



Küçükçekmece Lagünü'nün Çevre Manyetizması: Son 3900 yıl boyunca paleo-ortam değişimleri

Özlem Makaroğlu^{1*}

^{1,*}Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 02.02.2023

Kabul: 31.05.2023

Yayın: 20.09.2023

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada, günümüzden önce (GÖ) 3900 yıl boyunca, Marmara Denizi'nin kuzeyinde yer alan, Küçükçekmece Lagünü'nde depolanan sedimanlarda manyetik mineraloji, mineral yoğunluğu ve tane boyu değişimleri belirlenerek lagünün paleo-ortam koşulları incelenmiştir. Bu amaçla, Küçükçekmece Lagünü'nün 20 ve 17 m. derinliğinden alınan üç adet karotta (KCL12P1, KCL12P2, KCL12P3) manyetik duyarlılık (κ_{IF}), kalıntı mıknatıslanma (anhysteretik ve eş -ısı) şiddetleri ve termomanyetik ölçümleri içeren yüksek çözünürlükte manyetik mineral analizleri yapılmıştır. Manyetik mineral analizleri ve litolojik gözlemlere göre, lagün sedimanlarında üç farklı birim (birim A, B ve C) tanımlanmıştır. Birim A; düşük manyetik duyarlılığa sahip, düşük yoğunlukta ince tane boyulu ferrimanyetik (manyetit) minerallerle birlikte çoğunlukla detritik kökenli paramanyetik minerallerce (siderit) baskın bir birimdir. Birim B; yüksek manyetik duyarlılık, yüksek kalıntı mıknatıslanma değerleri ve termomanyetik analizlerle kolayca ayırt edilen, demir sülfür (greigit) içeriği yüksek olan bir birimdir. Birim C ise kaba taneli ve yüksek koersiviteye sahip ferrimanyetik minerallerce baskın bir birim olarak tanımlanmıştır. Küçükçekmece Lagünü'nün çevre manyetizmasına göre, birim A GÖ 3750-3700, 3600-3350, 3240-1800, 1240-günümüz arasında görece yağmurlu; birim B ve C ise GÖ 3883-3750, 3700-3600, 3350-3240, 1800-1240 yılları arasında kurak iklim koşullarının hâkim olduğu dönemlerde oluşmuştur. Lagünde her kurak dönemin sonuna doğru GÖ 3780-3750, 3620-3600, 3300-3240 ve 1300-1240 yılları arasında, greigit mineralinin yoğunlaştığı birim B oluşmuştur. Bu sonuç, nehir girdisinin azalmasıyla beraber, lagünde Marmara Deniz sularının yoğunlaştığı koşulları desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler – Çevre manyetizması, holosen, kaya manyetizması, Küçükçekmece Lagünü, paleoiklim.

Environmental magnetism of Küçükçekmece Lagoon: Paleoenvironmental changes for the last 3900 years

^{1,*}Department of Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, İstanbul University-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

Article History

Received: 02.02.2023

Accepted: 31.05.2023

Published: 20.09.2023

Research Article

Abstract – In this study, magnetic mineralogy, mineral concentration, and grain size of sediments deposited in Küçükçekmece Lagoon, located in the northern shoreline of the Marmara Sea were determined and the paleoenvironmental evolution of the lagoon for the last 3900 years were investigated based on environmental magnetism. For this purpose, high-resolution mineral magnetic analyses including measurements of magnetic susceptibility (κ_{IF}), remanent magnetizations (anhysteretic and isothermal), and thermomagnetic analysis were carried out in three cores (KCL12P1, KCL12P2, KCL12P3) taken from 20 and 17 m depths of Küçükçekmece Lagoon. According to mineral magnetic analysis and lithological description, three units (units A, B, and C) which were deposited in lagoon sediments were determined. Unit A is characterized by low magnetic susceptibility and mostly consists of detritic paramagnetic minerals (siderite) and low concentration of fine-grained ferrimagnetic minerals (magnetite). Unit B is dominated by greigit and characterized by distinctively high magnetic susceptibility and remanent magnetization. Unit C is determined as coarse-grained and high-coercive ferrimagnetic minerals. According to the environmental magnetism of Küçükçekmece Lagoon; unit A deposited under humid climatic condition between the years 3750-3700 BP, 3600-3350 BP, 3240-1800 BP, 1240 BP present. Units B and C deposited dry climatic conditions during the years 3883-3750 BP, 3700-3600 BP, 3350-3240 BP, 1800-1240 BP. High greigit concentration in unit B is related to the Marmara seawater intrusion onto fresh-water sediments end of every dry climatic condition between the years of 3780-3750 BP, 3620-3600 BP, 3300-3240 BP, and 1300-1240 BP.

Keywords – Environmental magnetism, holocene, rock magnetism, Küçükçekmece Lagoon, paleoclimate

¹ ozlemm@iuc.edu.tr

*Sorumlu Yazar

1. Giriş

Çevre manyetizması, doğal materyallerin manyetik özelliklerinin ve kökeninin belirlenmesiyle bu materyallerin oluştukları geçmiş ve günümüz ortam koşullarının anlaşılmasını içeren detaylı manyetik mineral analizlerinin bir bütünüdür (Thompson ve Oldfield, 1986; Verosub ve Robert, 1995; Dekkers, 1997; Walden, Oldfield ve Smith, 1999; Maher ve Thompson, 1999; Evens ve Heller, 2003). Çevre manyetizması kapsamında elde edilen manyetik mineral parametreleri, jeofizikten, arkeolojiye çok disiplinli çalışmalarda sıklıkla kullanılmakta ve son yıllarda doyurucu sonuçlar vermektedir. Göllerde yapılan çevre manyetizması çalışmaları karot korelasyonu (Thompson, Batterbee, O'sullivan ve Oldfield, 1975), sedimanların manyetik özellikleri ile kimyasal ve biyolojik karakterlerinin karşılaştırması (Higgitt, Oldfield, Appleby, 1991; Rosenbaum vd., 1996; Williams vd., 1997; Geiss ve Banerjee, 1997; Ortega, Thompson, Urrutia, 2000; Nowaczyk, Melles ve Minyuk, 2007), göl sedimanlarında bulunan manyetik bakterilerin kökeninin belirlenmesi (Blakemore, 1975; Snowball, Sandgren, Peterson, 1999; Haltia-Hovi, Nowaczyk, Saarinen, 2010), iklim değişimlerinin belirlenmesi (Reynold ve King, 1995; Verosub ve Roberts, 1995; Thompson vd., 1980; Peck ve King, 1996; Rosenbaum vd., 1996) gibi farklı konuların anlaşılmasında literatüre önemli katkılar koymuştur.

Göl sedimanları geçmiş ortam değişimlerinin belirlenmesinde doğal arşivleridir ve konu ile ilgili araştırmalarda her geçen gün sıklıkla kullanılmaktadır. Göl sedimanlarında biriken manyetik mineraller atmosferden, havza alandan veya ana kaya gibi farklı kaynaklardan taşınarak veya yerinde kimyasal süreçler altında değişerek göl tabanında çöker. Ortam koşullarındaki değişimler (erozyon, volkanik aktivite, iklim değişimleri, vd.) göllerde biriken manyetik minerallerin yoğunluk, tane boyu ve mineral yapılarında değişimlere neden olur (Thompson ve Oldfield, 1986). Gölsel sedimanların manyetik özellikleri, öncelikle, göl havzasından taşınan kırıntılı malzemelerin kontrolündedir. Buzul dönemlerde veya kurak iklim koşullarında biriken manyetik mineraller oksik ortamlarda daha iyi korundukları için bu dönemlerde güçlü sinyaller verir ve yorumu kolaylaştırarak oluşum ortamları açısından yeterli bilgi sağlayabilirler (Thompson vd., 1980). Ancak, sıcak ve nemli iklim koşulları altında depolanan sedimanlardaki manyetik minerallerin kökeninin yorumu, yüksek organik madde birikimi, diyajenez gibi kimyasal süreçlerden dolayı zorlaşır. Nemli dönemlerde depolanan sedimanlar kurak dönemlerde depolanan sedimanlardan daha düşük manyetik mineral yoğunluğuna (düşük manyetizasyon) sahiptir (Peck ve King, 1996; Nolan vd., 1999; Inoue, Hayashida, Kato, Fukusawa ve Yasuda, 2004; Makaroğlu, Nowaczyk, Eriş ve Çağatay, 2020). Buna rağmen, özellikle Holosen dönemi gibi görece nemli iklim koşulları altında biriken manyetik minerallerdeki düşük manyetizasyon yine de yüksek çözünürlükte paleo-ortam kayıtlarını taşımaktadır. Bu nedenle, manyetik minerallerin kökenini ve oluşum ortamlarının yorumunu içeren çevre manyetizması, son yıllarda, çok disiplinli paleoiklim araştırmalarına da önemli katkı koymaktadır.

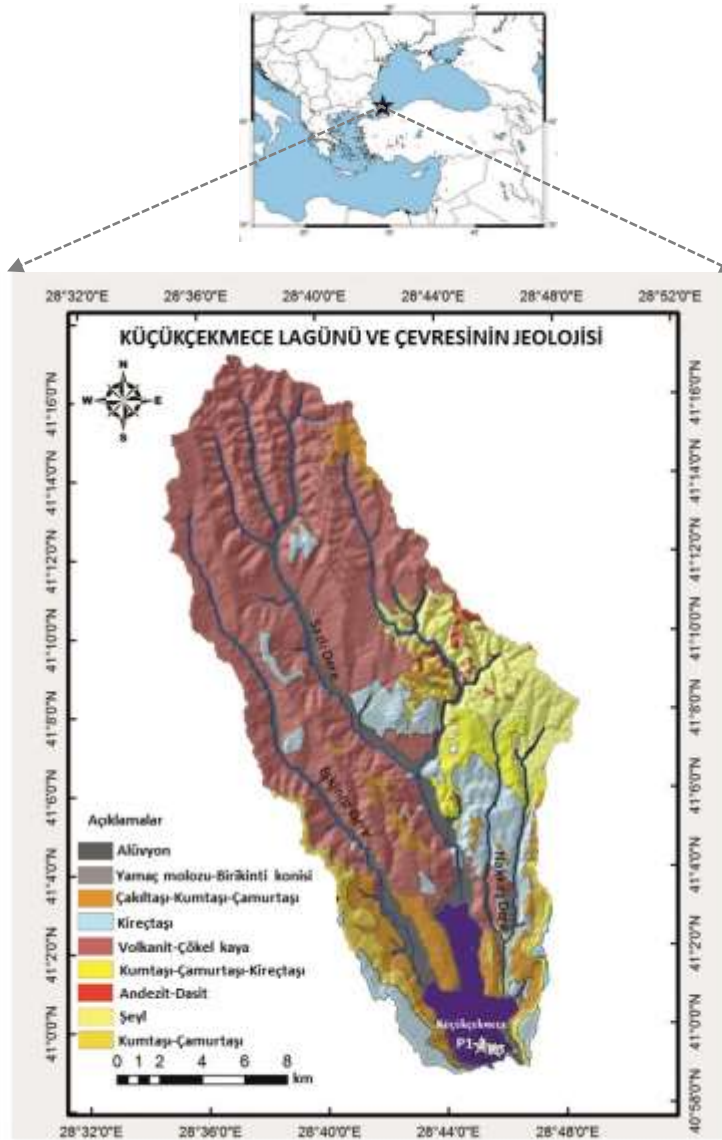
Holosen dönemi kayıtlarını içeren çok sayıda göl içermesi açısından Türkiye son yıllarda bu dönemdeki geçmiş ortam ve iklim değişimlerini ortaya çıkarmak için önemli bir araştırma alanı olmuştur. Batı Anadolu'da bulunan Küçükçekmece Lagünü hem konumu hem de bulunduğu havzanın önemi açısından, jeofizikten arkeolojiye geniş bir yelpazede farklı bilim disiplinleri tarafından ilgi çeken bir araştırma alanıdır. Gölde manyetizma ile ilgili yapılan ilk çalışma Makaroğlu (2021) tarafından gerçekleştirilmiş ve çalışma sonucunda, lagünde sedimantasyon hızı 0.18 cm/yıl bulunarak, günümüzden önce (GÖ) 3900 yıl boyunca paleomanyetik kayıtlar elde edilmiştir. Akçer Ön (2011), Küçükçekmece Lagünü'nde yaptığı detaylı paleoiklim çalışmasında, Küçükçekmece Lagünü'nden elde ettiği iklim kayıtlarının Avrupa'dan elde edilen Orta Çağ ve Küçük Buzul Çağı dönemlerindeki kayıtlar ile benzerlikler gösterdiğini bularak, kurak dönemleri; GÖ 1300-1200 yılları arasında, yağışlı dönemleri ise GÖ 1200-600 yılları arasında tanımlamıştır. Bu sonuçlar lagün sedimanlarının iklim değişimlerine duyarlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, lagünde ve çevresinde jeoloji (Arıç, 1955; Sayar, 1954; Pehlivan ve Yılmaz, 2004) ve kirlilik (Altun, Saçan ve Erdem 2009; Gönenç, Baykal, İnce, Aşıkoğlu, 1997, Kükreç, Çakır, Kaya ve Erginal, 2019) üzerine yapılan çalışmalarla son yıllarda önemli bulgular elde edilmiştir. Lagünden alınan sediman karotlarında, Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kolunda meydana gelen büyük depremlerin izleri de bulunmuştur (Altınok, Alpar, Özer ve Aykurt, 2011). Lagün etrafında, Paleolitik dönemden Neolitik döneme kadar birçok arkeolojik yerleşim yeri olduğu bilinmektedir (Arsebük, 1998; Farrand ve McMahon, 1997; Aydingün, Güldoğan, Heyd, Önez ve Planken, 2011). Bu nedenle, lagünde elde edilecek olan paleo-ortam kayıtları sadece geçmiş ortam süreçlerinin açıklanması açısından değil aynı zamanda arkeolojik zamanlar boyunca insan etkinliğinin anlaşılması açısından da oldukça kritiktir.

Bu çalışmada, Küçükçekmece Lagün sedimanlarında son 3900 yıl boyunca biriken manyetik minerallerin türü, kökeni ve oluşum ortamlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için çevre manyetizması disiplini kapsamında; karotların manyetik duyarlılık (K_{LF}), kalıntı mıknatıslanma ölçümleri ve kaya manyetizması deneyleri (termomanyetik analiz) yorumlanarak manyetik minerallerin yoğunluğu, mineralojisi, tane boyu ve domen yapıları belirlenmiştir. Elde edilen tüm veriler ile göl sedimanlarındaki manyetik mineraller detaylıca tanımlanmış ve Makaroğlu (2021) tarafından oluşturulan yaş modeli ile birlikte oluşum ortamları yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Küçükçekmece Lagünü, Marmara Denizi'nin kuzey kıyısında yaklaşık 15 km²'lik bir bölge içerisinde yer alır (Şekil 1). Yaklaşık 13 bin yıl önce, buzulları erimesi ile birlikte yükselen deniz seviyesi nedeniyle, bölge önce bir koy halini almış ve daha sonra da kum setiyle kapanarak bugünkü lagün halini almıştır. 1.5 m su derinliğine sahip bir kanal ile Marmara Denizi'ne bağlantısı olduğundan dolayı suyu yarı tuzludur (Akçer Ön, Çağatay ve Sakıncı, 2011).



Şekil 1: Küçükçekmece Lagünü'nün konumu ve havza alanının jeolojisi (Akçer Ön, 2011'den değiştirilmiştir). Yıldız karot yerlerini göstermektedir. P1-2 (KCL12P1-KCL12P2), P3 (KCL12P3).

Lagün Sazlı (~10 km), Nakkaş (~36 km) ve Eşkinöz Dereleri (~65 km) ile beslenir. (Meriç, Sakıncı, Özdoğan ve Açkurt, 1988). Lagünün doğusunda yer alan Nakkaşdere ve ona bağlanan Hasanoğlu ile Menekşe

derelerinin çevresinde büyük çoğunlukta Eosen yaşlı kireçtaşları ile Geç Miyosen yaşlı kum ve kireçtaşı gözlenmektedir. Güney doğusunda Marmara Denizi ile birleştiği yerde Geç Miyosen yaşlı kil, marn ve kireçtaşları bulunmaktadır (Sayar, 1954). Lagünün batısında yine Geç Miyosen yaşlı Çukurçeşme üyesi çakıl, kum, silt ve daha genç Güngören üyesi çamurtaşı, kıltaşı bulunmaktadır. Kuzey batısında Eosen yaşlı killi kireçtaşı ile Yarımburgaz kireçtaşı gözlenir (Meriç vd., 1988) (Şekil 1). Buna göre lagünün genel çökel içeriği çamur, kil, silt, kum ve çakıltaşıdır (Akçer Ön vd., 2011). Küçükçekmece Lagünü'nü besleyen derelerden Sazlıdere ve Eşkinöz (Şekil 1) derelerinin lagüne yaklaştığı yerler arkeolojik dönemler boyunca yaşam alanı olarak kullanılmıştır (Aydingün ve Öniç, 2008; Aydingün vd., 2011). Küçükçekmece Lagünü ve çevresi sadece tarihi ve arkeolojik geçmişi ile değil aynı zamanda bulunduğu coğrafik konumu açısından da doğa ve yerbilimleri disiplininde önemli bir çalışma alanıdır. Karadeniz ve Marmara Denizi gibi iki önemli su kütlesi arasında yer alan bu bölgede doğal alanların korunması ve dikkat edilmesi de oldukça kritiktir.

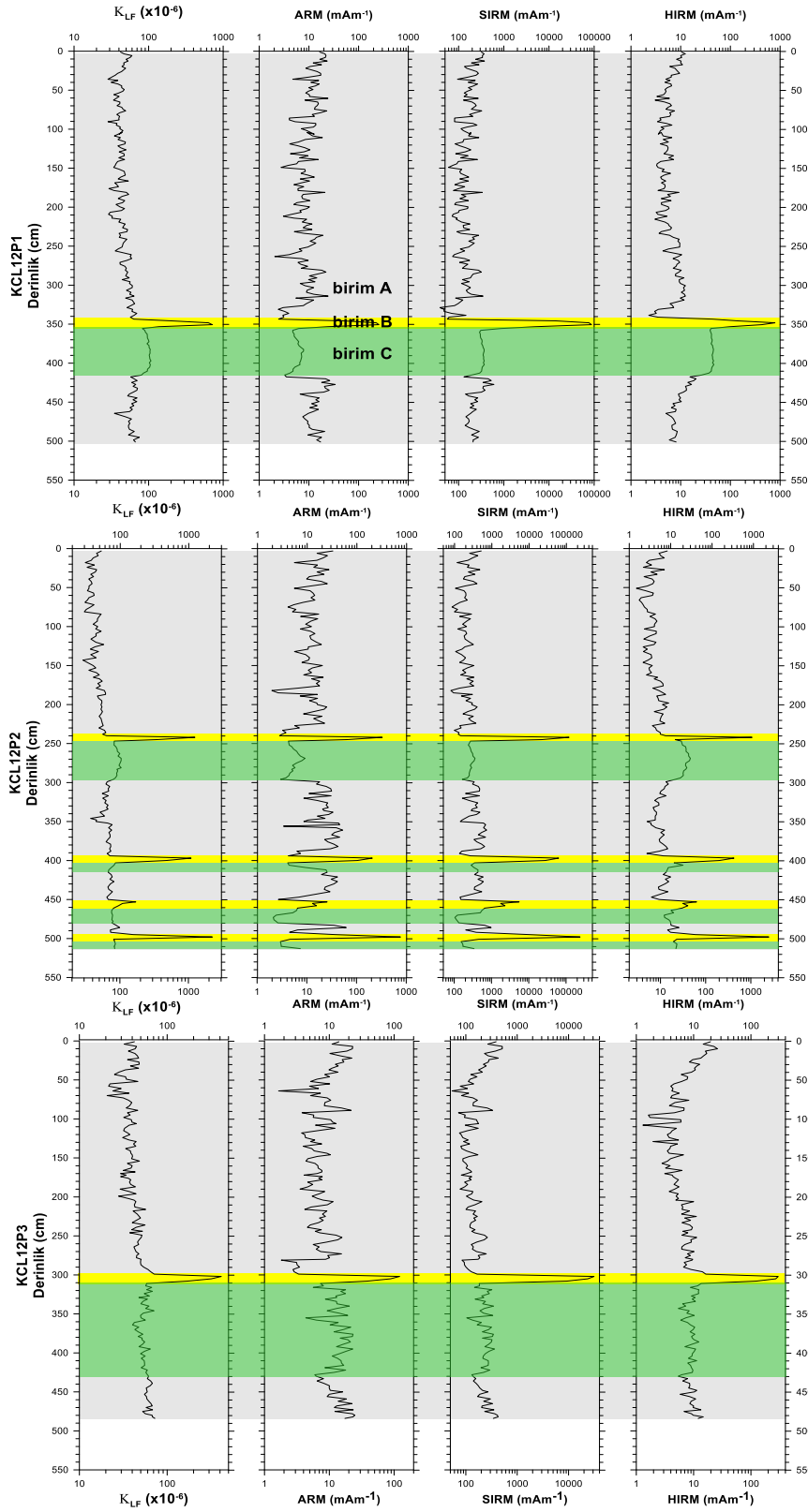
2.2. Örneklem ve manyetik analizler

Karot yerlerinin seçiminde, nehir girdilerinden ve lagün deniz bağlantısından uzak, lagünün en derin yerinden karot alımı amaçlanmıştır. Bu amaçla, 2012 yazında sismik çalışma yapılmış ve ön sonuçlarına göre, 20 ve 17 m arasında değişen su derinliğinden, üç adet piston karotu alınmıştır. Uzunlukları, sırasıyla, 500, 513, 484 cm olan KCL12P1, KCL12P2 ve KCL12P3 karotları arazide 1 m uzunluğunda bölünerek İTÜ-EMCOL laboratuvarında 4 °C'de örneklemeye kadar saklanmıştır. Yarılanan karotlar boyunca, 6 cm³'lük plastik kutular kullanılarak, 2 cm aralıklarla toplam 600 adet yönlü örnekler alınmış ve örnekler bekletilmeden, tüm çevre manyetizması analizleri, Alman Yerbilimleri Merkezi (GeoForschungsZentrum, Potsdam-GFZ), Paleomanyetizma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin manyetik duyarlılık (κ_{LF}) ölçümleri AGICO Kappabridge KLY-3s, kalıntı mıknatıslanma ölçümleri 2G enterprises cryogenic (2G-755-SRM) ve Molyneux Minispin Fluxgate manyetometreleri kullanılarak ölçülmüştür. Anhisteretik kalıntı mıknatıslanma (ARM) 2G Enterprises 600 tek eksen demanyetizasyon aparatı içeren ARM bobini ile maksimum 1 T alanda, eş-ısı kalıntı mıknatıslanma (IRM) 2G Enterprises 660 mıknatıslayıcı kullanılarak 1 T ve -0.3 T alanlarda uygulanmıştır. ARM ölçümlerinden MDF(ARM), κ_{ARM} , κ_{ARM}/κ_{LF} parametre ve oranları; IRM ölçümlerinden SIRM, SIRM/ κ_{LF} , HIRM ve S-oranı parametreleri elde edilmiştir. Manyetik mineralojiyi belirlemek için karot boyunca seçilmiş örnekler için termomanyetik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Göl örneklem aşaması, alt örneklem teknikleri ve parametrelerin yorumu Makaroğlu (2021)'nin yayınında detaylı olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Küçükçekmece Lagün sedimanlarının manyetik mineral yoğunluğunu belirleyebilmek için, manyetik duyarlılık (κ_{LF}), ARM, SIRM ve HIRM şiddetleri ölçülmüştür (Şekil 2). Manyetik mineral yoğunluğunun belirlenmesindeki öncelikli amaç, lagünün farklı bölgelerinden alınan tüm karotlar arasında bir karşılaştırma yapmak ve karotlar arasındaki benzer seviyeleri belirlemektir. KCL12P1 karotunda en yüksek manyetik duyarlılık 348 cm derinliğinde 850×10^{-6} olarak ölçülmüştür (Şekil 2). KCL12P2 karotunda ise 240, 397, 450 ve 500 cm seviyelerinde 2230×10^{-6} 'ya kadar ulaşan yüksek değerler ölçülmüştür. Bu seviyelerde ARM sırasıyla 200, 150, 22, 700 mAm^{-1} ; SIRM sırasıyla, 10×10^4 , 50×10^3 , 4×10^3 ve 20×10^4 mAm^{-1} ve HIRM sırasıyla, 1000, 450, 50 ve 3000 mAm^{-1} değerlerinde ölçülmüştür (Şekil 2). Karot boyunca ortalama ARM değeri 10 mAm^{-1} , SIRM değeri 210 mAm^{-1} ve HIRM değeri 15 mAm^{-1} 'dir (Şekil 2). KCL12P3 karotu KCL12P1 karotu ile benzer değişimlere sahiptir. Bu karotta da sadece bir seviyede (290 cm) yüksek manyetik mineral yoğunluğu (yüksek κ_{LF} , ARM, SIRM ve HIRM şiddetleri) ölçülmüştür. Karotlardaki en yüksek manyetik mineral yoğunluğunu içeren seviyeler Şekil 2, 3 ve 5'te sarı barla gösterilmiştir. Manyetik duyarlılık (κ_{LF}) manyetik mineral yoğunluğuna bağlı bir parametredir. Dia, para ve ferrimanyetik mineralojinin ayırt edilmesinde sıklıkla kullanılır (Dekkers, 1997; Walden vd., 1999). Manyetik duyarlılık manyetik minerallerin toplam hacim içindeki miktarlarının saptanmasına, manyetik mineral formasyonunun, türünün, taşınma işlemlerinin belirlenmesine, göl ve denizlerden alınan karotlar arasında karşılaştırma yapmaya yarayan oldukça kullanışlı parametrelerdir. Farklı karotlardan elde edilen manyetik duyarlılık değerlerinin karşılaştırılması ile karotlar arasındaki benzer seviyeler bulunur (Dearing, 1999; Thompson and Oldfield, 1986; Makaroğlu, 2021; Makaroğlu, Çağatay, Orbay, Pesonen, 2016; Makaroğlu vd., 2018; Makaroğlu vd., 2020; Makaroğlu vd., 2022). Makaroğlu (2021), manyetik duyarlılık ve S-oranı değişimlerini kullanarak yaptığı karşılaştırmada, KCL12P1, KCL12P2, KCL12P3 karotlarındaki sırasıyla 350, 245 ve 300 cm derinliklerinin benzer seviyeler olduğunu göstermiştir. Bunun dışında karotlarda karşılaştırılabilir diğer

seviyeleri de göstermiştir. Bu sonuç, lagünün sadece yerel etkilere değil aynı zamanda iklim kontrolü altında meydana gelen bölgesel etkilere de duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. KCL12P1-P2-P3 karotlarının derinlik boyunca K_{LF} (Makaroglu, 2021), ARM, SIRM ve HIRM değerlerini içeren manyetik mineral yoğunluğu.

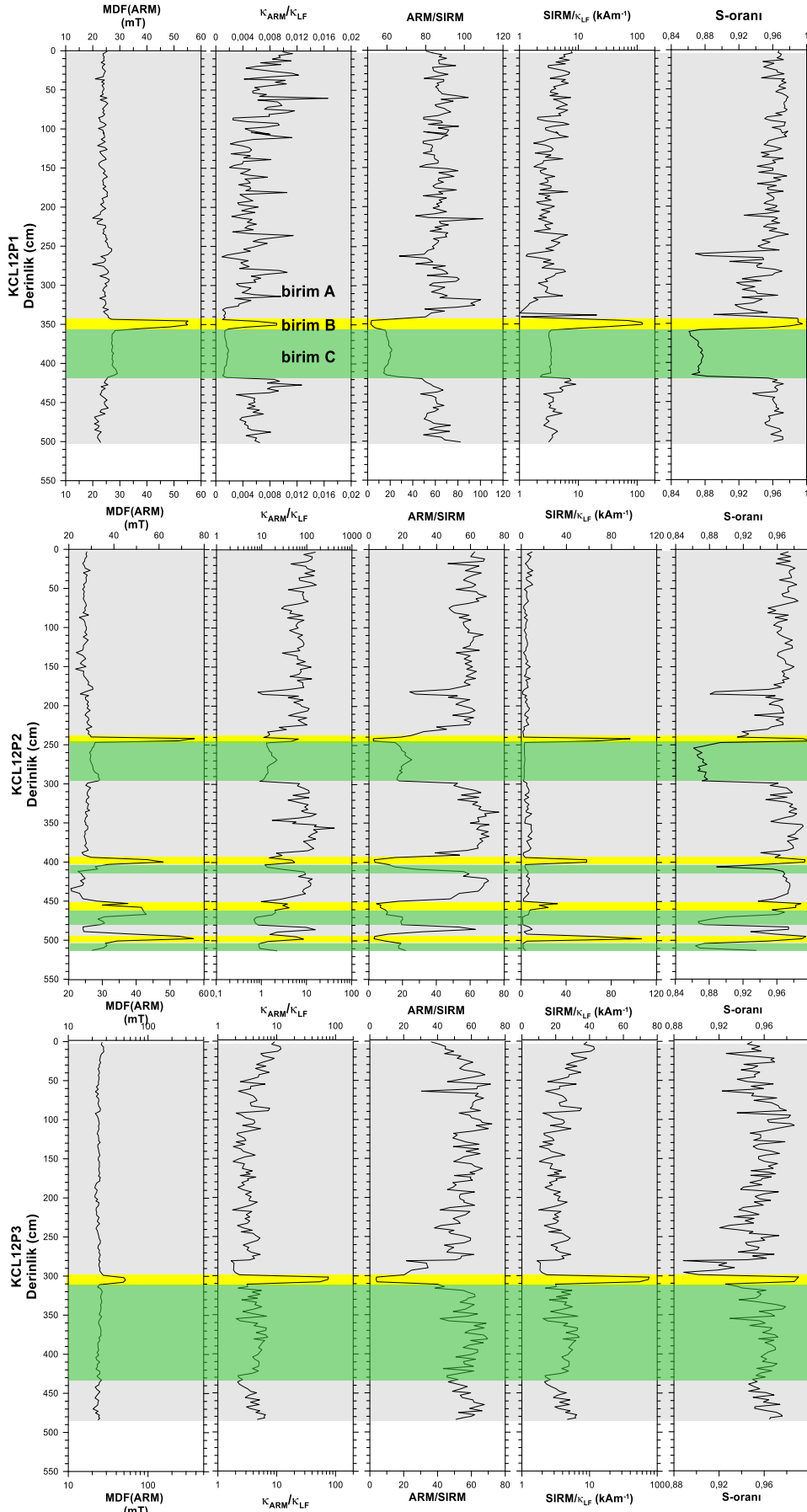
3.1. Manyetik mineral tane boyu

Manyetik mineral analizlerinde K_{ARM} , K_{ARM}/K_{LF} , ARM/SIRM ve MDF(ARM) örnek içerisindeki manyetik minerallerin tane boyu değişimlerini gösteren parametrelerdir (King, Banerjee, Marvin ve Özdemir, 1982; Dunlop ve Xu, 1993; Dunlop, 1995). Ayrıca bu parametreler geçmiş iklim değişimlerinin yorumlanmasında önemli birer belirteçlerdir (Snowball, 1993; Rosenbaum vd., 1996; Williams vd., 1997). KCL12P1 karotunun MDF(ARM), K_{ARM}/K_{LF} ve ARM/SIRM değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu karotta 345-355 cm ve 355-417 cm derinliklerinde manyetik minerallerin tane boyutunda belirgin bir değişimin meydana geldiği görülmektedir. MDF(ARM) değeri en yüksek 350 cm derinliğinde 55 mT olarak ölçülmüştür. 350-417 cm derinliğinde ortalama 27 mT değerindedir. Bu iki seviye dışında ise karotun ortalama MDF(ARM) değeri 24 mT'dir. K_{ARM}/K_{LF} ve ARM/SIRM oranlarında da MDF(ARM) değerlerinde de gözlemlendiği gibi değişimler göze çarpmaktadır. 355-417 cm derinliklerinde en düşük ve duyarlı veriler ölçülmüştür. KCL12P2 karotunda ilk 350 cm derinliği KCL12P1 karotunda ölçülen parametrelerle benzerlik göstermektedir. KCL12P2 karotunda dört farklı seviyede belirgin değişimler göze çarpmaktadır. Bu karotta dört seviyede ortalama 59-47 mT arasında değişen yüksek MDF(ARM) değeri ölçülmüştür. Bu seviyeler 242-245 cm, 397-400 cm, 453-455 cm ve 495-498 cm derinliklerindeki seviyelerdir (Şekil 3). Bu seviyelerin dışında ortalama MDF(ARM) değeri 25 mT'dir. En düşük K_{ARM}/K_{LF} değeri ortalama 1.3 olmak üzere 247-296 cm, 403-406 cm, 470-480 cm ve 504-510 cm derinliklerinde ölçülmüştür. KCL12P2 karotundaki ortalama K_{ARM}/K_{LF} değeri ise 6.6'dır. MDF(ARM)'nin yüksek olduğu derinliklerde ARM/SIRM oranı karot boyunca en düşük değerlere sahiptir. Bu derinliklerde ARM/SIRM oranı ortalama 4'tür. Bu derinliklerin dışında ise ortalama ARM/SIRM değeri 54'tür (Şekil 3). KCL12P3 karotunun tane boyu değişimleri manyetik mineral yoğunluğunda da olduğu gibi KCL12P1 nolu karot ile benzerlik göstermektedir. Bu karotta da sadece bir seviyede (305 cm) manyetik parametrelerde ani değişimler ölçülmüştür.

Bir örnek içerisinde tek-domenli (SD) ve yalancı tek domenli (PSD) ferrimanyetik tanelerin yoğunluğunu ve dağılımını belirlemek için ARM ölçümleri sıklıkla kullanılır (Hunter, Moskowitz ve Banerjee, 1995; Verosub ve Roberts, 1995). K_{ARM} , kararlı tek domenli ve ince tane boyulu ferrimanyetik mineral yoğunluğunu belirlemek için oldukça kullanışlıdır (Walden vd., 1999). Bu nedenlerle, MDF (ARM) ve K_{ARM}/K_{LF} oranı yükseldikçe ince taneli manyetik mineraller yoğunlaşmaktadır. Makaroğlu (2021) Küçükçekmece lagün sedimanlarından seçilmiş örnekler için yapmış olduğu manyetik histerezis ölçümlerinde yüksek manyetik momente sahip örneklerin tek domenli, diğerlerinin ise yalancı tek domenli özellikte olduğunu bulmuştur. Histerezis diyagramlarından elde edilen domen yapıları bu çalışmada elde edilen tek domenli yapıyı gösteren yüksek ARM değerleri de uyumludur. Şekil 3'te görülen ve tüm karotlarda elde edilen yüksek ARM değerleri histerezis ölçümleri ile de uyumlu bulunmuş ve tüm bu seviyelerde tek domen yapıda ince taneli manyetik minerallerin baskın olduğu ortaya konulmuştur.

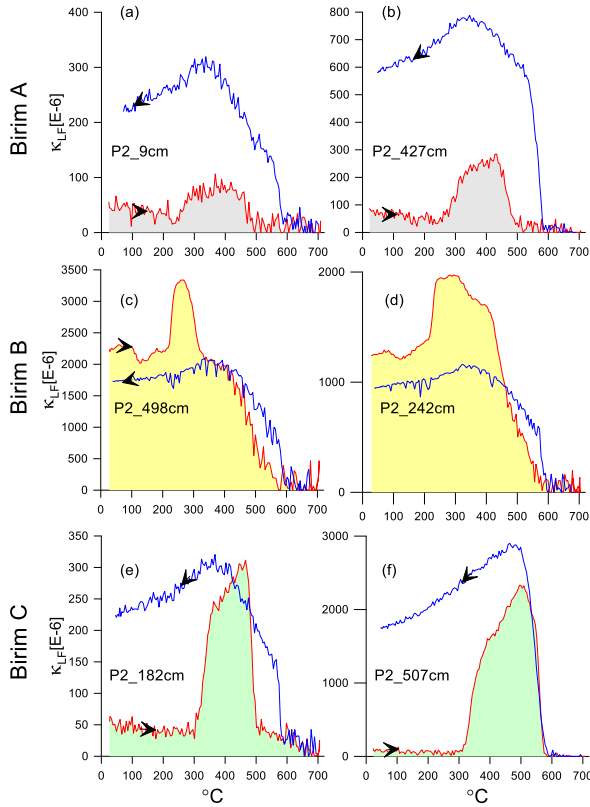
3.2. Manyetik mineraloji

Küçükçekmece lagün sedimanlarında manyetik mineralojiyi belirlemek için yapılan termomanyetik analiz ve IRM ölçümlerinde hesaplanan S-oranı, HIRM parametreleri Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Manyetik mineralojiye bağlı bir parametre olan S-oranı ve HIRM göl sedimanlarında manyetik mineraloji değişimlerine oldukça hassastır. S-oranının 1'e yakın olması magnetit (Fe_3O_4) veya greigit (Fe_3S_4) gibi düşük koersiviteli manyetik minerallerin, 0'a yakın olması ise hematit (Fe_2O_3) veya geotit ($FeOOH$) gibi yüksek koersiviteli manyetik minerallerin varlığını göstermektedir (Bloemendal, King, Hall ve Doh, 1992). KCL12P1 ve KCL12P3 karotlarında sadece bir seviyede, KCL12P2 karotunda ise dört farklı seviyede yaklaşık 0.99 değerinde S-oranı hesaplanmıştır (Şekil 3, sarı bar). Bu seviyelerde düşük koersiviteli manyetik mineraller kolayca ayırt edilebilmektedir. Bu seviyeler dışında da yüksek koersiviteli manyetik minerallerin yoğunlukta olduğu düşük S-oranına (0.86) sahip seviyeler de belirgin olarak görülmektedir (Şekil 3, yeşil bar). HIRM, S-oranının tersine, yüksek koersiviteli manyetik minerallerin varlığında yükselmekte ve tersi durumda ise bu değer düşmektedir. Bu nedenle düşük ve yüksek koersiviteli manyetik minerallerin ayırt edilmesinde S-oranı gibi başarılı sonuçlar vermektedir. Greigit seviyelerinde (sarı bar) S-oranının 1'e yakın olduğu seviyelerde HIRM de yüksek hesaplanmıştır. Burada minerallerin koersivite özelliklerinden yoğunluğunun çok yüksek olması kalıntı miktatsızlanma değerlerini artırmış ve iki parametre de aynı anda yüksek bir anomali göstermiştir (Şekil 2, 3 ve 5).



Şekil 3. KCL12P1-P2-P3 karotlarının derinlik boyunca manyetik mineraloji ve tane boyu değişimi. S-oranı, SIRM/ K_{LF} , MDF(ARM) verileri Makaroğlu (2021)'den alınmıştır.

Tüm manyetik mineral analizlerin sonrasında yüksek manyetik duyarlılığa sahip örnekler seçilerek sıcaklık-manyetik duyarlık ölçümleri yapılmıştır. Termomanyetik analiz olarak da adlandırılan bu ölçümlerin sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu analizlerde, sıcaklık altında kalan ferro ve ferrimanyetik cisimlerin elektron spinlerinin yönleri termal titreşimden dolayı bozulur ve belirli bir kritik sıcaklıktan sonra paramanyetik özellik gösterirler. Bu kritik sıcaklık değerine Curie sıcaklığı denir ve manyetik mineraloji hakkında kesin bir bilgi sağlamaktadır (Deng, Zhu, Verosub, Singer ve Vidic, 2004). Örneğin; manyetit'in Curie sıcaklığı 580°C, hematitin 680°C, gregitin ise 380°C'dir (Roberts, Chang, Rowan, Hornig ve Florindo, 2011). Termomanyetik analizlere göre, Küçükçekmece sedimanlarında manyetik mineraloji üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 4). İlk grupta (Şekil 4a, b), yaklaşık 250 °C'den sonra manyetik duyarlılık artmakta ve 480°C'de ise ani olarak düşmektedir. Şekil 4c ve 4d'de gösterilen ikinci grupta ise 360°C'de ve 580°C'de manyetik duyarlılığın düştüğü görülmektedir. Üçüncü grubu temsilen gösterilen örneklerin ise 680 ve 580°C'lerde manyetik duyarlılığını tamamen kaybettiği görülmektedir (Şekil 4e, f).



Şekil 4. Seçilmiş örnekler için uygulanan sıcaklık-manyetik duyarlılık ölçümleri. P2_242 grafiği Makaroğlu (2021)'dan alınmıştır.

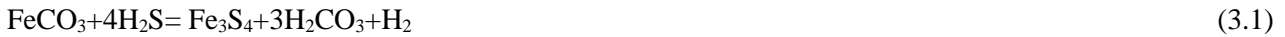
3.3. Küçükçekmece Lagünü'nün Çevre manyetizması ve paleo-ortamsal anlamı

Küçükçekmece Lagünü'nün çevre manyetizması analizleri kapsamında belirlenen manyetik mineral yoğunluğu, manyetik mineraloji ve tane boyutuna göre lagün sedimanlarında üç farklı manyetik seviye tanımlanmıştır. Manyetik parametrelerde kolaylıkla ayırt edilen bu manyetik seviyeler, litolojik tanımlamalarla da örtüşmektedir. Bu nedenle, bu seviyeler birim A, birim B ve birim C olarak adlandırılmış ve Şekil 2, 3, 4 ve 5'te sırasıyla, gri, sarı ve yeşil renkte gösterilmiştir. Bu çalışmada tanımlanan bu birimler daha önce KCL12P1 karotunda tüm parametreler için (Makaroğlu, 2017); KCL12P2, KCL12P3 karotlarında ise sadece manyetik duyarlılık ve S-oranı değişimleri temelinde (Makaroğlu, 2021) derinlik boyunca tanımlanmıştır. İlk defa bu çalışma ile tüm karotlardan elde edilen manyetik parametreler bir arada yaş modeli ile birlikte değerlendirilmiştir.

Birim A; Lagün sedimanlarında yoğunlukla bulunan bu birim, litolojik olarak, kahve-gri renkli ince lamine birimlerden oluşmaktadır. Küçükçekmece lagününde yakın lokasyondan aldıkları karotta, Akçer Ön (2011) litostratigrafik olarak bu birime karşılık gelen seviyeleri siltli-az siltli, lamine çamur olarak tanımlanmıştır. Ortalama değerleri dikkate alındığında birim A'da elde edilen düşük manyetik duyarlılık değerlerinin (ort. 69

$\times 10^{-5}$) bu birimde görece paramanyetik minerallerin yoğunlukta olduğunu göstermektedir. Termomanyetik analizde, 480°C'deki düşüşü gösteren Curie noktası paramanyetik bir mineral olan siderit (FeCO_3) mineralinin varlığını desteklemektedir (Pan, Zhu, Banerjee, Gill ve Williams, 2000; Ellwood, Balsam, Burkart, Long ve Buhl, 1986). Bu paramanyetik minerallerin yanında düşük yoğunlukta da olsa, düşük koersiviteli (yüksek S-oranı, düşük HIRM) ve ince taneli (yüksek $\kappa_{\text{ARM}}/\kappa_{\text{LF}}$) ferrimanyetik minerallerin de (manyetit vb.) göl baseninde çökeldiği bulunmuştur (Şekil 2, 3 ve 5). Küçükçekmece Lagününde yağışlı dönemlerde nehirler ile karbonat taşınması artmaktadır (Akçer Ön, 2011). Lagün sedimanlarında yoğunlukta bulunan, demir karbonat minerali olan sideritin, yağışlı dönemlerde lagün basenine çökeldiği bu nedenle, yağışlı ortam koşulları ile doğrudan ilişkili olduğu ve kökeninin Küçükçekmece havzasında yaygın olarak bulunan Geç Miyosen yaşlı kil, marn ve kireçtaşları (Sayar, 1954) olduğu düşünülmektedir. Gölde tatlı su taşıyan nehirler boyunca her yağışlı dönemde paramanyetik özellikteki siderit minerali (Şekil 4a, b) gölde birikmiştir. Bununla birlikte gölde yapılan paleomanyetizma çalışması bu birimde aynı zamanda düşük yoğunlukta da olsa manyetit (Fe_2O_3) gibi duraylı ve ince taneli ferrimanyetik minerallerin de varlığını ortaya koymuştur (Makaroglu, 2021). Kireçtaşlarındaki düşük yoğunluklu manyetit varlığı uzun yıllardır bilinmektedir (Lowrie and Heller, 1982). Lagün sedimanlarında bulunan manyetit kökeni ve düşük yoğunlukta olması ise havza alanında bulunan kireçtaşları olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar, lagün sedimanlarının çoğunluğunu oluşturan siderit+manyetit minerallerinin detritik kaynaklı olduğunu ve yağış kontrolünde göl tabanında çökeldiğini desteklemektedir.

Birim B; B birimi litolojik olarak homojen siyah rengi ile lagündeki tüm karotlarda belirgin bir şekilde tanımlanmıştır. Yüksek κ_{LF} , ARM, SIRM ve HIRM değerleri ile en fazla manyetik mineral yoğunluğuna sahip olan birim olarak dikkat çekmektedir (Şekil 2, 3 ve 5). Bu birim KCL12P2 karotunda dört seviyede, diğer karotlarda ise sadece bir seviyede bulunmuştur (Şekil 2, 3). Bu birimde yapılan termomanyetik analiz, 380 °C'de ve 580 °C Curie sıcaklık değerleri ile sırasıyla greigit ve manyetit minerallerinin yoğunlukta olduğunu göstermektedir. SIRM/ κ_{LF} oranının 10'dan büyük olması greigit varlığını göstermektedir (Roberts vd., 2011). Birim B'de SIRM/ κ_{LF} oranındaki yüksek değerler açık olarak greigit seviyelerini işaret etmektedir (Şekil 3 ve 5). Tüm manyetik parametreler B biriminde demir sülfür gurubu manyetik minerallerden biri olan greigit (Fe_3S_4) mineralinin yoğunlaştığını göstermektedir. Greigit (Fe_3S_4) gölsel ve denizel ortamlarda sıklıkla oluşur, ortamdaki sülfat yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir (Snowball ve Thompson, 1988; Berner ve Raiswell, 1984; Roberts vd., 2011). Tatlı sularda sülfat içeriği (100 ve 200 μMg^{-1} arasında) deniz suyundan (28 mM kg^{-1}) çok daha düşüktür (Roberts, 2015). Küçükçekmece gölünde sülfat içeriği ortalama 550.5 mg.l^{-1} ' dir (Gürevin, 2010). Birim B seviyesinde bulunan greigit, lagünde belirli dönemlerde sülfür yoğunlaştığını göstermektedir. Kıyı ortamlarında meydana gelen sülfür yoğunluğu çoğunlukla deniz suyu girişi ile ilişkilidir (Berner ve Raiswell, 1984; Ku, Chen, Hsieh, Liu ve Liu, 2001; Bernart vd., 2011). Bu nedenle, birim B lagünde deniz suyu yoğunluğunun artması ile oluşmuş ikincil manyetik mineralleri içermektedir ve deniz girişi ile doğrudan ilişkilidir. Siderit yüzeyinde de greigit gelişebilir (Roberts ve Weaver, 2005; Sagnotti vd., 2005) ve bu süreç 3.1'de verilen reaksiyon ile tanımlanır (Krupp, 1991).

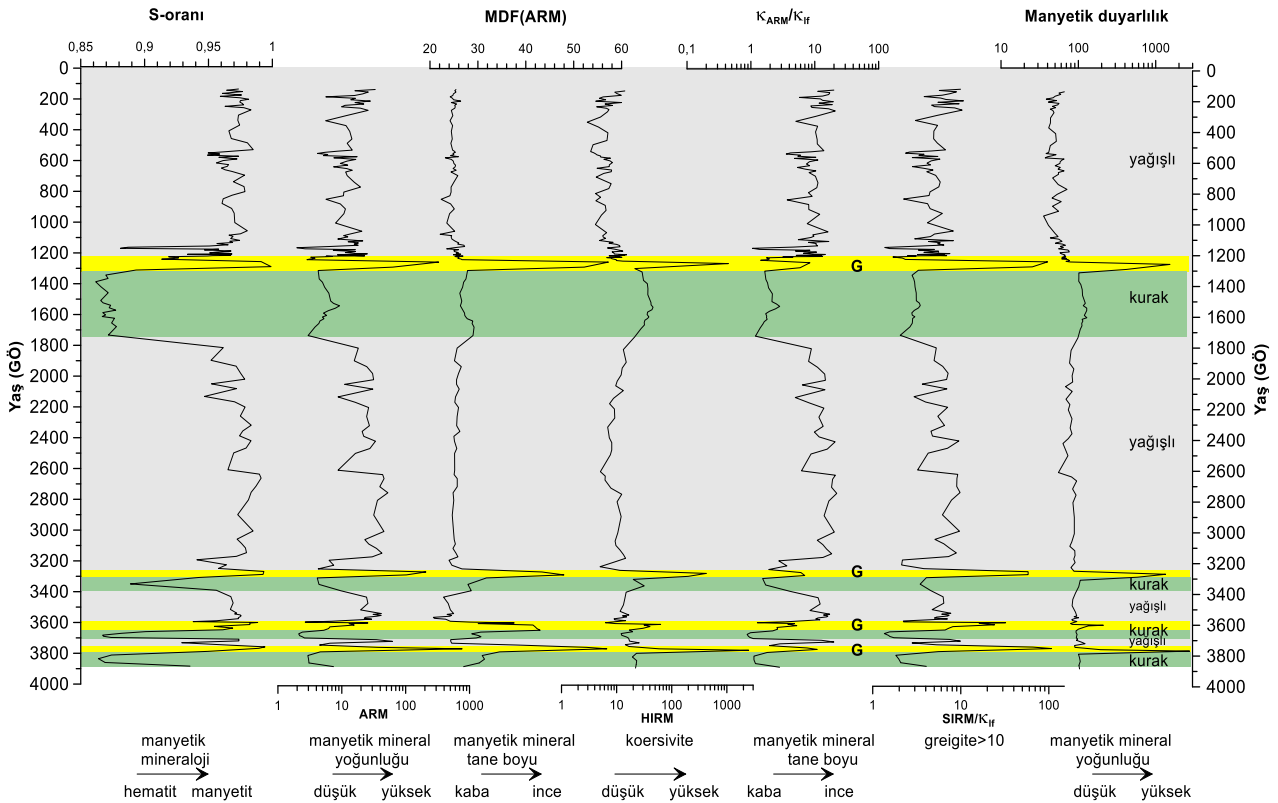


Bu durumda, lagün sedimanlarında yoğun olarak bulunan sideritin deniz suyu ile tepkimesi sonucu demir sülfürlerin oluştuğu düşünülebilir.

Birim C; Homojen, gri renkli C birimi ise yine tüm karotlarda belirgin olarak tanımlanmıştır (Şekil 2, 3 ve 5, yeşil bar). Bu birimde düşük S-oranı ile yüksek koersiviteli manyetik minerallerin yoğunluğu göze çarpmaktadır. Yüksek HIRM ve SIRM seviyeleri, hematit veya geotit gibi yüksek koersiviteli manyetik minerallerin bu seviyelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Yüksek HIRM ve düşük ARM/SIRM oranı kaba taneli manyetik minerallerin varlığını desteklemektedir. Rüzgar etkisinin güçlü olduğu kurak dönemler boyunca göl havzasında bulunan kayaçlarda fiziksel aşınma da yüksek olabilir. Bu aşınma süreçleri sonucunda, ana kaya ayrışırken ince taneli manyetik mineraller de tahrip olur ve seyrelir. Dinamik etkilere daha dayanıklı olan kaba taneli manyetik mineraller ise tam terine yoğunlaşır. Bunun sonucunda yağışlı dönemlerde ince taneli manyetik mineraller yoğunlaşırken kurak dönemlerde ise yüksek koersiviteli, kaba taneli manyetik mineraller rüzgar etkisi ile birlikte daha yoğun olarak göl tabanına çökler (Rosenbaum vd., 1996; Peck ve King, 1996). Bu nedenle, C biriminin kurak dönemlerde lagünde depolanan manyetik minerallerden oluştuğu düşünülmektedir.

3.4. Küçükçekmece Lagünü'nde son 3900 yıl boyunca geçmiş ortam ve iklim değişimleri

Karotların yaş modeli Makaroğlu (2021) tarafından radyokarbon, bölgesel belirteçlerin karşılaştırılması (Ca ve $\delta^{18}O$) temelinde yapılmıştır. KCL12P2 karotunda üç farklı derinlikte radyokarbon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda 66, 138 ve 231 cm derinliklerinde sırasıyla, GÖ 529±16, 894±62 ve 1221±41 yaşları elde edilmiştir. KCL12P1, P2 ve P3 karotlarından elde edilen yüksek çözünürlükteki birleştirilmiş paleomanyetik veriler, jeomanyetik modellerle ve yakın bölgedeki paleomanyetik verilerle de uyumlu bulunmuştur. Bu nedenle yaş modeli hassas ve güvenilirdir. Makaroğlu (2021) çalışmasında, üç karottan elde ettiği paleomanyetik veriler (D, I ve J) arasında veri yığını (stack) işlemi sonucunda en son güvenilir paleomanyetik verinin yaşını GÖ 3800 yıl olarak bulmuştur. Bu nedenle, Makaroğlu (2021)'de paleomanyetik veriler GÖ 3800 yıl olan bir yaş modeli altında tartışılmıştır. Ancak, KCL12P2 karotunun Ca- $\delta^{18}O$ izotop karşılaştırmasında son derinliğe karşılık gelen yaş GÖ 3880'dir. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen KCL12P2 karotuna ait tüm manyetik mineral parametreleri (vektörel değişimlerden bağımsız) GÖ 3883 yıllık bir zaman için yorumlanabilmiştir. Lagün sedimanlarında tanımlanan manyetik birimlerin geçmiş değişimleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Buna göre; Birim A; GÖ 3750-3700, 3600-3350, 3240-1800, 1240-günümüz yılları arasında yağışlı koşullarda birikmiştir. Birim B ve C ise GÖ 3883-3750, 3700-3600, 3350-3240, 1800-1240 yılları arasında kurak iklim koşullarının hakim olduğu dönemlerde oluşmuştur. Lagünde her kurak dönemin sonuna doğru GÖ 3780-3750, 3620-3600, 3300-3240 ve 1300-1240 yılları arasında birim C oluşmuştur. Bu dönemler manyetik birimlerin oluşum ortamları ve iklimsel anlamlarıyla birlikte yorumlandığında Küçükçekmece Lagünü'nde son 3900 yıl boyunca farklı ortam ve iklim değişimlerinin meydana geldiğini açık olarak görülmektedir.



Şekil 5: Küçükçekmece Lagünün son 3900 yıl boyunca çevre manyetizması. Birimler (A, B ve C) manyetik mineral değişimleri temelinde ayırt edilmiştir. Birim A (gri) yağışlı, birim B (sarı) ve C (yeşil) ise kurak iklim koşullarında oluşmuştur. G= greigit (Fe_3S_4).

GÖ 3750-3700, 3600-3350, 3240-1800, 1240-günümüz yılları arasında lagünde ince taneli, detritik manyetik minerallerin yoğunlaşması yağışlı koşulları desteklenmektedir (Şekil 5). Küçükçekmece Lagünü'nden elde edilen paleoiklim kayıtları, GÖ 600-1200 ve GÖ 2350-2600 yılları arasında yağışlı koşulları göstermiştir (Akçer Ön, 2011). Bu çalışmadan elde edilen GÖ 1240-günümüz ve GÖ 3240-1800 yağışlı dönemleri Akçer

Ön (2011) paleoiklim kaydı ile uyumludur. GÖ 1240-günümüz yağışlı dönemi, Nar Gölü'nden (Jones, Roberts, Leng ve Türkeş, 2006) elde edilen GÖ 950-550 yılları arasındaki yağışlı koşullarla da uyumlu görülmektedir.

Küçükçekmece Lagünün çevre manyetizması analizleri, GÖ 3883-3750, 3700-3600, 3350-3240, 1800-1240 arasındaki dönemlerde kurak iklim koşullarının egemen olduğunu göstermiştir (Şekil 5). Bu dönemde biriken yüksek koersiviteli manyetik mineraller yüksek Ca/Ti oranında desteklediği gibi (Makaroglu, 2021) kurak iklim koşullarının bir ürünüdür. Bu çalışmada elde edilen GÖ 1800-1240 yılları arasındaki kurak iklim koşulları, Soreq Mağarasından (Orland vd., 2009) elde edilen GÖ 1850-1250 yılları, Nar krater Gölü'nde (Niğde) (Jones vd., 2006) elde edilen GÖ 1650-1450 yılları ve Batı Türkiye'den elde edilen GÖ 1500-1200 (Akçer Ön vd, 2011) yılları arasındaki kurak dönemler ile oldukça uyumlu bulunmuştur.

GÖ 3780-3750, 3620-3600, 3300-3240 ve 1300-1240 yılları arasında ise lagünde 20 ile 60 yıl arasında oldukça kısa süren, sülfür zenginleşmesine bağlı olarak, demir sülfürler birikmiş ve bunlar kurak dönemlerin en son ürünü olarak lagünde deniz girdisinin bir işareti olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5). Kıyı alanlarda sülfür minerallerindeki artışın nedeni bir deniz transgresyonunun/deniz suyu girişinin varlığına işarettir (Berner ve Raiswell, 1984; Ku vd., 2001; Bernart vd., 2011). Her kurak dönemin sonunda oluşan demir sülfür minerallerinden biri olan greigit (Fe_3S_4) mineralinin varlığı, bu kurak dönemler boyunca nehirlerden lagüne gelen tatlı su girişinin azaldığını bu nedenle de sülfür içeriği daha fazla olan Marmara Deniz sularının yoğunlaştığını göstermektedir. Bu durum, ayrıca, kurak iklim koşullarında lagünde düşük tatlı su girişi nedeniyle biriken kaba taneli manyetik minerallerin varlığı ile de desteklenmektedir. Bu dönemlerde Marmara Denizi'nde bir transgresyonun oluştuğu ve buna bağlı olarak greigit minerallerinin meydana gelebileceği de bir diğer yaklaşımdır.

Manyetik mineraller havza alanlardan ayrılarak göl basenine taşınır ve depolanırlar. Bu nedenle, göl sedimanlarındaki manyetik mineral değişimleri havza alanındaki şartlarla doğrudan ilişkilidir (Verosub ve Roberts, 1995). Göl sedimanlarındaki manyetik minerallerin yoğunluğu, kökeni ve mineralojisi iklim değişimleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki Küçükçekmece Lagünü'nde de bu çalışma ile desteklenmiş ve lagünde geçmiş 3900 yıl boyunca baskın olan iklim koşulları manyetik mineral değişimleri temelinde ilk defa tartışılmıştır. Küçükçekmece Lagünü'ndeki manyetik minerallerin kökeni gölün akaçlama havzasında bulunan jeolojik birimlerle doğrudan ilişkilidir. Yağışın yüksek olduğu yüksek enerjili dönemlerde havza alanda bulunan paramanyetik (siderit) ve ferromanyetik (manyetit) mineraller içeren kayalar yağış etkisi ile doğrudan göl sedimanlarında birikirler. Bu sırada ana kaya içerisindeki ince taneli manyetik mineraller kimyasal bir değişime uğramadan korunduğu için lagünde ince taneli manyetik mineraller yoğunlaşmıştır. Kurak dönemlerde ise düşük akarsu girişi nedeniyle, havza kayalarda kurak iklim koşullarında ince taneli manyetik mineraller ayrıştığı için lagünde kaba taneli manyetik mineraller yoğunlaşmıştır. Lagünde son 3900 yıl süresince, 90 ile 460 yıl arasında değişen kurak iklim koşulları sonrasında greigit mineralinin yoğunlaşması, akarsu girişinin azalmasıyla birlikte lagünde deniz suyunun yoğunlaşmış olduğunu göstermektedir. Göl sedimanlarında, yüksek manyetik duyarlılık değerleri, çoğunlukla, yağışlı dönemler boyunca detritik kaynaklı birincil manyetik minerallerin (ferrimanyetikler) yoğunlaşması nedeniyledir. Ancak bu durum bazı koşullarda değişkenlik gösterebilir. Bu çalışma ile de ortaya koyulduğu gibi, yüksek manyetik duyarlılık sadece detritik kaynaklı olmayıp göl kimyasındaki değişimlerle de ilişkilidir. Küçükçekmece Lagünü'nde, yüksek manyetik duyarlılık değerlerinin kurak dönemlerde oluşmuş, otojenik kökenli ikincil manyetik minerallerden olan greigit mineralinden kaynaklanması bunun çok güzel bir örneğidir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Küçükçekmece Lagünü'nden alınan üç adet sediment karotunun (KCL12P1- KCL12P2- KCL12P3) yüksek çözünürlükte manyetik mineral analizleri yapılarak lagünün çevre manyetizması tartışılmıştır. Karotların karşılaştırılması sonucunda, karotlar arasında manyetik mineral yoğunluğu ve manyetik tane boyu değişimlerinin uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuç, lagün sedimanların yerel etkilerden iklim gibi bölgesel etkilerin kontrolünde biriktiğini desteklemektedir. Manyetik duyarlılık, ARM, S-oranı, HIRM manyetik koersivite ve mineraloji değişimini; $MDF(ARM)$, K_{ARM}/K_{LF} manyetik mineral tane boyutunu ve $SIRM/K_{LF}$ ise greigit mineralinin varlığını gösteren parametreler olarak kullanılmıştır. Manyetik mineral analizleri, Küçükçekmece Lagünü'nde üç farklı birimin (Birim A, B ve C) çökeldiği göstermiştir. Birim A; yağışlı dönemlerde havza alandan taşınan ince taneli ve düşük koersiviteli ferromanyetikler

(manyetit) ile sideritçe zengin paramanyetik minerallerden oluşmaktadır. Birim B, manyetik duyarlılığın en yüksek ölçüldüğü, tek domenli, ince tane boyunda olan greigitçe zengin birimdir. Birim C ise kurak iklim koşulları ile ilişkili hematit gibi yüksek koersiviteli ve kaba taneli manyetik minerallerden oluşmaktadır. Tüm birimler, yaş modeli ile birlikte değerlendirildiğinde, birim A GÖ 3750-3700, 3600-3350, 3240-1800, 1240-günümüz arasında görece yağışlı; birim B ve C ise GÖ 3883-3750, 3700-3600, 3350-3240, 1800-1240 yılları arasında kurak iklim koşullarının hakim olduğu dönemlerde oluşmuştur. Lagünde her kurak dönemin sonuna doğru GÖ 3780-3750, 3620-3600, 3300-3240 ve 1300-1240 yılları arasında, demir sülfür grubu manyetik minerallerden olan greigit mineralinin yoğunlaştığı birim B oluşmuştur. Kıyı ortamlarında meydana gelen sülfür yoğunluğu deniz suyu girişinin varlığına işaretler. Sonuçlar, kurak dönemler boyunca, lagünde nehir girdisinin azaldığı bunun yerine sülfür içeriği daha fazla olan Marmara Denizi sularının lagünde yoğunlaştığı ortam koşullarını desteklemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 22799, 45018, 41415, 30199, 23013 numaralı projelerle desteklenmiştir. Manyetik analizler süresince laboratuvar desteği için Norbert Nowaczyk'e; çalışma süresince gösterdikleri değerli katkıları için Namık Çağatay, Sena Akçer Ön ve Bora Ön'e; karot örnekleme sırasındaki desteklerinden dolayı Dursun Acar, Nurcan Kaya, Melda Küçükdemirci ve Umut Barış Ülgen'e teşekkür ederim. Makalenin değerlendirme sürecindeki değerli katkıları için editör ve hakemlere teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Kaynaklar

- Akçer Ön, S. (2011). *Küçükçekmece Lagünü, Yeniçağa, Uludağ Buzul Ve Bafa Gölleri'nin (Batı Türkiye) Geç Holosen'deki İklim Kayıtları: Avrupa Ve Orta Doğu İklim Kayıtları İle Karşılaştırılması*. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Akçer Ön, S., Çağatay, N. ve Sakıncı, M. (2011). "Küçükçekmece Lagünü'nde (İstanbul) "Küçük Buzul Çağı" ve "Orta Çağ Ilık Dönemi" çökel kayıtları", *İTÜ Dergisi/D Mühendislik*, 10: 4, 131-140.
- Altınok, Y., Alpar, B.Ş., Özer, N. ve Aykurt, H. (2011). Revision of the Tsunami Catalogue affecting Turkish coasts and surrounding regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 273-291. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-11-273-2011>
- Altun, Ö., Saçan, M.T. ve Erdem, A.K. (2009). "Water quality and heavy metal monitoring in water and sediment samples of the Küçükçekmece Lagoon, Turkey (2002–2003)", *Environ Monit Assess*, 151, 345–362. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0276-8>
- Arıç, C. (1955). *Haliç ve Küçükçekmece Gölü bölgesinin Jeolojisi: İTÜ Maden Fak. Doktora Tezi*, 48 s.
- Arsebük, G. (1998). Pleistosen Arkeolojisi İle İlgili Son Çalışmalara 1997 Gözüyle Özet Bir Bakış. *TÜBA-AR Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi*, (1), 9-25
- Aydınün, Ş. ve Öviz, H. (2008). "İstanbul-Küçükçekmece Kıyıları Arkeolojik Yüzey Araştırması, 12 Sualtı Altı Ve Bilim Teknolojileri Toplantısı", SBT, Bildiri kitapçığı, 38.
- Aydınün, Ş., Güldoğan, E., Heyd, V., Öviz, H. ve Planken, Ü.Y. (2011). "Küçükçekmece Göl Havzası İlk Dönem Kazı Çalışmaları (2009 Yılı)", 32.Kazı Sonuçları Toplantısı, 32. Kazı, Araştırma ve Arkeometri Sempozyumu, 1, 46-57.
- Berner, R. ve Raiswell, R. (1984). C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, 12 (6): 365–368. doi: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<365:CMFDFD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<365:CMFDFD>2.0.CO;2)
- Bertrand, S., Doner, L., Akçer Ön, S., Sancar, U., Schudack, U., Mischke, S., Çağatay, M. N. ve Leroy, S. (2011). Sedimentary record of coseismic subsidence in Hersek coastal lagoon (Izmit Bay, Turkey) and the late Holocene activity of the North Anatolian Fault. *Geochem. Geophys. Geosyst.*,12/6. doi: <https://doi.org/10.1029/2011gc003511>
- Blakemore, R. P. (1975). Magnetotactic bacteria. *Science*, 190, 377-9.
- Bloemendal, J., King, J.W., Hall, F.R. ve Doh, S.H. (1992). Rock magnetism of late Neogene and Pleistocene deep-sea sediments: Relationship to sediment source, diagenetic processes, and sediment lithology. *J. Geophys. Res.*, 97, 4361–4375. doi: <https://doi.org/10.1029/91JB03068>
- Dearing, J. (1999). Magnetic susceptibility. In, Environmental magnetism: a practical guide, In: Walden, J.,

- Oldfield, F., Smith, J., (Eds). Technical guide, No. 6. *Quaternary Research Association*, London, pp. 35-62.
- Dekkers, M.J. (1997). Environmental magnetism: an introduction. *Geologie an Mijnbouw*, 76, 163-182. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1003122305503>
- Deng, C., Zhu, R., Verosub, K.L., Singer, M.J. ve Vidic, N.J. (2004). Mineral magnetic properties of loess/paleosol couplets of the central loess plateau of China over the last 1.2 Myr. *J. Geophys. Res.*, 109/B1, B01103. doi: <https://doi.org/10.1029/2003JB002532>
- Dunlop D.J. ve Xu, S. (1993). A comparison of methods of granulometry and domain structure determination. *EOS*, 74, Fall meeting supplement, 203.
- Dunlop, D.J. (1995). Magnetism in rocks. *Journal of Geophysical Research*, 100, 2161-2174 doi: <https://doi.org/10.1029/94JB02624>
- Ellwood, B.B., Balsam, W., Burkart, B., Long, G.J. ve M.L. Buhl. (1986). Anomalous magnetic properties in rocks containing the mineral siderite: paleomagnetic implications. *J. Geophys. Res.*, 91, 12779-12790. doi: <https://doi.org/10.1029/JB091iB12p12779>
- Evens, M.E. ve Heller, F. (2003). *Environmental Magnetism Principles and Applications of Enviromagnetics*. Amsterdam: Academic Press. ISBN-10 : 0124112439
- Farrand W. R. ve McMahon J.P. (1997). History of the Sedimentary Infilling of Yarimburgaz Cave, Turkey. *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 12, No. 6, 537-565. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6548\(199709\)12:6<537::AID-GEA3>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6548(199709)12:6<537::AID-GEA3>3.0.CO;2-%23)
- Geiss, C.E. ve Banerjee, S.K. (1997). A multi parameter rock magnetic record of the last glacial-interglacial paleoclimate from south-central Illinois. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 152, 203-216. doi: [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(97\)00133-7](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00133-7)
- Gönenç, İ. E., Baykal, B.B., İnce, O. ve Aşıkoğlu, O. (1997). Ecosystem Modelling of Coastal Lagoons for Sustainable Management - A Case Study: Küçükçekmece Lagoon, Turkey, *International Journal of Salt Lake Research*, 6(2), 91-105. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02441887>
- Gürevin, C. (2010). *Küçükçekmece Gölü sedimanından besin tuzu salınımının doğal ve laboratuvar ortamında karşılaştırılması olarak incelenmesi*. Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Haltia-Hovi, E., Nowaczyk, N. ve Saarinen, T. (2010). Holocene palaeomagnetic secular variation recorded in multiple lake sediments cores from eastern Finland. *Geophys. J. Int.*, 180, 609-622. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04456.x>
- Higgitt, S.R., Oldfield, F. ve Appleby, P.G. (1991). The record of land use change soil erosion in the Holocene sediments of the Petit Lac d'Annecy, Eastern France. *The Holocene*, 1, 14-28. doi: <https://doi.org/10.1177/095968369100100104>
- Hunt, C.P., Moskowitz, B.M. ve Banerjee, S.K. (1995). *Magnetic properties of rocks and minerals*. Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants, 3, 189-204.
- Inoue, S., Hayashida, A., Kato, M., Fukusawa, H. ve Yasuda, Y. (2004). Environmental magnetism of brackish-water sediments from Lake Tougo-ike on the Japan Sea coast. *Quat. Int.*, 123-125, 35-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.02.006>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1130/G22407.1>
- King, J., Banerjee, S.K., Marvin, J. ve Özdemir, Ö. (1982). A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 404-419. doi: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(82\)90142-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(82)90142-X)
- Krupp R.E. (1991). *Smythite, greigite, and mackinawite: new observations on natural low-temperature iron sulfides*. M. Pagel, J.L. Leroy (Eds.), Source, transport and deposition of metals, Balkema, Rotterdam. 193-195.
- Ku, H., Chen, Y., Hsieh, C., Liu, T. ve Liu, J.C. (2001). Paleoenvironment study at Yihju, southwestern Taiwan: A case on geochemical analysis of sulfur and carbon. *West. Pac. Earth Sci.*, 1(2), 175-186.
- Kükrer S., Çakır, Ç., Kaya H. ve Erginal, A. E. (2019). Historical record of metals in Lake Küçükçekmece and Lake Terkos (Istanbul, Turkey) based on anthropogenic impacts and ecological risk assessment. *Environmental Forensics*, 20:4, 385-401. doi: <https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1657985>
- Lowrie W ve Heller F. (1982). Magnetic Properties of Marine Limestones. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20 (2):171-192 doi: <https://doi.org/10.1029/RG020i002p00171>.
- Maher, B.A. ve Thompson, R. (1999). *Quaternary Climates, Environments and Magnetism*. 390 pp,

- Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.
- Makaroğlu Ö., Çağatay M. N., Orbay N. ve Pesonen L. J. (2016). The radiocarbon reservoir age of Lake Van, eastern Turkey. *Quaternary International*, cilt.408, ss.113-122, doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.008>.
- Makaroğlu, Ö. (2017). *Küçükçekmece Lagünü'nün Çevre Manyetizması ve Paleoklimsel Yorumu*. İstanbul Küçükçekmece Göl Havzası Kazıları (Bathonea). Editor. Aydıngün, Ş. Arkeoloji ve Sanat Yayınları. ISBN: 978-605-396-453-7
- Makaroğlu, Ö., Çağatay M. N., Nowaczyk N. R., Pesonen L. J. ve Orbay N. (2018). Discrimination of Holocene tephra units in Lake Van using mineral magnetic analysis. *Quaternary International*, 486, 44-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.012>
- Makaroğlu Ö., Nowaczyk N. R., Eriş K. K. ve Çağatay M. N. (2020). High-resolution palaeomagnetic record from Sea of Marmara sediments for the last 70 ka. *Geophysical Journal International*, 222/3, 2024-2039. doi: <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa281>
- Makaroğlu Ö. (2021). A Holocene paleomagnetic record from Kucukcekmece Lagoon, NW Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*. 30/5, 639-652. doi: <https://doi.org/10.3906/yer-2102-13>
- Makaroğlu Ö., Küçükdemirci M., Karloğlu Kılıç N., Acar D., Gürel A., Yılmaz Dağdeviren R., et al. (2022). Holocene sedimentary history of South Danamandıra Lake: a peatland in west of İstanbul, Çatalca Peninsula, NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, cilt.31, sa.1, ss.410-423, 202. doi: <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1809>
- Meriç, E., Sakıncı, M., Özdoğan, M. ve Açıktur, F. (1988). *Yarımburgaz Mağarası Kazılarında Gözlenen Mollusk Kavkaları Hakkında*. Arkeoloji ve Sanat, 40/41, 28-32.
- Nolan, S.R., Bloemendal, J., Boyle, J.F., Jones, R.T., Oldfield F. ve Whitney, M. (1999). Mineral magnetic and geochemical records of late Glacial climatic change from two northwest European carbonate lakes. *Journal of Paleolimnology*, 22, 97-107. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1008097518004>
- Nowaczyk, N., Melles, M., Minyuk, M. (2007). A revised age model for core PG1351 from Lake El'gygytgyn, Chukotka, based on magnetic susceptibility variations tuned to northern hemisphere insolation variations. *J. Paleo. Limnol.*, 37, 65-76. doi: <https://doi.org/10.1007/s10933-006-9023-8>
- Orland, I., Bar-Matthewes, M., Kita, N.,T, Ayalon, A., Matthews, A., Valley, J.W. (2009). Climate deterioration in the Eastern Mediterranean as revealed by ion microprobe analysis of a speleothem that grew from 2.2 to 0.9 ka in Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research*, 71, 27-3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.08.005>
- Ortega Guerrero, B., Thompson, R., Urrutia Fucugauchi, J. (2000). Magnetic properties of lake sediments from Lake Chalco, central Mexico, and their palaeoenvironmental implications. *Journal of Quaternary Science*, 15, 127-140. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1417\(200002\)15:2<127::AID-JQS474>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1417(200002)15:2<127::AID-JQS474>3.0.CO;2-Z)
- Pan, Y., Zhu, R., Banerjee, S., Gill, J ve Williams, Q. (2000). Rock magnetic properties related to thermal treatment of siderite: Behavior and interpretation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. B1, Pages 783-794. doi: <https://doi.org/10.1029/1999JB900358>
- Peck, J.A. ve King, J.W. (1996). Magnetofossils in the sediment of Lake Baikal, Siberia. *Earth and Planetary Science Letters*, 140, 159-171. doi: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(96\)00027-1](https://doi.org/10.1016/0012-821X(96)00027-1)
- Pehlivan, R. ve Yılmaz, O. (2004). Geochemistry and mineralogy of bottom sediments in the Küçükçekmece Lake, İstanbul, Turkey. *Geochemistry International*, 42, 1099-1106.
- Reynolds, R.L. ve King, J.W. (1995). Magnetic records of climate change. *Reviews of Geophysics*, 33/S1, 101-110. doi: <https://doi.org/10.1029/95RG00354>
- Roberts, A.P. ve Weaver, R. (2005). Multiple mechanisms of remagnetization involving sedimentary greigite (Fe₃S). *Earth and Planetary Science Letters*, 231, 3-4, 263-277. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.11.024>
- Roberts AP (2015). Magnetic mineral diagenesis. *Earth Science Review* (151): 1-47. doi: [10.1016/j.earscirev.2015.09.010](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.09.010)
- Roberts, A.P., Chang, L., Rowan C.J., Horng, V-S. ve Florindo, F. (2011). Magnetic properties of sedimentary greigite (Fe₃S₄): an update. *Reviews of Geophysics*, Vol. 49, RG1002. doi: <https://doi.org/10.1029/2010RG000336>
- Rosenbaum, J.G., Reynolds, R.L., Adam, D.P., Drexler, J., Sarna-Wojcicki, A.M., Whitney, G.C. (1996). A middle Pleistocene climate record from Buck Lake, Cascade range, southern Oregon-Evidence from

- sediment magnetism, trace-element geochemistry and pollen. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 108, 1328–1341. doi: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1996\)108<1328:ROMPCC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1996)108<1328:ROMPCC>2.3.CO;2)
- Sagnotti L., Roberts A.P., Weaver, R., Verosub, K., Florindo F., Pike, C.R., Clayton, T. ve Wilson, G.S. (2005). Apparent magnetic polarity reversals due to remagnetization resulting from late diagenetic growth of greigite from siderite. *Geophysical Journal International*, 60, 89–100. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02485.x>
- Sayar, A.S. (1954). Haliç_Küçükçekmece Gölü arasındaki bölgenin Jeolojik Haritası.
- Snowball, I. F. ve Thompson R. (1988). The occurrence of greigite in sediments from Loch Lomond, *J. Quat. Sci.*, 3, 121–125. doi: <https://doi.org/10.1002/jqs.3390030203>
- Snowball, I.F. (1993). Geochemical control of magnetite dissolution in sub-arctic lake sediments and the implications for environmental magnetism. *Journal of Quaternary Science*, 8, 339-346. doi: <https://doi.org/10.1002/jqs.3390080405>
- Snowball, I.F., Sandgren, P. ve Peterson, G. (1999). The mineral magnetic properties of an annually laminated Holocene lake sediment sequence in northern Sweden. *The Holocene*, 9, 353–362. doi: <https://doi.org/10.1191/095968399670520633>
- Thompson, R., Batterbee, R.W., O'sullivan, P.E., Oldfield, F. (1975). Magnetic susceptibility of lake sediments. *Limnology and Oceanography*, 20, 687-698. doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1975.20.5.0687>
- Thompson, R., Bloemendal, J., Dearing, J.A., Oldfield, F., Rummery, T.A., Stober, J.C., Turner, G.M. (1980). Environmental Application of Magnetic Minerals. *Science*, 207, 481-485. doi: <https://doi.org/10.1126/science.207.4430.481>
- Thompson, R. ve Oldfield, F. (1986). *Environmental Magnetism*. London: Allen & Unwin.
- Verosub, K.L. ve Roberts, A.P. (1995). Environmental Magnetism: Past, present and future. *Journal of Geophysical Research*, 100, 2175-2192. doi: <https://doi.org/10.1029/94JB02713>
- Walden, J., Oldfield, F., Smith, J. (1999). *Environmental Magnetism: A Practical Guide, Technical Guide No. 6*, London, Quaternary Research Association, 0-907780-42-3. doi: <https://doi.org/10.1016/016366000561060>
- Williams, D.F., Peck, J.A., Karabanov, E.B., Prokopenko, A.A., Kravchinsky, V.A. (1997). Lake Baikal Record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million yrs. *Science*, 278, 1114– 1117. doi: <https://doi.org/10.1126/science.278.5340.1114>