



Canca (Gümüşhane, Türkiye) toprak jeokimyası verilerinin Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) ve Krigleme enterpolasyon metotlarıyla değerlendirilmesi-ilk bulgular

Evaluation of soil geochemistry data of Canca Area (Gümüşhane, Turkey) by means of Inverse Distance Weighting (IDW) and Kriging methods-preliminary findings

Alaaddin VURAL^{a*}

^a Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000 Gümüşhane.
orcid.org/0000-0002-0446-828X

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Toprak jeokimyası, ters mesafe ağırlıklandırma (TMA), krigleme, Gümüşhane.

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Canca (Gümüşhane-Türkiye) alterasyon sahasının toprak jeokimya verilerini istatistiksel metotlarla değerlendirmek ve sahanın altın cevherleşme potansiyelini araştırmaktır. Bu amaçla 288 adet toprak örneği toplanmış ve altın-ilişkili iz bulucu elementler için analiz ettirilmiştir. Altın 0,68-19,20, gümüş 0,02-28,97, Cu 2-314, kurşun 7-857, çinko 2,1-394, arsenik 4-199,5, antimuan 0,59-49,29, bizmut 5-89, molibden 0,04-37, kalay 0,52-16,30 ve cıvanın 1,25-91,9 aralığında değiştiği tespit edilmiştir (altın ve cıva µg/kg, diğerleri mg/kg olarak). Sperman's rho korelasyon katsayılarına göre çok güçlü olmamakla birlikte Cu ile Au arasında; Zn ile Cu arasında, Sb ile Pb ve As arasında, Mo ile Pb, As ve Sb arasında, Sn ile As, Sb ve Mo arasında korelasyon gözlenmiştir. Elementlerin eşik değerleri, medyan+2 medyan mutlak sapma ile elde edilmiş ve elementlerin tahmin haritaları Ters Mesafe Ağırlıklandırma ve Krigleme metotları kullanılarak oluşturulmuştur. Tahmin haritaları incelendiğinde; çalışma sahasının özellikle batı kesiminde ve tektonik hatlarla da ilişkili, başta altın ve gümüş olmak üzere element zenginleşmeleri tespit edilmiştir. Dolayısıyla sahada yapılacak arama amaçlı sondaj, jeofizik vb. çalışmalarda sahanın batısına önem verilmesi önerilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, Ters Mesafe Ağırlıklandırma yöntemi ile elde edilen tahmin haritalarının bir anlamda anomali kontrast çözünürlüğünün daha yüksek olduğu, dolayısıyla toprak jeokimyası çalışmalarında öncelikli olarak bu metotla üretilmiş haritaların kullanılabilceği önerilmektedir.

Geliş Tarihi: 29.12.2017
Kabul Tarihi: 29.05.2018

Keywords:
Soil geochemistry, inverse distance weighting (IDW), kriging, Gümüşhane.

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess soil geochemical data of the Canca alteration area (Gümüşhane-Turkey) using statistical methods and investigate potential gold mineralizations of the area. With this purpose, 288 soil samples were collected and analyzed for gold and associated pathfinder elements. The concentrations ranged (Au and Hg: in µg/kg, others in mg/kg) between 0,68-19,20; 0,02-28,97; 2-314; 7-857; 2,1-394; 4-199,5; 0,59-49,29; 5-89; 0,04-37; 0,52-16,30; 1,25-91,9 for Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Mo, Sn and Hg respectively. According to Sperman's rho correlation coefficients, although not very strong, correlation was observed between Cu and Au; Zn and Cu; Sb and Pb and As; Mo and Pb and As and Sb; Sn and As; Sb and Mo. The threshold values of the elements were obtained by median+2 the median absolute deviation. The prediction maps of the elements were formed by using the Inverse Distance Weighting and Kriging methods. According to prediction maps; especially in the western part of the study area and also related to tectonic lines, elemental enrichments, (gold and silver) were determined. Therefore, it is suggested to give importance to the west of the area in exploration drilling, geophysics, etc. Since the element prediction maps produced by the Inverse Distance Weighting method has higher resolution in anomaly contrast, it is suggested that maps produced with this method can preferably be used to give an idea at first sight in soil geochemistry studies.

* Başvurulacak yazar: Alaaddin VURAL, alaaddinvural@hotmail.com
<https://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.430531>

MTA Dergisi hem İngilizce hem Türkçe olarak yayımlanmakta olup makalelere yapılacak atıfların İngilizce baskısına yapılması gerekmektedir.

1. Giriş

Canca (Gümüşhane, KD Türkiye) hidrotermal alterasyon sahası, Doğu Karadeniz Bölgesinde Karadeniz Tektonik Birliği içinde, Gümüşhane şehir merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısındadır. Çalışma sahasının da içinde bulunduğu bölgede porfiri, skarn, epitermal gibi değişik tiplerde pek çok maden yatağı bulunmaktadır (Kozla altın madeni, Gümüştaş çinko-kurşun-bakır madeni, Yıldızlar çinko-kurşun-bakır madeni, Arzular altın madeni, Ünlüpınar kurşun madeni, Kösdere bakır-kurşun-çinko madeni, Karadağ skarn, porfiri ve damar tip cevherleşmeleri, Istala skarn tipte çinko-bakır madeni vb.). Bölgenin gerek jeolojik zenginliği gerekse pek çok maden yatağına ev sahipliği etmesi nedeniyle özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra ağırlıklı olarak Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü olmak üzere pek çok araştırmacı, özel ve kamu olmak üzere pek çok kuruluş tarafından Gümüşhane ve yakın çevresinde çok sayıda yapılmış çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların bir kısmı genel jeolojik amaçlı olarak yapılmış çalışmalar olmakla birlikte pek çoğu ise maden arama amaçlı çalışmalardır. Özellikle 1980'lerden sonra bu tür çalışmalar hız kazanarak devam etmiştir.

Genelde tüm Türkiye'yi kapsayan, özelde ise bölgedeki maden arama amaçlı prospeksiyon çalışmaları daha çok kayaç jeokimyası ve maden jeolojisi çalışmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kayaç jeokimyası çalışmaları mineralizasyonla doğrudan ilişkiye işareti nedeniyle arama jeokimyası çalışmaları içinde önemli bir yer tutmakla birlikte özellikle detay jeokimya çalışmalarında daha büyük role sahiptir.

Ülkemizin en önemli eksiklerinden biri olan genel prospeksiyon çalışmaları aslında kayaç jeokimyası çalışmaları gibi detay jeokimya çalışmalarının en önemli ve başlangıç aşamasında yapılması gereken çalışmalarıdır. Dünyada gelişmiş ülkelerin neredeyse tamamı genel prospeksiyon çalışmalarını tamamlamış ve detay jeokimya çalışmalarında büyük mesafe katetmişlerdir. Bu eksikliğin görülmesi ile birlikte özellikle son yıllarda ülke çapında genel prospeksiyon amaçlı çalışmalara (toprak, bitki, su jeokimyası) MTA Genel Müdürlüğü tarafından başlanmıştır.

Yukarıda da ifade edildiği gibi kayaç jeokimyası çalışmaları detay aramalara daha uygun çalışmalar olduğu için genel prospeksiyon amacıyla yapıldığında ve/veya tek başına detay çalışmaların yapılmasında

kullanıldığında daha çok zaman alan ve tek başına istenen sonuçları da her zaman vermeyen çalışmalardır. Özellikle epitermal altın yatakları gibi değerli maden yataklarında zaman zaman cevherleşmelerin kaçırılmasına da neden olmaktadır. Özellikle bu tür maden yataklarının aranmasında; genel prospeksiyon çalışmalarının bir sonraki aşaması ve hatta kayaç jeokimyası ile birlikte de yürütülen toprak jeokimyası ve biyojeokimya çalışmalarına ait elde edilmiş güzel sonuçlar, teşvik edici bir çok maden arama hikayesi vardır.

Bu çalışmanın amacı MTA Genel Müdürlüğü tarafından prospeksiyon çalışmaları sırasında keşfedilmiş ve cevherleşme için önemli olduğu düşünüldüğü için zaman zaman maden jeolojisi çalışmaları da gerçekleştirilmiş olan Canca (Gümüşhane) hidrotermal alterasyon sahasında gömülü olması muhtemel altın cevherleşmesinin istatistiksel metotlardan yararlanarak toprak jeokimyası çalışması ile araştırılmasıdır.

Sahadaki çalışmaların, rapor kayıtları dikkate alındığında 1980'li yıllara kadar uzandığı görülmektedir. İlk çalışmalar Çınar vd. (1982) tarafından yörede yapılan 1/25.000 ölçekli genel maden prospeksiyon çalışmalarıdır. Bu çalışma sırasında sahadaki hidrotermal alterasyonlara dikkat çekilmiştir. Güner vd. (1985) tarafından Canca sahası yakınında yer alan Hazine Mağara ve Kırkpavli cevherleşmelerinin 1/5.000 ölçekli haritalama çalışmaları sırasında Canca sahasının hidrotermal alterasyon alanları da haritalanmıştır.

Yine 1980'li yıllarda Japon İşbirliği Ajansı (JICA) ile ortak yürütülen Türk-Japon Ortak Projesi (MTA, 1986) kapasamında tüm bölgenin detaylı olarak çalışılması sırasında Canca sahasında da alterasyonların tespitine yönelik olarak çalışmalar gerçekleştirilmiş, çalışma ile hidrotermal alterasyonlara ve saçınımlı pirit cevherleşmelerine dikkat çekilmiştir.

Kansız vd. (1994) tarafından 1989, 1990 ve 1991 yıllarında sahayı da içine alan geniş bir alanda 1/5.000 ölçekli prospeksiyon ve jeolojik etüt çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında Canca sahasında 1/10.000 ölçekli jeoloji ve alterasyon haritalama çalışması gerçekleştirmişler ve kayaç jeokimyası verilerine göre 85-167 mg/kg Cu, 146 mg/kg Pb, 165 mg/kg Zn, 5-24 mg/kg Sb, 80-200 mg/kg As, 1,2-2 mg/kg Ag ve 1 mg/kg Au değeri saptamışlardır. Güner ve Yazıcı (2008) tarafından

yapılan kayaç jeokimyası çalışmalarında ise 1,2-5,1 mg/kg gibi yüksek Ag değerleri rapor edilmiştir. Aynı araştırmacılar tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise 761 mg/kg As, 80 ppb Au ve 2,7 mg/kg Ag değerleri rapor edilmiştir (Yazıcı vd., 2014) . Elde edilen dikkat çekici iz bulucu element ve diğer metal bağlamında gümüş ve altın değerleri kayaç jeokimyası çalışmalarından elde edilmiş verilerdir.

Canca alterasyon sahasında toprak ve/veya bitki jeokimyasına yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sahada maden arama amaçlı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen toprak jeokimyası amaçlı çalışmaların yapılmamış olması bir eksiklik olarak görülmüş ve bu eksikliği gidermek amacıyla sahada toprak jeokimyası çalışması yapılmıştır. Literatürde altın aramalarında toprak jeokimyasından yararlanılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin Reis vd. (2001) yaptığı çalışmada altın cevherleşmelerinin aranmasında toprak jeokimya çalışmalarının etkin olarak kullanıldığını göstermiş ve özellikle iz bulucu elementlerden de yararlanarak eşik değer hesabında önerdiği yöntemle toprak jeokimyası ile oluşturulmuş element dağılım haritalarının anomali kontrast çözünürlüğü artırarak çalışılacak alanı detaylandırmıştır.

Çanakkale-Ayvacık ve yakın çevresinde toprak jeokimya çalışmalarından yararlanarak altın arama çalışması gerçekleştirilmiş ve toprak jeokimyası çalışmaları ile verilen uygun sondaj yerleri ile 10 ton altın değerine sahip Kısacık altın sahası bulunmuştur (Vural, 2006). Toprak jeokimyası yanında bitki jeokimyası çalışmaları da maden aramalarında 1950'li yıllardan beri kullanılan önemli bir metottur. Bitki jeokimyası çalışmalarıyla da tatmin edici sonuçların elde edildiği görülmüştür.

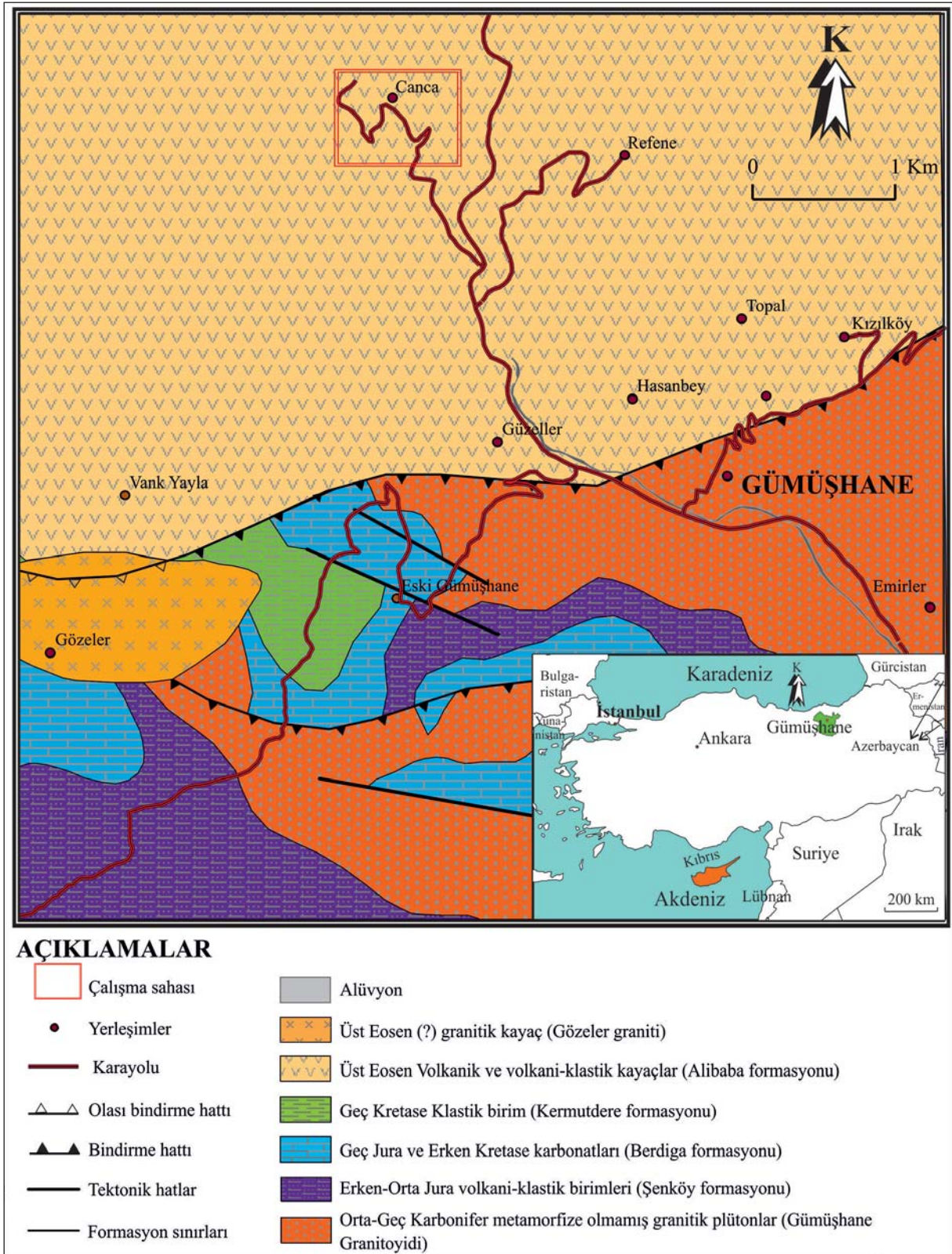
Yaylali-Abanuz vd. (2012) tarafından çalışma alanına yakın bir konumda bulunan Gümüşhane ili, Arzular Beldesi altın zenginleşmelerinde toprak jeokimyası çalışması yapılmış, özellikle krigleme metodu ile element tahmin haritaları oluşturulmuş bu çalışma ile sahaya uygun sondaj yerleri için öneriler getirilmiştir. Vural ve Erdoğan (2014) tarafından Canca sahasının yaklaşık 1,5-2 km GGB'sında bulunan Kırkpavli alterasyon sahasında toprak jeokimyası çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada; Ba, Zn, Pb, Ni, Mn, Cu, Cr ve As elementlerinin altın için iz bulucu element olarak kullanılabilceğini ileri sürmüşler, bu elementlerin sahaya ait anomali haritalarını krigleme enterpolasyon yöntemiyle

oluşturulmuşlar ve alterasyon sahasında altın arama için uygun sondaj yerleri önermişlerdir. Sahada şu an özel bir şirket tarafından altın arama amaçlı sondajlar tamamlanmış, işletme amaçlı süreçler başlatılmıştır.

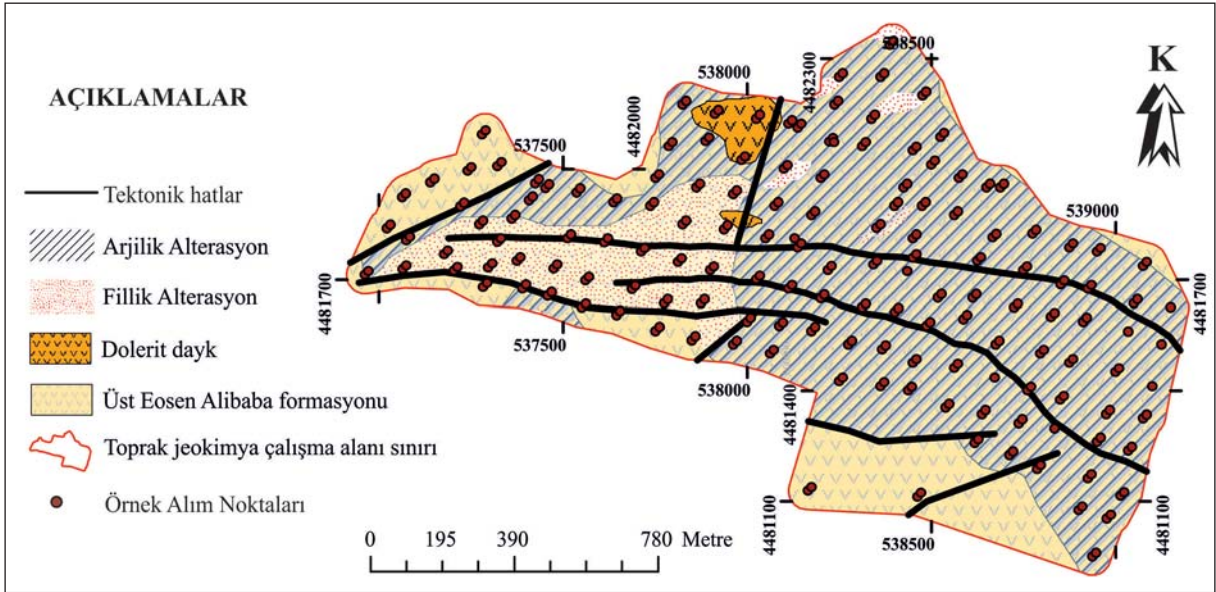
Bu çalışmanın amacı MTA Genel Müdürlüğü tarafından prospeksiyon çalışmaları sırasında keşfedilmiş ve cevherleşme için önemli olduğu düşünüldüğü için zaman zaman maden jeolojisi çalışmaları da gerçekleştirilmiş olan Canca (Gümüşhane) hidrotermal alterasyon sahasında gömülü olması muhtemel altın cevherleşmesinin istatistiksel metotlardan yararlanarak toprak jeokimyası çalışması ile araştırılmasıdır. Bu kapsamda Canca sahasından toprak jeokimyası amaçlı olarak toplanmış 288 adet toprak örneği Gümüşhane Üniversitesi merkezi laboratuvarında analiz ettirilmiş ve elde edilen verilerin çeşitli istatistik analizleri yapılmıştır. Elementlerin eşik değerleri özellikle uç değerlerinin etkisinin sönmüldürüldüğü medyan mutlak sapma (MMS) değerlerinden yararlanılarak hesap edilmiş ve saha için oluşturulan element dağılım haritaları ile sahanın gömülü altın cevherleşmesi açısından potansiyeli araştırılmıştır.

1.1. Bölgenin Genel Jeolojik Özellikleri ve Tanıtımı

Çalışma sahası, Gümüşhane ilinin 10 km kuzeybatısında olup, yaklaşık 1,5-2 km² lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1-2). Çalışma sahasının da içinde bulunduğu Gümüşhane ve yakın çevresinin jeolojisi Doğu Karadeniz Bölgesi'nin önemli bir bölümünün jeolojisinin küçük bir özeti gibidir. Buradaki jeolojik unsurların araştırmacılar tarafından çalışılması, Doğu Pontidler olarak anılan (Ketin, 1966) Doğu Karadeniz Tektonik Birliği'nin anlaşılması için önemli bir katkı vermektedir. Doğu Karadeniz Tektonik Birliği'nin Gümüşhane ve çevresindeki temeli metamorfik Kurtoğlu Metamorfikleri ve bu birimi kesen metamorfize olmamış granitik plütonlardan meydana gelir (Gümüşhane Granitoidi) (Dokuz, 2011; Topuz vd., 2007; Yılmaz, 1972). Bu metamorfik temel kayaçlar çalışma sahası dışında Gümüşhane güneybatısında yüzeylenmektedir. Gümüşhane Granitoyiti, başta Gümüşhane şehir merkezi olmak üzere bir çok sahada yüzeylenmektedir ve bu kayaçlar uyumsuz olarak Erken-Orta Jura volkano-klastik birim tarafından üzerlenmektedir (Şenköy formasyon) (Kandemir, 2004). Volkano-klastik birim üste doğru dereceli Geç Jura ve Erken Kretase yaşlı olan ve Pelin (1977) tarafından Bergida formasyonu olarak adlandırılmış karbonat kayaçlarına geçer. Karbonat



Şekil 1- Gümüşhane ve yakın çevresinin jeolojik haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 2- Çalışma sahası jeoloji ve alterasyon haritası (Güner ve Yazıcı, 2008'den değiştirilerek alınmıştır).

kayaçlarının üzerinde uyumlu olarak Geç Kretase klastik birimler gelir (Kermutdere formasyonu) (Tokel, 1972) (Şekil 1).

Tabanda kumlu kireçtaşı ile başlayan Kermutdere formasyonu yukarı doğru dereceli olarak kırmızı pelajik kireçtaşlarına ve sonrasında kumtaşı, siltaşı marn ve kireçtaşlarından oluşan türbiditik seriye geçer. Tüm bu birimler çalışma sahası kuzeybatısında Geç Kretase intrüzyonları tarafından kesilirler (Kaygusuz vd., 2008). Geç Kretase yaşlı plütonik, volkanik ve sedimanter kayaçlar stratigrafik olarak Orta-Geç Eosen yaşlı volkanik ve volkani-klastik kayaçlar tarafından üzerlenirler (Arslan ve Aliyazıcıoğlu, 2001; Güven, 1993). Bu birimler bölgede Alibaba formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Tokel, 1972). Alibaba formasyonu çalışma sahası yakın çevresinde yüzeylediği kesimlerde Gözeler graniti olarak adlandırılan, eş yaşlı kalk-alkalin granitoidler tarafından kesilmektedir (Eyüboğlu vd., 2011; Karşlı vd., 2013; Vural, 2017, 2014).

1.2. İnceleme Alanının Stratigrafisi ve Alterasyon Gelişim Süreci

Çalışma sahasında Orta-Geç Eosen yaşlı Alibaba formasyonu yüzeylenmektedir. Birim çalışma sahası içinde bazalt ve andezitlerden meydana gelmiş olup yer yer Eosen volkanizmasının son ürünü olan andezit-dolerit daykları tarafından kesilmektedir. Çalışma sahasının hemen yakın çevresinde, sahanın güneyinde yüzeyleyen Üst Eosen (?) yaşlı olduğu

tahmin edilen Gözeler graniti bulunmaktadır (Şekil 1). Sahadaki alterasyon ve gömülü olması muhtemel cevherleşmenin; bölgede Gözeler (Eski Gümüşhane), Avliya (Torul-Gümüşhane), Demirören-Sarıççek-Dölek (Gümüşhane-Merkez) gibi birçok sahada yüzeyleyen Üst Eosen yaşlı granitik sokulum kayaçlarına ve çalışma sahasının kuzeybatı kesimindeki Üst Kretase granitik kayaçlarına bağlı olarak gelişmiş olabileceği tahmin edilmektedir. Üst Eosen ağırlıklı olmak üzere bahse konu süreçlerin ürünü olan hidrotermal akışkanların bölgenin neotektonik evriminin bir sonucu olarak gelişmiş olan tektonik hatları boyunca sığ jeokimyasal ortama ulaşmış ve Canca sahasındaki ağırlıklı olarak andezitik karakterdeki kayaçları alterasyona uğratmışlardır. Dolayısıyla sahadaki alterasyon-cevherleşme tektonik ilişkili olup, muhtemel olarak sahadaki gömülü konumdaki granitoyitik kayaçların bakiye ürünü akışkanların çevre kayaçlarda özellikle tektonik zonların yakın çevrelerinden itibaren değişen şiddette alterasyon gelişimine neden olmuşlardır. Bölgenin neotektonik çatısının gelişimi ile uyumlu olarak gelişmiş D-B yönünde baskın, hafif KB-GD doğrultuya sahip hatlar boyunca gelen akışlar bu hatlar boyunca sahayı alterasyona uğratmışlardır (Şekil 2).

Cevherleşme için önem arz eden silisleşmeler (fillik alterasyon) D-B ve KB-GD doğrultulu tektonik hatlar boyunca gelişmiştir. Özellikle kırık hatları boyunca yoğun hidrotermal alterasyon (silisleşme, killeşme, hematitleşme, limonitleşme ve piritleşme) izlenmektedir. Sahanın özellikle batı kesiminde

silisleşmeler daha geniş bir alanı kaplamaktadır. Alterasyona uğramış geri kalan kesimde kaolinit, simektit ve illit ağırlık kazanmış durumda olup, bu kesimde yer yer alünit, kalsedon, jips damar ve damarcıkları görülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Toprak jeokimyası çalışmaları bağlamında 288 adet toprak örneği Canca alterasyon sahasından KD/GB ve KB/GD doğrultulu profiller boyunca toplanmıştır (Şekil 2). Örnekler toprak profilinin B zonundan yaklaşık 0-25 cm derinlikten plastik kürek kullanılarak ve herhangi bir jeokimyasal kirlenmeye mahal vermeyecek şekilde toplanmış ve temiz naylon poşetlere örnek alma standartlarına uygun bir şekilde konmuş ve numaralandırılmıştır. Toprak örnekleri Gümüşhane Ünivresitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarında rutin analize hazırlama işlemleriyle hazırlanmıştır. Bu bağlamda nemsiz ortamda doğal koşullarda örneklerin kurutulması sağlanmış, daha sonra 2 gün 60 °C’de etüvde kurutulmuş ve doğal neminin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra 2 mm polietilen elekten elenmiş ve elek altına geçen örnekler halkalı öğütücü ile öğütülerek 80–meş elekten geçirilerek Rose vd. (1991) tarafından önerilen ideal boyutlarda toprak örneklerinden 10-15 gr’lık paketler oluşturulmuştur. Toprakların pH ölçümleri yine Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarında yapılmıştır. Toprakta pH ölçümleri için toprak örnekleri 100 meşlik elekten geçirilmiş ve etüvde 60 °C’de 2 gün bekletilerek doğal nemleri uzaklaştırılmış toprak örnekleri (2:2,5; kütle(gr):hacim (mL)) oranında örnek:saf su karışımıyla 50 mL’lik falcon tüplere yerleştirilmiş ve titreşim masasında 60 dakika çalkaladıktan sonra yaklaşık 10 saat kadar sudaki asıtların çökmesi beklenmiş ve Hanna marka masaüstü pH metrede pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toprakların pH değerinin 3,90-7,02 arasında değiştiği dolayısıyla

toprak jeokimyasına konu olan Canca sahasının daha çok asidik karakterde olduğu tespit edilmiştir.

Toprak örnekleri kapalı devre mikrodalga çözünürleştirme sisteminde çözünürleştirme sonrasında Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında ICP-MS ile analiz ettirilmiştir. Analiz sırasında Toz haline getirilmiş toprak örneklerinden 0,20 g civarında 0,1 mg hassasiyette tartımlar alınmış, mikrodalga fırının (AGILENT MDS-8G) teflon beherlerine konmuş, üzerlerine 4 mL NH_3 , 2 mL HF ilave edilerek çizelge 1, I. aşamada verilen şartlarda parçalamaya tabi tutulmuş, daha sonra elde edilen çözeltiye 5 mL B_3OH_3 ilave edilerek çizelge 1, II. aşamada verilen şartlarda tekrar parçalanmaya tabi tutulmuştur. İşlem sonrası beher içerikleri cam pamuğundan süzülükten sonra elde edilen berrak çözeltiler saf su ile 50 mL’ye kantitatif olarak tamamlandıktan sonra analiz edilmiştir. Sonuçların güvenilirliğinin kontrolü amacıyla; her bir örnek en az 3 kez tekrar edilerek analizleri yapılmış, sonuçların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak sonuçların doğruluk ve kesinliğinin belirlenmesi, sonuçların belli bir güven aralığında ve seviyesinde verilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca standart kalibrasyon grafiği kullanımının yanı sıra numunelere standart ekleme ve iç standardı yöntemleri de uygulanmıştır. Ayrıca numune çözeltilerine ekleme/geri kazanma testleri (spiked/recovery) uygulanarak, yöntemin Standart Referans Maddelere (SRM) uygulanmasıyla doğruluk testleri de tamamlanmıştır. Uygulanan yöntemin performansı ve doğruluğu, toprak SRM’si olarak; kumlu toprak standardı “Sandy Soil C (CRM-SA C)”; standartlar kullanılmış, elde edilen kalite kontrol/kalite güvencesi (Quality Control / Quality Assurance; QC/QA) parametreleri çizelge 2’de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Canca sahasından toplanan toprak örneklerinin ana ve iz element analizleri Gümüşhane Üniversitesi

Çizelge 1- Mikro dalgada parçalama programı.

I. Aşama				II. Aşama			
Kademe	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Güç (Watt)	Kademe	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Güç (Watt)
1	120	5	800	1	120	6	800
2	130	5	800	2	130	6	800
3	150	5	800	3	150	6	800
4	210	7	800	4	210	10	800

Çizelge 2- Analizlerin doğruluk testleri.

	Na	Mg	Al	S	K	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Alt limit, LOD, µg/L	2,3	1,0	1,4	3,4	3,4	3,8	0,12	0,05	0,11	2,0	0,02	0,17	0,09
Alt limit, LOD, µg/kg	575	250	350	850	850	950	30	12,5	27,5	500	5	42,5	22,5
Üst limit, mg/L	100	100	100	100	100	100	10	10	10	100	10	10	10
Üst limit, mg/kg	25000	25000	25000	25000	25000	25000	2500	2500	2500	25000	2500	2500	2500
RSD, %	1,2	3,4	4,9	4,8	2,2	3,1	2,5	1,7	1,1	2,6	2,5	1,9	0,7
	Zn	As	Se	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Au	Hg	Pb
Alt limit, LOD, µg/L	0,52	0,07	0,06	0,12	0,05	0,01	0,02	0,12	0,25	0,00015	0,01	0,01	0,12
Alt limit, LOD, µg/kg	130	17,5	15	30	12,5	2,5	5	30	62,5	0,0375	2,5	2,5	30
Üst limit, mg/L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Üst limit, mg/kg	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
RSD, %	3,3	1,9	2,2	1,6	2,1	1,5	0,6	3,3	2,9	1,9	0,6	1,1	2,1

LOD, Limit of Detection, Gözlenebilme Sınırı
RSD, Relative Standard Deviation, Bağlı Standart Sapma

Merkezi Laboratuvarında ICP-MS cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş, altın ve jeokimyasal olarak ilişkili olan elementlerin tanımlayıcı istatistik parametreleri çizelge 3’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, elementlerin her örnek alım noktasında olmasa da bazı noktalarda Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen üst kabuk değerlerini geçtiği görülmektedir. Dolayısıyla sahada bahse konu elementlerce bir zenginleşme söz konusudur.

Elementler Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk normallik testlerine tabi tutularak normal dağılım gösterip göstermedikleri test edilmiştir. Her iki test için de önemlilik derecesi %5’ten küçük olduğu görüldüğü için Ho hipotezi (verilerin normal dağılım

gösterdiği tezi) red edilmiş verilerin normal dağılım göstermedikleri tespit edilmiştir (Çizelge 4). Veri seti dağılımlarının görsel olarak değerlendirilmesi için histogramlar oluşturulmuştur (Şekil 3). Elementlere ait histogramlar ve tanımlayıcı istatistik parametreleri dikkate alındığında element örneklem topluluklarının sağa çarpık olduğu görülmüştür. Tüm elementlere ait verilerin logaritmik değerleri alınmış ve yeniden histogramları oluşturulmuştur (Şekil 3). Logaritmik verilerden üretilen histogramlar incelendiğinde sağa çarpık olan verilerin bir miktar normal dağılıma dönüşmekle birlikte ideal bir Gausiyen topluluk oluşturmadıkları görülmüştür. Veri setleri için Box-Cox ve Arcsin dönüşümleri gerçekleştirilerek

Çizelge 3- Elementlerin tanımlayıcı istatistik parametreleri ve değişik istatistik parametrelere göre hesaplanmış eşik değerleri.

	Au µg/kg	Ag mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As mg/kg	Sb mg/kg	Bi mg/kg	Mo mg/kg	Sn mg/kg	Hg µg/kg
Miktar	39	89	285	269	285	287	142	40	75	124	69
Minimum	0,68	0,02	2,00	7,00	2,10	4,00	0,59	5,00	0,04	0,52	1,25
Maksimum	19,20	28,95	314,00	857,57	394,00	199,95	49,29	89,00	37,00	16,30	91,90
Ortalama	6,97	2,44	69,42	80,61	74,45	37,98	8,00	18,28	5,30	1,53	23,65
Geo.Ort.	5,36	0,69	55,01	55,84	63,29	28,92	4,55	13,36	2,35	1,31	19,60
Medyan	5,40	0,54	68,00	52,72	70,00	29,06	4,27	12,00	2,63	1,25	21,20
SP	4,83	4,75	42,93	103,76	39,96	31,10	9,65	17,72	7,53	1,52	15,08
Çarpıklık	0,88	3,40	1,61	4,64	2,40	2,20	2,40	2,39	2,62	7,78	2,43
Basıklık	-0,11	13,20	6,71	26,86	15,10	6,23	6,25	6,43	6,73	73,66	8,55
Ort.+2SP	16,62	11,93	155,29	288,14	154,36	100,19	27,30	53,72	20,36	4,57	53,81
Geo.O+2SP	15,01	10,18	140,88	263,37	143,20	91,13	23,85	48,81	17,41	4,34	49,76
Medyan+2MMS	11,60	1,42	120,00	98,16	91,00	57,34	10,20	24,00	6,77	1,50	32,00
Temel Değerler*	1,5	0,053	28	17	67	4,8	0,4	0,16	1,1	2,1	50

Geo.Ort.: Geometrik ortalama, SP: Standart sapma, MSS: Medyan Mutlak Sapma

*Rudnick ve Gao (2010)’dan alınmıştır.

Çizelge 4- Elementlerin normallik testleri.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Ön.	İstatistik	df	Ön.
Au (µg/kg)	0,183	39	0,002	0,908	39	0,004
Ag (mg/kg)	0,305	89	0,000	0,532	89	0,000
Cu (mg/kg)	0,062	285	0,009	0,900	285	0,000
Pb (mg/kg)	0,252	269	0,000	0,518	269	0,000
Zn (mg/kg)	0,094	285	0,000	0,859	285	0,000
As (mg/kg)	0,145	287	0,000	0,791	287	0,000
Sb (mg/kg)	0,221	142	0,000	0,704	142	0,000
Bi (mg/kg)	0,245	40	0,000	0,711	40	0,000
Mo (mg/kg)	0,263	75	0,000	0,637	75	0,000
Sn (mg/kg)	0,265	124	0,000	0,385	124	0,000
Hg (µg/kg)	0,184	69	0,000	0,781	69	0,000

a. Lilliefors önemlilik (Ön.) düzeltmesi, df:serbestlik derecesi

dağılımın Gausiyen dağılımına yaklaşıp yaklaşmadığı test edilmiş ancak en ideal dönüşümün ancak logaritmik dönüşümlerden elde edilen alt örneklem topluluğu olduğu görülmüştür.

Elementler normal dağılım göstermediği için elementlerin birbirleri ile olan ilişkileri Spearman's rho korelasyon katsayıları hesap edilerek incelenmiştir (Çizelge 5). Spearman's rho korelasyon katsayıları -1 ile +1 arasında değer almaktadır. Eğer korelasyon katsayısı +1 ise, değişkenler arasında pozitif yönlü mükemmel bir doğrusal ilişkinin olduğu, -1 ise, değişkenler arasında negatif yönlü mükemmel bir doğrusal ilişkinin olduğundan söz edilebilir. Eğer katsayı 0 ise değişkenler arasında doğrusal ilişkinin olmadığı anlaşılır. Ayrıca korelasyon katsayı aralıklarına göre; çok zayıf (0,00-0,25), zayıf (0,26-0,49), orta (0,50-0,69), yüksek (0,70-0,89), çok yüksek (0,90-1,00) şeklinde korelasyon sınıflandırması söz konusu olup, katsayıların negatif veya pozitif değerine göre de ilişkinin yönü belirtilmektedir. Spearman's rho

korelasyon katsayılarına göre çok güçlü olmamakla birlikte Cu ile Au arasında; Zn ile Cu arasında; Sb ile Pb ve As arasında; Mo ile Pb, As ve Sb arasında; Sn ile As, Sb ve Mo arasında korelasyonun varlığı tespit edilmiştir.

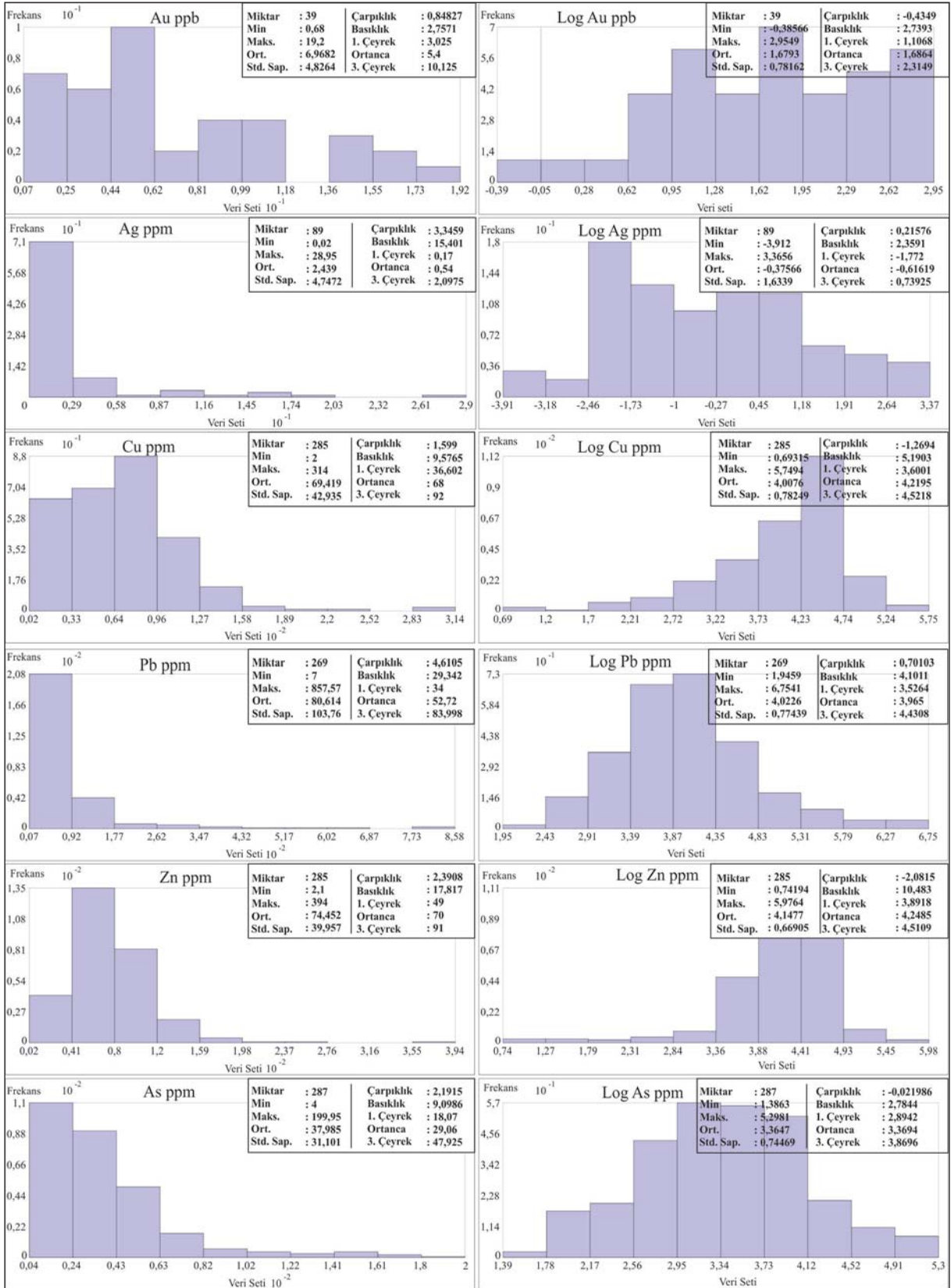
Jeokimya verileri için en sık karşılaşılan sorunlardan birisi dönüşümler için bir çok metodun denenmesine rağmen ideal dağılımlara her zaman ulaşılamamasıdır. Bu durumlarda özellikle aşırı uç değerlerinin etkisini azaltmak için eşik değeri hesabında kullanılan yöntemlerden biri medyan mutlak sapma (MMS) değerinin tespit edilerek klasik metotlarda tercih edilen (ortalama+2 standard sapma; geometrik ortalama+2 standard sapma vb) eşik değeri (ED) hesabına benzer şekilde ED hesabının yapılmasıdır [(medyan+2 MMS, (M+2MMS)]. Medyan (M) ve MMS'nin ED hesabında kullanılmasının sebebi uç değerlere ve sapmalara karşı daha az etkilenme göstermesindedir (Tume vd., 2011). ED hesaplanmasında başka hesaplama metotları da söz konusudur. Bunların arasında

Çizelge 5- Elementler arasındaki Spearson's rho korelasyon katsayıları.

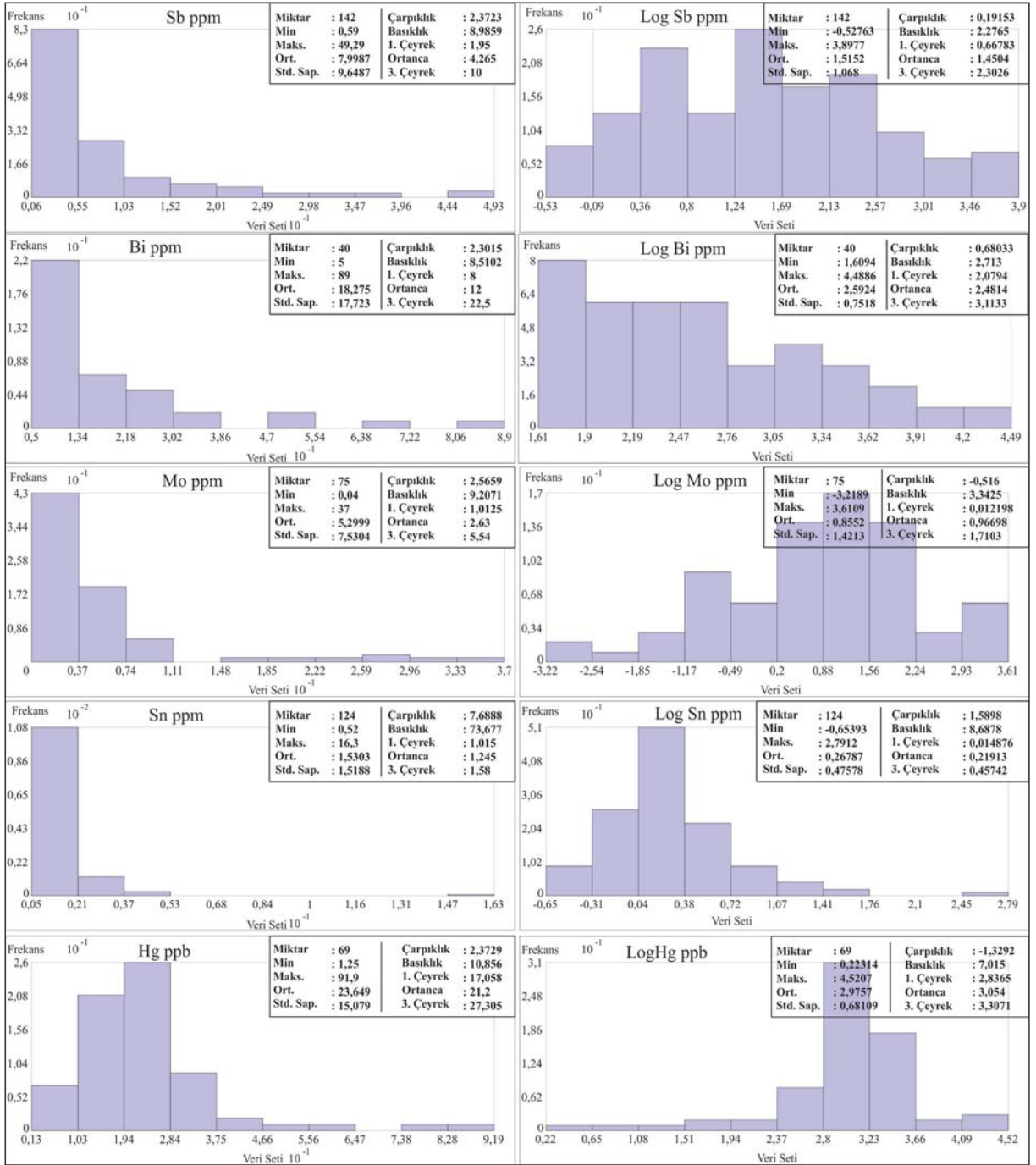
Spearman's rho	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Mo	Sn	Hg
Au	1,00										
Ag	0,14	1,00									
Cu	0,52**	0,31**	1,00								
Pb	-0,16	0,10	-0,21**	1,00							
Zn	0,26	0,38**	0,55**	-0,24**	1,00						
As	-0,31	0,25*	0,11	0,43**	-0,04	1,00					
Sb	-0,36*	0,06	0,08	0,47**	-0,03	0,74**	1,00				
Bi			-0,10	0,31	-0,25	0,23	0,42	1,00			
Mo	-0,07	0,41**	0,02	0,47**	-0,11	0,65**	0,51**	0,43	1,00		
Sn	-0,17	0,33**	0,01	0,37**	0,23*	0,58**	0,56**		0,46**	1,00	
Hg	-0,18	0,11	-0,16	0,11	-0,01	0,11	0,34**		0,05	0,19	1,00

** . Korelasyon önemlilik değeri 0.01 seviyesinde ve çift yönlü

* . Korelasyon önemlilik değeri 0.05 seviyesinde ve çift yönlü



Şekil 3- Ham ve logaritmik dönüşümü yapılmış verilere ait histogramlar.



Şekil 3- devam.

multifractal modellemeler en başta gelenleridir (Alması vd., 2015; Anderson, 2008; Carranza, 2009; Carranza vd., 2009; Carranza ve Sadeghi, 2010; Jena, 1996; Zuo vd., 2009). Bahse konu metodların kullanılarak sahanın daha detaylı değerlendirmesi ve kullanılan metodların birbirleri ile kıyaslanması ayrı bir çalışmada yapılacaktır.

M+MMS metodu ilk bulguların değerlendirilmesi ve saha hakkında fikir vermesi açısından çok kullanışlı ve pratik bir metottür. MMS metodu (Hampel, 1974) tarafından Carl Friedrich Gauss (1777-1855)'in fikirlerinden ilham alarak yeniden keşfedilmiş ve bilimsel literatürde yaygın olarak tanınır hale getirilmiştir. Medyan Mutlak Sapma aşağıdaki şekilde hesap edilir:

$$MMS = M_i(|x_i - M_j(x_j)|) \quad I$$

burada x_i örneklem içindeki her bir elamanı, x_j n sayıdaki orijinal gözleme karşılık gelmekte, M_i ise serinin medyanını ifade etmektedir.

Medyan ve MSS verilerinden elde edilen eşik değer verileri kullanılarak elde edilen element dağılım/ anomali haritaları daha gerçekçi ve daha tatmin edici sonuçlar vermektedir (Reiman ve Filzmoser, 2000).

Klasik metotlarla elde edilmiş eşik değerler ve bu çalışmada kullanılan M+2MSS metodu ile elde edilen eşik değerler kıyaslama yapılması amacıyla çizelge 3’de verilmiştir. Görüleceği gibi hesap edilen ED’ler, (Ort+2 SP)>(Geo.Ort+2 SP)>(M+2MMS) şeklinde büyükten küçüğe sıralanmaktadır.

3.1. Element Dağılım Haritalarının Oluşturulması

Element dağılım haritaları maden arama amaçlı toprak jeokimya çalışmalarında verilerin değerlendirilmesinde en yaygın ve nihai olarak kullanılan veri değerlendirme aşamasıdır. Element dağılım haritalarının oluşturulmasında kullanılan temel modeller iki ana başlık altında toplanabilir: Deterministik modeller ve olasılık (doğrusal istatistik) modeller. Deterministik modeller içinde en bilineni Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) (Inverse Distance Weighting, IDW) enterpolasyon metodu, olasılık modelleri içinde ise Krigleme metodudur.

TMA enterpolasyon modeli en eski mekansal tahmin (spatial prediction) metodudur (Shepard, 1968). Bu metot en kolay deterministik enterpolasyon yöntemidir. Model parametreleri gerçekleştirmekle ilgili birkaç karar verme yöntemi vardır ve enterpolasyona tabi tutulmuş yüzeyler hakkında çabuk ve kolay bilgi avanjı sağlamaktadır. Kolay ve hızlı kullanımı nedeniyle tercih edilmektedir. Ölçülmemiş herhangi bir noktadaki değeri tahmin etmek için TMA tahmin edilmek istenen noktanın yakınındaki ölçülmüş değerleri kullanır. Değeri bulunmak istenen noktaya en yakın ölçülmüş değerlerin etkisi araştırılan noktaya uzak olanlara göre daha etkindir. TMA metodunun temeli coğrafya’da Waldo Tobler’in ilk yasası (Tobler, 1970) olan “Herşey diğer herşey ile ilişkilidir, fakat yakın olanlar uzak olanlara göre daha ilişkilidir.” prensibinden ilham almıştır. Bu yüzden birbirine yakın olan noktalardan büyük ağırlıklar elde edilir ve uzak olan noktalardan ise küçük ağırlıklar elde edilir. Birkaç TMA yöntemi olmasına karşın en bilineni “Shaperd’s Metodu”dur. Makalenin amacı sahaya ait

verilerin ilk elden değerlendirmesine yönelik olduğu için makale yöntemlerin detayların verilmesinden (formülasyonlar vs.) kaçınılmıştır. TMA metodunun hesaplanmasında “p- üssü” değer (power function) yer almaktadır. TMA’da üs değeri arttıkça uzak noktalara gittikçe daha az etki söz konusudur. TMA’da sık ve eşit ağırlıkta örnek alım noktaları söz konusu olduğunda iyi sonuçlar vermekle birlikte, incelenen ortamla ilgili karmaşık ilişkiler söz konusu olduğunda elde edilen sonuçlar her zaman isabetli olmayabilmektedir. Çalışma sahasında örnek alım noktalarının sık ve eşit olması da dikkate alınarak p-üssü değeri 2 olarak alınmıştır. Bu çalışmada metodun prensipleri ve detayı çalışmanın asıl amacının bir parçası olmadığı için verilmemiş, ArcGIS 10.5 paket programıyla bahse konu metot kullanılarak element dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4-14), ki özellikle 1000’den daha az sayıdaki veriler için sağlıklı olarak kullanılan bir metottur.

Krigleme metodu ise uzun zamandan beri jeostatistiksel enterpolasyonla eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Metodun temelini kökeni maden mühendisi D.G. Krige ve istatistikçi H.S. Sichel’in çalışmalarından gelir (Krige, 1951). Tekniğin yaygınlaşması ise Fransız matematikçi G. Matheron tarafından türetilen formüller sayesinde olmuştur ve D.G. Krige’ye atfen G. Matheron tarafından metot Krigleme olarak adlandırılmıştır (Cressie, 1993). Zaman içinde teknik daha da geliştirilmiştir.

Krigleme bir çok parametreyi dikkate alarak duruma göre ayarlanabilir, daha esnek bir metottur. Krigleme örneklenmemiş noktalardaki nokta ve yüzeyleri tahmin etmek için en uygun ağırlıklandırma setlerini bulmak için yarı-variogramlar tarafından temin edilen, alansal otomatik korelasyon altında yatan bilgiyi kullanarak örneklenmemiş noktalar için değer üretebilir. Yarı-variogram uzaklığın bir fonksiyonu olduğu için, ağırlıklar örneklerin coğrafik düzenlenmelerine göre değişir. Düşük ağırlıklar uzak örneklere, yüksek ağırlıklar yakın örneklere atanır. Krigleme ayrıca örneklerin birbirlerine göre nispi pozisyonlarını da dikkate alır. Ortalamasız (Ordinary) Krigleme en güvenli metotlardandır ve çoğu veri setleri için kullanılabilir. Basit (simple) krigleme daha estetik konturlar oluşturmasına rağmen daha az güvenlidir. Evrensel (universal) Kriglemeyi kullanmak diğerlerine göre nispeten daha zordur. Şekil 3’te de görüleceği gibi sahaya ait verilerin çoğunluğu aşırı sağa çarpıktır. Daha önce de belirtildiği gibi verilerin normal dağılıma

dönüştürülmesi için pek çok dönüşüm metodu denenerek verilerin normalleştirilmesi yapılmaya çalışılmıştır. Bu dönüşüm metodlarından log dönüşüm elimizdeki verileri dönüştürmede diğerlerine göre tatmin edici sonuçlar vermiştir. Ancak yine de veriler ideal bir normal dağılım haline gelmemiştir. Bir kısım veriler bir miktar sağa çarpık kalırken bir kısım veriler ise sola çarpık hale gelmiştir. Dolayısıyla Kriglemede kullanılacak veriler ideal bir normal dağılıma dönüştürülemez. Ancak örnek alım noktalarının sık ve düzenli olması dikkate alınarak Krigleme metodu kullanılmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi yaygın kullanılan metodun Ortalamasız Krigleme olmasına rağmen çalışma verileri için veri setlerinin karakterine göre Basit, Evrensel Krigleme metodları ve yine verilerinin karakterine göre Log. dönüşümlü veriler kullanılarak metod uygulanmıştır. Çapraz doğrulama Krigleme metodlarının doğruluğu araştırmada ve Krigleme yüzeyinde kullanılan modellerin performansını değerlendirmede kullanılmaktadır. Yapılan çapraz doğrulama da modelin doğruluğunun kesin cevabını vermediği gibi yanlışlığının da cevabını verememektedir. Veriler normal dağılımlar gösterdiğinde Krigleme iyi sonuçlar vermektedir. Aksi durumda ise metodun kullanılması için verilerin normal dağılıma dönüşümleri yapılmaktadır. Birkaç yüksek değerli aşırı çarpık verilerde, veri dönüşümleri çarpıklığın giderilmesinde katkı verse de Krigleme gibi enterpolasyon metodlarından türemiş aşırı pürüzlenmeleri her zaman gidermeyebilmektedir. Ancak Chaplot vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada enterpolasyon tekniklerinin çoğunun (doğal komşuluk enterpolasyon, spline enterpolasyon vb.) sık nokta alımın söz konusu olduğu durumlarda benzer performansı gösterdiği halde nokta sayısı sık olmayan ve düzensiz dağılımların olduğu kesimlerde ise TMA ve Krigleme metodlarının daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bu çalışmada örnek alım noktaları hem sık hem de düzenlidir. Buna rağmen Krigleme metodu için detaylı değerlendirme ve ön çalışmalar, çapraz doğrulama testleri yapılmış ancak bahse konu çalışmalar makalenin asıl amacının bir parçası olmayıp ön hazırlık çalışmaları olduğu için makalede yer verilmemiştir. TMA metodu ile elde edilen dağılım haritaları ile Krigleme metodu ile elde edilen dağılım haritalarının birbirine benzer sonuçlar vermiş olması, bir yönüyle metodların birbirlerini çapraz doğrulaması olarak kabul edilebilir. TMA ve Krigleme metodlarının uygulama özetleri çizelge 6'da verilmiştir. TMA ve Krigleme metodları ile gerek bu metodların karşılaştırmalarını içeren gerekse müstakil olarak olarak her bir metotla yapılmış bir çok ulusal

ve uluslararası çalışmalar mevcuttur (Akçay, 1998; Ağca, 2015; Patinha vd., 2008; Buttafuoco vd., 2010; Başaran vd., 2011; Zuo, 2011; Shuguang vd., 2015).

Makalede kullanılan her iki teknik hakkında özellikle alansal istatistik kitaplarında çok daha detaylı bilgi elde edilebilir (Cressie, 1990,1993; Chiles ve Delfiner, 1999; Ripley, 2004; Webster ve Oliver, 2007; Hengl, 2009).

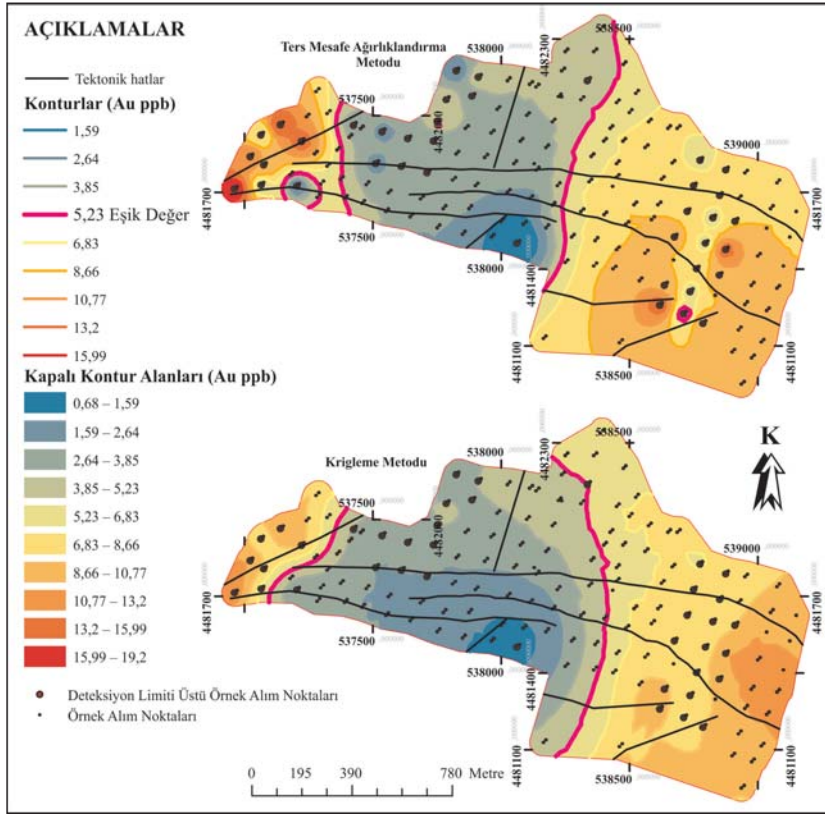
Bu çalışmada elde edilen verilerin ilk bulgularının sunulması amaçlandığı için saha hakkında ilk elden ve hızlı şekilde bilgi edinmek adına ArcGIS 10.5 paket programından yararlanılarak TMA ve Krigleme metodu ile sahaya ait element dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4-14). Bahse konu metodların işleyiş süreçlerine ait özet bilgiler çizelge 6'da verilmiştir.

Yapılan toprak jeokimyası çalışmasında elde edilen element konsantrasyonlarının birbirleri ile güçlü bir korelasyonu gözlenmemekle birlikte zayıf da olsa bazı elementler arasında korelasyonlar söz konusudur. Gerek bu korelasyon gerekse genel jeokimya prensipleri doğrultusunda seçilen elementlerin (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Mo, Sn ve Hg) tekli element dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4-14). Her bir element için ED yukarıda da belirtildiği gibi uç değerlerden çok fazla etkilenmeyen M ve 2*MMS'in toplanarak elde edilmiştir. Her bir element için TMA enterpolasyon ve Krigleme metodlarından yararlanılarak çizilen element dağılım haritaları daha kolay yorumlama yapılabilmesi için birlikte gösterilmiştir.

Altın elementi için sadece 39 örnek alım noktasında tayin sınırının üstünde ve Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen ortalama kabuk değerlerin çok az üstünde konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Sahaya ait altın değerlerinin inceleme sahasının batısında küçük bir alanda ve sahanın doğu-güneybatısında özellikle arjilik alterasyonun yoğun olarak geliştiği kesimde ED 5.23 µm/kg'nin değerinin üstünde olduğu görülmüştür (Şekil 4). Au element dağılım haritaları için Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA) enterpolasyon metodu ve Krigleme metodu ile oluşturulan haritalar arasında büyük bir fark tespit edilememekle birlikte TMA metodunda hassasiyetin bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4'ün batı ucu ve güneydoğu ucu). Au zenginleşmesinde sahadaki tektonik unsurların etkisi de harita üzerinde gözlenmektedir.

Çizelge 6- Krigleme ve Ters Mesafe Ağırlıklandırma Metotlarına ait işlem özet tablosu.

Krigleme	Ters Mesafe Ağırlıklandırma (TMA)
Yarıvariyogram Komşu noktaları dikkate alma: Standart; Dikkate Alınan Nokta Sayısı: 5, en az 2 nokta dikkate alınmıştır. Alan tipi 4 olup 45°; Lag sayısı 12	Üstel değer:2, İncelenen Komşu noktalar: Standard, İncelenen Komşu Nokta Sayısı:15 nokta, en az 10 nokta Saha tipi: Tüm
Hg (69 örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Dönüşüm: Normal Değer Dönüşümü; Temel Dağılım: Gama; Ana ve Tali yarı eksenler: 395,61; Lag boyutu: 37,95; Külçe: 0.35; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 395,1; Kısmi eşik: 0,82	Hg (69 örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 543,71
Sb (142 örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Dönüşüm: Normal Değer Dönüşümü; Yaklaşım: Yoğunluk eğimi; Temel Dağılım: Log-normal; Ana ve Tali yarı eksenler: 392,91; Lag boyutu: 53,39; Külçe (Nugget): 0,72; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 392,91; Kısmi eşik: 0,37	Sb (142 örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 575,71
As (287 örnek) Tip: Evrensel (Universal); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Yönelim Tipi: Sabit; Yönelim Uzaklaştırma: Yerel Polinomial Enterpolasyon; Üstel değeri: 0; Ana ve Tali yarı eksenler: 1834,87; Lag boyutu: 212,88; Külçe: 854,09; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 1834,86; Kısmi eşik: 202,87	As (287 örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 648,99
Zn 285 (Örnek) Tip: Evrensel (Universal); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Yönelim Tipi: Sabit; Yönelim Uzaklaştırma: Yerel Polinomial Enterpolasyon; Üstel değeri: 0; Ana ve Tali yarı eksenler: 70,69; Lag boyutu: 7,59; Külçe: 1786,69; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 70,69; Kısmi eşik: 112,68	Zn 285 (Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 648,99
Pb (269 Örnek) Tip: Evrensel (Universal); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Yönelim Tipi: Sabit; Yönelim Uzaklaştırma: Yerel Polinomial Enterpolasyon; Üstel değeri: 0; Ana ve Tali yarı eksenler: 66,87; Lag boyutu: 7.61; Külçe: 12319,26; Model tipi: Durağan (Stable); Parametre: 2; Menzil: 66,87; Kısmi eşik: 3914,42	Pb (269 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 633,98
Mo (75 Örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Ortalama: 5,30; Ana ve tali yarı eksenler: 361,87; Lag boyutu: 78,85; Külçe: 45,26; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 361,87; Kısmi eşik: 11,48	Mo (75 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 556,43
Bi (40 Örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Yönelim tipi: Yok; Dönüşüm: Normal Değer Dönüşümü; Yaklaşım: Yoğunluk eğimi; Temel Dağılım: Log-normal; Ana ve Tali yarı eksenler: 1731,95; Lag boyutu: 144,33; Külçe: 0,60; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 1731,95; Kısmi eşik: 0,89	Bi (40 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 569,57
Cu (285 Örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Ortalama: 4,01; Yönelim tipi: Yok; Dönüşüm: Log; Ana ve Tali yarı eksenler: 483,89; Lag boyutu: 46,25; Külçe: 0.50; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 483,89; Kısmi eşik: 0,13	Cu (285 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 648,99
Ag (89 Örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Yönelim tipi: Yok; Dönüşüm: Normal değer dönüşümü; Yaklaşım: Yoğunluk eğimi; Temel dağılım: Log-normal; Ana ve Tali yarı eksenler: 467,55; Lag boyutu: 38,96; Külçe: 0,90; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 467,55	Ag (89 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 647,66
Au (39 Örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Ortalama: 1,68; Yönelim tipi: Yok; Dönüşüm: Log; Ana ve Tali yarı eksenler: 936,24; Lag boyutu: 119,14; Külçe: 0,16; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 936,24; Kısmi eşik: 0,65	Au (39 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 546,50
Sn (124 Örnek) Tip: Basit (Simple); Çıktı tipi: Tahmini (Prediction); Yönelim tipi: Yok; Dönüşüm: Normal değer dönüşümü; Yaklaşım: Yoğunluk eğimi; Temel dağılım: Log-ampirik; Ana ve Tali yarı eksenler: 563,15; Lag boyutu: 49,38; Külçe: 0,59; Model tipi: Küresel (Spherical); Menzil: 563,15; Kısmi eşik: 0,61	Sn (124 Örnek) Ana ve Tali yarı eksenler: 575,71



Şekil 4- Altın elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.

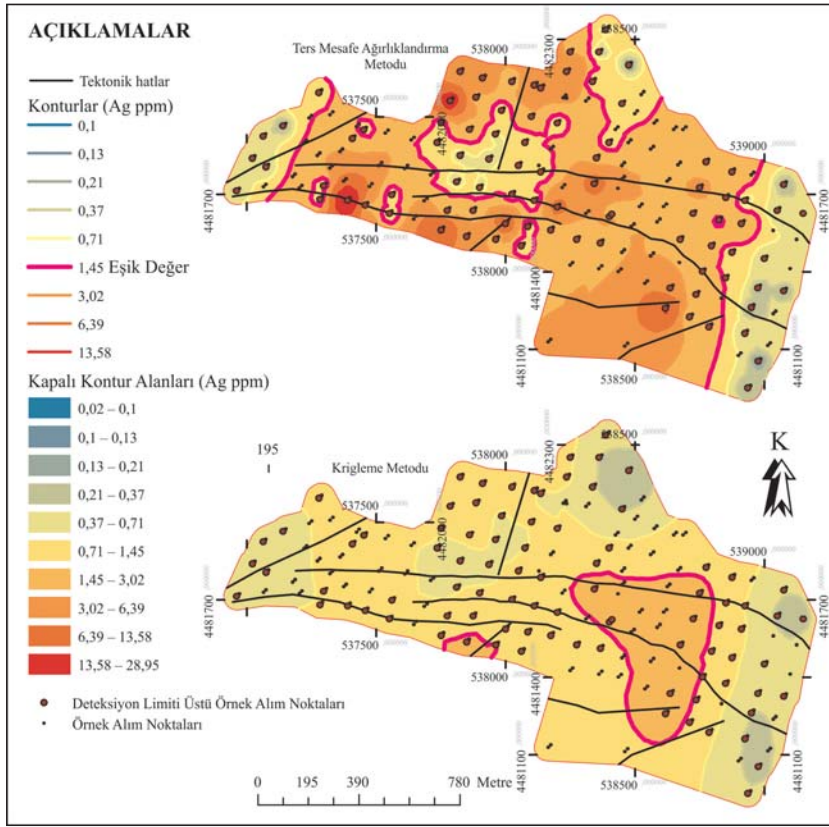
Gümüş 89 örnek alım noktasında tayin sınırının üstünde tespit edilmiştir. 0,02 ile 28,95 mg/kg aralığında değişmekte olup, gümüş için hesap edilmiş ED değeri 1,45 mg/kg'dır (Şekil 5). Sahada gümüş değerleri Rudnick ve Gao (2010) tarafından önerilen üst kabuk değerlerini yer yer aşmaktadır. Gümüş elementi için iki ayrı metotla oluşturulan element dağılım haritaları incelendiğinde TMA metodu ile oluşturulan haritada sahanın orta kesiminde Ag değerlerinin ED (1,45 ppm) üzerinde olduğu gözlenmektedir (Şekil 5). Gümüş zenginleşmeleri arjilik ve fillik alterasyonun geliştiği alanlarda daha dikkat çekici olarak yoğunlaşmaktadır. Krigleme metodu ile oluşturulan haritada ise gümüş zenginleşme alanı daha küçük bir alanla sınırlandırılmaktadır. Gümüş elementi zenginleşmeleri için de tektonik hatlarla bir ilişkilendirme yapmak yanlış olmayacaktır.

Bakır elementi çalışma sahasında neredeyse tüm örnek alım noktalarında tayin sınırı üstünde tespit edilmiş olup, Cu eşik değeri saha için M+2MMS metodu ile 120 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Cu element dağılım haritaları incelendiğinde Krigleme metodu ile oluşturulan haritada dikkat çekici bir Cu zenginleşmesine rastlanmamış olup, TMA

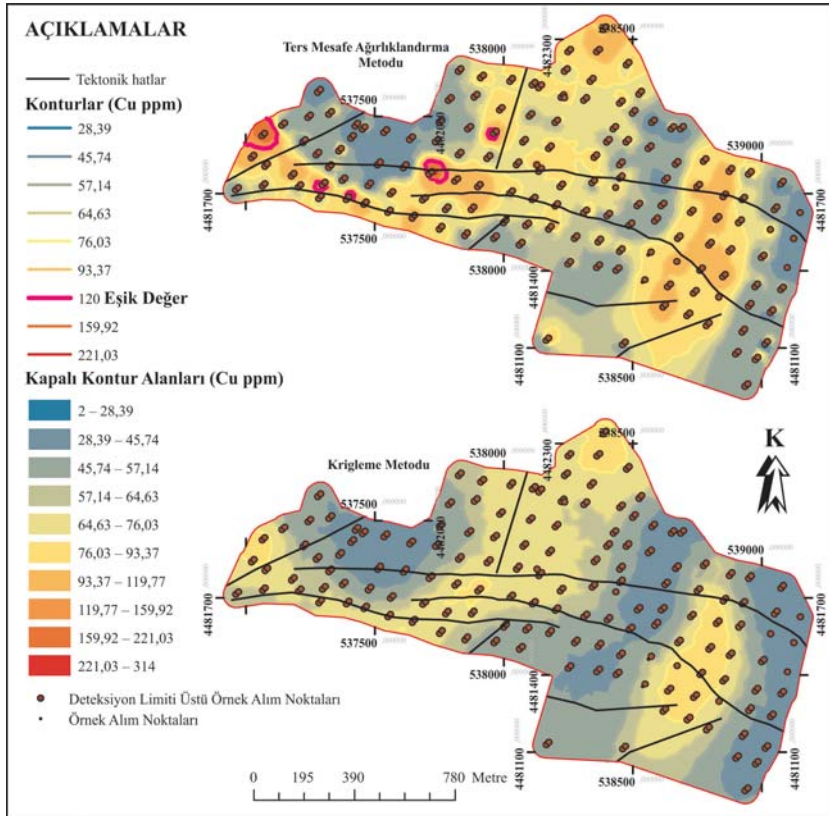
enterpolasyon metodu ile yapılan haritada ise sınırlı bir alanda olmakla birlikte çalışma sahası batı kesiminde özellikle fillik alterasyonun olduğu kesimlerde bakır zenginleşmeleri dikkat çekmektedir (Şekil 6). Cu elementinin Au elementi ile zayıf da olsa bir korelasyon göstermiş olması nedeniyle sahada yapılacak detay arama çalışmalarında bu korelasyon gözden kaçırılmaması gereken bir unsurdur.

Kurşun elementi inceleme alanında 269 örnek alım noktasında tayin sınırının üstünde tespit edilmiştir. M+2MMS metoduyla kurşun için ED 98,6 ppm olarak tespit edilmiş olup, kurşun için TMA ve Krigleme metoduyla oluşturulan element dağılım haritalarına (Şekil 7) göre çalışma sahasının batısında kurşun zenginleşmelerinin olduğu görülmektedir. Her iki metotla oluşturulan element dağılım haritalarında da zenginleşme gösteren sahalarda birbirleriyle örtüşmektedir.

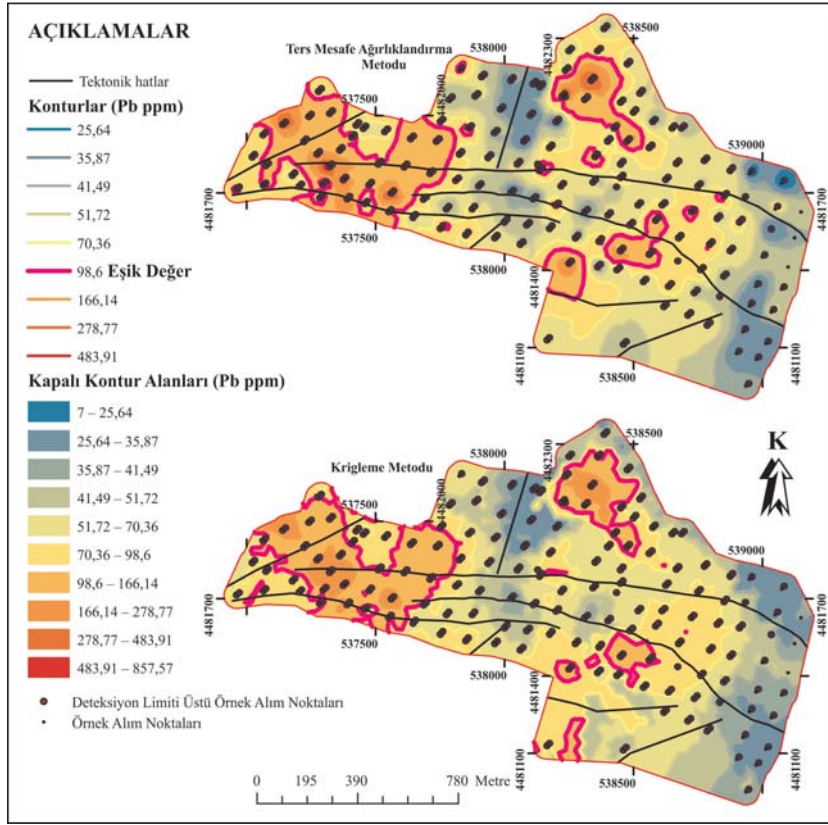
Zn elementi çalışma sahasında 285 örnek alım noktasında tayin sınırı üstünde tespit edilmiştir. Zn elementi için eşik değeri M+2MMS metodu ile 91 ppm olarak tespit edilmiştir. TMA ve Krigleme metotları ile oluşturulan Zn element dağılım haritalarında bir miktar



Şekil 5- Gümüş elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 6-Bakır elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 7- Kurşun elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş element dağılım haritası.

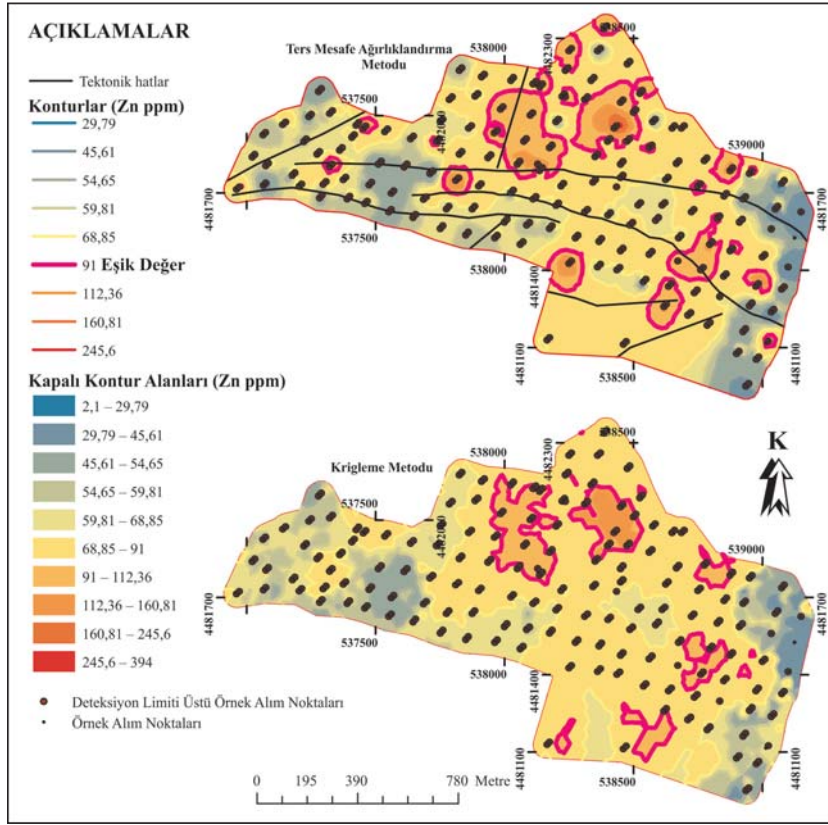
farklılık olmakla birlikte zenginleşme sahaları aynı bölgelere düşmekte olup, daha çok inceleme sahasının orta kesimlerine karşılık gelmektedir.

TMA metodu ile oluşturulan haritada Krigleme metoduyla oluşturulandan farklı olarak çalışma sahasının batı kesiminde küçük bir alanda bir miktar zenginleşme daha görülmektedir (Şekil 8).

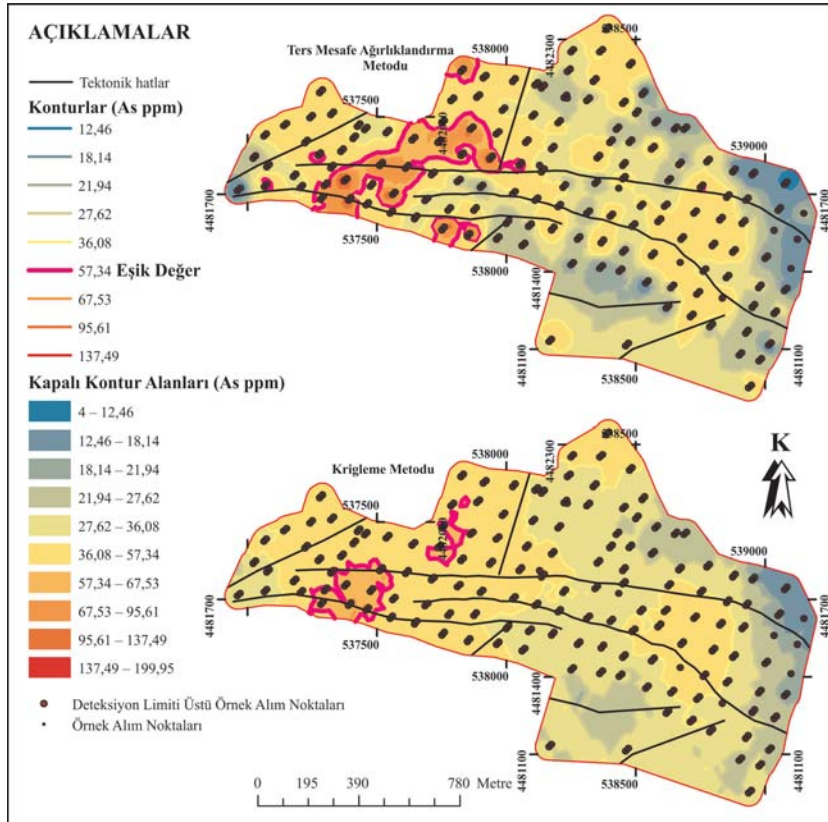
As değerleri sahada 287 örnek alım noktasında tayin sınırının üstünde tespit edilmiştir. As elementi için oluşturulan element dağılım haritaları incelendiğinde As değerlerinin sahanın batı kesimde zenginleşme gösterdiği, bu zenginleşmelerin özellikle fillik alterasyon alanları ile örtüştüğü görülmektedir (Şekil 9). Au ile As arasında yapılan korelasyon analizlerinde yakın bir ilişki görülmemesine rağmen element dağılım haritalarında As zenginleşme alanının Au zenginleşme alanı ile örtüştüğü görülmektedir. Dağılım haritasında görülen ilişkinin korelasyon analizinde yakalanamamış olması Au değerlerinin sahada sınırlı alanda tayin sınırının üstünde olmasından kaynaklanmaktadır (Vural ve Erdoğan, 2014).

Sb elementi Canca alterasyon sahasında 142 örnek alım noktasında tayin sınırında üstünde konsantrasyonlarda rastlanmıştır. As elementi ile güçlü olmamakla birlikte pozitif bir ilişki göstermektedir. Sb için hazırlanan element dağılım haritalarında da bu ilişkinin yansımalarının sonucu olarak sahanın batı kesiminde TMA metoduyla yapılan dağılım haritasında ise ilave olarak sahanın doğu kesiminde sınırlı bir alanda Sb zenginleşmesine rastlanmaktadır (Şekil 10). Sb zenginleşmeleri daha çok fillik alterasyon zonunda gelişmiştir.

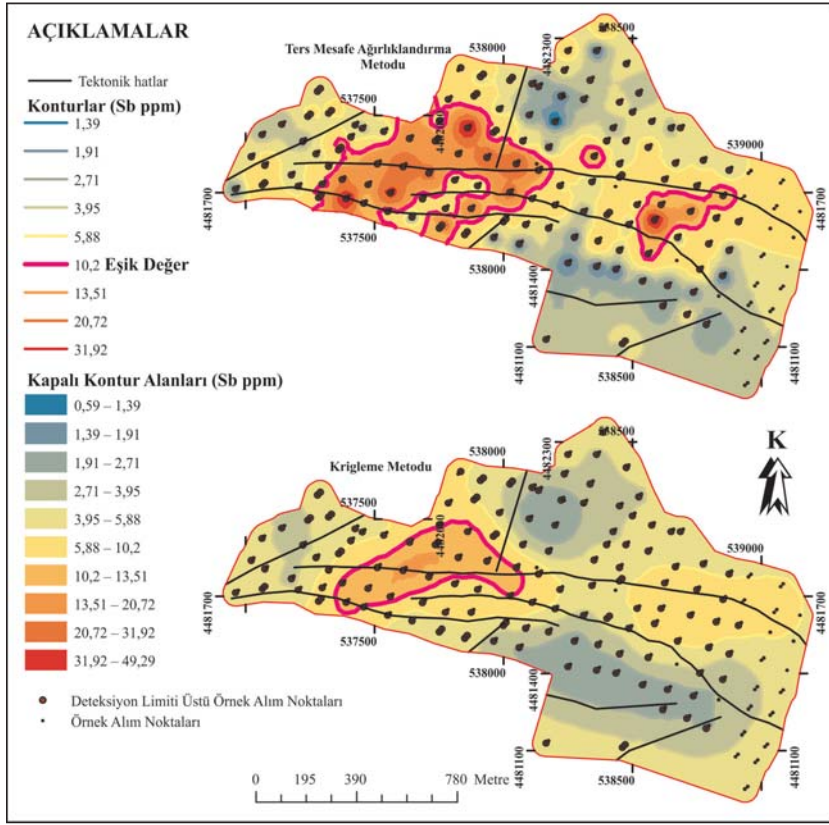
Bi elementi 40 örnek alım noktasında tayin sınırının üstünde tespit edilmiş olup, Sb'ce zenginleşmelerin çalışma sahasının batı kesiminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 11). Sahanın batı kesimi tektonik hatların yoğunlaştığı ve birbirine yaklaştığı alanlar olup, genel olarak zenginleşmelerin bu alanda gözlenmesi element zenginleşmesinde tektonik faaliyetlerin etkin olduğunu göstermektedir. Elementlerin çoğunda olduğu gibi Bi elementi için TMA yöntemi ile oluşturulan element dağılım haritasının element dağılımında daha yüksek detay verdiği görülmektedir.



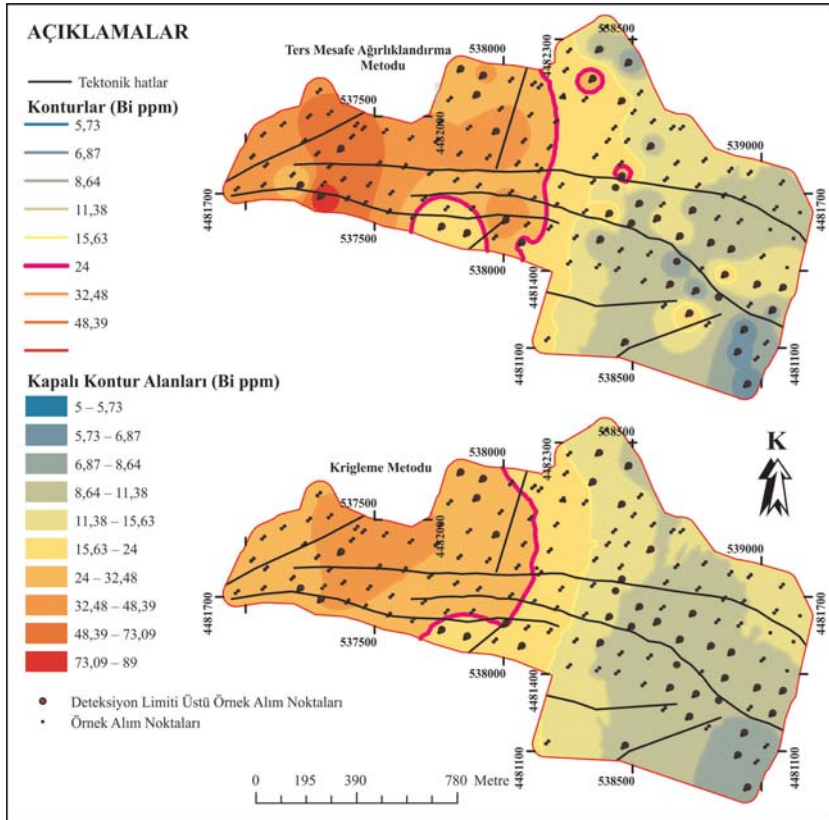
Şekil 8- Çinko elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 9- As elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 10- Sb elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 11- Bi elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.

Mo elementi 75 örnek alım noktasında tayin sınırı üstünde konsantrasyona sahiptir. M+2MMS metodu ile yapılan hesaplamada Mo için ED 6,77 ppm olarak tespit edilmiş olup, sahadaki Mo zenginleşmelerinin çalışma sahası batısında, tektonik hatların sıklaştığı kesimde olduğu görülmüştür (Şekil 12). Mo zenginleşmeleri diğer elementlerin zenginleşme alanları ile yakın benzerlikler göstermektedir. Diğer elementlerde olduğu gibi Mo elementinde de TMA metoduyla oluşturulan element dağılım haritasında element zenginleşmeleri daha hassas olarak tespit edilmiş olup, Mo zenginleşmesi çalışma sahası batısında tektonik hatların sıklaştığı kesimde yer almaktadır (Şekil 12).

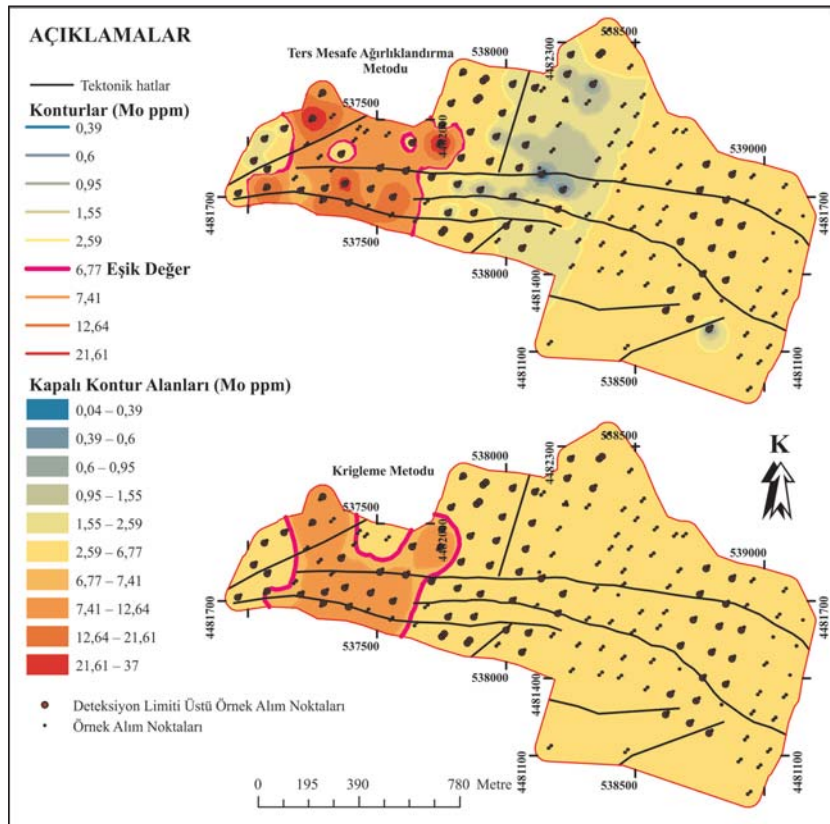
Sn elementi 124 örnek alım noktasında tayin sınırının üstünde değerlerde tespit edilmiştir. Sn için hazırlanan element dağılım haritaları (TMA ve Krigleme Metoduyla) incelendiğinde ağırlıklı olarak çalışma sahası doğusunda arjilik alterasyonun olduğu kesimde kalayın zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 13). Bir miktar zenginleşme

ise sahanın batısında fillik alterasyon zonunda görülmektedir.

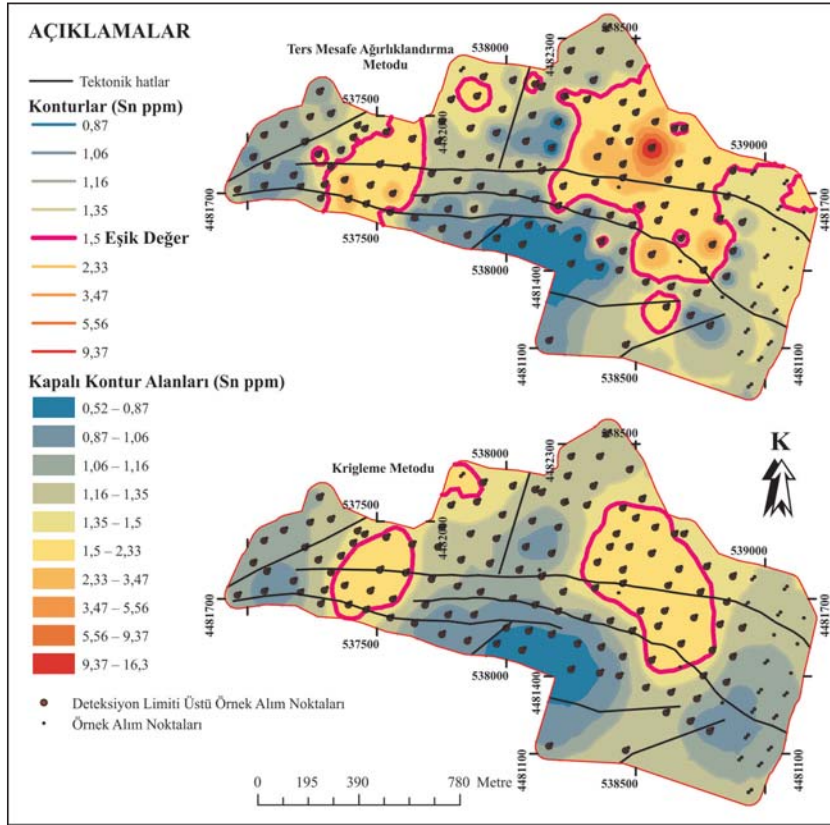
Hg elementi sadece 69 örnek alım noktasında tayin sınırı üstüne çıkmıştır. TMA ve Krigleme metodu ile hazırlanan element dağılım haritalarında Hg zenginleşmelerinin sahanın doğu/orta kesiminde olduğu görülmüştür. TMA yönetimi ile oluşturulan dağılım haritasına göre çalışma sahasının batısında da bir miktar zenginleşme söz konusudur (Şekil 14). TMA yöntemi ile oluşturulan element dağılım haritasında daha detay alanlara ve alansal olarak da daha geniş bir alana yayılım göstermiş olarak görülmektedir.

4. Sonuçlar

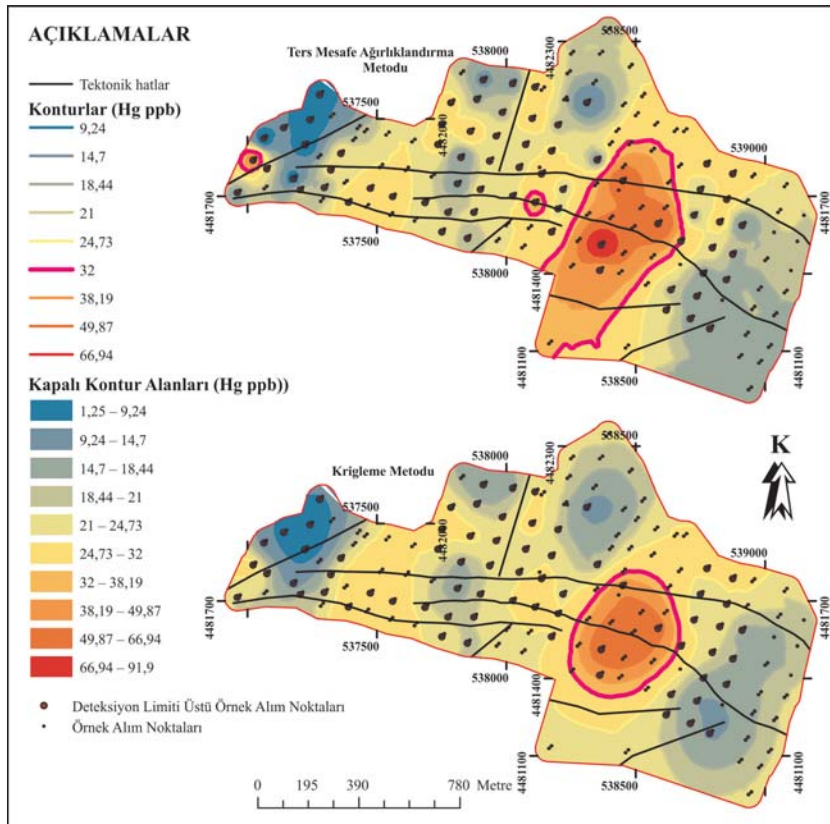
Bu çalışma ile yoğun alterasyonun geliştiği Canca (Gümüşhane) alterasyon sahasında toprak jeokimyası ile olması muhtemel gömülü altın cevherleşmesinin varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla sahadan toplam 287 adet toprak örneği altın ve gümüşün yanında altına iz buluculuk yapan Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Mo, SN ve Hg gibi iz elementlerin analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12- Mo elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 13- Sn elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.



Şekil 14- Hg elementi için TMA ve Krigleme metodu ile oluşturulmuş dağılım haritası.

Elde edilen veriler değişik istatistiksel metotlarda değerlendirilmiş ve M+2 MMS metodu ile elementlere ait eşik değerler tespit edilerek TMA ve Krigleme enterpolasyon metotları ile elementlerin dağılım haritası oluşturulmuştur. TMA metodu eskiden beri bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir metod olup, daha sonraları önerilmiş olan Krigleme metodunun da tatmin edici sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu metotlarda değeri bilinen herhangi bir örnek alım noktasının etrafındaki bilinmeyen noktaların tahmin edilmesine yönelik geliştirilmiş enterpolasyon metotlarıdır (Matheron, 1971, 1963). Bahse konu iki metotla oluşturulan element dağılım haritaları incelendiğinde sahada özellikle sahanın batı kesimde dikkat çekici zonlanmaların/zenginleşmelerin geliştiği görülmüştür. Zenginleşmelerin ağırlıklı olarak tektonik hatların sıklaştığı ve fillik alterasyonun geliştiği kesimlerde olması, alterasyon ve tektonik faaliyetlerle zenginleşmelerin ilişkili olduğunu göstermektedir. Canca alterasyon sahası 1980'lerde MTA Genel Müdürlüğü çalışanları tarafından rapor edilmiş bir saha olup, sahada yoğun alterasyon gelişimi söz konusudur. Sahada bahse konu kurum tarafından değişik zamanlarda, değişik ölçekte haritalama çalışmaları yapılmıştır. Sahada gerçekleştirilen çalışmalar daha çok kayaç jeokimyası çalışmalarıdır. Hali hazırda da yine bahse konu kurum tarafından sahada sondajlı arama çalışmalarına başlanmıştır.

Canca sahasında yapılan bu çalışma ile daha önceki çalışmalardan farklı olarak yapılmış olan toprak jeokimyası çalışmasıyla MTA Genel Müdürlüğü tarafından şu an itibarıyla sahada yapılmakta olan sondaj çalışmalarına önemli bir katkı vermesi ümit edilmektedir. Dolayısıyla sahada yapılacak sondaj ve arama çalışmalarında toprak jeokimyası çalışması ile tespit edilmiş element zenginleşme/zonlanmalarının göz önünde bulundurularak planlama yapılması önerilmektedir. Saha detaylı olarak incelendiğinde düşük rakımlarda yer alan doğu kesimde gelişmiş heyalanların varlığı da yapılacak planlamalarda gözönünde bulundurulmalı ve bu kesimde gözlenen element zenginleşmesi/anomali alanlarına temkinli yaklaşılmalıdır.

Saha ve sahaya ait veri setleri için element dağılım haritalarının oluşturulmasında kullanılan TMA ve Krigleme metotları karşılaştırıldığında, TMA enterpolasyon metodu ile yapılan element dağılım haritalarının daha iyi sonuçlar verdiği de görülmüştür. başka bir ifadeyle anomali kontrast çözünürlüğü TMA enterpolasyon metoduyla üretilmiş

element dağılım haritalarında daha yüksektir. Yapılan toprak jeokimyası çalışmasında elde edilen tüm bu veriler birlikte değerlendirildiğinde sahada altın cevherleşmesine yönelik yapılacak/yapılmakta olan detay sondaj ve jeofizik çalışmaların önemli olduğu, bu çalışmaların özellikle çalışma sahasının batı kesimine öncelik verilerek yapılmasının daha yerinde olacağı kanaatine varılmıştır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 113Y569 Numaralı projeye desteklenmiştir. Analizlerin bir kısmı karşılaştırma amaçlı olarak Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında tekrarlanmıştır. Analiz tekrarlarının yapılmasındaki katkılarından dolayı yazar MTA Genel Müdürlüğü ve çalışanlarına teşekkür eder. Yazar, ayrıca Canca sahasındaki neredeyse 30 yıla varan tecrübesini/gözlemlerini paylaştığı için Sayın Sebahattin Güner (Emekli MTA Genel Müdürlüğü Personeli)'e ve arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı stajyer öğrencileri Şükrü Bulut, Mert Karaaslan ve Emre Topçu'ya teşekkür eder.

Değinen Belgeler

- Ağca, N. 2015. Spatial distribution of heavy metal content in soils around an industrial area in Southern Turkey. *Arab J Geosci.* 8(2):1111-1123.
- Akçay, M. 1998. Lâdik-Sızma (Konya) civa yatakları çevresinde element dağılım profilleri ve altın-gümüş ve baz metal potansiyeli: Jeokimyasal ve istatistiksel bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41(1):37-47.
- Almasi, A., Jararirad, A., Afzal, P., Rahimi, M. 2015. Orogenic Gold Prospectivity Mapping Using Geospatial Data Integration, Region of Saqez, NW Of Iran (Jeospatial Veri Entegrasyonu ile Orojenik Altın Prospeksiyon Haritasının Oluşturulması, Saqez Bölgesi, Kb İran). *Bull. Miner. Res. Explor.* 150, 67–78.
- Anderson, D.A.J.S. 2008. Quantitative Analysis of Tin- and Tungsten-Bearing Sheeted Vein Systems. *Economic Geology*, 103 (5): 1043-1056.
- Arslan, M., Aliyazıcıoğlu, I. 2001. Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene evolution of eastern Pontide arc volcanism, northeast Turkey. *Int. Geol. Rev.* 43, 595–610. doi:10.1080/00206810109465035.

- Başaran, M., Erpul, G., Özcan, A.U., Saygın, D.S., Kibar, M., Bayramın, I., Yılman, F.E. 2011. Spatial information of soil hydraulic conductivity and performance of cokriging over kriging in a semi-arid basin scale. *Environ Earth Sci*, 63:827–838. Doi: 10.1007/s12665-010-0753-6.
- Buttafuoco, G., Tallarico, A., Falcone, G., Guagliardi, I. 2010. A geostatistical approach for mapping and uncertainty assessment of geogenic radon gas in soil in an area of southern Italy. *Environ Earth Sci*, 61:491–505. Doi: 10.1007/s12665-009-0360-6.
- Carranza, E.J.M. 2009. Controls on mineral deposit occurrence inferred from analysis of their spatial pattern and spatial association with geological features. *Ore Geol. Rev.* 35, 383–400. doi:10.1016/j.oregeorev.2009.01.001
- Carranza, E.J.M., Owusu, E.A., Hale, M. 2009. Mapping of prospectivity and estimation of number of undiscovered prospects for lode gold, southwestern Ashanti Belt, Ghana. *Miner. Depos.* 44, 915–938. doi:10.1007/s00126-009-0250-6
- Carranza, E.J.M., Sadeghi, M. 2010. Predictive mapping of prospectivity and quantitative estimation of undiscovered VMS deposits in Skellefte district (Sweden). *Ore Geol. Rev.* 38, 219–241. doi:10.1016/j.oregeorev.2010.02.003
- Chaplot, V., Darboux, F., Bourennane, H., Leguedois, S., Silvera, N., Phachomphon, K. 2006. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology* 77, 126–141.
- Cheng, Q., 2008. Modeling local scaling properties for multiscale mapping. *Vadose Zone Journal* 7, 525–532.
- Chiles, J. P., Delfiner, P., 1999. *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. John Wiley & Sons, New York, s. 720.
- Cressie, N. A. C., 1990. The origins of kriging. *Mathematical Geology* 22 (3): 239–252.
- Cressie, N.A.C., 1993. *Statistics for Spatial Data*, revised ed. John Wiley & Sons, New York.
- Çınar, S., Türk, O., Er, M., Güç, A.R., Musaoğlu, A., Gümüşel, A., Özdemir, M., Kurtoğlu, T. 1982. Gümüşhane İli ve Güneybatısının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7696. Ankara-Türkiye (yayımlanmamış).
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: The Köse composite pluton. *Gondwana Res.* 19, 926–944. doi:10.1016/j.gr.2010.09.006
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Chung, S.L., Akaryalı, E. 2011. Migrating magmatism in a continental arc: Geodynamics of the Eastern Mediterranean revisited. *J. Geodyn.* 52, 2–15. doi:10.1016/j.jog.2010.11.006
- Güner, S., Er, M., Gümüşel, A., Boğuşlu, M. 1985. Gümüşhane-Eski Gümüşhane yöresindeki cevherleşmelere ait jeoloji, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8029. Ankara-Türkiye (yayımlanmamış).
- Güner, S., Yazıcı, E.N. 2008. Gümüşhane Bayburt Yörelere Ait Epitermal Altın Aramaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11075. Ankara-Türkiye (yayımlanmamış).
- Güven, İ. 1993. Doğu Pontidlerin 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hampel, F.R. 1974. The influence curve and its role in robust estimation. *J. Am. Stat. Assoc.* 69, 383–393.
- Hengl, T. 2009. *A practical Guide to Geostatistical Mapping*. 2nd editon. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (ISBN: 978-92-79-06904-8).
- Jena, D.O. 1996. Interesting Papers in Other Journals. *Geology* 91, 228–237.
- Kandemir, R. 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelereindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları. Trabzon.
- Kansız, H., Akıncı, S., Kurtoğlu, T., Türkmen, S., Yılmaz, Z., Ağan, A. 1994. Doğu Pontid Güney Zonu Epitermal Altın Aramaları. Ankara-Türkiye.
- Karslı, O., Uysal, I., Dilek, Y., Aydın, F., Kandemir, R. 2013. Geochemical modelling of early Eocene adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Anatolia: continental crust or subducted oceanic slab origin? *Int. Geol. Rev.* 55, 2083–2095. doi:Doi 10.1080/01431161.2013.819958
- Kaygusuz, A., Siebel, W., Şen, C., Satır, M. 2008. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: The composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey. *Int. J. Earth Sci.* 97, 739–764. doi:10.1007/s00531-007-0188-9
- Ketin, I. 1966. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor). *Bulletin of Mineral Research and Exploration.* 66, 23–34.
- Krige, D.G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc.* 52, 119–139.
- Matheron, G. 1963. Principals of geostatistics. *Economic. Econ. Geol.* 58, 1246–1266.

- Matheron, G. 1971. The theory of regionalized variables and its application. *Cent. Morphol. Math. Fontainebleau, Cah. 5*, 211.
- MTA, 1986. The Republic of Turkey report on the cooperative mineral exploration of Gümüşhane area, consolidated report.
- Patinha, C., Correia, E., Ferreira da Silva, E., Simões, A., Reis, P., Morgado, F., Cardoso Fonseca, E. 2008. Definition of geochemical patterns on the soil of Paul de Arzila using correspondence analysis. *Journal of Geochemical Exploration* 98: 34–42.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayını, Yayın No. 87, Trabzon.
- Reiman, C., Filzmoser, P. 2000. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environ. Geol.* 39, 1001–1014.
- Reis, A.P., Sousa, A.J., Cardoso Fonseca, E. 2001. Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal). *J. Geochemical Explor.* doi:10.1016/S0375-6742(01)00169-8
- Ripley, B. D., 2004. *Spatial statistics*, 4th Edition. Wiley-IEEE, London, s. 252.
- Rose, A.W., Hawkes, H., Webs, J. 1991. *Geochemistry in Mineral Exploration*, 2nd ed. Academic Press, London, England.
- Rudnick, R., Gao, S., 2010. Composition of the Continental Crust, in: Holland, H., Turekian, K. (Eds.), *Readings of Treatise on Geochemistry*. Elsevier, London, England.
- Shepard, D. 1968. A two-dimensional interpolation function for 52 irregularly-spaced data, in: Blue, R.B.S., Rosenberg, A.M. (Eds.), *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*. ACM 54 Press, New York, pp. 517–524.
- Shuguang, Z., Kefa, Z., Yao, C., Jinlin, W., Jianli, D. 2015. Exploratory data analysis and singularity mapping in geochemical anomaly identification in Karamay, Xinjiang, China. *Journal of Geochemical Exploration* 154:171–179. doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.007.
- Tobler, W. R., 1970. A computer model simulation of urban growth in the detroit region. *Economic Geography* 46 (2): 234–240.
- Tokel, S. 1972. Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A., Meyer, H.P. 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey). *Int. J. Earth Sci.* 96, 861–873. doi:10.1007/s00531-006-0138-y
- Tume, P., Bech, J., Reverter, F., Bech, J., Longan, L., Tume, L., Sepulveda, B. 2011. Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils. *J. Geochemical Explor.* 109, 92–103. doi:10.1016/j.gexplo.2010.10.013
- Vural, A. 2017. K-Ar Dating for Determining the Age of Mineralization as Alteration Product : A Case Study of Antimony Mineralization Vein Type in Granitic Rocks of Gümüşhane Area , Turkey 132, 792–795. doi:10.12693/APhysPolA.132.792
- Vural, A. 2014. Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 148, 85–106.
- Vural, A. 2006. Bayramiç (Çanakale) ve Çevresindeki Altın Zenginleşmelerinin Araştırılması. Ankara Üniversitesi, Ankara Türkiye.
- Vural, A., Erdoğan, M. 2014. Eski Gümüşhane Kırkpavli Alterasyon Sahasında Toprak Jeokimyası. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg. 4, 1–15.
- Webster, R., Oliver, M.A. 2007. *Geostatistics for Environmental Scientist*. 2nd edition, John Wiley and Sons, Ltd. İngiltere. s. 315
- Yaylalı-Abanuz, G., Tüysüz, N., Akaryalı, E. 2012. Soil geochemical prospecting for gold deposit in the Arzular area (NE Turkey). *J. Geochemical Explor.* 112, 107–117. doi:10.1016/j.gexplo.2011.08.004
- Yazıcı, E.N., Dursun, Ö., Güner, S. 2014. Gümüşhane-Bayburt-Artvin Epitermal Altın Aramaları Raporu. Ankara-Türkiye.
- Yılmaz, Y. 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia.
- Zuo, R. 2011. Identifying geochemical anomalies associated with Cu and Pb-Zn skarn mineralization using principal component analysis and spectrum-area fractal modeling in the Gangdese Belt, Tibet (China). *J. Geochemical Explor.* 111:13–22.
- Zuo, R., Cheng, Q., Agterberg, F.P., Xia, Q. 2009. Evaluation of the uncertainty in estimation of metal resources of skarn tin in Southern China. *Ore Geol. Rev.* 35, 415–422. doi:10.1016/j.oregeorev.2008.12.001.

