

AVCILAR-KÜÇÜKÇEKMECE BÖLGESİNİN ÇEVRE MANYETİZMASI: MANYETİK SÜSEPTİBİLİTE ÖLÇÜMLERİ İLE TOPRAK KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

ENVIRONMENTAL MAGNETISM OF AVCILAR- KÜÇÜKÇEKMECE REGION: DETERMINATION OF SOIL POLLUTION BY MAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASUREMENTS

**Özlem Makaroğlu^{a,*} Mümtaz Hisarlı^a, Nurdan Sayın^a,
Ayça Yurtseven-Sandker^b, Hatice Yeziz^c, Naci Orbay^a,**
^aİstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Jeofizik Mühendisliği, Avcılar 34850, İstanbul,
^bUniversity of Windsor, 401 Sunset Ave, Windsor, Ontario, Canada
^cİstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Beyazıt, İstanbul

Yayına Geliş (Received): 16.11.2017, Yayına Kabul (Accepted): 10.12.2017,
Basım (Published): Nisan/April 2018

*Sorumlu yazar/Corresponding author: ozlemm@istanbul.edu.tr

Öz

Çevre Manyetizması doğal çevre içerisindeki materyallerin manyetik özelliklerinin ölçümünü içerir. Bu manyetik özellikler günümüz ve geçmiş ortam değişimlerinin belirlenmesinde yüksek duyarlılıkta belirteçler sağlarlar. Bu çalışmanın amacı, Avcılar-Küçükçekmece bölgesinin toprak kirliliğinin manyetik süseptibilite ölçümleri ile belirlenmesidir. Çalışmada ayrıca her bir ölçü noktasında Cu ve Zn element konsantrasyonundaki değişimleri görmek için ağır metal analizi yapılmıştır. Çalışma alanı içerisinde yer alan, trafiğin yoğun olduğu yerleşim bölgelerinden, ormanlık alanlardan ve sanayi bölgelerinden 44 adet toprak örneği alınmıştır. Manyetik süseptibilite ve ağır metal değerleri, İkitelli sanayi bölgesi, Avcılar ve Küçükçekmece merkez bölgelerinde yüksek çıkmıştır. 20 cm uzunluğunda düşey yönde yapılan ölçümlerde ilk 8 cm’de yüksek değerlerde manyetik süseptibilite ve ağır metal değerleri ölçülmüştür. Çalışma bölgesinin batısında kalan alan içerisinde güneyden kuzeye doğru alınan bir hat boyunca süseptibilite değerleri güneyde daha yüksek çıkmıştır. Tüm sonuçlara bakıldığında, trafiğin yoğun olduğu yerleşim yerlerinde ve sanayi bölgesinde yüksek manyetik süseptibilite ve ağır metal değerleri görülmektedir. Bu sonuç hızlı ve ucuz maliyetli olan manyetik süseptibilite ölçümlerinin kirliliğin belirlenmesinde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstanbul, Kirlilik, Çevre Manyetizması, Manyetik Süseptibilite

Abstract

Environmental magnetism involves measurement of the magnetic properties of environmental materials, including soils, sediments and dusts. Magnetic properties often provide highly sensitive indicators to determine environmental variation in present and geological time. The aim of this study is to determine the soil pollution of Avcılar-Küçükçekmece region by magnetic susceptibility measurements. 44 topsoil samples were collected from the forests, industrial area and near to the heavy traffic road that surround the study area. Magnetic susceptibility and heavy metal analysis were applied together as a proxy method for detecting top soil pollution. Our results showed that magnetic susceptibility and heavy metal values are very high in İkitelli Industrial area, Avcılar and Küçükçekmece

regions. Top of 8 cm of the vertical soil profile includes the highest concentration of magnetic mineral and heavy metals related with antropogenetic affect. Along a north-south profile in west of the study area, high magnetic susceptibility values were observed in south region. There are busy roads, residential and industrial areas in this region. Our study supported that magnetic susceptibility measurements can be used as a fast and cost effective method for detecting soil pollution.

Keywords: Istanbul, Pollution, Environmental Magnetism, Magnetic Susceptibility

1. GİRİŞ

Çevre manyetizmasının temel amacı, geçmiş ve günümüz çevre ve iklim koşullarının anlaşılabilmesi için manyetizmayı bir araç olarak kullanmaktır. Özellikle 1970'lerden sonra konu ile ilgili teorik ve deneysel çalışmaların derlendiği bir çok makale ve kitap konuyu açıklamak ve geliştirmek için yayınlanmıştır (Thompson ve Oldfield, 1986; King ve Channel, 1991; Verosub ve Robert, 1995; Dekkers, 1997; Maher ve Thompson, 1999; Walden vd., 1999; Evens ve Heller, 2003; Makaroğlu ve Orbay, 2011). Son yıllarda çevre manyetizması kapsamında, dünyanın birçok büyük şehrinde manyetik ölçüm temeline dayanan kirliliğin görüntülenmesi çalışmaları oldukça hız kazanmıştır (Jordonova vd., 2004; Yang vd., 2007; Akinyemi vd., 2013; Famera vd., 2013; Scoullos vd., 2014). Ancak Türkiye'de konu ile ilgili çalışmaların sayısı Canbay vd. (2010)'nin yaptığı çalışma dışında yok denecek kadar azdır. Jeokimya ve manyetik analizlerin bir arada yapıldığı bu çalışmalarda toprak, göl sedimanları, toz ve yaprak örnekleri gibi oldukça geniş bir yelpazede örneklerin manyetik özellikleri ölçülebilmektedir. Bu çalışmalar, uzaysal ve zamansal olarak ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde manyetik parametrelerin (özellikle manyetik duyarlılık) güçlü bir belirteç olarak kullanılabileceği gösterilmiştir (Charlesworth ve Lees, 1997; Hay vd., 1997; Georgeaud vd., 1997; Petrovsky vd., 1998; Bityukova vd., 1999; Petrovsky ve Ellwood, 1999; Magiera vd., 2003; Desenfant vd., 2004; Panaiotu vd., 2005; Magiera vd., 2006; Rothwell ve Lindsay, 2007; Yang vd., 2007; Chaparro vd., 2008; Qiao vd., 2011; Xia vd., 2011; Petrovsky vd., 2013; Li vd., 2014; Scoullos vd., 2014; Salo ve Makinen, 2014). Antropojenik kirlilik yani insanlar tarafından oluşturulan çevre kirliliği (sanayi atıkları, metal kirlenmesi, otoyol trafiği vb.) genellikle manyetik suseptibilitesi yüksek Cr, Pb, Zn ve Cu gibi metalleri içerdiği için güçlü manyetik etkiye sahiptir. Bu nedenle manyetik mineral analizleri ile kirlenmiş alanlar belirlenerek kirliliğin kaynağı ortaya çıkartılabilmektedir (Evens ve Heller, 2003). Bu manyetik özelliklerin ayrıntılı olarak ortaya konulması sonucu, antropojenik ile

litolojik ortam belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir (Petrovsky ve Ellwood, 1999). Toprak ve sediman karotlarından elde edilen örneklerin manyetik mineral türlerinin, domen yapılarının ve yoğunluklarının belirlenmesi ile kirliliğin boyutu ve kaynağı saptanabilmektedir (Le Borgne, 1955; Kukla vd., 1988; Singer ve Fine, 1989; Maher vd., 1994; Dearing vd., 1996; Maher, 1998). Sanayi ve antropojenik etki ile kirlenmiş alanlarda bol miktarda bulunduğu bilinen, özellikle manyetit ve multidomen yapısındaki kaba taneli manyetik mineraller, manyetik ölçümler ile tanımlanabilmektedir (Oldfield ve Scoullos, 1984; Scholger, 1998; Chan vd., 2001; Rose vd., 2004; Knab vd., 2005; Yang vd., 2007; Chaparro vd., 2008). Sediman ve topraktaki manyetik minerallerin oluşmasında, sedimanların ve toprağın birikim süreci ve sonradan geçirmiş oldukları değişimler önemli bir rol oynamaktadır. Bu değişimler rüzgar, erozyon, sel veya biyolojik etkenler gibi farklı fiziksel ve kimyasal etkenlerle oluşmaktadır. Topraktaki manyetik mineraller litojenik kökenli olarak havza alandaki jeolojik birimlerden türeyerek yerinde oluşabilir. Ayrıca rüzgâr ve sel gibi doğal olaylarla ya da endüstriyel ve trafik tozları gibi antropojen etkilerle atmosferde depolanan materyaller de topraklarda manyetik mineral yoğunluğunu etkilemektedir. Çelik, çimento ve en önemlisi taşkömürü üretimi gibi birçok endüstriyel işlem toz halinde uçuşan manyetik (demiroksit) partiküller oluşturur. Yaklaşık % 98 verimlilikle çalışan elektro-filtrelerle bile, tek bir tesiste yaklaşık her saat 2 ton uçucu kül atmosfere yayılır ve meteorolojik şartlara bağlı olarak partiküller yüzeye inmeden önce yüzlerce kilometre ilerleyebilirler (Evens ve Heller, 2003). Toprak ve sedimanlardaki manyetik madde miktarı bu kirletici kaynaklara olan uzaklığa göre değişmektedir (Flanders, 1994).

Manyetit dünyadaki en önemli manyetik minerallerdendir. Volkanik, metamorfik ve sedimanter kayalarda birincil ve ikincil olarak bulunur. Toprak ve sedimanlarda bakteriyel aktiviteler sonucu da oluşabilirler. Ayrıca, yanma süreçleri (endüstriyel) sonucunda da atmosferde manyetit minerali oluşabilmektedir. Atmosferdeki ağır metaller rüzgar ile

taşınan toprakta ve uçuşan küllerde bulunan toz partikülleri ile ilişkilidir. Endüstriyel yanma süreçleri rüzgar aşınması gibi doğal mekanik süreçlere oranla daha ince taneli partiküller üretir. Partikül boyutundaki bu farklılık antropojen kaynaklı kirliliğin belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. Tozlar da ve küllerde bulunan manyetik demir oksitler 1 µm'dan 50 µm'a kadar değişen boyutlarda küresel amorf yapılarıyla kolayca ayırt edilebilmektedir (Kalliomäki vd, 1982; Hoffmann vd 1999). Ayrıca manyetit (Fe₂O₄) çeşitli toksik elementi bünyesinde taşıyabildiği için (Georgeaudand ve diğ. 1997a, b.) endüstriyel süreçler sonucu oluşmuş manyetitin varlığının belirlenmesiyle antropojen kirlilik tanımlanabilmektedir. Çevre manyetizması yönteminin kirlilik araştırmalarındaki en temel amacı da bu yanma süreçleri sonucunda oluşarak uçuşan tozların toprakta, sucul alanlarda veya ağaç yaprağı, yosun gibi biyolojik ortamlardaki izleri olan antropojenik kökenli manyetit mineralinin varlığını tespit etmektir. Çevre manyetizması yöntemi ile belirlenebilen antropojenik manyetik mineralleri oluşturan manyetik demir oksitler endüstriyel tozların bir bileşeni olduğu için kirlilik kaynaklarının ve dağılımının görüntülenmesi için uzun zaman alan ve pahalı olan kimyasal yöntemler için güçlü bir belirteç (proxy) sağlarlar.

Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'da kirlenmiş alanların belirlenmesi çalışmaları oldukça yetersizdir. Sanayileşmenin ve nüfusun artışına paralel olarak şehirde birçok alan kirlenmiştir. Bu kirliliğin belirlenmesi için farklı araştırma olanaklarının olmasına karşı bu araştırma olanaklarının bir çoğu pahalı ve zaman alan çalışmalardır. Çalışma bölgesi olan Küçükçekmece Havzasında nüfusun artışıyla beraber sanayileşmenin etkileri doğal alanlara olumsuz olarak yansımış ve kirlenme (hava, su, toprak) kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle özellikle çalışma bölgesinde yer alan Küçükçekmece lagününde kirliliğin belirlenmesi ile ilgili olarak biyolojiden, jeolojiye farklı disiplinlerin kullanıldığı projeler ve yayınlar son yıllarda artmıştır ve bu çalışmaların çoğunda insan (antropojenik) ve sanayi kaynaklı kirlilik tespit edilmiştir (Pehlivan ve Yılmaz, 2004; Altun vd., 2009; Demirel vd., 2009; Üstün vd., 2009; Taner vd., 2011; Sivri vd., 2012). Göl sedimanları üzerine yapılan doyuru cu çalışmalara karşı havza alan içerisinde toprak kirliliğine yönelik çalışmaların sayısı yetersizdir.

Bu çalışmada, Avcılar-Küçükçekmece bölgesinde manyetik süseptibilite ölçümleri ile kirlenmiş

alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylelikle manyetik süseptibilite yöntemi ile kirlenmiş alanların belirlenmesinde ucuz maliyetle hızlı bir şekilde sonuca ulaşma olanağı sağlanmıştır. Çalışma alanı içerisinde örnek almaya elverişli olan topraklardan süseptibilite ölçümleri yapılmış ve toplanan el örneklerinin de kütle manyetik süseptibiliteleri ölçülmüştür. Ayrıca, her bir ölçüm noktasından alınan örneklerden ağır metal analizleri yapılmıştır.

2. MALZEME VE METOD

Çalışma Alanı

Çalışma bölgesi olarak Avcılar-Küçükçekmece bölgesi seçilmiş ve bu bölgeyi içine alan yaklaşık 500 km²'lik bir alanda çalışma yapılmıştır. Çalışma alanı içerisinde İstanbul'un önemli bir sucul alanı olan Sazlı, Nakkaş ve Eşkinöz Dereleri ile beslenen Küçükçekmece Lagünü yer almaktadır. Doğuda çoğunlukta Eosen kireçtaşları ile Sarmasiyen (orta Miyosen) kum ve kireçtaşı gözlenmektedir. Güney doğusunda Marmara Denizi ile birleştiği yerde Sarmasiyen kil, marn ve kireçtaşları bulunmaktadır. Çalışma alanının batısında yine Sarmasiyen Çukurçeşme üyesi çakıl, kum, silt ve daha genç Güngören üyesi çamurtaşı, kiltası bulunmaktadır. Kuzey batısında Eosen killi kireçtaşı ile Yarımburgaz kireçtaşı gözlenir (Meriç vd., 1988) (Şekil 1).

Çalışma bölgesinde yerleşim alanları, sanayi siteleri, orman alanlar, ekili ve kullanılmayan alanlar bulunmaktadır (Şekil 2).

Örnekleme

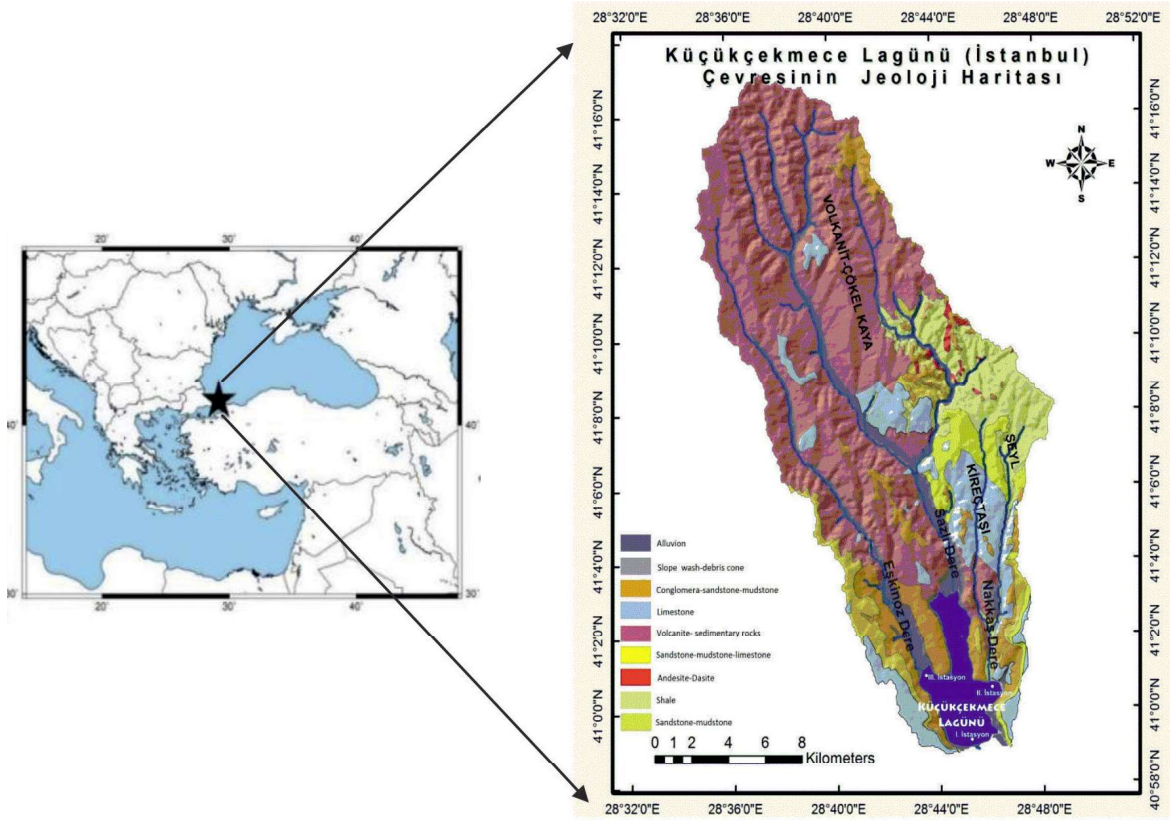
Çalışma bölgesinden 44 farklı noktadan ölçümler alınmıştır (Şekil 2). Bölge içerisinde toprak örneği almaya uygun olan bozulmamış topraklardan örnekler alınmıştır (Fotoğraf 3a, b, c). Bu alanlar içerisinde otoyol, sanayi bölgeleri ve yerleşim alanları gibi farklı kirletici kaynaklar bulunmaktadır. Bozulmuş, taşınmış olan moloz yığıntılı alanlardan örnek toplanmamış ve ölçüm yapılmamıştır (Fotoğraf 3d). Örnekler otoyol kenarları, sanayi bölgeleri ve ormanlık alanlardan toplanmış ve bu bölgelerde Bartington Manyetik Süseptibilite Ölçüm Sistemi'nin D ve E sensörleri ile süseptibilite ölçümleri yapılmıştır. Her ölçü noktasında 4m x 4m lik alan içinde 1m aralıklarla 16 ölçü alınmış ve bu 16 ölçünün ortalaması o noktanın süseptibilite değeri olarak belirlenmiştir. Her bir ölçü noktasında süseptibilite ölçümlerinden sonra, hem laboratuardaki ölçümler hem de ağır metal analizleri için, manyetik özel-

likte olmayan bir el küreği yardımı ile, yaklaşık yarım kürek toprak örneği plastik bir poşet içine konularak numaralandırılmıştır. 44 noktada yapılan süseptibilite ölçümlerinin yanısıra 2 ve 41 no'lu ölçü noktalarında 20 cm derinliğinde düşey örnek alınarak süseptibilite ve ağır metal miktarının değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Düşey yönde örnekleme yapmak için bir el karotiyeri kullanılmış ve el karotiyerinin olmadığı durumlarda da yarmalar açılarak 2 cm aralıklarla örnek alınmıştır. Daha önce açılmış yarmalardan, yarma yüzeyi yaklaşık 5 cm kadar temizlendikten sonra örnek alınmıştır (Fotoğraf 2). Araziden alınan toprak örnekleri öncelikle oda sıcaklığında kurutulmuştur. Toprak örnekleri 0.5 mm çaplı elekte elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örnekleri süseptibilite ölçümleri için 6 cm³'lük plastik kutulara konarak

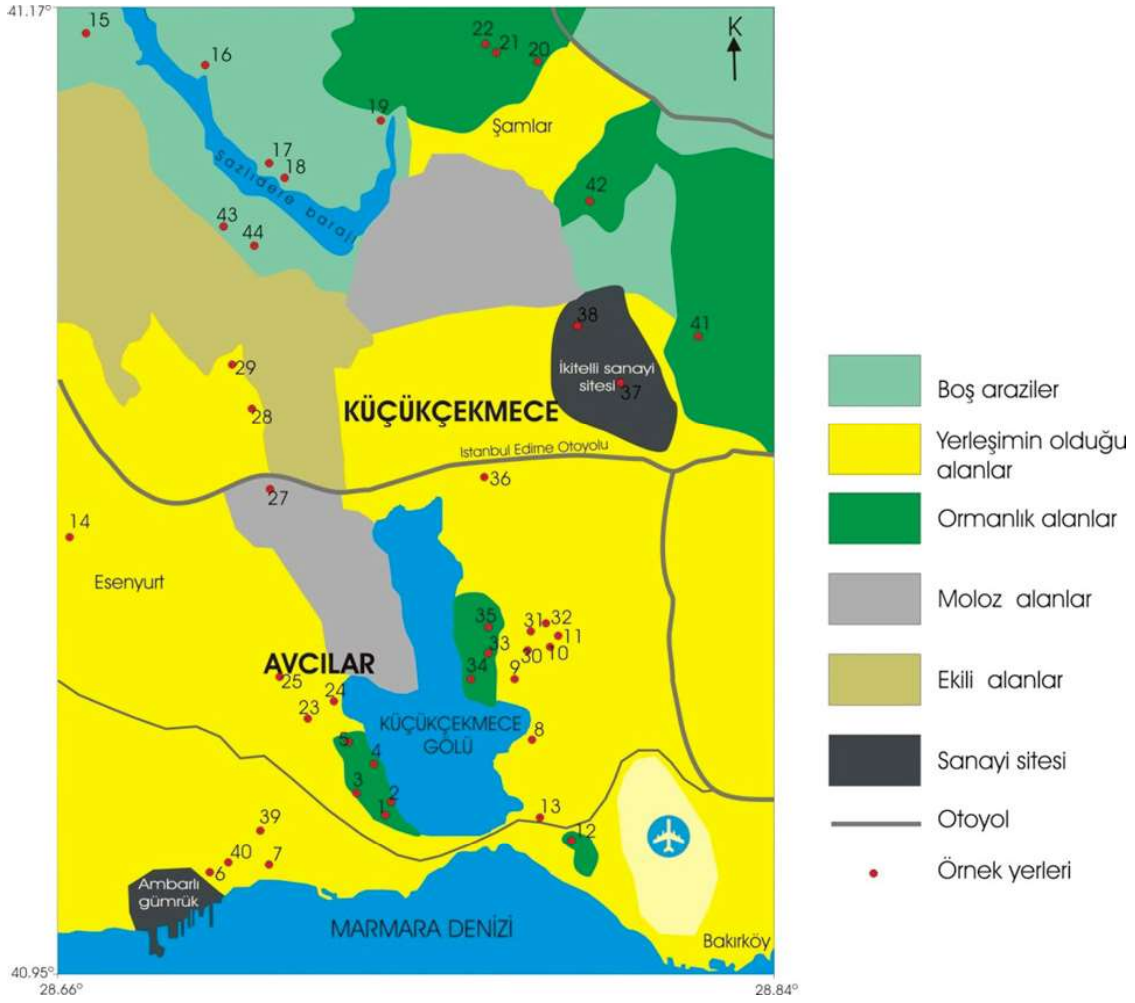
her birinin ağırlığı ölçülmüştür. Laboratuarda MS2 B sensörü yardımıyla, toprak örneklerinin düşük frekans (0.465 kHz) süseptibilite ve yüksek frekans (4.65 kHz) süseptibilite değerleri ölçülmüştür.

Ağır Metal Analizleri

Çevre kirlenmesinde önemli rol oynayan ağır metallerin belirlenmesi amacıyla, çalışma alanından alınan toprak örneklerinin Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve Kurşun (Pb) elementleri için analizler İ.Ü. İleri Analizler Laboratuvarında Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) yöntemi ile yapılmıştır. Cu ve Zn için elde edilen değerler Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Kurşun elementi 0.5 mg/kg değerinin altında bulunduğu için bu analiz yöntemiyle herhangi bir sonuç verilememiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının jeolojisi (Akçer ve diğ., 2011).
Figure 1. Geology of study area

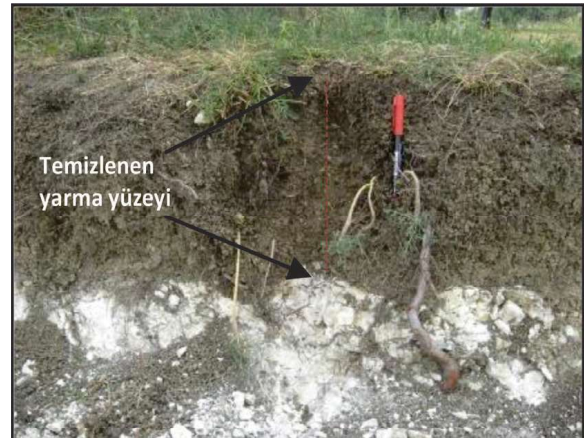


Şekil 2. Çalışma alanı ve örnek yerlerinin dağılımı.
Figure 2. Study area and sampling locations



Fotoğraf 1. Çalışma alanından fotoğraflar. a, b, c resimleri örnek almaya uygun alanlar; d örnek alınmayan moloz dokulmuş veya bozulmuş topraklar

Photograph 1. Photographs from study area. Photographs a, b, c show that suitable soils for sampling; d shows unsuitable soils



Fotoğraf 2. Düşey yönde örneklemeye uygun toprak
Photograph 2. Suitable soil for vertical sampling

Manyetik süseptibilite ölçümleri

Manyetik süseptibilite, manyetik alan içerisinde bulunan bir cismin mıknatıslanabilme ölçüsüdür. Bir kayacın sahip olduğu manyetik duyarlılık değeri kayaç içinde bulunan manyetik minerallerin boyut ve şekli yanında iç gerilimlerine (koersif kuvvetlerine) de bağlıdır. Manyetik süseptibilite manyetik mineral yoğunluğuna bağlı bir parametredir ve çevresel materyallerin jeokimyası, mineralojisi hakkında bilgiler verir. Böylelikle, mineralojiden yola çıkarak materyalin olduğu çevre hakkında bilgiye ulaşılabilir. Manyetik süseptibilite ölçümleri, örnek içindeki manyetik minerallerin özelliklerinin belirlenmesine, yüksek çözünürlük ile manyetik minerallerin toplam hacim içindeki miktarlarının saptanmasına, manyetik minerallerin farklı türlerinin hesaplanmasına, manyetik minerallerin formasyonu veya taşınma işlemlerinin belirlenmesine yarar (Dekkers, 1997; Walden vd., 1999; Dearing, 1994). Manyetik süseptibilite κ simgesi ile gösterilir ve

$$\kappa = M / H \quad (1)$$

formülü ile belirlenir. SI biriminde maknatslanma şiddeti (M) ve manyetik alan (H) A/m birimi olarak ölçüldüğü için bu birim sisteminde manyetik süseptibilite birimsizdir ve hacim-manyetik süseptibilite (κ) olarak adlandırılır. Hacim-manyetik süseptibilitenin yoğunluğa oranı ise kütle-manyetik süseptibilite (χ) vermektedir. Birimi m^3 / kg 'dır.

$$\chi = \kappa / d \quad (2)$$

Çalışma kapsamında tüm ölçümler İÜ Jeofizik Müh. Bölümü'nde bulunan Doç.Dr. Yılmaz İspir Paleomanyetizma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Manyetik ölçümler bu laboratuvarında bulunan Bartington MS2 manyetik süseptibilite ölçüm sistemi ile arazide D ve E sensörü laboratuvarında ise B sensörü kullanılarak yapılmıştır.

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma kapsamında Şekil 2'de gösterilen 44 lokasyon için ölçülen hacim- manyetik süseptibilite (κ), kütle-manyetik süseptibilite (χ) değerleri ile Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) elementlerinin değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanında sırasıyla, manyetik süseptibilite değerleri $11-134 \times 10^{-8} m^3/kg$, Zn elementi $69-210 mg/kg$, ve Cu elementi $12-177.7 mg/kg$ arasında değişmektedir (Tablo 1). 37 nolu örnekleme yerinde Cu ve Zn elementleri en yüksek değerde

ölçülmüştür. Manyetik süseptibilite 22 numaralı ölçüm noktasında (Şamlar Ormanı) en yüksek ($134 \times 10^{-8} m^3/kg$) değerdedir. Bunu İkitelli'de bulunan 37 ($131.97 \times 10^{-8} m^3/kg$) ve Şamlar Ormanında bulunan 21 ($124.39 \times 10^{-8} m^3/kg$) numaralı ölçüm noktaları takip etmektedir. Tablo 1'deki veriler kullanılarak çalışma bölgesine ait manyetik süseptibilite ve jeokimya anomali haritaları sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir. Bu haritalarda, yüksek anomalilerin Avcılar, İkitelli Sanayi Bölgesi ve çalışma alanının kuzeyinde yer alan Şamlar ormanında yoğunluk gösterdiği görülmektedir (Şekil 3, 4, 5). Cu ve Zn elementlerinin anomali haritalarına bakıldığında her iki haritanın birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Manyetik süseptibilite anomali haritasına benzer şekilde Cu ve Zn değerleri, Avcılar, Küçükçekmece merkez ve İkitelli Sanayi bölgesinde yüksek çıkmıştır. Her iki haritada Avcılar, Küçükçekmece ve İkitelli civarlarındaki anomaliler birbirleri ile uyumlu görülürken, Bakır (Cu) anomali haritasında, Küçükçekmece ilçesinin güney batısında göl kenarında görülen yüksek anomalinin karşılığı Zn anomali haritasında görülmemektedir.

Tablo 2 ve 3'te düşey yönde örneklenen toprak profiline elde edilen manyetik süseptibilite ve ağır metal analiz sonuçları verilmiştir. 2 no'lu ölçü noktasında süseptibilite değeri üst toprakta $17 \times 10^{-8} m^3/kg$ iken derine doğru $21.82 \times 10^{-8} m^3/kg$ değerine ulaşmış ancak 7 cm derinliğinden sonra $3.9 \times 10^{-8} m^3/kg$ değerine düşmüştür (Şekil 6). Bu profilden alınan örneklerde yapılan ağır metal analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 7'de gösterilmiştir. Ağır metal yoğunluğu da manyetik süseptibilite gibi derine doğru azalma göstermektedir (Şekil 7). 41 no'lu ölçüm noktasında $25.81 \times 10^{-8} m^3/kg$ olan yüksek süseptibilite değeri 4 cm derinliğe kadar hızla azaldıktan sonra 10 cm derinliğe 13 $\times 10^{-8} m^3/kg$ 'a kadar artmış ve sonra 2 nolu ölçüm noktasındaki gibi tekrar azalmıştır (Şekil 6). İki toprak profiline de 20 cm civarında kireçtaşı üzerinde gelişen topraklarda genellikle düşük manyetik süseptibilite değerleri gözlenmektedir (Thompson ve Oldfield, 1986; Magiera vd., 2006). Anakaya civarında düşük ölçülen manyetik süseptibilite değerlerinin toprak profiline üst seviyesine doğru değişmeden devam etmesi beklenirken yüzeye yaklaştıkça artış göstermiştir. Bu artış antropojenik bir kirliliğin sonucu olarak açıklanabilir. Benzer değişimler Orta Avrupa'da bulunan toprak profillerinde ölçülmüş ve antropo-

jenik etki olarak değerlendirilmiştir (Magiera vd., 2006).

Çalışma alanı içerisindeki bir AB kesiti boyunca (Şekil 8a) süseptibilite değerlerinin değişimini Şekil 8b’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, 41.05° enlemine kadar ortalama 21×10^{-6} (SI) olan yüksek süseptibilite değerlerinin bu noktadan itibaren ortalama 6×10^{-6} (SI) değerlerine düştüğü görülmektedir. Süseptibilitenin yüksek olduğu bu bölge yerleşimin, fabrikaların ve trafiğin yoğun olduğu bölgeye karşı gelmektedir. Süseptibilite değerlerinin ortalama olarak $7-8 \times 10^{-6}$ (SI) olduğu yerler ise, Şekil 2’den de görüleceği gibi, genel olarak yerleşim olmayan alanları kapsamaktadır ve bölgenin güneyinin kuzeyine oranla daha yüksek manyetik süseptibilite değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Şamlar orman bölgesinin yerleşim ve sanayi bölgesinden uzak olmasına karşın yüksek süseptibilite anomalisi vermesinin nedeni, toprak içinde litolojik kökenli manyetik minerallerin yoğunluğuna bağlanabilir. Bu yorumu ağır metal analizleri de desteklemektedir. Bölgeden elde edilen ağır metal değerleri (Zn=83 mg/kg, Cu=35 mg/kg) düşüktür. Bu durum, yüksek süseptibilite değerlerinin antropojenik kaynaklı olmadığını, toprak içerisinde litojenik kökenle oluşmuş manyetik minerallerin yoğunluğundan kaynaklandığını göstermektedir. Çalışma alanında toprak renginin kırmızı olması burada muhtemelen hematitçe zengin litolojik kökenli manyetik minerallerin varlığına işaret etmektedir.

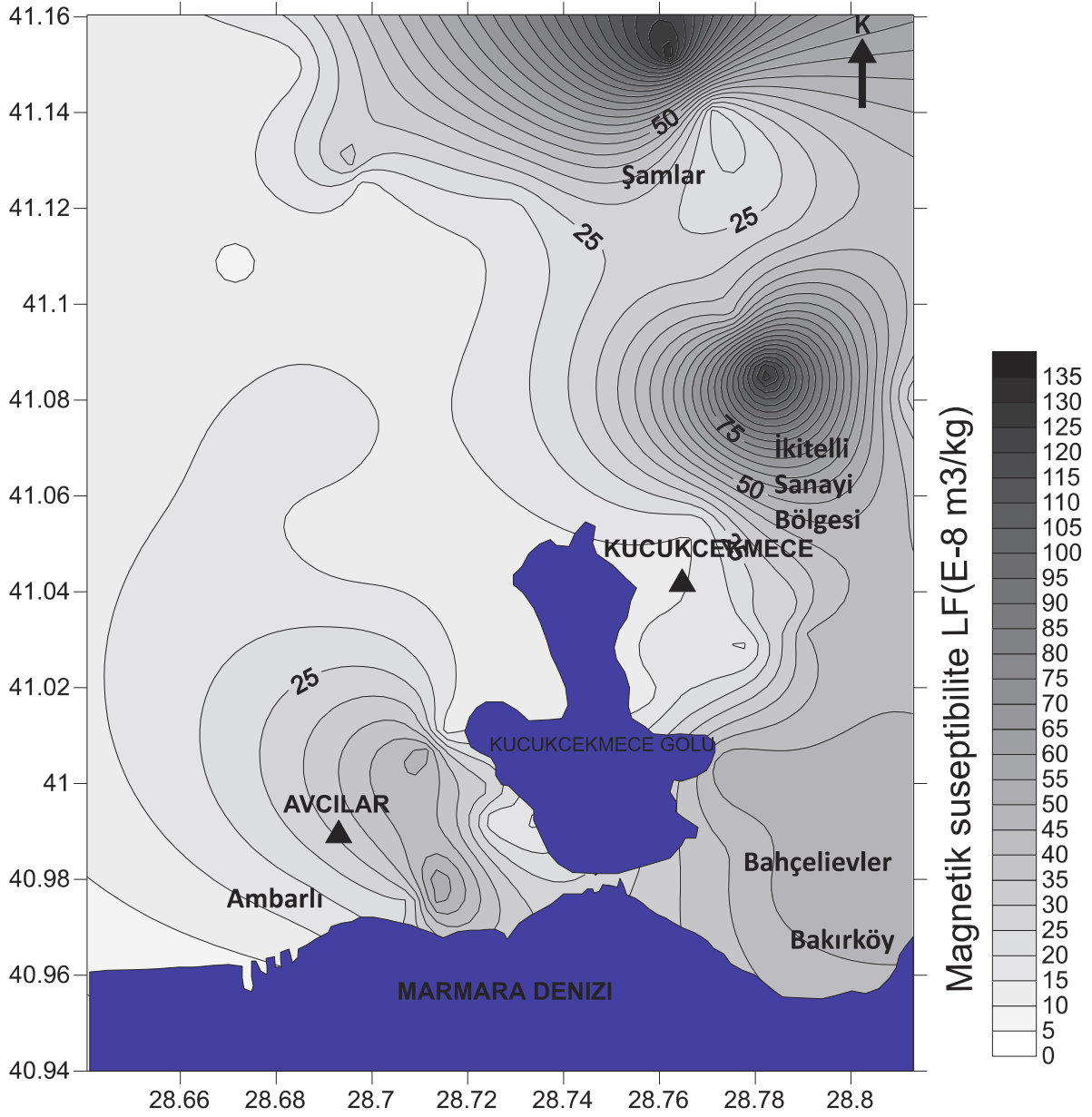
Süseptibilite ve ağır metal sonuçlarının her ikisi birlikte değerlendirildiğinde İkitelli sanayi bölgesinde yüksek değerler gözlemlenmektedir. İkitelli bölgesi kirlilik açısından ilk sırada yer almaktadır. Bölgede bir çok sanayi kuruluşu ve fabrika bulunduğundan, bacalarından havaya yayılan partiküller toprak üzerinde birikerek kirliliğe sebep olmaktadır.

Kirlilik açısından ikinci bölge ise Avcılar merkez ve civarıdır. Ambarlı’da bulunan dolum tesisleri bu yüksek değerlerin nedeni olabilir.

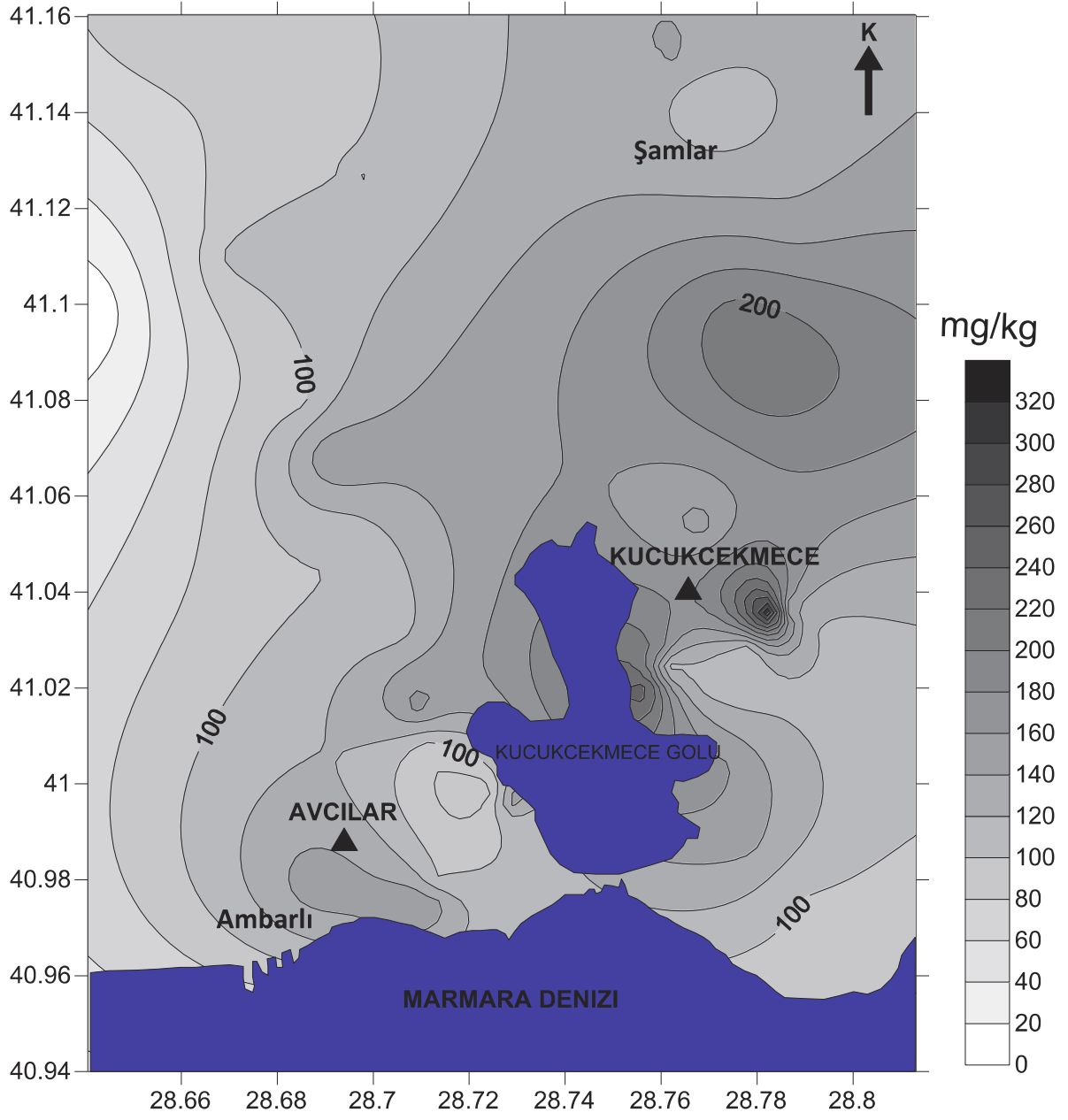
Tablo 1. Manyetik süseptibilite ve ağır metal ölçüm sonuçları

Table 1. Magnetic susceptibility and heavy metal results

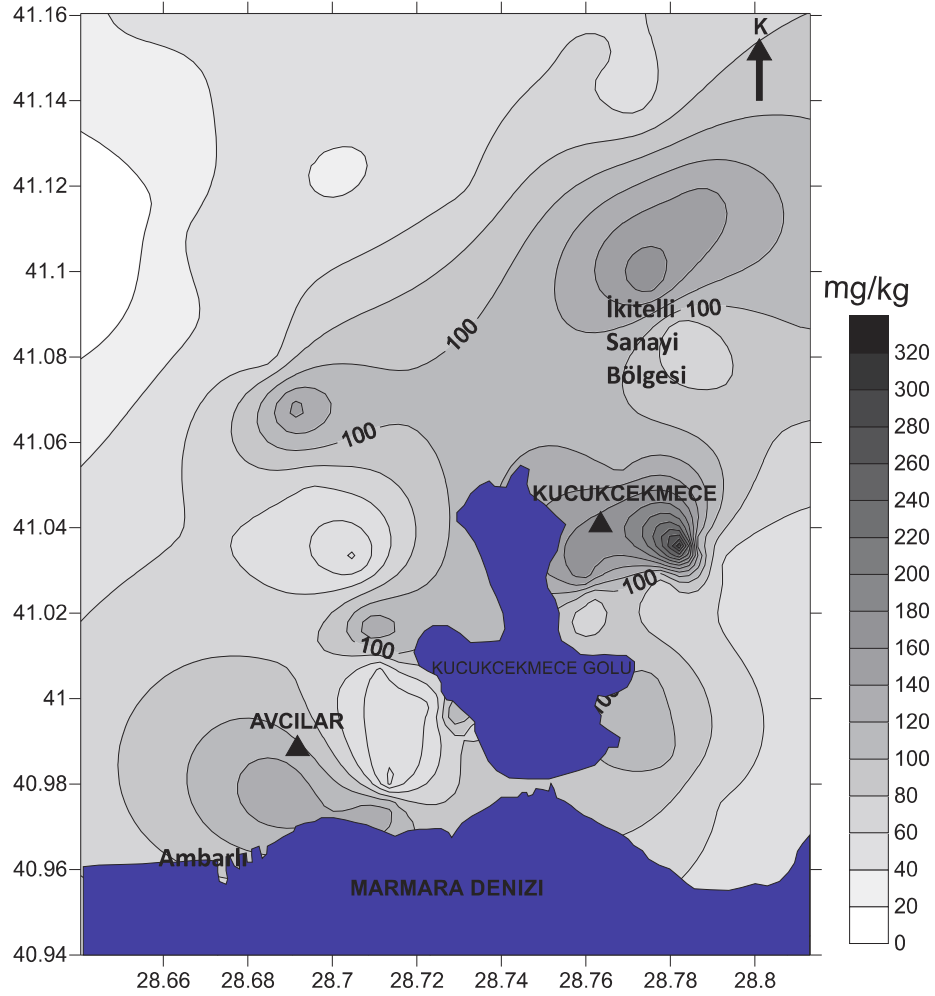
Örnek	K 10^{-5} (SI)	χ_f $(10^{-8} \text{m}^3/\text{kg})$	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
1	7.4063	13.83263	99.95	61.28
2	8.0625	17.03508	112.7	96.69
3	20.375	14.91236	96.37	59.04
4	14.094	22.20805	151.3	131.7
5	20.625	31.44029	69.24	38.84
6	19.188	20.3489	152.5	141.9
7	44.375	50.98066	146.7	125
8	37.5	50.33633	161.1	107.1
9	34.2	21.09575	121	87.3
10	32.969	33.94636	149.9	94.49
11	32.281	40.98889	122.5	61.86
12	52.5	48.44869	101.6	63.05
13	46.094	41.02891	146.1	107.9
14	10.1	13.61563		
15	8.6	12.78118	95.37	43.39
6	8.55	11.92138	82.79	42.36
17	26.55	32.32578	101.6	59.07
18	12.05	13.31383	99.05	28.65
19	15.25	18.59008	131.4	54.75
20	22.15	17.35279	103.7	47.96
21	52.35	124.3985	83.8	35.81
22	147.7	134.9076		
23	42.5	47.17771		
24	9.85	11.98387	119.3	105.8
25	21.1	28.67813	169.2	139.1
26	26.9	18.31787	108.8	14.99
27	10.3	11.52407	101.4	62.02
28	8.9	16.69423	159.1	150.9
29	13.8	17.40058	93.09	47.48
30	13.7	13.62108	103.3	69.57
31	41.889	31.91274	154.2	119.4
32	11.35	23.0116		
33	15.8	20.21023	110.3	77.73
34	9.15	17.79893	192.9	172
35	7.5	11.65686	130.4	115.7
36	18.65	15.65457		
37	119.2	131.9714	210.5	177.7
38	23.9	39.77685		
39	53.65	53.50669	99.54	12.87
40	22.65	24.6023	157.5	122.3
41	20.9	25.81131	147.7	148.9
42	21.9	29.59834		
43	5.4	13.22429	79.16	24.81
44	7.1	8.619055	105.9	56.93



Şekil 3. Manyetik süseptibilite (X_{lf}) Anomali Haritası
Figure 3. Magnetic susceptibility (X_{lf}) anomaly map



Şekil 4. Cu anomali haritası
Figure 4. Cu anomaly map



Şekil 5. Zn anomali haritası
Figure 5. Zn anomaly map

Tablo 2. 2 nolu ölçüm yerinde düşey yönde alınan örneklerle ait manyetik süseptibilite ve ağır metal analiz sonuçları

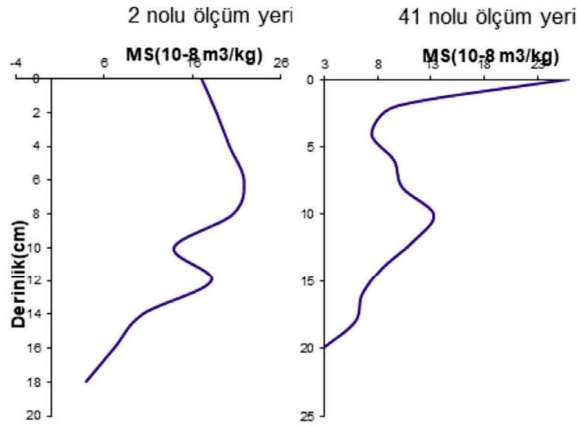
Table 2. Down core magnetic susceptibility and heavy metal analysis results from the sampling location of 2.

Derinlik (cm)	χ_{LF} $10^{-8}(\text{m}^3/\text{kg})$	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0	17.03	112	96
2	18.72	130.7	89.8
4	20.20	94.05	69.96
6	21.82	85.31	61.91
8	20.58	99.09	77.65
10	13.87	82.81	49.94
12	18.12	78.46	58.94
14	10.35	62.45	42.64
16	7.10	9.822	0.5
18	3.91	1.224	0.5

Tablo 3. 41 nolu ölçüm yerinde düşey yönde alınan örneklerle ait manyetik süseptibilite sonuçları

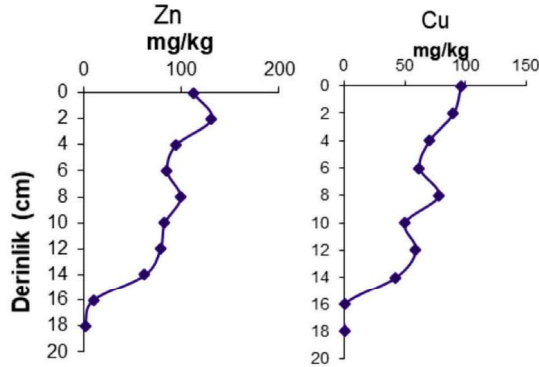
Table 3. Down core magnetic susceptibility and heavy metal analysis results from the sampling location of 41.

Derinlik (cm)	χ_{LF} $10^{-8}(\text{m}^3/\text{kg})$
0	25.81
2	9.75
4	7.48
6	9.59
8	10.35
10	13.30
12	11.36
14	8.46
16	6.58
18	5.95
20	2.88



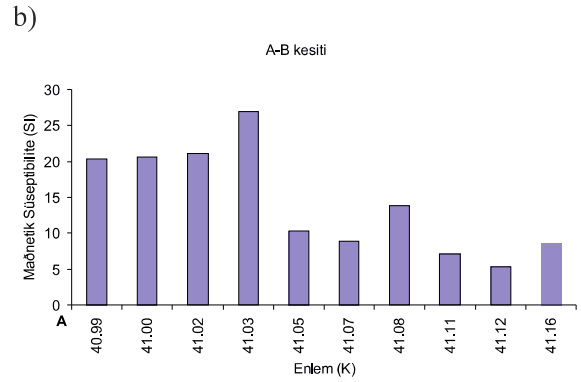
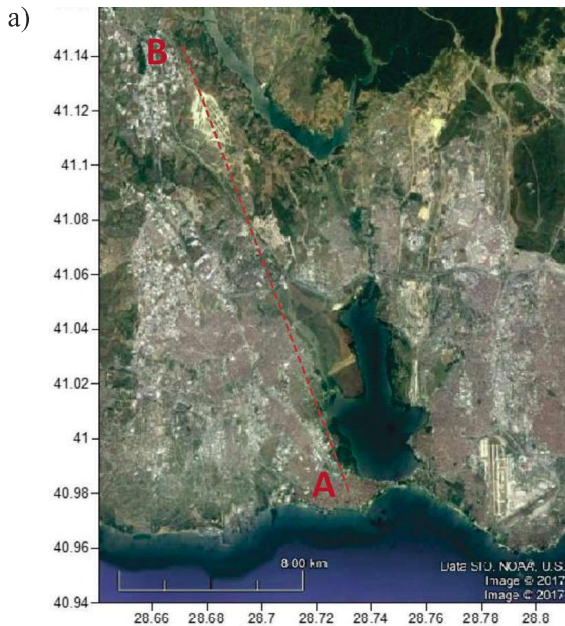
Şekil 6. 2 ve 41 nolu ölçüm yerlerinde düşey yönde alınan örneklerin χ_{LF} sonuçları

Figure 6. Magnetic susceptibility of down-core soil profile from the sampling sites 2 and 41



Şekil 7. 2 no'lu ölçüm noktasında düşey yönde alınan örneklerin Cu ve Zn sonuçları

Figure 7. Heavy metal variation of down-core soil profile from the sampling site 2



Şekil 8. A-B kesiti (a) boyunca süseptibilite değerlerinin değişimi (b)

Figure 8. Variation of magnetic susceptibility through A-B profile

SUMMARY

The aim of this study is to determine the soil pollution of Avcılar-Küçükçekmece Region's using magnetic susceptibility measurements. The spatial distribution of magnetic and heavy metal values of topsoil indicates that magnetic susceptibility have significant correlation with the concentration of Cu and Zn. The results showed that high χ_{LF} is concentrated mostly in the southern parts of the study area which has a lot of main roads and residential and industrial areas. Magnetic minerals of the topsoil from the southern areas may be derived from the traffic emissions. Top of 8 cm of the two vertical soil profiles include highest concentration of magnetic mineral and heavy metals related with antropogenetic affect. These results make it possible to use magnetic techniques as simple, rapid and non-destructive tools for assessing the heavy metal pollutions. The results also showed that the new and detailed studies should performed to create detailed pollution map using magnetic susceptibility measurements for Istanbul.

TEŞEKKÜR

Bu makale, çalışmanın gerçekleşmesinde proje yürütücü olarak katkı koyan sevgili hocamız Prof. Dr. Demir Kolçak'ın anısına yazılmıştır. Hocamızı saygıyla anıyor ve onu özliyoruz. Bu çalışma, İÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi 604/15122006 nolu proje desteği ile gerçekleştirilmiştir. İÜ BAP Birimi'ne teşekkürlerimiz sunarız.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akçer Ön, S., Çağatay, N., 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.
- Akinyemi, F.O., Hutchinson, S.M., Mindrescu, M., Rothwell, J.J. 2013.** “Lake sediment records of atmospheric pollution in the Romanian Carpathians”, *Quaternary International*, 293, 105-113.
- Altun, Ö., Saçan, M.T., 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.
- Bityukova, L., Scholger, R. and Bikre, M., 1999,** Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallinn. *Physics and Chemistry of the Earth* 24, 829-835,
- Canbay, M., Aydın, A., Kurtulus, C. 2010.** “Magnetic susceptibility and heavy metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS(Turkey)”, *J. Appl. Geophys.*, 70, 46-57.
- Chan, L.S., Ng, S.L., Davis, A.M., Yim, W.W.S., Yeung, C.H. 2001.** “Magnetic properties and heavy-metal contents of contaminated seabed sediments of Penny’s Bay, Hong Kong”, *Mar. Pollut. Bull.*, 42, 569–583.
- Chapparro, M.A.E., Sinito, A.M., Ramasamy, V., Marinelli, C., Mullainathan, S., Murugesan, S. 2008.** “Magnetic measurements and pollutants of sediments from Cauvery and Palaru River, India”, *Environ. Geol.*, 56, 425-437.
- Charlesworth, S.M., Lees, J.A. 1997.** “The use of mineral magnetic measurements in polluted urban lakes and deposited dusts, Coventry, U.K.”, *Phys. Chem. Earth*, 22(1–2), 203–206
- Dearing J.A., Hay, K.L., Baban, S.M.J., Huddleston, A.S., Wellington, E.M.H. and Loveland, P.J., 1996.** Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophys.J.Int*, 127, 728-734
- Dearing J.A., 1994;** Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system. Chi publishing, Kenilworth.
- Dekkers, M.J. 1997.** “Environmental magnetism: an introduction”, *Geologie an Mijnbouw*, 76, 163-182.
- Demirel, S., Üstün, B., Aşım, B., Suludere, Z. 2009.** “Toxicity and uptake of Iron ions by *Synechocystis* sp. E35 isolated from Küçükçekmece Lagoon, Istanbul”, *Journal of Hazardous Materials*, 171, 710–716.
- Desenfant, F E. Petrovsky and P. Rochette, 2004.** Magnetic signature of industrial pollution of stream sediments and correlation with heavy metals: case study from South France, *Water Air Soil Poll.* 152 (2004), pp. 297–312
- Evens, M.E., Heller, F. 2003.** Environmental Magnetism Principles and Applications of Enviromagnetics. Amsterdam: Academic Press
- Famera, M., Babek, O., Grygar, T.M., Novakova, T. 2013.** “Distribution of Heavy-Metal Contamination in Regulated River-Channel Deposits: a Magnetic Susceptibility and Grain-Size Approach; River Morava, Czech Republic”, *Water Air Soil Pollut.*, 224:1525.
- Flanders, P.J. 1994.** “Collection, measurement and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment”, *Journal of Applied Physics*, 75, 5931-5936
- Georgeaud, V.M., Rochette, P., Ambrosi, J.P., Vandamme, D., Williamson, D. 1997.** “Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchment: the Etang de Berre (South of France)”, *Phys Chem. Earth A.*, 22, 211-214.
- Georgeaud VM, Rochette P, Ambrosi JP, Vandamme D, Williamson D.1997a.** “Relationship between heavy metals and magnetic properties in a large polluted catchment: the etang de Berre (south of France)”. *Phys Chem Earth* 22 :211– 214
- Georgeaud VM, Rochette P, Ambrosi JP, Bottero JY. 1997b.** “Heavy metals sorption and magnetic properties of magnetite: a case study”. In: Book of abstracts, 8th Scientific Assembly of IAGA, August 4–14, 1997, Uppsala, Sweden. (abstract), p 98
- Hay, K. L., J.A. Dearing, S.M.J. Baban, and P.J. Loveland. 1997,** A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. *Physics and Chemistry of the Earth* 22, 207-210.
- Hoffmann, V., Knab, M., Appel, E., 1999.** “Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution”. *J. Geochem. Explor.* 66, 313–326.

- Jordanova, D., Hoffmann, V., Fehr, K.T. 2004.** “Mineral magnetic characterization of anthropogenic magnetic phases in the Danube river sediments (Bulgarian part)”, *Earth and Planetary Science Letters*, 221/1-4, 71-89.
- Kalliomäki PL, Aittoniemi K, Gustafsson T, Kalliomäki K, Koponen M, Vaaranen V. 1982.** “Research on industrial ferrous metal aerosols. *Ann Occup Hyg* 26 : 337–345
- King, J.W., Channel, J.E.T. 1991.** “Sedimentary magnetism, environmental magnetism, and magnetostratigraphy” *Reviews of Geophysics*, 29, 358-370.
- Knab, M., Hoffmann, V., Petrovsky, E., Kapic’ka, A., Jordanova, N., Appel, E. 2005.** “Surveying the anthropogenic impact of the Moldau river sediments and nearby soils using magnetic susceptibility”, *Environmental Geology*, doi: 10.1007/s00254-005-0080-5
- Kukla, G., Heller, F., Liu, X.M., Xu, T.C., Liu, T.S., An, Z.A. 1988.** “Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility”, *Geology*, 16, 811-814.
- Le Borgne, E., 1955,** Abnormal magnetic susceptibility of top soil. *Ann.Geophys.*, 11,399-419.
- Li, W., Xu, B., Song, Q., Liu, X., Xu, J., Brookes, P.C. 2014.** “The identification of ‘hotspots’ of heavy metal pollution in soil-rice systems at a regional scale in eastern China”, *Sci. Total Environ.*, 472, 407-420.
- Magiera T., Strzyszc, Z., Kapicka A., Petrovsky E., 2003,** Discrimination of lithogenic and antropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe *Geoderma* Volume 130, Issues 3-4, February 2006, Pages 299-311
- Magiera, T., Strzyszc, Z., Kapicka, A., Petrovsky, E. 2006.** “Discrimination of lithogenic and antropogenic influences on topsoil magnetic susceptibility in Central Europe”, *Geoderma*, 130, 299–311.
- Maher, B.A., Thompson, R., Zhou, L.P. 1994.** “Spatial and temporal reconstruction of changes in the palaeomonsoon: A new mineral magnetic approach”, *Earth and Planetary Science Letters*, 125, 461-471.
- Maher, B.A., Thompson, R. 1999.** “Quaternary Climates, Environments and Magnetism”. New York: Cambridge University Press.
- Maher, B.A. 1998.** “Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic palaeosols: palaeoclimatic implications”, *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 137, 25-54.
- Makaroğlu O ve Orbay N, 2011.** “Çevre Mağnetizması ve Uygulama Alanları”, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*. Cilt.24, Sayı 2, ss.547-570
- Meriç, E., Sakınc, M., Özdoğan, M., Açıktur, F. 1988.** “Yarımburgaz Mağarası Kazılarında Gözlenen Mollusk Kavkaları Hakkında”, *Arkeoloji ve Sanat*, 40/41, 28-32.
- Oldfield, F., Scoullos, M. 1984.** “Particulate pollution monitoring in the Elefsis Gulf: The role of mineral magnetic studies”, *Mar. Pollut. Bull.*, 15, 229–231.
- Panaiotu, C.G., Necula, C., Panaiotu, C.E., Axente, V. 2005.** “A magnetic investigation of heavy metal pollution in Bucharest”, *Editura Politehnica*, ISBN 973.625-204-3 83-86.
- Pehlivan, R., Yilmaz, O. 2004.** “Geochemistry and mineralogy of bottom sediments in the Küçükçekmece Lake, Istanbul, Turkey”, *Geochemistry International*, 42, 1099–1106.
- Petrovsky, E., Kapicka, A., Zapletal, K., Sebestova, E., Spanila, T., Dekkers, M.J., Rochette, P. 1998.** “Correlation between magnetic parameters and chemical composition of laek sediments from northern Bohemia- preliminary study”, *Physics and Chemistry of the Earth*, 23, 1123-1126.
- Petrovský, E., Zbořil, R., Grygar, T.M., Kotlík, B., Novák, J., Kapička, A., Grison, H., 2013.** “Magnetic particles in atmospheric particulate matter collected at sites with different level of air pollution.” *Studia Geophysica et Geodaetica*, Volume 57, Issue 4, pp 755-770.
- Petrovsky, E. and Ellwood, B.B., 1999,** *Magnetic Monitoring of Air, Land and Water Pollution*, Ch. 8 in *Quaternary Climates, Environments and Magnetism*, ed. Maher, B. and Thompson, R., Cambridge University Press, 335pp.
- Qiao, Q., Zhang, C., Huang, B., Piper, J.D.A. 2011.** “Evaluating the environmental quality impact of the 2008 Beijing Olympic Games: magnetic monitoring of street dust in Beijing Olympic Park”, *Geophysical Journal of International*, 187, 1222–1236.
- Rose, N.L., Boyle, J.F., Du, Y., Yi, C., Dai, X., Appleby, P.G., Bennion, H., Cai, S., Yu, L. 2004.** “Sedimentary evidence for changes in the pollution status of Taihu in the Jiangsu region of eastern China”, *J. Paleolimnol*, 32, 41–51

- Rothwell, J.J., Lindsay, J.B. 2007.** “Mapping contemporary magnetic mineral concentrations in peat soils using fine-resolution digital terrain data”, *Catena*, 70, 465–474.
- Salo, H., Makinen, J. 2014.** “Magnetic biomonitoring by moss bags for industry-derived air pollution in SW Finland”, *Atmospheric Environment*, 97, 19-27.
- Scholger, R. 1998.** “Heavy metal pollution monitoring by magnetic susceptibility measurements applied to sediments of the river Mur (Styria, Austria)”, *Eur. J. Environ. Eng. Geophys.*, 3, 25–37.
- Scoullou, M., Botsou, F., Zeri, C. 2014.** “Linking Environmental Magnetism to Geochemical Studies and Management of Trace Metals. Examples from Fluvial, Estuarine and Marine Systems”, *Minerals*, 4, 716-745.
- Singer, M.J., Fine, P. 1989.** “Pedogenic Factors Affecting Magnetic Susceptibility of North California Soils”, *Soil sci., Soc. Am.*, 53, 1119-1127.
- Sivri, N., Sandalli, C., Özgümüş, O.B., Çolakoğlu, F., Doğan, D. 2012.** “Antibiotic Resistance Profiles of Enteric Bacteria Isolated from Kucukcekmece Lagoon (Istanbul–Turkey)”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 699-707.
- Taner, M.Ü., Üstün, B., Erdinçler, A. 2011.** “A simple tool for the assessment of water quality in polluted lagoon systems: A case study for Kucukcekmece Lagoon, Turkey”, *Ecological Indicators*, 11, 749–756.
- Thompson, R. and Oldfield, F. 1986,** *Environmental Magnetism*. Allen and Unwin, London.
- Üstün B., Kadirgan, N., Oraltay, G., Peker, İ., Okumus, E., Demirel, S., Gökagaçlı, N.G., ve diğerleri, (2009)** “Dogal Ortamda Agır Metal izlemesi: Uygulama Alanı Küçükçekmece Gölü Ve Havzası”, TÜBİTAK Ulusal Arastırma Projesi 105Y116.
- Verosub, K.L., Roberts, A.P. 1995.** “Environmental Magnetism: Past, present and future”, *Journal of Geophysical Research*, 100, 2175-2192.
- Xia, D.S., Yu, Y., Tian, S.L., Wang, B., Wang, L. 2011.** “Use of environmental magnetic techniques to monitor urban pollution origins in Lanzhou, Northwest China”, *Environmental Earth Science*, 64, 1943–1949.
- Walden, J., Olfield, F., Smith, J. 1999.** “Environmental Magnetism: London: Technical Guide No. 6, “Quaternary Research Association, London, 243 pp Quaternary Research Association.
- Yang, T., Liu, Q., Chan, L., Cao, G. 2007.** “Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoils around the East Lake, Wuhan, China”, *Geophys J. Int.*, 171, 603-612.