



**Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde
Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular**

New Findings of Existence Anthropocene in Recent Sediments at Marmara and Black Sea Coast

Akın Alak*, Ökmen Sümer

Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca-İzmir

Geliş/Received : 16.05.2016 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 10.10.2016 • Kabul/Accepted : 14.10.2016 • Baskı/Printed : 01.04.2017

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Sanayileşme, fosil yakıtların kullanımı, kontrolsüz tarım ve buna benzer insan faaliyetleri her geçen gün artmakta, bu faaliyetler sonucunda doğada bir takım değişiklikler ve antropojenik kirlilikler meydana gelmektedir. Bu çalışma kapsamında, Marmara'da İzmit Körfezi (IZC-01), Karadeniz'de Sürmene (SC-01) ve Hopa (HC-01) kıyılarından alınan karot örnekleri, antropojenik kirliliğin varlığının araştırılması adına, litolojik, sedimentolojik, paleontolojik ve jeokimyasal açıdan incelenmiş, her bir karottan 15 numune olmak üzere toplamda 45 örneğin As, Ba, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti ve Zn gibi ağır metal konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Karot örneklerindeki As, Ba, Pb, Cr, Ni, ve Zn elementlerinin analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan PLI (Kirlilik Yükü İndeksi; Pollution Load Index) kirlilik değerleri, İzmit Körfezi için 3.255, Sürmene ve Hopa'da sırasıyla 2.195 ve 1.706 olarak ölçülmüştür. Hesaplanan PLI değerleri sonuçları, İzmit Körfezi'nin kabul edilir kirlilik seviyesinin üzerinde, Sürmene ve Hopa'nın ise kirli olmalarına rağmen nispeten daha az kirli olduğunu göstermektedir. Bunun yanında EF (Zenginleşme Faktörü; Enrichment Factor) değerleri, İzmit Körfezi'nde As, Ni ve Cr elementlerinin belirgin bir zenginleşme, Pb ve Zn elementlerinin ise orta derecede zenginleştiğine işaret eder. Sürmene ve Hopa lokasyonlarında ise As, Ba ve Cr gibi elementler yetersiz zenginleşme gösterirken, Ni, Pb ve Zn elementlerde belirgin bir zenginleşme olduğu gözlenmiştir. Marmara karotu özelinde kirliliğe bağlı gelişmiş jips kristalizasyonu da dikkat çekicidir. Karotlardaki paleontolojik bulguların bolluğu ve çeşitliliği de, kirlilik oranlarıyla uyumlu şekilde azalır artar. Her 3 karotta da derine gidildikçe Pb, Zn, Cr ve As gibi elementlerin konsantrasyonlarında bir azalma olduğu görülmüş ve bu azalmaların anomali verdiği seviyelerden alınan kavrakların radyokarbon yaşları sırasıyla Sürmene'de 420±55 (GÖ), Hopa'da 500±50 (GÖ) olarak elde edilmiştir. Ayrıca bölgede yapılan diğer sedimentasyon hızına dayanan çalışmaların sonuçları ile bu yaşlar uyumluluk gösterir. Belirlenen bu yaş aralıkları Antroposen'in başlangıcı ile ilgili literatürdeki görüşler ile karşılaştırılmış ve değişimlerin bariz bir şekilde gözlemlendiği seviyeler, olası Antroposen sınırı olarak yorumlanmıştır. **Anahtar Kelimeler:** Ağır metal analizi, Antropojenik kirlilik, Antroposen, Karadeniz, Marmara.

Abstract: *With each passing day, industrialization, the use of fossil fuels, uncontrolled agriculture and similar human activities are increasing. As a results of these activities, the nature is impacted by a number of changes and anthropogenic pollution. In this study, drilling core samples from the Izmit Bay (IZC-01) in the Sea of Marmara, Sürmene (SC-01) and Hopa (HC-01) coasts in the Black Sea have been investigated with lithological, sedimentological, paleontological and geochemical perspectives. The concentrations of heavy metals as Ba, As, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti and Zn were considered from total of 45 samples which are covering 15 samples from each three cores. PLI (Pollution load index) values are calculated by using the results of As, Ba, Pb, Cr, Ni, and Zn elements, stand out 3.255 for the Gulf of Izmit, 2,195 and 1,706 for Sürmene and Hopa in respectively. PLI values indicate accepted level of pollution above for the Gulf of Izmit and despite being dirty Sürmene and Hopa relatively less polluted. In addition, EF values indicate a significant enrichment of the As, Ni and Cr and moderate enrichment of Pb and Zn elements at Izmit Gulf. In locations Hopa and Sürmene; As, Ba and Cr elements showing insufficient enrichment*

and Ni, Pb and Zn was observed a significant enrichment. Besides, pollution related gypsum crystallization is also remarkable for Marmara core. The abundance and diversity of paleontological records in the cores are also compatible in line with the decreasing and increasing rate of pollution. Towards the deepest part of the all 3 cores, a reduction in the concentrations of elements such as Pb, Zn, Cr and As is seen. Radiocarbon dates obtained from the shells of these reduction levels are measured in Sürmene 420 ± 55 (BP) and Hopa 500 ± 50 (BP). In addition, results of the other previous studies based on sedimentation rate and these ages are compatible. These specified age ranges were compared with opinions in the literature which are related to the beginning of Anthropocene and because of the overlapping, these clearly observed levels have been interpreted as the limit of the possible Anthropocene time.

Key Words: Anthropocene, anthropogenic pollution, Black Sea, Heavy metal analysis, Sea of Marmara

GİRİŞ

İnsan faaliyetleri her geçen gün giderek artmakta ve bu faaliyetler, doğa koşullarını olumlu ya da olumsuzdaha çok da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkiler, insanı doğada yaşayan sıradan bir türün ötesine taşıyarak, küresel çapta, doğanın kendi işleyişi dışında belirleyici gücü olan, katalizör görevinde biyolojik, kimyasal ve jeolojik bir aktör haline getirmiştir (Crutzen ve Stoermer, 2000; Andersson vd. 2005; Crossland vd. 2005; Crutzen, 2006). İnsanın doğal ortam üzerindeki etkisi, makineleşme ve bunun sonucu olan sanayileşme ile ivmelenmiş, nüfus artışı ile birlikte bu etki yeryüzünün büyük bir bölümüne yayılmıştır. Literatürde, insanın doğa üzerine etkisinin ciddi bir şekilde kanıtlarıyla ilk araştırıldığı çalışma Marsh (1864) ile başlamaktadır. Diğer yandan insanın doğa üzerinde aslında kirlilik bazında yarattığı bu etkileri, terminolojik olarak ilk kez 1922 yılında *Alexei Petrovich Pavlov* Antropojenik kirlenme/etkiler olarak tanımlamıştır (Bampton, 1999). İnsanoğlunun ekosistemlere etkisiyle oluşmuş/oluşan bu kirlenmelerin sonucunda ise antropojenik biyomlar ortaya çıkmaktadır (Ellis ve Ramankutty, 2008). Bu antropojenik etkilerin, jeolojik kayaçlar veya olaylarda gözlenebilir ve ölçülebilir olmasından yola çıkarak, Crutzen ve Stoermer (2000) içinde bulunduğumuz jeolojik seri olan Holosen'in zamansal olarak ayrılması ve Antroposen şeklinde yeni bir jeolojik seriye girilmesi gerektiğini savunmuştur. Son yıllarda özellikle bu alanda yapılan bilimsel çalışmalarla,

Antroposen'in varlığı ile ilgili bir fikir birliğine gidilse de, başlangıcı ile ilgili farklı görüşler olduğu görülmektedir. Genel yaklaşımda 3 ana görüş bulunur; (1) Antroposen, kontrolsüz tarımın başlaması ve verimsiz arazi kullanımının artması gibi erken insan etkileri sonucunda, karalarda ve denizlerdeki biyolojik habitatın değişimi ve buna bağlı CO₂ seviyesinin artmasının tetiklendiği dönemlerden itibaren, yaklaşık 8000-3000 yıl önce başlamış olmalıdır (Ruddiman, 2003; Certini ve Scalenghe, 2011; Ellis, 2011; Wilkinson vd. 2014). (2) Fosil yakıtların kullanılmasının yaygınlaşması ve özellikle 18.yüzyıl sonlarında gerçekleşen sanayi devrimi ile artarak tetiklenmiş etkilerin, gözlenir bir şekilde doğa üzerindeki etkisinin ortaya çıkmasıyla birlikte son 200 – 500 yıl içinde başlamış olmalıdır (Crutzen ve Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Davis, 2011; Fischer-Kowalski vd. 2014). (3) Özellikle 2. Dünya savaşı sonrasında, insan popülasyonunun ve global ekonomik gelişmelerin devasa boyutlardaki artışı ile, buna ek olarak antropojenik sinyallerin ilk atom bombası ile radyoaktif bir kirlenmeye sebebiyet verdiği ve daha ölçülebilir hale geldiğinden yola çıkarak, Antroposen – Holosen sınırı 20. yy ortalarına karşılık gelmelidir (Steffen vd. 2007; Wolfe vd. 2014; Zalasiewicz vd. 2015; Waters vd. 2016). Özellikle bu jeolojik zaman sınırının araştırılması dışında, Dünya ve Türkiye özelinde antropojenik etkilerin incelendiği ve ölçüldüğü çalışmalar da oldukça yaygındır (örng. Balkıs vd. 2012; Kaska vd., 2010; Şener vd., 2013; Gürbüz ve Gürer,

2008; Yatkın ve Bayram, 2008; Aslan-Yılmaz vd. 2004; Güler vd. 2012; Yang vd., 2015; Eichler vd. 2014; Moore vd. 2011; Bhuiyan vd. 2010; Essien vd. 2009; Ray vd. 2006; Bermejo vd. 2003; Owen vd. 2000; Palanques ve Diaz , 1994).

Ağır metaller toksik etkileri ve birikim özellikleriyle, çevre için önemli ölçüde bir kirlilik oluşturduğu bilindiği için (Omgbu ve Kokogbo, 1993), Türkiye genelinde, özellikle antropojenik etkilerle ilgili çalışmalar daha çok ağır metal kirliliğinin ölçülmesi ile araştırılmaktadır. Benzer yöntemlerle, Ergin vd. (1991) Haliç ve İzmit Körfezine ait 57 adet yüzey sediman örneğinde; Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Zn, Pb ve Cu gibi ağır metallerin konsantrasyonunu araştırmış, Haliçteki konsantrasyonun İzmit Körfezine nazaran daha yoğun olduğunu belirtmiş. Yaşar vd. (2001), İzmit Körfezi'nden aldıkları 24 örnekten yaptıkları analizlerde sedimanlarının toplam organik karbon ve sülfür ile gelişen Ag, As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mo, P, Pb, Sb, Ti, V, ve Zn gibi ağır metal yoğunluklarında artış olduğunu belirtmekte ve bu artışın bölgedeki sanayileşme ile ilişkili olduğunu savunmaktadır. Aynı şekilde Aksu vd. (1998) ise İzmir Körfezi yüzey sedimanlarında 84 örnekten 42 elementin yoğunluklarını değerlendirmiş, toplam organik karbon ve sülfür ile bağlantılı olarak gelişen Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, P, Pb, Sb, Sn, V, ve Zn gibi ağır metallerin belirgin bir zenginleşme gösterdiğini belirtmiş, bu kirlenmenin 1976'dan 1990 yıllarına kadar körfezde yapılan kirli sedimanlarının tarama ve döküm işlemleri sonucunda oluştuğu yorumunu yapmıştır. Balkıs vd. (2012) İstanbul Boğazı'nın farklı lokasyonlarından aldıkları 5 örneğin Pb, Cd ve Hg konsantrasyonlarını değerlendirmiş ve Kirlilik Faktörü açısından; Hg için herhangi bir antropojenik kirlenme olmadığını, Pb ve Cd açısından ise orta seviye bir kirlenmenin var olduğunu belirtmişlerdir. Evans vd. (1989) ise diğer çalışmalardan farklı biçimde, kuzeydoğu Marmara'daki iki karotta, ağır metal kirliliklerinin derine doğru değişimlerini incelemiş ve

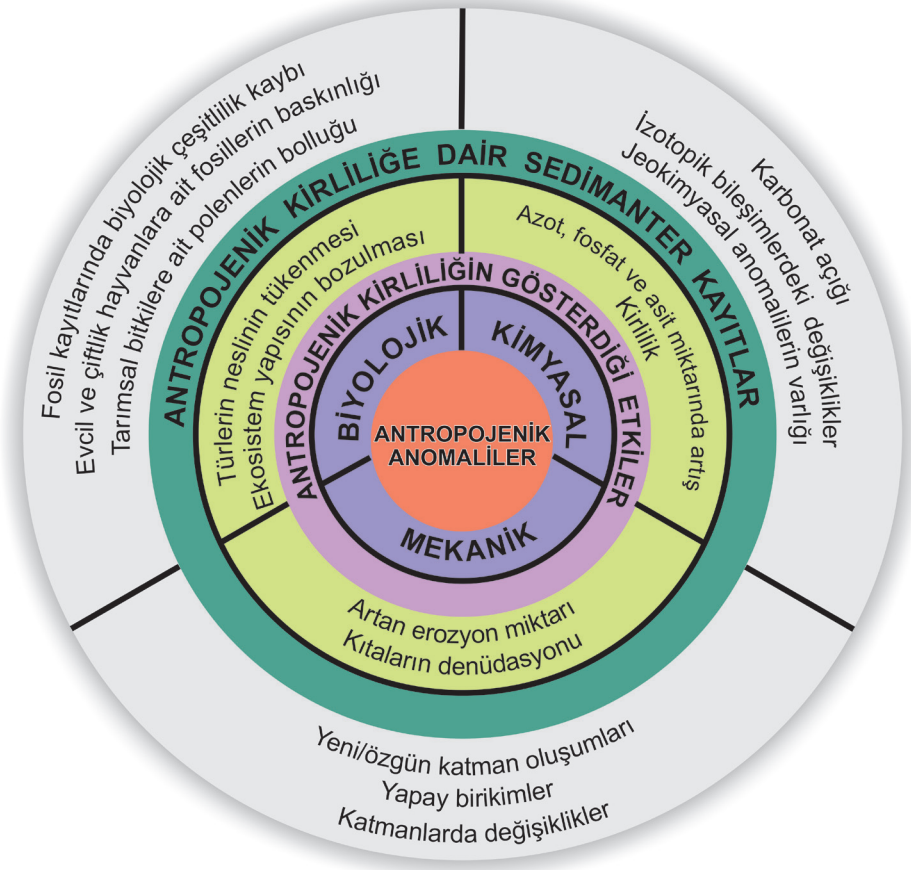
antropojenik kirliliğin son 1000 yıl içinde arttığını belirtmiştir. Fakat araştırmacılar doğal olarak, Crutzen ve Stoermer (2000) tarafından Antroposen kavramının ortaya atıldığı dönemden önceki bir dönemde yaptıkları çalışmalarında, bu zaman diliminin ayrımı ile ilgili tartışmalara değinememiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, Türkiye özelinde antropojenik kirlenmenin varlığı yoğun bir şekilde araştırılsa ve hatta varlığı desteklenmiş olsa da, bu kirlenmenin başlangıcı ve/veya varsa jeolojik zaman içindeki değişimleri, kontrollü bir biçimde yöntemsel olarak katmanlar içinde jeolojik olarak eski dönemlere gidilerek Marmara'da Evans vd. (1989), Ege Denizi'nde ise Atalar vd. (2013) dışında hiç araştırılmamıştır. Fakat bu çalışmalarda da, kirlenmenin başlangıcına ait bir kronolojik yaklaşım mutlak yaş verileriyle tartışılmamıştır. Bu çalışma kapsamında, İzmit Körfezi (Marmara Denizi), Trabzon ili Sürmene ilçesi ve Artvin ili Hopa ilçesi kıyılarından (Karadeniz) alınan karot örneklerindeki ağır metal bulgularının, sedimanlardaki derinliğe bağlı değişimi incelenerek, bu değişimlerin günümüzden ne kadar süre önce başladığı ve zamana bağlı değişim miktarları, Antroposen'in başlangıcının araştırılmasına yönelik ilk kez incelenmiştir. Elde edilen ağır metal konsantrasyonlarının birbirlerine göre benzerlikleri ve farklılıkları, örneklerin alındığı lokasyonlara göre irdelenecek, daha önce dünyadaki farklı bölgelerde yapılmış çalışmalardan elde edilen değerler ile karşılaştırılacaktır. Karotlardaki metal konsantrasyonlarının değişim gösterdiği derinliklerden alınan radyometrik yaş verileri (¹⁴C) ile, antropojenik etkilerin başlangıcına dair kronolojik bir yaklaşım sağlanacaktır. Ayrıca, her bir lokasyon için, literatürdeki veriler kullanılarak olası sedimantasyon hızlarından yola çıkılarak yaklaşık yaş değerleri hesaplanmış ve saptanan ağır metal değişimlerinin hangi tarih aralıklarında gerçekleştiği, radyometrik yaş verileri de harmanlanarak yorumlanmıştır. Örneklerin analizinden elde edilen bulgular

ile, hesaplanan ve global ölçekte kullanılan antropojenik kirlenme ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılan Kirlilik yük indeksi (*PLI*; *Pollution Load Index*) ve Zenginleşme Faktörü (*EF*; *Enrichment Factor*) değerleri hesaplanarak, lokasyonlardaki kirlenmenin küresel ölçekte diğer bölgelere göre durumu da irdelenmiştir. Son olarak bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veriler ışığında, Antroposen'in başlangıcına yönelik jeolojik bir ilişkilendirilmenin mümkün olup olmadığı tartışılacaktır.

MATERYAL VE METOD

Antropojenik etkilerin araştırılması için literatürde birçok değişik yöntem kullanılmaktadır. Bu etkiler antropojenik anomaliler şeklinde tanımlanmakta ve mekanik, biyolojik, kimyasal olarak 3 ana işlev altında değerlendirilmektedir (Glauszka vd. 2014) (Şekil 1). Özellikle sedimanter kayalar içindeki antropojenik etkilerin araştırılmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri ise jeokimyasal anomalilerin varlığının araştırılmasıdır. Bu çalışma kapsamında da, benzer şekilde güncel deniz sedimanlarının içindeki jeokimyasal anomaliler değerlendirilmiştir.



Şekil 1. İnsan kaynaklı antropojenik değişikliklerin olası etkileri ve sedimanlarda gözlenen olası kayıt türleri (Glauszka vd. 2014'den yeniden düzenlenmiştir).

Figure 1. Types of human-induced anthropogenic changes and their possible effects on sedimentary record (modified from Glauszka et al., 2014).

Örneklerin Temini ve Yer Seçimi

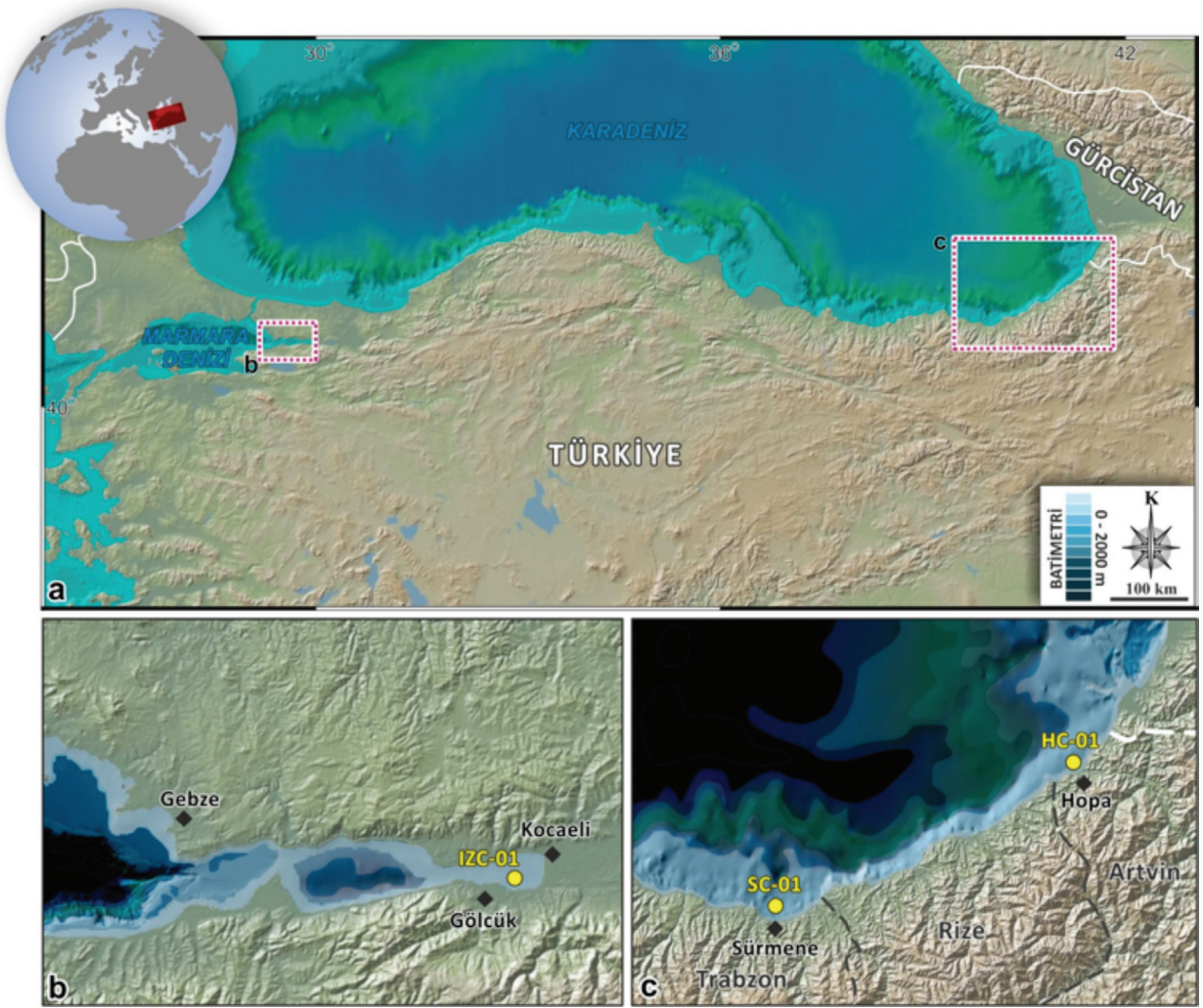
Bu çalışma kapsamında Marmara ve Karadeniz kıyılarındaki üç farklı bölgenin deniz tabanından alınan, güncel sedimanlardan oluşan ve farklı boylarda karot örnekleri kullanmıştır. Karot örnekleri, İzmit Körfezi, Trabzon ili Sürmene ilçesi ve Artvin ili Hopa ilçesi kıyılarından alınmıştır (Şekil 2). Alınan karotların boyları Marmara, Sürmene ve Hopa lokasyonları için sırası ile 2 metre, 1,5 metre ve 1 metredir. Dokuz Eylül Üniversitesi'ne ait R.V.K. Piri Reis araştırma gemisi tarafından *gravity core* yöntemi kullanılarak alınan karotlardan; İzmit Körfezinin güney kıyısına yakın olan örnek, kıyı çizgisine 110 metre uzaklıkta olup tortul su ara yüzeyi seviyesi 10 metredir (Çizelge 1). Bu bölge ve civarında yerleşim alanları, endüstriyel ve liman faaliyetleri çok aktiftir. Ayrıca uydu görüntülerinden ve topoğrafik haritalardan elde edilen bilgiler ışığında bölgede körfezi besleyen birçok akarsuyun mevcut olduğu da görülmektedir. Diğer bir karot lokasyonu ise Trabzon iline ait Sürmene ilçesi kıyılarıdır. Manahoz Çayının Karadeniz'e döküldüğü bölgeye yakın olan örnekleme alanının güncel kıyı çizgisine uzaklığı 330 metre ve tortul su ara yüzeyi derinliği ise 44 metredir. Bölge civarında ise başta Sürmene ilçesi olmak üzere

birçok yerleşim birimi bulunmaktadır. Ayrıca bölgede tarımsal ve endüstriyel faaliyetler de sürdürülmektedir. Bu çalışma için kullanılan son örnek lokasyonu ise, Artvin ilinin Hopa ilçesi kıyı açığında olup, alan Hopa Deresinin Karadeniz'e döküldüğü denizel akarsu deltası içinde yer almaktadır. Bu lokasyonun güncel kıyı çizgisine uzaklığı 440 metre, tortul su ara yüzeyi derinliği ise 40 metredir (Çizelge 1). Alınan karot örneklerinin yer seçiminde, nüfus, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğu dikkate alınmıştır. Ayrıca örneklerin alındığı lokasyonların güncel akarsuların denize döküldüğü deltaların üzerinde olması nedeniyle, bölgedeki antropojenik etkilerin taşınarak toplanması açısından önemlidir. Bahsedilen kriterlerin dışında örneklerin yer seçiminde rol alan bir diğer parametre ise bölgelerin coğrafik durumlarıdır. İzmit Körfezi'nin bir iç denizde yer alması ve Marmara Denizi'nin en dingin su altı akıntıları içinde bulunması, bölgede endüstriyel (petrokimya, demir çelik sanayi vb.) faaliyetlerin yoğunluğu, Sürmene ve Hopa ilçesine oranla çok daha fazladır. Bu bağlamda, Marmara ve Karadeniz içinde bulunan ve birbirinden gerek coğrafik gerekse antropojenik olarak farklı seviyelerde olduğu düşünülen bu lokasyonlardaki etkilerin birbirleriyle karşılaştırılarak test edilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 1. Karadeniz ve Marmara'dan alınan karotların detay bilgileri.

Table 1. Detailed description of the cores from the Black Sea and the Marmara Sea.

Lokasyon	Karot kodu	Su derinliği (m)	Kıyı çizgisine uzaklığı (m)	Karot Boyu (cm)	Enlem	Boylam
Artvin/Hopa	HC-01	21	440	100	0701594 D	4584951 K
Trabzon/Sürmene	SC-01	45	330	150	0593770 D	4531950 K
İzmit/Başiskele	IZC-01	11	110	200	0744815 D	4511572 K



Şekil 2. Marmara ve Karadeniz kıyılarından alınan karotlara ait yer bulduru haritası (Sayısal haritalar Marine Geoscience Data System (MGDS) “<http://www.marine-geo.org/>” veri tabanı üzerinden, batimetrik veriler ise Marmara için Le Suroît gemisinin 2000 yılı çalışmalarındaki verileri kullanan Demirbağ vd. 2003’den ve Karadeniz için Hall, 2002’den alınmıştır).

Figure 2. Location map of the cores taken from Marmara and Black Sea (digital elevation maps are taken from Marine Geoscience Data System “<http://www.marine-geo.org/> database, bathymetric data modified after Demirbağ et al. 2003 who was using data from the vessel Le Suroît in 2000 at Sea of Marmara and Hall, 2002 for Blacksea).

Örneklerin Analiz Aşamaları

Örnekler, Antroposen’in başlangıcına yönelik farklı görüşler bulunduğundan dolayı, karotların bulunduğu lokasyonlara ait olası sedimantasyon hızları göz önüne alınarak ve günümüzden yaklaşık

1000 yıl öncesine denk gelen seviye düşünülerek, su tortul ara yüzeyindeki sedimandan başlamak üzere Hopa ve Sürmene karotlarında önce 3 cm, İzmit karotunda ise önce 4 cm, sonrasında derine doğru eşit aralıklarla kesilerek bölümlere ayrılmıştır.

Bu sayede örnekler içerisinde, stratigrafik olarak daha yaşlı olan bölümlerden günümüze gerçekleşmiş olan antropojenik değişimlerinin saptanması amaçlanmıştır. Çalışmada kirlilik artışını araştırmak için, literatürde (örn: Palanques ve Diaz, 1994; Owen ve Sandhu, 2000; Birch vd. 2001; Loska ve Wiechula, 2003; Essien vd. 2009; Yang vd. 2016'de olduğu gibi) yaygın bir şekilde kullanılan As, Ba, Sn, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti ve Zn elementleri seçilmiştir. Yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olarak tanımlanan (Kahvecioğlu vd. 2003) bu ağır metallerin genelde insan faaliyetleri ile doğaya salındığı bilindiği için (Sağlam ve Cihangir, 1995), belirlenen ağır metallerin konsantrasyonları değerlendirilerek Antropojenik değişimler incelenmiştir.

Alınan karotlar Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örnek Hazırlama Laboratuvarında kesilerek açılmış, öncelikle litolojik, paleontolojik, stratigrafik ve sedimantolojik özellikleri loglanarak, sonrasında belirtilen aralıklarda ayrılan parçalardan, numuneler jeokimyasal analizi için tane boyutu yaklaşık 150µm olacak şekilde öğütülmüştür. Daha sonra örnekler MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü Jeokimya Laboratuvarında; As, Ba, Sn, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti ve Zn elementleri için 3'lü asit çözme yöntemi ile 1:2:2 oranında derişik HClO₄+HCl+HNO₃ ile 300°C ısıtıcı tablada 2 saat bekletildikten sonra, derişik 3:1 oranında HCl+HNO₃ çözücünde 300 °C ısıtıcı tablada 2 saat bekletilmiş, daha sonra ise saf su ile ICP-OES yöntemi kullanılarak sonuçlar ppm (parts per million) değeri cinsinden elde edilmiştir.

HC-01 (Artvin/Hopa) ve SC-01 (Trabzon/Sürmene) karotlardaki ağır metal konsantrasyonlarının stratigrafik olarak derine doğru değişimlerinin gözlemlendiği seviyelerden elde edilen kavkı parçaları radyokarbon yaş tayini için ayırtlanmış ve örnekler analiz için Conventional Carbon Dating Laboratory (CCDL) Kiev/Ukrayna'ya gönderilmiştir. Analizler, Dr.

Mykhailo Buzynnyi tarafından Quantulus 1220TH kütle spektrometresi kullanılarak Skripkin ve Kovaliukh (1998)'in geliştirdiği Lithium carbite ve benzen solusyonu teknikleri yardımıyla, Ramsey ve Lee (2013)'ün OxCal v4.2.4 programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Kirlilik Yük İndeksi (PLI; Pollution Load Index) Değerinin Saptanması

PLI değeri, elementlerin dünya ölçeğinde antropojenik kirlenmenin seviyesini tespit etmek için kullanılan bir katsayıdır (Tomlinson vd. 1980; Ray vd. 2006; Huerta-Diaz vd. 2008; Essien vd. 2009; Mohiuddin vd. 2010; Zhang vd. 2011; Galuszka vd. 2014). Bu değer ilk kez Tomlinson vd. (1980) tarafından tanımlanmıştır. Bu değer saptanması için ilk önce Kirlilik faktörünün (CF) bulunması gerekmektedir. CF değeri, çökellerin kalitesi ile ilgili olarak Hakanson (1980) tarafından ortaya atılmış olup, örneğin analizinden elde edilen sonucun (C_i), dünya çapındaki genel oranları betimleyen Clarke veya ilgili ortalama kabuk değerlerine (C_n) bölünmesi ile hesaplanır:

CF değerleri her element için bulunduktan sonra, PLI değeri analizi yapılmış her bir element için bulunan CF değerlerinin birbirleri ile çarpımının, element sayısına (n) bağlı kökünde değerlendirilir:

Bulunan sonucun >1 (1'den büyük; kirlilik fazla) veya <1 (1'den küçük; kirlilik az) olması durumuna göre yorum yapılmaktadır (Ray vd. 2006; Galuszka vd. 2014).

Zenginleşme Faktörü (EF; Enrichment Factor) Değerinin Saptanması

Zenginleşme faktörü zaman içinde değişik çevresel ortamların değerlendirilmesinde ve metal kirliliğinde antropojenik katkının hesaplanmasında da yoğun olarak kullanılan bir değerdir (Morillo vd., 2002; Adamo vd., 2005; Valdés vd., 2005). İlk

kez Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından ortaya atılan bu faktörün hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde, diğer kirlilik indekslerinden farklı olarak, bir referans element seçilerek normalleştirme yapılmaktadır. Normalleştirmede kullanılacak elementin seçimi konusunda kesin bir kabul olmamakla birlikte, genellikle alüminyum, demir, lityum, zirkon ve titanyum gibi jeokimyasal olarak aktif olmayan ve ince taneli materyallerde rahatlıkla rastlanabilen elementler kullanılır (Reinmann vd., 2000; Schiff ve Weisberg, 1999; Sutherland, 2000; Ray vd. 2006; Huerta-Diaz vd. 2008; Essien vd. 2009; Mohiuddin vd. 2010; Zhang vd. 2011; Galuszka vd. 2014). Bu çalışma kapsamında, Titanyum elementi karot içinde büyük varyasyonlar göstermemesi dolayısıyla referans element olarak değerlendirilmiştir. Zenginleşme faktörü, uluslararası yayınlarda Buat-Menard ve Chesselet (1979)'a sadık kalınarak aşağıdaki formül ile hesaplanır.

Formüldeki EF: Zenginleşme faktörü, C_{Metal} (Örnek): İlgili elementin konsantrasyonunu, C_{Ref} (Örnek): referans olarak alınan elementin ölçülen konsantrasyonunu, C_{Metal} (Kabuk): İlgili elementin kabuktaki ardalın (background) değerini, C_{Ref} (Kabuk): referans olarak alınan elementin kabuktaki ardalın (background) değerini tanımlamaktadır. Genellikle hesaplanan EF değeri sonucunun 1'e yakın ($EF < 1$) olması kabuk kökenine, 3-5 arasında olması tartışmalı olarak kabuk kökenine, $EF < 5$ 'ten büyük değerlerinde ise kabuk kökenli olmadığı yönünde bir kabul görmektedir (Galuszka vd. 2014; Halstead vd. 2000). EF için farklı standartlar ve referans aralıkları önerilsede, literatürde en yaygın şekilde Sutherland (2000)'in önerdiği aralıklar kullanılır. Söz konusu çalışmada EF değerleri zenginleşme ölçütüne göre 5 farklı kategoriye ayrılarak verilir; $EF < 2$, en az zenginleşme/kirlilik, $2 \leq EF \leq 5$, orta zenginleşme/kirlilik; $5 \leq EF \leq 20$, belirgin zenginleşme/kirlilik; $20 \leq EF \leq 40$, çok yüksek zenginleşme/kirlilik; $EF > 40$, son derece yüksek zenginleşme/kirlilik.

Ayrıca bu çalışma kapsamında hesaplanan PLI ve EF değerlerinin sonuçlarının elde edilmesinde, dünya standartlarında, benzer çalışmalarda en sık kullanılan ve tane boyu, litoloji gibi faktörler gözetilerek ayrı ayrı hesaplanmış Turekian & Wedepohl (1961)'in önerdiği ardalın (background) değerleri kullanılmıştır. Seçilen referans değerlerinin ilgili çalışmadan alınmasının bir diğer önemli sebebi, en sık kullanılmasının yanında, bu çalışmada sunulan sonuçların, Dünya'daki farklı alanlarda yapılan ve aynı değerler kullanılarak hesaplanmış benzer çalışmalarla kıyaslanmasının amaçlanmış olmasıdır.

JEOKİMYASAL ANALİZ ÇALIŞMALARI

Jeokimyasal analiz çalışmalarında, 3 farklı lokasyondaki karotlardan her birinde 15 numune olmak üzere toplamda 45 örneğin ağır metal (As, Ba, Sn, Pb, Cd, Cr, Ni, Sn, Ti ve Zn) konsantrasyonları ppm cinsinden elde edilmiştir. Bu elementlerden As, Ba, Cr, Ni, Pb, Ti, Zn ve Cd oranları Çizelge 2'de verilmektedir. Özellikle Karadeniz'den alınan Sürmene ve Hopa karotlarındaki örneklerin 150-420 ppm arasında değişiklik gösteren yüksek Ti oranları dikkat çekicidir. Zn oranları ise Hopa karotunda 66-87 ppm, Sürmene'de ise 62 -100 ppm arasında değişiklik gösterir. Marmara karotunda (IZC-01) ise Ti değerleri, Karadeniz örneklerine oranla 10 ve 20 katına varan miktarlarda konsantrasyon düşüklüğü gösterir. Ni oranı Marmara karotunda, Karadeniz örneklerinden yaklaşık 3 kat fazla bir konsantrasyona sahip ve 27-44 ppm arasında salınım sunar. Ba oranları ise en az Hopa, sonrasında Sürmene ve en yüksek değerlerde Marmara karotunda ölçülmüştür ve birbirlerine oranla yaklaşık 2 kat artış ile temsil edilirler (Çizelge 2). Cd değerleri ise, ölçüm sınırlarının yetersizliği dolayısıyla ayrılaştırılmamış ve 0.3 ve < 0.1 değerlerle temsil edildiği gözlenmiştir. Literatürde özellikle antropojenik kirliliğin ölçümünde en çok kullanılan Pb, Cr, Zn ve As gibi elementlerin

değerleri dikkate alınmış ve bulunan değerlerin derine doğru değişimleri üzerinde durulmuştur. As değerleri 4–28 ppm gibi geniş bir aralıkta değişim sunmakta ise de, oransal olarak yine Marmara karotunun orta seviyelerinde en yüksek değerlerle ölçülmüştür. Cr oranları Karadeniz ait Sürmene ve Hopa karotlarında birbirlerine yakın değerlerle ve 8–19 ppm arasındaki konsantrasyonlarla karakteristiktir. Marmara'dan alınan İzmit karotunda ise, Karadeniz numunelerine oranla 3 kata varan bir Cr artışının bulunduğu gözlenmektedir. Pb oranlarının ortalamaları,

lokasyon olarak Sürmene ve İzmit'te birbirlerine benzer, Hopa'da ise yarı yarıya az ve 6–14 ppm arasında değişen konsantrasyonlara sahiptir. Özellikle her 3 karottaki Pb ve Zn oranlarında, derine doğru bir azalmanın gözlenmesi dikkat çekicidir. Bu azalmanın hangi aralıklarda olduğu ve nasıl salınım gösterdiği, değişimlerin elde edilen radyometrik yaşlar ile hesaplanan olası sedimantasyon hızlarına bağlı olarak, hangi zaman aralıklarında gerçekleştiği, tartışma ve sonuç bölümünde irdelenmiştir.

Çizelge 2. Karotlardan alınan örneklerde yapılan jeokimyasal analiz sonuçları.

Table 2. Geochemical analysis results of the samples taken from the cores.

Karot	Örnek	Derinlik (cm)	Ağır metallerin konsantrasyonu (ppm)							
			As	Ba	Cr	Ni	Pb	Ti	Zn	Cd
	H1	1.5	13	16	14	15	11	330	75	0.2
	H2	4.5	10	19	16	18	14	380	87	0.1
	H3	7.5	11	16	16	18	12	420	73	0.1
	H4	10.5	4	17	15	17	9	400	76	<0.1
	H5	13.5	5	17	14	17	8	310	68	<0.1
	H6	17.5	6	17	13	15	7	370	67	<0.1
Artvin/ Hopa Karadeniz HC-01	H7	20.5	5	16	14	22	6	370	67	<0.1
	H8	23.5	6	17	14	17	8	340	69	<0.1
	H9	28.5	6	21	16	22	9	280	70	<0.1
	H10	31.5	6	19	16	19	8	300	71	<0.1
	H11	34.5	5	18	14	17	7	350	66	<0.1
	H12	37.5	5	17	15	18	7	330	70	<0.1
	H13	47.5	6	16	14	17	7	360	67	<0.1
	H14	67.5	5	14	13	14	6	350	67	<0.1
	H15	87.5	5	16	12	14	7	400	66	<0.1

Çizelge 2 devam ediyor/*continued*

	S1	1.5	7	27	11	11	18	160	74	0.2
	S2	4.5	7	26	12	11	17	170	71	0.2
	S3	7.5	8	30	16	12	21	140	84	0.2
	S4	10.5	13	33	15	14	24	150	100	0.3
	S5	13.5	14	32	19	13	23	140	88	0.2
	S6	17.5	11	33	15	15	22	160	86	0.2
Trabzon/Sürmene	S7	20.5	11	33	13	14	23	160	81	0.2
Karadeniz	S8	23.5	9	30	13	14	22	160	77	0.2
SC-01	S9	28.5	10	34	13	15	23	170	77	0.2
	S10	31.5	9	31	13	14	23	150	73	0.1
	S11	41.5	7	26	11	12	17	160	66	0.1
	S12	61.5	14	30	14	15	19	160	70	0.1
	S13	81.5	8	30	13	14	20	160	74	0.2
	S14	101.5	8	27	10	11	16	150	79	0.1
	S15	121.5	6	24	8	9	13	180	62	0.1
	M1	1	7	35	32	56	21	19	60	<0.1
	M2	3	6	43	33	58	20	19	61	<0.1
	M3	6	4	55	39	66	20	23	67	<0.1
	M4	10	4	50	40	68	20	19	67	<0.1
	M5	14	5	62	41	72	21	21	67	<0.1
	M6	18	6	48	44	77	22	23	71	0.1
İzmit/Başiskele	M7	22	5	38	41	68	22	24	69	<0.1
Marmara	M8	26	7	54	42	68	18	22	67	0.1
IZC-01	M9	30	28	32	42	77	15	19	66	0.2
	M10	34	19	37	42	79	15	20	65	0.2
	M11	38	7	56	37	82	13	20	57	0.2
	M12	50	8	74	31	69	11	21	51	0.2
	M13	80	5	74	29	64	10	22	47	0.1
	M14	120	7	75	27	61	10	22	46	0.2
	M15	170	18	55	30	69	11	25	48	0.2

JEOLOJİK BULGULAR

Karot örnekleri üzerinde yapılan jeolojik incelemeler, genelde litolojik, sedimantolojik ve paleontolojik veriler ışığında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, İzmit Körfezine ait olan karot örneğinin (IZC-01), Karadeniz'e ait karotlardan daha ince taneli sedimanlardan oluştuğu görülür. Litolojik olarak ince kum, kil ve çamurdan yapıları

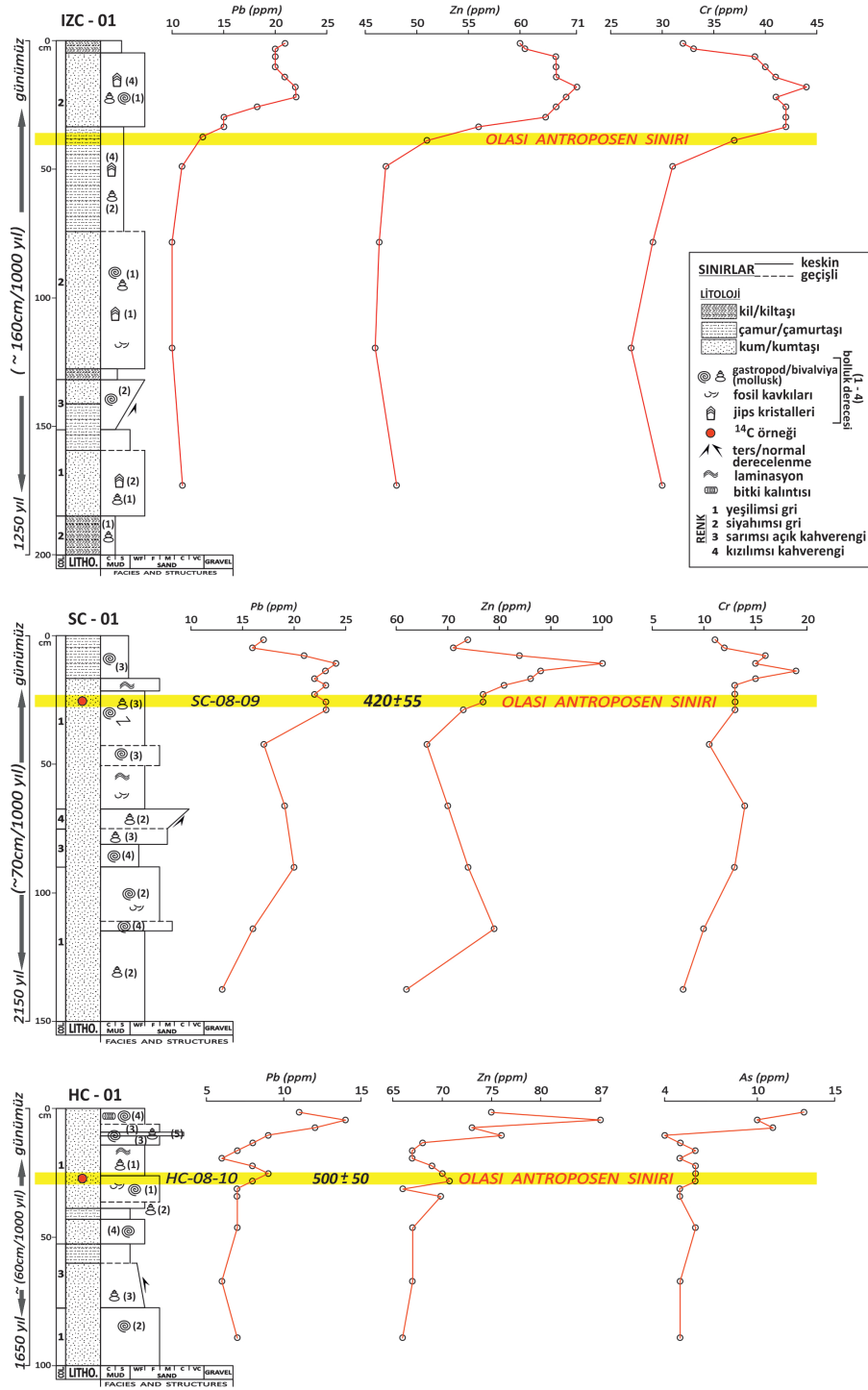
olan karotta genel bir düzen içinde aralanma mevcuttur (Şekil 3). Karotta farklı litolojilerde de olsa baskın renk siyahımsı gridir. Karotun yüzeyden 135–150 cm arasındaki tortullarda net bir şekilde ters derecelenme olduğu gözlenmektedir. Organik madde bakımından, karotun genelinde eş oranda kavkılı canlı kalıntılara rastlanmıştır. Sadece Marmara karotu özelinde, boyutları 0.5-1.5 cm arasında değişen jips kristallerinin varlığı dikkat

çekicidir. Hatta bu jips kristallerinin boyları, karotun stratigrafik olarak üst seviyelerinde, alt bölümlerine oranla daha iri kristallere sahiptir. Sürmene karotunda (SC-01) ise kaba kumdan çok ince kuma değişen ve genelde baskın olarak kum boyu tortullardan yapıli bir litoloji hâkimdir. Karotun ilk 15 cm'lik bölümü ise yeşilimsi gri renkli çamurdan yapılidir. Karotta, birimlerin tane bileşenleri genelde mika grubu litik kaya kırıntılarınca zengindir. İzmit karotuna benzer şekilde, Sürmene karotunun 60–70 cm'leri arasında orta kumdan kaba kuma bir ters derecelenme söz konusudur. Karotun orta üst seviyesindeki bazı orta kumlarda dalgalı laminasyon olağandır. Sürmene karotu, İzmit karotundan çeşitlilik ve bolluk açısından, paleontolojik olarak daha zengindir. Kavkı bolluğu, istifte alttan üste belirgin bir farklılaşma göstermese de tür ve cins bakımından bir azalma olduğu açıkça görülmektedir. Hopa karotu ise, litolojik olarak çok kaba kumdan çamura değişen bir tane boyu dağılımı göstermektedir. Karot stratigrafisinde, istifin nispeten üst bölümü alt bölümlerine oranla daha kaba kırıntılıdır. Bu karotta, diğer iki karotun aksine 70- 60 cm aralığında yukarıya doğru ince kumdan çok ince kuma doğru normal bir derecelenme gözlenir. Karotun üst seviyelerinde aynı Sürmene karotunda olduğu gibi dalgalı laminasyon gösteren 10 cm kalınlığında ince kumdan yapıli bir seviye de bulunmaktadır. Hopa karotu paleontolojik olarak, gerek kavkı bolluğu gerekse tür ve cins çeşitliliği bakımından en zengin karot olmakla beraber, diğer iki karottan farklılık göstermektedir. Bu farklılaşma kendi içinde Sürmene'den az, İzmit karotundan ise fazladır. Karotun üst seviyelerindeki paleontolojik

bolluk ve çeşitlilik, alt bölümüne göre oldukça fazladır. Bunun yanında, sadece Hopa karotunun yüzeye yakın ilk 10 cm'lik bölümünde bitkisel kalıntı ürünlerine rastlanmıştır (Şekil 3).

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Karadeniz ve Marmara'daki 3 farklı lokasyondan alınan karot örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarına göre, İzmit Körfezi'ndeki sediman örneklerinin Sürmene ve Hopa örneklerine oranla daha fazla As, Ba, Cr, Ni gibi ağır metal kirlenmesine maruz kaldığı gözlenmektedir. Sürmene ve Hopa karotlarından alınan örneklerin Titanyum konsantrasyonları, İzmit Körfezi örneklerinin sonuçlarına oranla oldukça fazladır. Karadeniz özelinde titanyum elementinin bu yüksek konsantrasyonu, Çağatay vd. (1987) tarafından da açıkça vurgulanmaktadır. Çalışmacılar, güncel sedimanlar üzerinde yaptıkları jeokimyasal analizlerde en düşük Ti değerinin 300 ppm, en yüksek değerinin ise 4000 ppm olduğunu belirterek, bu yüksek Ti anomalisini, bazik volkanik kökenli kırıntı malzeme ile ilişkili olduğunu savunurlar. Benzer şekilde bu çalışma kapsamında da Karadeniz örneklerinden elde edilen yüksek Ti konsantrasyonunun antropojenik bir kirlenme ile ilişkili olmadığı, beslenme alanı kaya litolojisine ait bileşimsel bir katkıdan kaynaklandığı düşünülmüş ve bu nedenle kirlilik hesaplarında Ti elementinin kontaminasyonu göz ardı edilmiştir. Hatta Ti elementinin karotlar içerisindeki varyasyonlarının değişmemesi, bu elementin Zenginleşme Faktörü hesaplamalarında referans element olarak kullanılmasına uygunluk sağlamıştır.



Şekil 3. İzmit (IZC-01), Sürmene (SC-01) ve Hopa (HC-01) karotlarının logları ve karotlardan alınan örneklerin, ağır metal konsantrasyonlarındaki derinliğe bağlı dağılımları.

Figure 3. Logs of the cores and vertical distribution of the heavy metal concentration of samples taken from İzmit (IZC-01), Sürmene (SC-01) ve Hopa (HC-01) cores.

Karot örneklerinde As, Ba, Pb, Cr, Ni ve Zn elementlerinin analiz sonuçlarından elde edilen değerler kullanılarak 3 farklı lokasyon için PLI değerleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre; İzmit Körfezi, Sürmene ve Hopa'ya ait örneklerden elde edilen PLI değeri $1 < PLI$ (1'den büyük ve sırasıyla; 3.255, 2.195 ve 1.706 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar alanların kirli bölge grubuna dahil edilmesi gerektiği yönündedir. Bunun yanında, orantısız olarak İzmir Körfezi'ne ait karotun, kirlilik yönünden en yüksek değere sahip olduğu gözlenirken, Hopa karotu örneklerinin de PLI değerinin Sürmene karotuna göre düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kirlilik bazında İzmit Körfezi kirli, Sürmene daha az kirli ve Hopa ise en az kirli lokasyon olarak değerlendirilmektedir.

Özellikle üç farklı lokasyon için elde edilen PLI değerinin kirlilik sınırının üzerinde olması ve kirlilik seviyesinin anlaşılması açısından, Dünya'nın farklı bölgelerinde benzer yöntemlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması gereğini doğurmaktadır. Ray vd. (2006) tarafından Hindistan'da yapılan çalışmada PLI değerinin 0.34 ile 1.03 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durumda İzmit Körfezi'nin, Hindistan'ın Kakinada, Godavari, Coringa ve Gaderu kıyılarından daha fazla kirlenmiş olduğu yorumu yapılabilir. Aynı şekilde, Essien vd. (2009) Nijerya'nın güneyindeki Cross Nehri ve Mangrove Bataklığı çevresindeki PLI değerlerinin 1.26 ile 1.76 arasında değiştiğini vurgulamaktadır. Mohiuddin vd. (2010) Japonya, Yokohama'da yaptıkları çalışmada 1.24–7.65 arasında, Huerta-Diaz vd. (2008) Baja California'da yaptıkları çalışmada 1.01–4.29 arasında, Bhuiyan vd. (2010) Bangladeş'te yaptıkları çalışmada 1.67–4.02, Rashed (2010) Mısır'ın güneydoğusunda yaptıkları çalışmada ise 0.64–2.92 arasında değişen değerler rapor etmektedir. İzmit Körfezi'ne ait PLI değerinin, Dünya'da kirliliği bildirilen alanlardaki değerler ile benzer

olduğu görülmektedir. Fakat kirliliği aşırı derecede ön plana çıkmış Yokohama (Japonya) ve Baja (Meksika) gibi alanlardaki oranlara kıyasla, İzmit Körfezi'nin ağır metal konsantrasyonuna bağlı kirlilik seviyesinin ortalama değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda, İzmit Körfezi'nin Dünya'nın birçok farklı bölgesine kıyasla kirlilik seviyesinin üstünde ya da ortalamasında yer aldığı, fakat çok kirli alanlardan daha az bir kirliliğe sahip olduğu gözlenmiştir.

Yine karot örneklerinden elde edilen As, Ba, Cr, Ni, Pb ve Zn elementlerinin ağır metal konsantrasyonlarından yola çıkarak 3 farklı lokasyon için Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Sutherland (2000)'e göre İzmit Körfezinde As, Ni ve Cr elementlerinin belirgin bir zenginleşme, Pb ve Zn elementlerinin orta derecede zenginleşme, Ba elementinin ise yetersiz zenginleşme gösterdiği saptanmıştır. Sürmene lokasyonunda ise As, Ba ve Cr elementinin yetersiz zenginleşme gösterdiği, fakat Ni, Pb ve Zn elementlerinde belirgin bir zenginleşmenin olduğu gözlenmiştir. Sürmene lokasyonuna benzer şekilde Hopa lokasyonunda As, Ba, Cr ve Pb elementlerinde yetersiz zenginleşme olduğu gözlenirken, Ni ve Zn elementleri bakımından belirgin bir zenginleşmenin olduğu saptanmıştır. Diğer yandan, İzmir Körfezi, Sürmene ve Hopa'dan alınan karot örneklerinden elde edilen EF değerleri, kirlilik seviyesinin anlaşılabilmesi açısından Dünya'nın farklı bölgelerinde benzer yöntemlerle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Szefer vd. (1998) tarafından Polonya'nın Puck Körfezi'nde yapılan çalışmada Zn elementi için hesaplanan EF değerinin 1.7–14.6 arasında değiştiği belirtilmektedir. Bu duruma İzmir Körfezi, Sürmene ve Hopa lokasyonlarında Zn elementi için hesaplanan EF değerinin Puck Körfezi'nden elde edilen değerlere benzer sonuçlar gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı

şekilde Szefer vd. (1998) Puck Körfezi için Pb elementi için hesaplanan EF değerinin 2.4–24 arasında değişiklik gösterdiğini belirtmektedir. Bu bağlamda Pb elementinin Hopa lokasyonunda Puck Körfezi'ne oranla daha az miktarda zenginleştiği, İzmit Körfezi ve Sürmene lokasyonlarının ise benzer aralıklarda salındığı görülmektedir. Aynı şekilde Abraham ve Parker (2008) Yeni Zelanda, Auckland (Tamaki)'de yaptıkları çalışmada Pb ve Zn elementleri için EF değerinin sırasıyla 0.7–6.8 ve 2.2–4.0 aralığında olduğunu, Spencer vd. (2003) ise Büyük Britanya'nın Kent bölgesinde yaptıkları çalışmada Pb ve Zn elementleri için

elde edilen EF değerinin sırasıyla 0.9–10 ve 0.8–2.6 olduğu bilinmektedir. Bu durumda her üç lokasyon için de Pb elementindeki zenginleşmenin, Yeni Zelanda'dan ve Büyük Britanya'nın Kent bölgesinden elde edilen değerlerle benzer olduğu, ancak Zn elementindeki zenginleşmenin Yeni Zelanda ve Büyük Britanya'nın Kent bölgesine kıyasla daha fazla olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak gerek Karadeniz gerekse Marmara örneklerindeki Zn ve Pb elementleri zenginleşme faktörlerinin dünyadaki kirliliği EF cinsinden ortaya konulan alanlarla, çoğunlukla benzer özellikler taşıdığı saptanmıştır.

Çizelge 3. Hopa, Sürmene ve İzmit karotlarından ölçülen PLI değerleri (CF, kontaminasyon faktörü, $C_{i/o}$ (ppm) değerleri ilgili element için karot içindeki ortalama konsantrasyon hesaplanarak kullanılmıştır).

Table 3. PLI values measured on the Hopa, Sürmene and İzmit cores sites ($C_{i/o}$ values (ppm) were calculated mean concentration values for the corresponding elements in the core).

Karot (Bölge)	Ba	Konsantrasyon (ppm)					PLI
		Cr	Cd	Ni	Pb	Zn	
Artvin/Hopa (HC-01)	$C_{i/o}$	17.06	14.40	0.133	17.33	8.06	70.60
	CF	0.026	0.115	4.444	0.298	0.403	26.148
Trabzon/Sürmene (SC-01)	$C_{i/o}$	29.73	12.46	0.1733	12.93	20.06	77.46
	CF	0.0467	0.0997	5.666	0.2229	1.0033	28.691
İzmit/Başiskele (IZC-01)	$C_{i/o}$	52.53	36.66	0.1333	68.93	16.60	60.60
	CF	0.0825	0.310	14.03	1.118	0.9	22.44

Çizelge 4. Hopa, Sürmene ve İzmit karotlarından ölçülen elementlere ait EF değerleri.

Table 4. EF values of measured elements on the Hopa, Sürmene and İzmit cores.

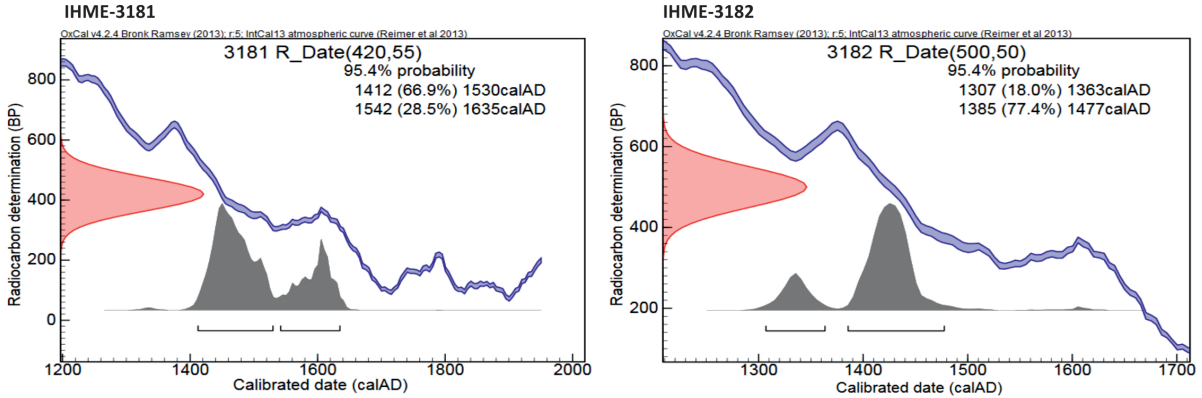
Karot (Bölge)	EF (Zenginleşme Faktörü)					
	As	Cr	Ba	Ni	Pb	Zn
Artvin/Hopa (HC-01)	0.67	7.66	0.1	19.06	3.9	4.44
Trabzon/Sürmene (SC-01)	1.84	0.94	0.39	16.37	5.08	5.6
İzmit/Başiskele (IZC-01)	13.11	0.46	1.7	9.82	1.36	5.0

Ayrıca, İzmit Körfezine ait karot örneğinin içerisinde daha önce de belirtildiği gibi boyutları 0.5–1.5 cm arasında değişen jips kristallerinin varlığı oldukça dikkat çekicidir. Marmara içinde yapılan önceki çalışmalarda da jips kristalinin varlığı rapor edilmektedir (Stanley ve Blainpied, 1980; McHugh vd. 2008). Özellikle Stanley ve Blainpied (1980)'in vurguladığı ve çalışmasında G6 nolu karotta gözlediğini belirttiği jips kristalleri, karotun üst seviyelerinde gözlenmemektedir. Fakat bu çalışma kapsamında değerlendirilen IZC-01 karotunda hemen hemen her seviyede jips kristalizasyonuna rastlanmış, hatta bu jips kristallerinin bolluğunda ve iriliğinde karot stratigrafisinde daha genç katmanlara gidildikçe bir artış olduğu görülmüştür. Van Driessche vd. (2011) jips kristalinin, düşük sıcaklıkta (<55 °C'de) ölçülebilir büyüme oranının $1.4 \pm 0.2 \times 10^{-5}$ nm/s olduğunu belirtir. Bu orandan yola çıkarak, 1.5 cm'lik bir kristalin oluşabilmesi için yeterli süre yaklaşık 2800-3000 yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, karot içindeki jips kristallerinin buldukları stratigrafik pozisyonların, olası sedimantasyon hızı ile ilişkisi de orantılı gözükmemektedir. Literatürde, jips kristallerinin oluşumunun ve büyüme hızının artmasının gerek hava gerekse su kirliliği ile tetiklendiği ve ilişkilendirildiği bilinmektedir (Charola vd. 2007; Török vd. 2007; Gomez-Heras vd. 2008; Marszałek vd. 2014). Bu veriler ışığında, İzmit Körfezi karotundaki jips kristallerinin antropojenik kökenli bir etken sonucu gelişmiş olabileceği sonucuna varılması gerekliliği doğmaktadır. Buna ilaven, karotlar içerisindeki kavkılı canlı kalıntılarının bolluk ve çeşitliliği de bunu destekleyen özellikler göstermektedir. İzmit Körfezi karotunda paleontolojik örnekler ender miktarda rastlanırken, Hopa ve Sürmene karotlarında ise İzmit Körfezi'ne kıyasla bu

kalıntılarla daha sık karşılaşılmaktadır. Bu jeolojik gözlemler ile kirlilik bazında hesaplanan PLI değerleri de oldukça uyumludur.

Her karot kendi içinde değerlendirildiğinde, özellikle Pb, Cr, Zn ve As gibi ağır minerallerin sonuçlarının, karotlardaki derinliğe bağlı değişiminde bariz bir farklılık olduğu ve bu farklılığın derine doğru konsantrasyonlarda azalma şeklinde gerçekleştiği görülür (Şekil 3). Bu değişimler, Hopa karotunda (HC-01), Pb için 14–6 ppm, Zn için 87–66 ppm ve As için 13–5 ppm arasında salınır. Sürmene karotunda (SC-01) ise, konsantrasyonların Pb için 24–13 ppm, Zn için 100–62 ppm, Cr için 16–8 ppm arasında değiştiği gözlenmektedir. İzmit karotunda (IZC-01) Pb için 23–10 ppm arasında gerçekleşirken, Zn için 71–46 ppm ve Cr için 44–27 ppm bandında gerçekleşmektedir. Evans vd. (1989)'un Marmara karotlarında da, Pb, Cu, Cr ve Zn için derine doğru bir konsantrasyon azalması olduğu görülür. Fakat Karadeniz özelinde, yöntemsel olarak benzer bir bilimsel çalışma bulunmadığından, karşılaştırma yapılamamıştır. Bunun dışında, her 3 karotta da ilgili elementler için bu azalmaların bariz bir şekilde anomali gösterdiği bir hat ortaya çıkmaktadır (Şekil 3). Sürmene ve Hopa karotlarında bu seviye hemen hemen birbirlerine yakın ve 20–25 cm arasındaki bir hatta gerçekleşirken, İzmit karotunda ise orantısız olarak daha derinde ve 40–45 cm arasında kaldığı görülmektedir. Sürmene ve Hopa karotlarında, anomalilerin gözlendiği derinliklerden elde edilen kavkı parçalarının radyokarbon yaşları sırasıyla 420 ± 55 (GÖ) ve 500 ± 50 (GÖ), bu verilerden elde edilen kalibre yaşlar ise Sürmene karotu için MS 1412 (% 66.9) - MS1542 (% 28.5) ve Hopa karotu için MS 1385 (% 77.4) – MS 1307 (% 18.0) olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).

Karot	Örnek No	Lab. No	Benzen miktarı (gr)	Süre (dakika)	Örnek sayım miktarı (CPM)	Radyokarbon yaşı (GÜ)	Kalibre yaşı (MS)
Sürmene SC-01	SC-08-09	IHME-3181	0.1314	2500	0.866	420 ± 55	1412 (% 66.9) 1542 (% 28.5)
Hopa HC-01	HC-08-10	IHME-3182	0.2945	2500	1.673	500 ± 50	1385 (% 77.4) 1307 (% 18.0)



Şekil 4. Sürmene ve Hopa karotlarından alınan kavkı örneklerinin radyokarbon yaşlarına ait veriler ve yaşların olasılık grafikleri. Analiz ölçümleri için OxCal v4.2.4 programı Ramsey ve Lee (2013)'den, atmosferik eğri ise Reimer vd. (2013)'den alınmıştır.

Figure 4. Sequential radiocarbon age data on shell samples collected from the Sürmene and Hopa cores and probability distribution of calibrated age diagrams. OxCal v4.2.4 programme taken from Ramsey & Lee (2013) and atmospheric curve from Reimer et al. (2013).

Ayrıca bu sınırların jeolojik yaş ilişkilerinin denetlenebilmesi için, değerlendirilen karotların yakın çevresinde yapılan ve literatürde doğrudan ya da dolaylı bir şekilde sedimantasyon hızlarına değinilen çalışmalar irdelenmiş ve bu hızlar karotların boylarına göre oranlanarak, stratigrafik olarak olası bir jeolojik yaş ilişkisi kurulmaya çalışılmıştır. Marmara Denizi içindeki çökelinin hızını çeşitli yöntemler kullanarak belirleyen çalışmalar oldukça yaygındır. Marmara için sedimantasyon hızına yönelik ilk açıklama Koreneva (1971)'in spor ve polenleri kullandığı çalışmasında verilir. Çalışmacı, 2 metreyi aşan karotların tabanında bile, Holosen sınırına inilmediğini dolayısı ile yüksek bir sediment akümülyasyonunun olması gerektiğini savunur. Stanley ve Blanpied (1980), radyokarbon verilerine dayanarak kuzeydoğu Marmara şelfinde 4500 – 5000 yıl arasında en az 70 cm/1000

yıllık bir hız önerir. Aynı çalışmada, 4 karotun da, farklı derinliklerden elde edilen radyometrik yaş verileri gözetilerek, hızların 2.5–23 cm/1000 yıl aralığında değiştiği hesaplanabilmektedir. Evans vd. (1989)'ın aynı kuzeydoğu Marmara şelfinde yaptığı çalışmasında verilen sediment ağırlıklarından yola çıkarak 100-140 cm/1000 yıl gibi değerler hesaplanabilir. Marmara Denizi özelinde ve doğrudan sedimantasyon hızını belirlemeye yönelik en kapsamlı çalışmalardan biri Ergin vd. (1994)'tür. Çalışmacılar, Marmara'nın güneyinde, kuzeyinde ve merkezinde aldıkları karotlarda, ^{210}Pb yöntemiyle yaşlar elde etmişler ve bunları sedimantasyon hızlarını bulmak için yorumlamışlardır. Çalışmanın sonucunda farklı alanlarda, ortalama 8–104 cm/1000 yıl gibi hızlar elde etmişlerdir. Gökmen vd. (1996) ise benzer alanlarda ve aynı yöntemle, sediment ağırlıklarından yola çıkarak, 60–260 cm/1000

yıl gibi hızlar rapor etmektedir. Aksu vd. (2002) verilerinden kuzey Marmara için 2–60 cm/1000 yıl gibi hızlar hesaplanabilmektedir. Mudie vd. (2002), Aksu vd (2002)'de sunulan karotlarda polen ve spor çalışması yaparak, 7–46 cm/1000 yıl gibi değerler rapor ederler. Londeix vd. (2009) ise kuzeybatı Marmara için yaklaşık son 4000 yıl için ortalama 40 cm/1000 yıl hızını önermektedir. Kurt ve Yücesoy (2009) İzmit Körfezi içindeki sismik yansıma kesitlerini kullanarak, 30–160 cm/1000 yıl arasında değişen sedimantasyon hızları önermektedir. Görüldüğü gibi Marmara'nın değişik alanlarında ve tortul derinliğine göre, hızlar aşırı derecede çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışma kapsamında ise, İzmit karotunun (IZC-01) lokasyonuna en yakın alanda, Kurt ve Yücesoy (2009)'un önerdiği 160 cm/1000 yıllık sedimantasyon hızı kullanılmıştır. Çalışmacılar körfezin içindeki çökel paketini 3 ana sınırla ayırmış ve en üstte bulunan 19 metrelik sediment paketinin (T3) çökelme hızını 160 cm/yıl olarak belirlemişlerdir. İzmit karotunun (IZC-01) 200 cm'lik boyu ile bu sedimantasyon hızı birlikte değerlendirildiğinde, karotun toplam sedimantasyon yaşının ortalama 1250 yıl olduğu kabul edilmiştir. Karadeniz'de yapılan ve doğrudan sedimantasyon hızına yönelik bilimsel çalışmalar, Marmara'ya oranla oldukça kısıtlıdır. Ross (1970), Karadeniz özelinde, kullandığı karotlardan elde ettiği radyokarbon yaş verilerini kullanarak 0–10 cm, 10–30 cm ve > 30cm/1000 yıl şeklinde 3 alanlı genelleştirilmiş bir sedimantasyon hızı haritası verir. Bu haritada kıyı şeridi boyunca hız 30 cm/1000 ve üzeri hızlarla temsil edilmektedir. Sedimantasyon hızının, doğrudan karotlar içinde tespit edilen jeokronolojik yaşlarla ölçülebileceği diğer çalışmalar ise Guichard vd. (1993); Aksu vd. (2002); Lamy vd. (2006) ve Kwiecien vd. (2008)'dir. Bu çalışmalardan Aksu vd (2002)'de güneybatı Karadeniz kıyılarındaki karot ve radyokarbon yaş verileri doğrultusunda hızların 3.5–18 cm/1000 yıl arasında temsil edildiği görülür. Diğer çalışmalarda ise, Santori'nin Minoan

patlamasıyla ilişkili Z-2 tefra seviyesi anahtar düzeyi olarak kullanılmıştır. Bu patlamanın yaşı ~ 3595 GÖ olarak kabul edilmektedir (Hammer vd. 1987; Friedrich vd. 2006). Guichard vd. (1993)'ün, Samsun ve Sinop açıklarındaki karotlarındaki tortul kalınlıklarından, sedimantasyon hızları 15–30 cm/ 1000 yıl olarak ölçülür. Sakarya Deltası'nın açıklarındaki karotların tefra seviyesinin üstündeki tortulların kalınlıkları gözetildiğinde, sedimantasyon hızları Lamy vd. (2006)'de 87–130 cm/1000 yıl, Kwiecien vd. (2008)'de ise 69–118 cm/1000 yıl olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde kullanılan Hopa ve Sürmene karotlarında, bu anahtar tefra seviyesi gözlenmemektedir. Dolayısıyla, karotların boyu oranısında sedimantasyon hızı, Sürmene için 40 cm/1000 yıl, Hopa için 30 cm/1000 yıldan fazla olmak zorundadır. Bununla birlikte Sürmene ve Hopa karotlarının lokasyonlarının Sakarya deltasına benzer şekilde, denizel deltaların üzerinde olduğu gözetilirse, sedimantasyon hızlarının deltalarındaki yüksek tortul girdisine paralel, diğer kıyı açığı enerjisi düşük alanlardan daha hızlı gerçekleşmiş olması sonucu ortaya çıkar. Doğal olarak, Sakarya nehrinin taşıdığı tortul yük ile Sürmene ve Hopa deltalarını besleyen akarsuların toplam yükü arasındaki farktan dolayı, Lamy vd. (2006) ve Kwiecien vd. (2008)'den hesaplanan maksimum sedimantasyon hızlarından daha yavaş bir hızın olma olasılığı kuvvetle muhtemeldir. Bütün bu veriler değerlendirildiğinde, Sürmene karotu için ortalama 70 cm/1000 yıl, Hopa için ise 60 cm/1000 yıl gibi bir sedimantasyon hızı önermek uygun olabilir. Belirlenen bu ortalama hızlara göre, Sürmene karotunun (SC-01, 150 cm) yaklaşık 2150 yıl, Hopa (HC-01, 100 cm) karotunun ise 1650 yıl olduğu hesaplanmaktadır (Şekil 3). Belirlenen bu olası yaşlara göre, karotlardaki ağır metal konsantrasyonlarının azalma eğilimine girdiği seviyeler, Sürmene ve Hopa karotlarında birbirine yakın olarak 20–25 cm derinliğinde ve 330–530 yıl arasında, İzmit karotunda ise 40– 45 cm derinliğinde ve 250–

330 yıl arasında hesaplanmaktadır. Karadeniz karotlarından elde edilen radyometrik yaşlarla, literatürde verilen sedimantasyon hızlarından yola çıkılarak hesaplanan ortalama değerlerin aşırı derecede bir tutarlılık içinde olduğu, İzmit karotu özelinde, Kurt ve Yücesoy (2009)'un önerdiği 160 cm/1000 yıllık sedimantasyon hızının da, bu çalışmada kullanılan karot lokasyonuna çok yakın bir alanda verildiği gözlemlenirse, değişimlerin bariz bir şekilde anomali verdiği seviyeleri olası Antroposen sınırı olarak yorumlamak mümkündür. Sonuç olarak, radyometrik yaş verileri sedimantasyon hızı hesaplamaları ile birleştirildiğinde, bu sınırın, literatürde Antroposen'nin başlangıcı olarak önerilen 3 ana görüşten, Crutzen ve Stoermer (2000), Crutzen (2002), Davis (2011) ve Fischer-Kowalski vd. (2014) gibi çalışmaların önerdiği ve son 200–500 yıl içinde başlamış olduğunu savunan görüşü destekleyen bir sonuca ulaşıldığı görülmektedir. Elbette ki Antroposen'nin başlangıcı bir süre daha jeoloji arenasında bilimsel olarak tartışılacak ve tartışılmalıdır. Fakat hiç şüphesiz yönetsel olarak bu çalışmaya benzer çalışmaların sayısının artması, veri setini zenginleştirilecek ve bu jeolojik fenomenin çözülebilmeye büyük katkı sağlayacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK 2009/A destek programı kapsamındaki 1919B011500003 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, inceleme yapılan karotların temini için Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü'nden Prof. Dr. Doğan Yaşar'a, makalenin hakemliğini yapan ve bilimsel değerinin artırılması adına katkılarını sunan Dr. Şehnaz Şener ve ismini açıklamayan diğer hakeme teşekkürü borç bilir. Ayrıca Simge Şahin'e makalenin İngilizce bölümlerinin düzenlenmesi, Dilge Sümer'e araştırmaya sağladığı fondan dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

EXTENDED SUMMARY

Human activities are increasing with each passing day and this increase has affected the environment both negatively and positively but more so negatively. These effects are moving beyond ordinary the human race in nature, put forward them into a globally decisive force outside its functioning, and they make us an actor biologically, chemically and geologically (Crutzen & Stoermer, 2000; Andersson et al. 2005; Crossland et al. 2005; Crutzen, 2006).

Due to the fact that these anthropogenic affects are measurable on observed geological rocks, Crutzen & Stoermer (2000) claimed to leave the geological series Holocene, and should be entered into a new one namely the Anthropocene.

In the scientific literature, the initiation of Anthropocene is represented by 3 main views. The Anthropocene had taken places approximately 3000 to 8000 years ago as a result of early human impacts such as increase of inefficient land use and uncontrolled agricultural activities (Ruddiman, 2003; Certini & Scalenghe, 2011; Ellis, 2011; Wilkinson et al, 2014). However, others claimed that the initiation should had been started between 200 to 500 years ago with the emergence of the observed effects of human race impact into the nature such as industrialization and the use of fossil fuels (Crutzen & Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Davis, 2011; Fischer-Kowalski et al. 2014). And the last one is; it should be in hand in the mid-20th century with global economic growth and associated environmental change, following the end of World War II (Steffen et al. 2007; Wolfe et al. 2014; Zalasiewicz et al. 2015).

Even if presence of anthropogenic pollution in Turkey and even though this had been investigated, the beginning of this pollution or changing of it in geologic time has not been examined methodologically by going through geological layers in ancient times, except for Evans et al. (1989) in Marmara, Atalar et al.

(2013) in Aegean Sea. In this paper, we performed lithological, sedimentological, paleontological and geochemical studies in 3 drilling cores from the Izmit Bay (IZC-01) in the Sea of Marmara, Sürmene (SC-01) and Hopa (HC-01) coasts in the Black Sea. Heavy metals concentration on sedimentary rocks and their changes depending on the depth in core samples were examined for the first time to find the presence and/or beginning of the Anthropocene time. 15 samples from each 3 cores, total 45 samples were analyzed for heavy metals (As, Ba, Pb, Cd, Cr, Ni, Ti and Zn) concentration in part per million (ppm) denominations. According to the obtained results of geochemical analysis, it indicates that the sediment samples in the Gulf of Izmit core have more heavy metal contamination than Sürmene and Hopa core samples.

PLI (Pollution load index) values are calculated by using the results of As, Ba, Pb, Cr, Ni, and Zn elements, stand out 3.225 for the Gulf of Izmit, 2,195 and 1,706 for Sürmene and Hopa in respectively, which solidifies that Gulf of Izmit is the most polluted one, Sürmene is at a lower pollution and Hopa is the lowest polluted area. When we compare the PLI value of Gulf of Izmit in contrast to findings in the literature from other polluted area in the world, a value above on average level of pollution is seen. In addition, EF values indicate a significant enrichment of the As, Ni and Cr and moderate enrichment of Pb and Zn elements at Izmit Gulf. In locations Hope and Sürmene; As, Ba and Cr elements showing insufficient enrichment and Ni, Pb and Zn was observed a significant enrichment.

Another remarkable fact is that the presence of gypsum crystals in size ranging between 0.5 cm and 1.5 cm in core samples from Gulf of Izmit at Marmara Sea. In addition, the size of the gypsum crystals can be seen in a coarser size younger stratigraphic level top of the core than the bottom side. It is well known in the literature that the forming of gypsum crystals and their triggering

of growth are directly related to air and water pollution (Charola et al. 2007; Török et al. 2007; Gomez-Heras et al. 2008; Marszałek et al. 2014). Considering the size of the gypsum crystals, their stratigraphic positions, and in the light of the data presented in the literature combined with together that the growth of the gypsum crystals in the core Gulf of Izmit have been triggered by an anthropogenic pollution.

Another important observation that trends of heavy metals concentration of elements such as Pb, Zn, Cr and As are going to decrease towards the deepest part of the cores.

Radiocarbon dates obtained from the shells of these reduction levels are measured in Sürmene 420 ± 55 (BP) and Hopa 500 ± 50 (BP). In addition, these common levels that give anomalies of this reduction fixed for each cores and measured ages of these levels have been compared for each ones by using studies in the literature based on the sedimentation rate from similar areas. Consequently, these stunning levels were found for Izmit core 250 to 330 years at 40 – 45 cm, Sürmene and Hopa cores close to each other 330 to 530 years at 20 – 25 cm from the sediment water interface into the deeper part of the cores. As a result we believe that these calculated geological ages supported the beginning of Anthropocene which has been forming within the time period between 200 to 500 years ago which is presented with a theory of Crutzen and Stoermer (2000), Crutzen (2002); Davis (2011) and Fisher-Kowalski et al. (2014). As a matter of course, the initiation of the Anthropocene is still unclear and should be discussed for a while in the scientific arena of geology. However as no doubt, increasing the number of methodically similar studies will enrich the data set, and will provide a significant contribution to solve this geological phenomenon.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abraham, G. M. S. ve Parker, R. J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 227–238.
- Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., ve Stanzione, D., 2005. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. *Chemosphere*, 61(6), 800-809.
- Aksu, A. E., Hiscott, R. N., Kaminski, M. A., Mudie, P. J., Gillespie, H., Abrajano, T. ve Yaşar, D., 2002. Last glacial–Holocene paleoceanography of the Black Sea and Marmara Sea: stable isotopic, foraminiferal and coccolith evidence. *Marine Geology*, 190(1), 119-149.
- Aksu, A. E., Yaşar, D. ve Uslu, O., 1998. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Heavy metal and organic compound concentrations in surficial sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22(5), 387-416.
- Andersson, A. J., Mackenzie, F. T. ve Lerman, A., 2005. Coastal ocean and carbonate systems in the high CO₂ world of the Anthropocene. *American Journal of Science*, 305(9), 875-918.
- Aslan-Yılmaz, A., Okuş, E. ve Övez, S., 2004. Bacteriological indicators of anthropogenic impact prior to and during the recovery of water quality in an extremely polluted estuary, Golden Horn, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 49(11), 951-958.
- Atalar, M., Kucuksezgin, F., Duman, M., ve Gonul, L. T., 2013. Heavy metal concentrations in surficial and core sediments from Izmir Bay: an assessment of contamination and comparison against sediment quality benchmarks. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 91(1), 69-75.
- Balkıs, N., Aktan, Y. ve Balkıs, N., 2012. Toxic metal (Pb, Cd and Hg) levels in the nearshore surface sediments from the European and Anotolian Shores of Bosphorus, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (9), 1938-1939.
- Bampton, M., 1999. Anthropogenic transformation. In *Environmental Geology* (pp. 22-27). Springer Netherlands.
- Bermejo, J. S., Beltrán, R. ve Ariza, J. G., 2003. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain). *Environment International*, 29 (1), 69-77.
- Bhuiyan, M. A., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B. ve Suzuki, S., 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173 (1), 384-392.
- Birch, G., Siaka, M. ve Owens, C., 2001. The source of anthropogenic heavy metals in fluvial sediments of a rural catchment: Coxs River, Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 126 (1-2), 13-35.
- Buat-Menard, P. Ve Chesselet, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42 (3), 399-411.
- Certini, G. ve Scalenghe, R., 2011. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene*, 21, 1269-1274.
- Charola, A. E., Pühringer, J. ve Steiger, M., 2007. Gypsum: a review of its role in the deterioration of building materials. *Environmental Geology*, 52(2), 339-352.
- Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H., Crossland, J. I. M. ve Le Tissier, M. D., 2005. Coastal fluxes in the Anthropocene: the land-ocean interactions in the coastal zone project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Springer Science & Business Media, Berlin, 232 s.
- Crutzen P. J. ve Stoermer, E. F., 2000. The Anthropocene. *Global Change Newsl.* 41, 17-18.
- Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature*, 415, 23.
- Crutzen, P.J., 2006. The “Anthropocene”. Ehlers E. Ve Krafft T. (Eds.), *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer Berlin Heidelberg, Heidelberg, 273 s.
- Çağatay, M.N., Saltoğlu, T. ve Gedik, A., 1987. Karadeniz’in güncel çökellerinin jeokimyası. *Geological Engineering*, 30-31, 47-64.
- Davis, R.V., 2011. Inventing the present: historical roots of the Anthropocene. *Earth Science History*, 30, 63-84.
- Demirbağ, E., Rangin, C., Le Pichon, X. ve Celal, A.M.C., 2003. Investigation of the tectonics of

- the Main Marmara Fault by means of deep-towed seismic data. *Tectonophysics*, 361, 1-19.
- Eichler, A., Tobler, L., Eyrikh, S., Malygina, N., Papina, T. ve Schwikowski, M., 2014. Ice-core based assessment of historical anthropogenic heavy metal (Cd, Cu, Sb, Zn) emissions in the Soviet Union. *Environmental science ve technology*, 48(5), 2635-2642.
- Ellis, E. C. ve Ramankutty, N., 2008. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(8), 439-447.
- Ellis, E. C., 2011. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369 (1938), 1010-1035.
- Ergin, M., Bodur, M. N., Yıldız, M., Ediger, D., Ediger, V., Yemenicioğlu, S. ve Yücesoy, F., 1994. Sedimentation rates in the sea of Marmara: a comparison of results based on organic carbon-primary productivity and ²¹⁰Pb dating. *Continental Shelf Research*, 14(12), 1371-1387.
- Ergin, M., Saydam, C., Baştürk, Ö., Erdem, E. ve Yörük, R., 1991. Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical Geology*, 91(3), 269-285.
- Essien, J. P., Antai, S. P. ve Olajire, A.A., 2009. Distribution, seasonal variations and ecotoxicological significance of heavy metals in sediments of cross river estuary mangrove swamp. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1-4), 91-105.
- Evans, G., Erten, H., Alavi, S. N., Von Gunten, H. R. ve Ergin, M., 1989. Superficial deep-water sediments of the eastern Marmara basin. *Geo-marine Letters*, 9(1), 27-36.
- Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. ve Pallua, I., 2014. A sociometabolic reading of the Anthropocene: Modes of subsistence, population size and human impact on Earth. *The Anthropocene Review*, 1, 8-33.
- Friedrich, W.L., Kromer, B., Friedrich, M., Heinemeier, J., Pfeiffer, T. ve Talamo, S., 2006. Santorini Eruption Radiocarbon Dated to 1627–1600 B.C. *Science*, 312, 548.
- Galuszka, A., Migaszewski, Z. M. ve Zalasiewicz, J., 2014. Assessing the Anthropocene with geochemical methods. *Geological Society, London, Special Publications*, 395(1), 221-238.
- Gomez-Heras, M., Smith, B. J. ve Viles, H. A., 2008. Laboratory modelling of gypsum crust growth on limestone related to soot pollution and gaseous sulphur: implications of 'cleaner' environments for stone decay. In Lukaszewicz, J.W., Niemcewicz, P. (Editors), 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (2 volumes). *Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikolaja Kopernika, Torun*. pp. 105-112
- Gökmen, A., Yıldız, M., Erten, H. N. ve Salihoğlu, İ., 1996. Dating the Sea of Marmara sediments by a uniform mixing model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 33(1), 91-104
- Guichard, F., Carey, S., Arthur, M.A., Sigurdsson, H., Arnold, M., 1993. Tephra from the Minoan eruption of Santorini in sediments of the Black Sea. *Nature*, 363, 610-612.
- Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan M. ve Akbulut, C., 2012. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414, 435-451.
- Gürbüz, A. ve Gürer, Ö.F., 2008. Anthropogenic affects on lake sedimentation process: a case study from Lake Sapanca, NW Turkey. *Environmental Geology*, 56(2), 299-307.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975–1001.
- Hall, K.J., 2002. Bathymetric compilations of the seas around Israel I: the Caspian and Black seas. *Geological Survey of Israel Current Research*, 13, 105-108.
- Halstead, M. J., Cunninghame, R. G. ve Hunter, K. A., 2000. Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand. *Atmospheric Environment*, 34(4), 665-676.
- Hammer, C.U., Clausen, H.B., Friedrich, W.L. ve Tauber, H., 1987. The Minoan eruption of Santorini in Greece dated to 1864 BC? *Nature*, 328, 517-519.

- Huerta-Diaz, M. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Hernández-Ayón, M., Segovia-Zavala, J. A., García-Esquivel, Z., López-Zárate, H., Siqueiros-Valencia, A. ve Galindo-Bect, S., 2008. Diagnosis of trace metal contamination in sediments: the example of Ensenada and El Sauzal, two harbors in Baja California, Mexico. *Marine Environmental Research*, 66(3), 345-358.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2003. Metallerin çevresel etkileri-I. *Metallurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kaska, Y., Başkale, E., Urhan, R., Katılmış, Y., Gidiş, M., Sarı, F., Sözbilen, D., Canbolat, A.F., Yılmaz, F., Barlas, M., Özdemir, N. ve Özkul, M., 2010. Natural and anthropogenic factors affecting the nest-site selection of Loggerhead Turtles, *Caretta caretta*, on Dalaman-Sarıyerme beach in South-west Turkey: (Reptilia: Cheloniidae). *Zoology in the Middle East*, 50(1), 47-58.
- Koreneva, E.V., 1971. Spores and pollen in Mediterranean bottom sediments. In: Funnell, B.M., Riedel, W.R. (Eds.), *The Micropaleontology of the Oceans*. Cambridge University Press, Cambridge, 828 s.
- Kurt, H. ve Yücesoy, E., 2009. Submarine structures in the Gulf of İzmit, based on multichannel seismic reflection and multibeam bathymetry. *Marine Geophysical Researches*, 30(2), 73-84.
- Kwiecien, O., Arz, H.W., Lamy, F., Wulf, S., Bahr, A., Röhl, U. ve Haug, G.H., 2008. Estimated reservoir ages of the Black Sea since the last glacial. *Radiocarbon*, 50, 99-118.
- Lamy, F., Arz, H.W., Bond, G., Bahr, A. ve Pätzold, J., 2006. Multicentennial-scale hydrological changes in the Black Sea and northern Red Sea during the Holocene and the Arctic/North Atlantic Oscillation. *Paleoceanography*, 21, PA1008.
- Londeix, L., Herreyre, Y., Turon, J. L. ve Fletcher, W., 2009. Last Glacial to Holocene hydrology of the Marmara Sea inferred from a dinoflagellate cyst record. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158(1), 52-71.
- Loska, K. ve Wiechuła, D., 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, 51(8), 723-733.
- Marsh, G.P., 1865. *Man and nature, physical geography as modified by human action*. Charles Scribner, New York, 593 s.
- Marszałek, M., Alexandrowicz, Z. ve Rzepa, G., 2014. Composition of weathering crusts on sandstones from natural outcrops and architectonic elements in an urban environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(24), 14023-14036.
- McHugh, C. M., Gurung, D., Giosan, L., Ryan, W. B., Mart, Y., Sancar, U., Burckle, L. ve Cagatay, M. N., 2008. The last reconnection of the Marmara Sea (Turkey) to the World Ocean: a paleoceanographic and paleoclimatic perspective. *Marine Geology*, 255(1), 64-82.
- MGDS (Marine Geoscience Data System), 2016. <http://www.marine-geo.org>, 01 April 2016.
- Mohiuddin, K. M., Zakir, H. M., Otomo, K., Sharmin, S. ve Shikazono, N., 2010. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science ve Technology*, 7(1), 17-28.
- Moore, F., Attar, A. ve Rastmanesh, F., 2011. Anthropogenic sources of heavy metals in deposited sediments from runoff and industrial effluents, Shiraz, SW Iran. *International Proceedings of Chemical, Biological ve Environmental Engineering*, 6, 215-219.
- Morillo, J., Usero, J., ve Gracia, I., 2002. Heavy metal fractionation in sediments from the Tinto River (Spain). *International Journal of Environmental & Analytical Chemistry*, 82(4), 245-257.
- Mudie, P. J., Rochon, A. ve Aksu, A. E., 2002. Pollen stratigraphy of Late Quaternary cores from Marmara Sea: land-sea correlation and paleoclimatic history. *Marine Geology*, 190(1), 233-260.
- Mudie, P. J., Rochon, A., ve Aksu, A. E., 2002. Pollen stratigraphy of Late Quaternary cores from Marmara Sea: land-sea correlation and paleoclimatic history. *Marine Geology*, 190(1), 233-260.
- Ongbu, J.A. ve Kokogbo, M.A., 1993. Determination of Zn, Pb, Cu and Hg in soils of Ekpan, Nigeria. *Environ Int*, 19, 611-612.

- Owen, R. B. ve Sandhu, N., 2000. Heavy metal accumulation and anthropogenic impacts on Tolo Harbour, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 40(2), 174-180.
- Palanques, A. ve Diaz, J. I., 1994. Anthropogenic heavy metal pollution in the sediments of the Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean). *Marine Environmental Research*, 38(1), 17-31.
- Ramsey, C. B., ve Lee, S., 2013. Recent and planned developments of the program OXCAL. *Radiocarbon*, 55, 720-730.
- Rashed, M.N., 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1), 739-746.
- Ray, A.K., Tripathy, S.C., Patra, S. ve Sarma, V.V., 2006. Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. *Environment International*, 32(2), 219-223.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4):1869-1887.
- Riemann, L., Steward, G. F., ve Azam, F., 2000. Dynamics of bacterial community composition and activity during a mesocosm diatom bloom. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(2), 578-587.
- Ross, D.A., 1970. Black Sea: Recent Sedimentary History. *Science*, 170 (3954), 163-165.
- Ruddiman, W.F., 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61(3), 261-293.
- Sağlam, N. ve Cihangir, N., 1995. Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorbisyonu çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(11).
- Schiff, K. C. ve Weisberg, S. B., 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in southern California coastal shelf sediments. *Marine Environmental Research*, 48(2), 161-176.
- Skripkin, V. V. ve Kovaliukh, N. N., 1998. Recent developments in the procedures used at the SSCER laboratory for the routine preparation of lithium carbide. *Radiocarbon*, 40(1), 211-214.
- Spencer, K. L., Cundy, A. B., ve Croudace, I. W., 2003. Heavy metal distribution and early-diagenesis in salt marsh sediments from the Medway Estuary, Kent, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 43-54,
- Stanley, D. J. ve Blanpied, C., 1980. Late Quaternary water exchange between the eastern Mediterranean and the Black Sea. *Nature*, 285, 537-541.
- Steffen, W., Crutzen, P. J. ve McNeill, J. R., 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621.
- Sutherland, B. R., 2000. Internal wave reflection in uniform shear. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126(570), 3255-3286.
- Szefer, P., Kusak, A., Szefer, K., Glasby, G. P., Jankowska, H., Wołowicz, M. ve Ali, A. A. 1998. Evaluation of the anthropogenic influx of metallic pollutants into Puck Bay (southern Baltic). *Applied Geochemistry*, 13, 293-304.
- Şener, Ş., Davraz, A. ve Karagüzel, R., 2013. Evaluating the anthropogenic and geologic impacts on water quality of the Eğirdir Lake, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2527-2544.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. ve Jeffrey, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33(1-4), 566-575.
- Török, Á., Siegesmund, S., Müller, C., Hüpers, A., Hoppert, M. ve Weiss, T. 2007. Differences in texture, physical properties and microbiology of weathering crust and host rock: a case study of the porous limestone of Budapest (Hungary). *Geological Society, London, Special Publications*, 271(1), 261-276.
- Turekian, K. K. ve Wedepohl, K. H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192.

- Valdés, J., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L., ve Guinez, M., 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1558-1568.
- Van Driessche, A. E. S., García-Ruíz, J. M., Tsukamoto, K., Patiño-Lopez, L. D. ve Satoh, H., 2011. Ultraslow growth rates of giant gypsum crystals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(38), 15721-15726.
- Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Gałuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D.D., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Waple, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N. ve Wolfe, A.P., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351(6269), aad2622,1-10.
- Wilkinson, I. P., Poirier, C., Head, M. J., Sayer, C. D. ve Tibby, J., 2014. Microbiotic signatures of the Anthropocene in marginal marine and freshwater palaeoenvironments. *Geological Society, London, Special Publications*, 395(1), 185-219.
- Wolfe, A. P., Hobbs, W. O., Birks, H. H., Briner, J. P., Holmgren, S. U., Ingólfsson, Ó., Kaushal, S.S., Miller, G.H., Pagani, M., Saros, J.E. ve Vinebrooke, R. D., 2013. Stratigraphic expressions of the Holocene–Anthropocene transition revealed in sediments from remote lakes. *Earth-Science Reviews*, 116, 17-34.
- Yang, K., Nam, T., Nam, K. ve Kim, Y. J., 2016. Characteristics of heavy metal contamination by anthropogenic sources in artificial lakes of urban environment. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 121-128.
- Yaşar, D., Aksu, A. E. ve Uslu, O., 2001. Anthropogenic pollution in Izmit Bay: heavy metal concentrations in surface sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25(4), 299-313.
- Yatkin, S. ve Bayram, A., 2008. Determination of major natural and anthropogenic source profiles for particulate matter and trace elements in Izmir, Turkey. *Chemosphere*, 71(4), 685-696.
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Williams, M., Barnosky, A. D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, A. M., Fairchild, J.I., Grinevald, J., Haff, K.P., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J., Odada, E.O., Poirier, C., Richter, D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, P.M.J., Vidas, D., Waple, M., Wing, S.L., Wolfe, S.L.A., Zhisheng, A. ve Oreskes, N., 2015. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, 383, 196-203.
- Zhang, C., Qiao, Q., Piper, J. D. ve Huang, B., 2011. Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. *Environmental Pollution*, 159(10), 3057-3070.