterilebilir (Sekeryapan, 2011).

7. Anadolu için kalibrasyon setleri

Anadolu'da diyatom- tuzluluk transfer fonksiyonu (diyatomları kullanarak geçmiş tuzluluk değerlerinin çıkarılması) Kashima vd. (1997) tarafından orta Anadolu göllerinden oluşan ölçümleme seti kullanılarak oluşturulmaya çalışılmıştır. Daha sonra yine Kashima (2003) ve Reed vd. (2012) tarafından denenmiştir. Ölçümleme seti sadece ülkemiz tuzlu göllerinden oluşan bir kalibrasyon seti ve diyatom ve ostrakoda/tuzluluk için transfer fonksiyonu oluşturulmaya çalışılmıştır (Reed ve Mezquita 2011; Reed vd., 2012). Yine ölçümleme seti ülkemiz olan chrinomid/sıcaklık transfer fonksiyonu Akyıldız vd. (2012) tarafından inşa edilmeye çalışılmıştır.

8. Sonuç

Anadolu'da göl sedimanı arşivleri Son Buzul Çağı (Pickarski vd., 2015; Miebach vd., 2016) ve Geç Buzul Çağından günümüze kadar çeşitli indikatörler açısından çalışılmıştır (Kashima, 2011; Wick vd., 2003; Roberts vd., 2001; Roberts vd., 2016; Sekeryapan vd. hazırlanıyor). Bunların içerisinde geçmişe dair özellikle de Doğu Akdeniz'in geçmiş iklim ve çevresel değişimine dair yüksek çözünürlükte ve en eski (Son Buzul Çağı öncesi ve Kuvaterner boyunca) veri sağlama potansiyeli sahip olan Van Gölü sediman kayıdır (Pickarski vd., 2015; Litt vd., 2009). Bu zaman dilimi özellikle modern insanın ortaya çıktığı ve Yeryüzüne dağıldığı dönemi içerdiği için çalışılması ilgi çekicidir. Sürekli var oluşumu sayesinde Nar Gölü sedimanı geç Holosen boyunca yüksek çözünürlüklü veri sağlamaktadır (Jones vd., 2006; Woodbridge ve Roberts, 2011). Bu çalışmalar çoğunlukla geçmiş su sıcaklığı (Roberts vd., 2001; Dean vd., 2015), geçmiş su seviyesi değişimleri (Kashima, 2011; Fortugne vd., 1999) ve geçmiş vejetasyon değişimleri (Woldring ve Bottema, 2003; Miebach vd., 2016; Pickarski vd., 2015) yoluyla geçmiş iklimi yeniden inşa etmeye yöneliktir. Bunların içerisinde Nar Gölü ve Eski Acı Göl sediman profili aynı indikatörler açısından bölgesel iklim değişimini (her iki göl de iç Anadolu'da yer alır) havzaya bağlı faktörlerden ayırmak için karşılaştırılmıştır (Roberts vd. 2016). Bu çalışmalar çoğunlukla farklı disiplinlerden (arkeoloji, coğrafyacı, jeolog ve biyolog vb.) paleolimnologları bir araya getirmiştir. Buna rağmen paleolimnolog ve neolimnologları bir araya getirmekte eksik kalmış görünmektedir.

Göl sedimanlarında uzun süreli çevresel değişim izleme çalışmaları göstermektedir ki Anadolu'daki birçok göl Holosen boyunca su seviyesi farklılıkları deneyimlemiştir (Roberts vd., 2001; Wick vd., 2003; Miebach vd., 2016). Fakat bunlar Anadolu'nun farklı bölgelerinde farklı zamanlarda gerçekleşmiştir (Kashima, 2011). Biyolojik indikatörlerden polen ve diyatomlar daha çok kullanılmış; ostrakodlar neredeyse hiç kullanılmamıştır. Ölçümleme seti ülkemizi içeren bir kalibrasyon seti ve transfer fonksiyonları hala eksiktir. Ülkemiz göllerinde uzun süreli neolimnolojik çevresel izleme çalışmaları (10-20 yıllık su kalitesi takibi) birkaç göl dışında (Coppen vd., 2016) çok azdır. Ve son olarak benzer indikatörlerin farklı göllerde de takibi ve karşılaştırılması çalışmaları çok az sayıdadır (Roberts vd., 2016; Roberts vd., 2008). Bu sonucusu, bölgesel iklim verilerini havzaya özgü süreçlerden kaynaklanan değişimlerden ayırmak için gereklidir.

Tuz gölü ile Nar gölü veya Eski Acı göl kayıtlarından gelen sinyallerin ufak farklılıklar göstermesinin nedeni sığ ve derin göllerin Anadolu gibi yarı-kurak bölgelerde yazın aşırı buharlaşmaya farklı cevaplar vermesi (kurumaya daha hassas olması) olabilir. Hepsini kapalı sistem olan bu göllerin yüzey alanları da (buharlaşmaya açık) farklılık gösteriyor. Van Gölü kayıtlarındaki farklılıklar ise bu iki bölgenin (İç ve Doğu Anadolu bölgeleri) farklı iklim yönlendiricilerine maruz kaldıkları için olabilir. Yine de göl sedimanlarının geçmiş çevresel değişim bilgisini içerisinde kesikli veya sürekli bir biçimde depoladıklarını bilmek güzel. Onlar oradalar; biz ihtiyacımız olduğunda gidip bakmamız için.

Bunun yanında, bu yazının en başında bahsedildiği gibi geçmişi ortaya çıkarmak, geleceği tahmin etmek için de önemlidir. Geçmişten elde ettiğimiz bilgilere bakarak, Anadolu'daki göllerin gelecekleri hakkında neler söyleyebiliriz:

Göller ve içinde yaşayan komünite iklim değişimine bağlı olarak, kuraklığa hassas. Özellikle de sığ olanlar. Geç Kuvaterner boyunca su seviyesinde değişimler gözlemleniyor ve küresel boyutta ani bir soğuma olayı ve kurak dönem olan Genç Dryas örneğinin Konya havzasında önceki büyük bir gölün kurmasına neden olmuş olabilir (Kashima, 2011). Geç buzul çağından günümüze kadar da su seviyesi değişimleri ve komünitelerde değişimler gözleniyor (Roberts vd., 2016; Roberts vd., 2001; Wick vd., 2003; Sekeryapan vd. hazırlanıyor). Anadolu'da insan etkisi göl sedimanlarında yaklaşık günümüzden 3000 - 4000 yıl öncesinden itibaren gözlemlenebiliyor (England vd., 2008; Eastwood vd., 1999b; Wick vd., 2003; Miebach vd., 2016). Şu ana kadar var olan göller (yani tüm Holosen ve öncesindeki kuraklıklar ve ani iklim değişimlerini bir şekilde atlatmış olanlar (bir diğer deyişle geçmişlerinde kuraklığı deneyimlemiş olanlar) Antroposen'deki iklim değişikliği ve artan insan etkisi ile ne kadar ve nasıl başa çıkabilecekler?

Referanslar

- Akyildiz, G.K.; Duran, M. (2012) "Preliminary Results on Development of a Chironomid- Based Mean July Air Temperature Inference Model for the Turkish Lakes", *Acta Zoologica Bulgarica*, Supplement: 4, 175-186.
- Alley, R.B.; Agustsdottir, A.M. (2005) "The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change", *Quaternary Science Reviews*, 24, 1123-1149.
- Alley, R.B.; Mayewski, P.A.; Sowers, T.; Stuiver, M.; Taylor, K.C.; Clark, P.U. (1997) "Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago", *Geology*, 25/6, 483-486.
- Anderson, N.J. (1995) "Using the past to predict the future: lake sediments and the modelling of limnological disturbance", *Ecological Modelling*, 78, 149-172.
- Anderson, N.J.; Bugmann, H.; Dearing, J.A.; Gaillard, M.-J. (2006) "Linking palaeoenvironmental data and models to understand the past and to predict the future", *Trends in Ecology and Evolution*, 21/12, 696-704.
- Appleby, P.G. (2001) "Chronostratigraphic techniques in recent sediments", In Last, W.M.; Smol, J.P. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 171-203.
- Bartov, Y.; Goldstein, S.L.; Stein, M.; Enzel, Y. (2003) "Catastrophic arid episodes in the Eastern Mediterranean linked with the North Atlantic Heinrich events", *Geology*, 31/5, 439-442.
- Battarbee, R.W. (1986) "Diatom analysis", In Berglund, B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, John Wiley & Sons Ltd., 527-570.

- Battarbee, R.W. (1994) "Diatoms, lake acidification and the Surface Water Acidification Programme (SWAP): a review", *Hydrobiologia*, 274, 1-7.
- Battarbee, R.W.; Jones, V.J.; Flower, R.J.; Cameron, N.G.; Bennion, H.; Carvalho, L.; Juggins, S. (2001) "Diatoms", In Smol, J.P.; Birks, H.J.B. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3. Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 155-202.
- Bennion, H. (1994) "A diatom-phosphorus transfer function for shallow, eutrophic ponds in southeast England", *Hydrobiologia*, 275/276, 391-410.
- Bennion, H.; Appleby, P.G.; Phillips, G.L. (2001) "Reconstructing nutrient histories in the Norfolk Broads, UK: implications for the role of diatom-total phosphorus transfer functions in shallow lake management", *Journal of Paleolimnology*, 26, 181-204.
- Birks, H.J.B.; Line, J.M.; Juggins, S.; Stevenson, A.C.; Terbraak, C.J.F. (1990) "Diatoms and Ph reconstruction", *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 327 (1240), 263-278.
- Björck, S.; Wohlfarth, B. (2004) "¹⁴C chronostratigraphic techniques in paleolimnology", In Last, W.M.; Smol, J.P. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 205-245.
- Bond, G.; Showers, W.; Cheseby, M.; Lotti, R.; Almasi, P.; deMenocal, P.; Priore, P.; Cullen, H.; Hajdas, I.; Bonani, G. (1997), "A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates", *Science*, 278, 1257-1266.
- Bottema, S. (1995) "Ancient Palynology. In Science in Archeology: A Review", *American Journal of Archaeology*, 99/1, 79-142.
- Bradley, R. S. (1985) *Quaternary Paleoclimatology. Methods of Paleoclimatic Reconstruction*, Allen & Unwin., USA, UK, Australia.
- Charles, D. F.; Smol, J.P. (1990) "The PIRLA II project: Regional assessment of lake acidification trends", *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 24, 474-480.
- Coppen, J.; Özen, A.; Tavşanoğlu, Ü.N.; Erdoğan, Ş.; Levi, E.E.; Yozgatlıgil, C.; Jeppesen, E.; Beklioglu, M. (2016) "Impact of alternating wet and dry periods on long-term seasonal phosphorus and nitrogen budgets of two shallow Mediterranean lakes", *Science of the Total Environment*, 563-564, 456-467.
- Cullen, H.M.; deMenocal, P.B.; Hemming, S.; Hemming, G.; Brown, F.H.; Guilderson, T.; Sirocko, F. (2000) "Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea", *Geology*, 28/4, 379-382.
- Cumming, B. F.; Stool, J.P.; Kingston, J.C.; Charles, D.F.; Birks, H.J.B.; Camburn, K.E.; Dixit, S.S.; Uutala, A.J.; Selle, A.R. (1992) "How much acidification has occurred in the Adirondack region (N.Y., U.S.A.) lakes since preindustrial times?", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49, 128-141.
- Dansgaard, W.; Johnsen, S.J.; Clausen, H.B.; Dahl-Jensen, D.; Gundestrup, N.S.; Hammer, C.U.; Hvidberg, C.S.; Steffensen, J.P.; Sveinbjörnsdottir, A.E.; Jouzel, J.; Bond, G. (1993) "Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record", *Nature*, 364, 218-220.
- Dean, J.R.; Jones, M.D.; Leng, M.J.; Noble, S.R.; Metcalfe, S.E.; Sloane, H.J.; Sahy, D.; Eastwood, W.J.; Roberts, N.C. (2015) "Eastern Mediterranean hydroclimate over the late glacial and Holocene, reconstructed from the sediments of Nar Lake, central Turkey, using stable isotopes and carbonate mineralogy", *Quaternary Science Reviews*, 124, 162-174.
- deMenocal, P.; Ortiz, J.; Guilderson, T.; Sarnthein, M. (2000) "Coherent high- and low-latitude climate variability during the Holocene warm period", *Science*, 288, 2198-2202.
- Eastwood, W.J.; Roberts, N.; Lamb, H.F.; Tibby, J.C. (1999a) "Holocene environmental change in southwest Turkey: a palaeoecological record of lake and catchment-related changes", *Quaternary Science Reviews*, 18, 671-695.
- Eastwood, W.J.; Pearce, N.J.G.; Westgate, J.A.; Perkins, W.T.; Lamb, H.F.; Roberts, N. (1999b) "Geochemistry of Santorini tephra in lake sediments from southwest Turkey", *Global and Planetary Change*, 21, 17-29.
- Eastwood, W.J.; Leng, M.J.; Roberts, N.; Davis, B. (2007) "Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: a comparison of 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.
- Flower, R.J. (2016) "A personal perspective on four decades of paleolimnology and environmental change research", *Journal of Paleolimnology*, 57/2, 109-125.
- Flower, R.J. (1993) "Diatom preservation: experiments and observations on dissolution and breakage in modern and fossil material", *Hydrobiologia*, 269/1, 473-484.
- Fontugne, M.; Kuzucuoğlu, C.; Karabiyikoğlu, M.; Hatte, C.; Pastre, J.F. (1999) "From Pleniglacial to Holocene: a 14C chronostratigraphy of environmental changes in the Konya Plain, Turkey", *Quaternary Science Reviews*, 18, 573-591.
- Frey, D.G. (1960) "The Ecological Significance of Cladoceran Remains in Lake Sediments", *Ecology*, 41/4, 684-699.
- Fritz S.C.; Juggins, S.; Battarbee, R.W.; Engstrom, D.R. (1991) "Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function", *Nature*, 352(6337), 706-708.

- Glew, J.R.; Smol, J.P.; Last, W.M. (2004) "Sediment core collection and extrusion", In Last, W.M.; Smol, J.P. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 73-105.
- Grootes, P.M.; Stuiver, M.; White, J.W.C.; Johnsen, S.J.; Jouzel, J. (1993) "Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice core", *Nature*, 366(6455), 552-554.
- Hann, B.J. (1989) "Methods in Quaternary Ecology #6. Cladocera", *Geoscience Canada*, 16/1, 17-26.
- Holmes, J.A. (2001) "Ostracoda", In Smol, J.P.; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 4. Zoological Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 125-151.
- Ingemar, R. (1990) "A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores", *Journal of Paleolimnology*, 4, 87-90.
- 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, 361-364.
- Juggins, S. (2011) "Quantitative Palaeoenvironmental Reconstructions: Progress and Problems", 5th International Limnogeological Congress, Konstanz-Germany, Abstract Book, pp. 30.
- Kashima, K.; Matsubara, H.; Kuzucuoğlu, C.; Karabıyıköğlü, M. (1997) "Diatom assemblages from inland saline lakes in the central part of Turkey - Their application for quantitative reconstruction of paleosalinity changes during the late Quaternary", *Japan Review*, 8, 235-249.
- Kashima, K. (2002) "Environmental and climatic changes during the last 20,000 years at Lake Tuz, central Turkey", *Catena*, 48, 3-20.
- Kashima, K. (2003) "The quantitative reconstruction of salinity changes using diatom assemblages in Inland saline lakes in the central part of Turkey during the Late Quaternary", *Quaternary International*, 105, 13-19.
- Kashima, K. (2011) "Climatic Changes and their Influences for the Archaeological Events during the Holocene in Central Turkey and Northern Syria", *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 32/2, 108-114.
- Korhola, A.; Rautio, M. (2001) "Cladocera and other branchiopod crustaceans", In Smol, J.P.; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 4. Zoological Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 5-41.
- Lamoureux, S. (2001) "Varve chronology techniques", In Last, W.M.; Smol, J.P. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 107-135.
- Landmann, G.; Reimer, A.; Lemcke, G.; Kempe, S. (1996) "Dating Late Glacial abrupt climate changes in the 14,570 yr long continuous varve record of Lake Van, Turkey", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 122, 107-118.
- Leroy, S.; Kazancı, N.; İleri, Ö.; Kibar, M.; Emre, O.; McGee, E.; Griffiths, H.I. (2002) "Abrupt environmental changes within a late Holocene lacustrine sequence south of the Marmara Sea (Lake Manyas, N-W Turkey): possible links with seismic events", *Marine Geology*, 3176, 1-22.
- Leroy, S.A.G.; Colman, S.M. (2004) "Coring and drilling equipment and procedures for recovery of long lacustrine sequences", In Last, W.M.; Smol, J.P. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 107-135.
- 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*, 480 (1-4), 15-27.
- Litt, T.; Krastel, S.; Sturm, M.; Kipfer, R.; Örcen, S.; Heumann, G.; Franz, S. O.; Ülgen, U. B.; Niessen, F. (2009) "PALEOVAN", International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): site survey results and perspectives", *Quaternary Scientific Review*, 28, 1555-1567.
- Miebach, A.; Niestrath, P.; Roeser, P.; Litt, T. (2016) "Impacts of climate and humans on the vegetation in northwestern Turkey: palynological insights from Lake Iznik since the Last Glacial", *Climate of the Past*, 12, 575-593.
- Ojala, A.E.K.; Fancus, P.; Zolitschka, B.; Besonen, M.; Lamoureux, S.F. (2012) "Characteristics of sedimentary varve chronologies - A review", *Quaternary Science Reviews*, 43, 45-60.
- Pickarski, N.; Kwicciën, O.; Djamali, M.; Litt, T. (2015) "Vegetation and environmental changes during the last interglacial in eastern Anatolia (Turkey): a new high-resolution pollen record from Lake Van", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 435, 145-158.
- Rasmussen, S.O.; Andersen, K.K.; Svensson, A.M.; Steffensen, J.P.; Vinther, B.M.; Clausen, H.B.; Siggaard-Andersen, M.L.; Johnsen, S.J.; Larsen, L.B.; Dahl-Jensen, D.; Bigler, M.; Röthlisberger, R.; Fischer, H.; Goto-Azuma, K.; Hansson, M.E.; Ruth, U. (2006) "A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination", *Journal of Geophysical Research*, 111, D06102.
- Reed, J.; Mezquita, F. (2011) "Quantifying and qualifying salinity response: transfer functions and underlying uncertainty in diatom and ostracod training sets from Turkish salt lakes", 5th International Limnogeological Congress, Konstanz-Germany, Abstract Book, pp. 88.
- Reed, J.M.; Mezquita-Joanes, F.; Griffiths, H.I. (2012) "Multi-indicator conductivity transfer functions for Quaternary palaeoclimate reconstruction", *Journal of Paleolimnology*, 47, 251-275.

- Reed, J.M. (1998) "Diatom preservation in the recent sediment record of Spanish saline lakes: implications for palaeoclimate study", *Journal of Paleolimnology*, 19, 129–137.
- Reid, M.A.; Ogden, R.W. (2006) "Trend, variability or extreme event? The importance of long term perspectives in river ecology", *River Research and Applications*, 22, 167–177.
- Roberts, N.; Reed, J.M.; Leng, M.J.; Kuzucuoğlu, C.; Fontugne, M.; Bertaux, J.; Woldring, H.; Bottema, S.; Black, S.; Hunt, E.; Karabiyiköglü, M. (2001) "The tempo of Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: New high-resolution crater-lake sediments data from central Turkey", *The Holocene*, 11, 721–736.
- Roberts, N.; Jones, M.D.; Benkaddour, A.; Eastwood, W.J.; Filippi, M.L.; Frogley, M.R.; Lamb, H.F.; Leng, M.J.; Reed, J.M.; Stein, M.; Stevens, L.; Valero-Garces, B.; Zanchetta, G. (2008) "Stable isotope records of Late Quaternary climate and hydrology from Mediterranean lakes: the ISOMED synthesis", *Quaternary Science Reviews*, 27, 2426–2441.
- Roberts, N.; Eastwood, W.J.; Kuzucuoğlu, C.; Fiorentino, G.; Caracuta, V. (2011) "Climatic, vegetation and cultural change in the eastern Mediterranean during the mid-Holocene environmental transition", *The Holocene*, 21/1, 147–162.
- Roberts, N.; Allcock, S.L.; Arnaud, F.; Dean, J.R.; Eastwood, W.J.; Jones, M.D.; Leng, M.J.; Metcalfe, S.E.; Malet, E.; Woodbridge, J.; Yiğitbaşıoğlu, H. (2016) "A tale of two lakes: a multi-proxy comparison of Lateglacial and Holocene environmental change in Cappadocia, Turkey", *Journal of Quaternary Science*, 31, 348–362.
- Rose, N. (2008) "Quality control in the analysis of lake sediments for spheroidal carbonaceous particles", *Limnology and Oceanography: Methods*, 6, 172–179.
- Rose, N. (2001) "Fly-ash particles", In Last, W.M.; Smol, J.P. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 2. Physical and Chemical Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 319–349.
- Sawai, Y.; Fujii, Y.; Fujiwara, O.; Kamataki, T.; Komatsubara, J.; Okamura, Y.; Satake, K.; Shishikura, M. (2008) "Marine incursions of the past 1500 years and evidence of tsunamis at Suijin-numa, a coastal lake facing the Japan Trench", *The Holocene*, 18/4, 517–528.
- Smol, J.P. (1992) "Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management", *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 1, 49–58.
- Smol, J.P. (1995) "Paleolimnological approaches to the evaluation and monitoring of ecosystem health: providing a history for environmental damage and recovery", In Rapport, D.J.; Gaudet, C.L.; Calow, P. (ed.), *Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems*, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 302–318.
- Smol, J.P. (2008) *Pollution of Lakes and Rivers: a paleoenvironmental perspective (2nd ed)*. Blackwell Publishing.
- Sekeryapan, C. (2011) *Paleolimnological Investigations From Modern Coastal Lakes on Thrace and Black Sea Coast of Turkey During the Mid-late Holocene*, Ph.D. Thesis. Metu, Ankara.
- Sullivan, T. J.; Charles, D.F.; Stool, J.P.; Cumming, B.F.; Selle, A.R.; Thomas, D.R.; Bernert, J.A.; Dixit, S.S. (1990) "Quantification of changes in lakewater chemistry in response to acidic deposition", *Nature*, 345, 54–58.
- Tilman, D. (1989) "Ecological experimentation: strengths and conceptual problems", In Likens, G.E. (ed.), *Long-term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives*, Springer Verlag: New York, 136–157.
- Walker, I.R. (2001) "Midges: Chironomidae and related Diptera", In Smol, J.P.; Birks, H.J.B.; Last, W.M. (ed.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 4. Zoological Indicators*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 43–66.
- Weathead, P.J. (1986) "How Unusual are Unusual Events", *The American Naturalist*, 128/1, 150–154.
- Wick, L.; Lemcke, G.; Sturm, M. (2003) "Evidence of Lateglacial and Holocene climatic change and human impact in eastern Anatolia: high-resolution pollen, charcoal, isotopic and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van, Turkey", *The Holocene*, 13/5, 665–675.
- Woldring, H.; Bottema, S. (2003) "The vegetation history of East-Central Anatolia in relation to archaeology: the Eski Acıgöl pollen evidence compared with the Near Eastern environment", *Palaeohistoria*, 43/44, 1–34.
- Woodbridge, J.; Roberts, N. (2011) "Late Holocene climate of the Eastern Mediterranean inferred from diatom analysis of annually-laminated lake sediments", *Quaternary Science Reviews*, 30, 3381–3392.
- Zolitschka, B.; Francus, P.; Ojala, A.E.K.; Schimmelmann, A. (2015) "Varves in lake sediments – a review", *Quaternary Science Reviews*, 117, 1–41.

