



Balya (Balıkesir, KB Türkiye) Bölgesindeki Flotasyon ve İzabe Atıklarında Jeostatistiksel Parametreler Kullanarak Modelleme ve Kaynak Hesabına Örnek Bir Çalışma
A Case Study on Modelling and Resource Assessment Using Geostatistical Parameters for the Flotation and Smelting Mining Waste in the Balya Region (Balıkesir, NW Turkey)

Ahmet Baştürk¹ , M. Selman Aydoğan^{2*} 

¹ *Esan Eczacıbaşı A.Ş. Balya, Balıkesir*

² *Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 10145 Balıkesir*

• Geliş/Received: 22.09.2021 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 18.10.2021 • Kabul/Accepted: 19.10.2021
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 06.01.2022 • Baskı/Printed: 20.01.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Balya (Balıkesir)'de maden atıkları flotasyon ve izabe atıkları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. 90 adet flotasyon ve 14 adet izabe numunesi üzerinde Pb, Zn, Fe, Cu element içerikleri için XRF (X-Ray Floresans) çalışması gerçekleştirilmiştir. XRF çalışmaları sonucunda, izabe atıkları ortalama %3,16 Pb, %11,08 Zn ve %26,53 Fe ve %0,22 Cu içeriklerine sahiptir. Flotasyon atıklarının ise ortalama %4,38 Pb, %4,1 Zn ve %8,48 Fe ve %0,29 Cu içerdiği tespit edilmiştir. Atıkların kimyasal analiz verileri temelinde jeostatistiksel analiz çalışması yapılmıştır. Aynı zamanda, bunların variogram modellemeleri yapılarak kriging ile ilgili jeostatistiksel parametreler belirlenmiştir. Bu jeostatistiksel parametreler temelinde ordinary kriging yöntemi kullanılarak atık sahasının tenör bazında alansal değişimi saptanmıştır. Tenör, yoğunluk ve tonaj değişim değerleri oluşturulan blok modelde değerlendirilmiş ve maden atıklarının 516.674 ton kaynağa sahip oldukları ortaya konulmuştur. Fe ve Cu haricinde, bu çalışma bölgedeki atıkların Pb ve Zn açısından değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Ancak, atıkların kısmi sedimentasyon geçirmesi, heterojen yapı sunması, sülfat mineralleri bakımından zengin olması nedeniyle, bölgedeki atıkların işletilebilmesi için detaylı AR-GE çalışması yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık, Balıkesir, Balya, blok model, flotasyon, izabe, kaynak.

Abstract: Mining waste at Balya (Balıkesir) was studied and divided into two categories, flotation and smelting. 90 flotation samples and 14 smelting samples from the waste were collected to analyse the valuable elements. XRF results show that the flotation waste has an average of 4.38 wt% Pb, 4.1 wt% Zn, 8.48 wt% Fe and 0.29 wt% Cu content; while the smelting waste includes an average concentration of 3.16 wt% Pb, 11.08 wt% Zn, 26.53 wt% Fe, and 0.22 wt% Cu. The chemical data related to the waste were interpreted by statistical analysis. Using the determined geostatistical parameters, the area variation on the basis of grade was determined using the Ordinary Kriging method. Quantity, tonnage, density and tonnage change values of the mining waste were used in the constructed block model. The amount of the possible reserves of the waste was then determined. A resource of 516,674 tons for the smelting and flotation waste was assessed. Excluding Fe and Cu, this study revealed that mining waste in the Balya region has an operable content of Pb and Zn. However, more detailed research and development work is required for the recovery and disposal process of the Pb-Zn-rich areas, due to the presence of some sulphate minerals (bassanite, anglesite), the oxidation processes, and the partial sedimentation and heterogeneous structure of these wastes.

Keywords: Balıkesir, Balya, block model, flotation, smelting, resource, waste.

GİRİŞ

Belli bir bölgede bulunan hammadde kaynağının miktarını ve endüstriyel özelliklerinin ortaya çıkartılması amacıyla yapılan işleme “Rezerv” denilmektedir. Ekonomik varlıkların kesinlik derecesine göre, rezervleri görünür, muhtemel, mümkün ve jeolojik olmak üzere 4 grup incelemek mümkündür (Akıncı, 2003; Gökçe, 2005). Üretilmesi düşünülen bir metalik maden yatağının kaynak hesabı genellikle üçgen, poligon gibi klasik metodlarla ve son zamanlarda bilgisayar destekli jeostatistiksel yöntemlerle yapılmaktadır. Klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, jeostatistiksel yöntemler bir maden yatağını temsil edecek şekilde oluşturulan blok modeldeki bloklara değer ataması sırasında varolan blokların çevresindeki diğer blokların da belirli ağırlıklarda dikkate alınması ile hata payının oldukça düşük olmasıyla gerçek değerlere daha yakın sonuçlar vermektedir (Tahmasebi ve Hezarkhani 2010; Erel, 2011). Jeostatistiksel yöntemler ile kaynak hesabı, küresel ya da yersel olarak madencilik endüstrisinde standart bir uygulamadır. Kriging, madencilik endüstrisinde giriş noktası verilerinin enterpolasyonu ve bir blok modelin tahmini için kullanılan jeostatistiksel bir enterpolasyon tekniğidir. “Kriking” ismi, Güney Afrikalı maden Mühendisi Danie Krige’nin onuruna Prof. Georges Matheron tarafından verilmiştir. Bu teknik, yaygın olarak varyogram olarak bilinen, verilerin yapısını temsil eden ve istatistiksel model gerektiren en uygun regresyon tekniğidir. Girdi verileri varyogram modeline, arama parametrelerine ve bir bloğu tahmin etmek için kullanılan örnek sayısına göre yapılmaktadır. Kriking tekniklerinin birçoğu maden endüstrisinde kullanılmaktadır. En yaygın kriking teknikleri, “doğrusal kriging” teknikleri olarak gruplanan sıradan kriging çeşitleridir. Gösterge kriging, ayırıcı kriging vb. gibi daha karmaşık kriging teknikleri, derecelerin doğrusal olmayan dönüşümüne dayanır ve “doğrusal olmayan kriging” teknikleri olarak gruplanmaktadır (Daya, 2012). Madencilik çalışmalarında başarı, cevher tenörlerinin dağılımı kadar kaynak değerlendirmesinin doğruluğuna da bağlıdır.

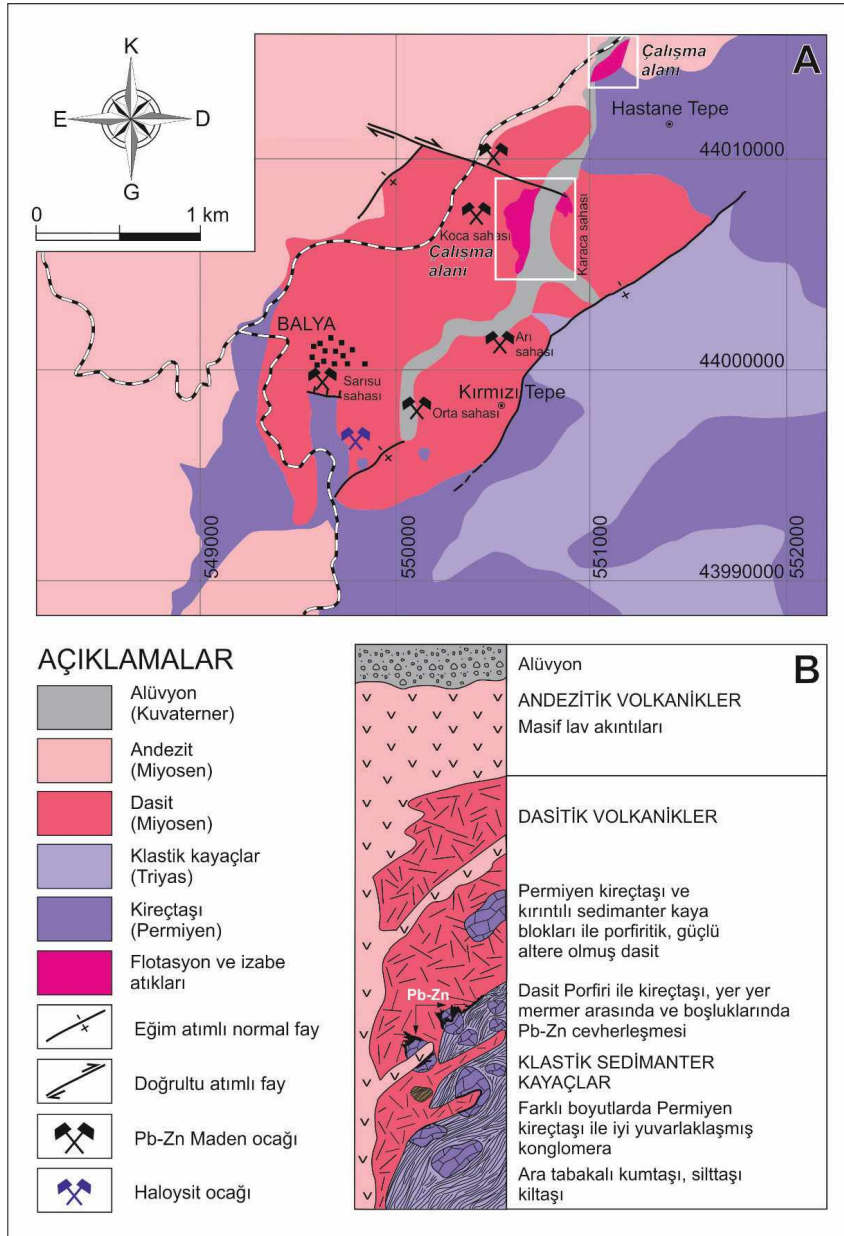
Bu çalışmada, Balya (Balıkesir) Pb-Zn maden yatağının geçmiş zamanlarda yapılan üretim çalışmalarında ortaya çıkan flotasyon ve izabe atıklarının, atıldığı bölgelerdeki kapladığı alanların ölçekli harita üzerinde haritalanması ve alanın ölçümleri yapıp oluşturulan katı bloklardan hacim, tonaj ve kaynak hesabının yapılması amaçlanmıştır. Balya bölgesindeki atıkların kaynak hesabı, yayılımındaki hacim ve tenör parametrelerini en doğru şekilde veren jeostatistiksel metodlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

BALYA Pb-Zn CEVHERLEŞMESİ

Balya Pb-Zn yatağının gözlemlendiği bölgede temelde Triyas yaşlı kırıntılı kayalardan oluşan ve içerisinde Permian yaşlı kireçtaşı blokları bulunan Karakaya Formasyonu (Bingöl vd., 1975), Üst Karakaya Kompleksi (Kınık Formasyonu; Akyürek ve Soysal, 1983) bulunmaktadır. Bölgede magmatik faaliyet yaygın olup, bu faaliyetler volkanitlerle temsil etmektedir. Balya’daki volkanik kayalar Balya ilçesinin kuzeyinde ve batısında geniş yayılım sunmaktadırlar. Bölge genelinde volkanikler, Şapçı ve Hallaçlar Volkanitleri olarak bilinmektedirler (Şekil 1A ve B). Balya ve civarında gözlenen dasit bileşimli volkanik kayalar Şapçı, andezit bileşimli volkanik kayaçlar ise Hallaçlar volkanikleri adı altında incelenmiştir. Şapçı Volkanitleri olarak isimlendirilen kayaçlar andezitik lav akıntıları ve ilişkili piroklastiklerden meydana gelmektedir. Lav örnekleri mikrolitik, mikrolitik porfiritik, hyalo-mikrolitik dokulu olup, çok az oranda elek dokusu göstermektedir (Aslan vd., 2017). Kayalar plajiyoklaz, hornblend, biyotit ve opak minerallerden meydana gelmektedir. Çok az oranda ikincil serisit, kalsit, kil ve klorit içermektedir. Sanidin bazı örneklerde gözlenmiştir. Kayalarda yer yer hidrotermal alterasyon izleri gözlenebilmektedir. Kaolinleşme yaygın kil alterasyonudur (Ünal ve Gökçe, 2009). Aslan vd. (2017) tarafından, Balıkesir ilinin kuzey kesiminde İbirler-Ayvatlar köyleri arasında yayılım sunan Şapçı Volkanitleri üzerine yapılan çalışmada

ziryon yaşlandırması yapılmış ve birimin yaşı $18,72 \pm 0,17$ My (Erken Miyosen) tespit edilmiştir. Bu kayalar, gri ve koyu gri renkli, hava ile temas yüzü gri, porfirik, feldspat fenokristalleri tarafından çevrelenmiş hamurdan meydana gelmektedir. Petrografik özellikler açısından feno

ve mikrofeno kristaller halinde horblendli ojit, zonlu büyüme gösteren plajiyoklazların yanısıra, hamur mikro çubuklar halinde plajiyoklaz, horblend, biyotit ve kristallenme gösteren camsı malzemeden oluşmaktadır (Akyol, 1977).

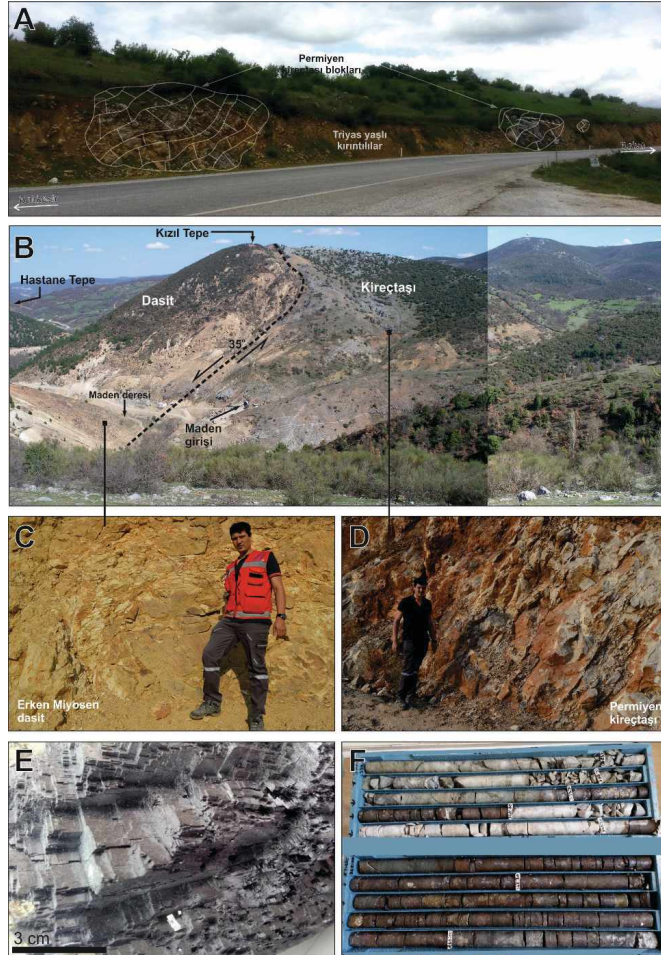


Şekil 1. A) Balya (Balıkesir) ve civarının jeoloji haritası (Akyol, 1977), **B)** Balya bölgesi genelinin kolon kesiti (Akyol, 1977; Erkül vd. 2016).

Figure 1. A) Geological map of Balya (Balıkesir) and its surroundings (Akyol, 1977), **B)** Columnar section of the Balya region (Akyol, 1977; Erkül et al., 2016).

Akyol (1977)'e göre, Balya bölgesindeki Pb-Zn cevherleşmesi, Permian yaşlı kireçtaşı blokları ile Tersiyer yaşlı dasit karakterli volkanik kayaların arasında 35°'lik eğim atımlı bir fay kontak zonunda yerleşmiş ve Permian yaşlı kireçtaşlarının kırık ve çatlak kesimlerinde de gözlemlenmektedir (Şekil 2A ve B). Bölgenin en

yaşlı litoloji topluluğu olan Permian yaşlı kireçtaşı blokları, Triyas yaşlı kilitaşı, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan birim içerisinde bulunmaktadır. Kireçtaşları, içerisinde bulunduğu kırıntılı kayaçların yakın kesimlerinde yer yer yeniden kristallenmiş (rekristalize) şekliyle izlenebilmektedir (Şekil 2D; Akyol, 1977, 1979).



Şekil 2. A) Triyas yaşlı Üst Karakaya Kompleksi (Kınık Formasyonu) ve içerisindeki Permian yaşlı kireçtaşı blokları, B) Kırmızı Tepe civarında Permian yaşlı Kireçtaşları ile Miyosen yaşlı dasitler arasındaki faylı kontak, C) Miyosen yaşlı altere dasitlerin görünümü, D) Bol kırık ve çatlaklı Permian yaşlı kireçtaşlarının mostra görüntüsü, E) Esan Eczacıbaşı A.Ş. tarafından işletilen Balya Pb-Zn madeninde yeraltından çıkartılan iri kristalli galenit örneği, F) Esan Eczacıbaşı A.Ş. tarafından yapılan sondajda karot örnekleri (Pb-Zn cevherli kısım: 339 m-340 m, 341 m-346,5 m).

Figure 2. A) Permian aged limestone blocks in the Upper Karakaya Complex (Kınık Formation) of Triassic age, B) Fault contact between Permian limestone and Miocene dacite around Kızıl Hill, C) Altered dacite of Miocene, D) Outcrop image of Permian limestone, E) Coarse-crystallized galenite samples extracted from underground in the Balya Pb-Zn deposit operated by Esan Eczacıbaşı A.Ş., F) Core samples from drilling by Esan Eczacıbaşı A.Ş. (Pb-Zn mineralized part: 339-340 m, 341-346.5 m).

Balya civarında gözlenen andezit ve dasit karakterli Şapçı ve Hallaçlar Volkanitleri inceleme alanına yakın Çalova yöresi ve civarında Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik ve Bayırköy Formasyonlarını kesmektedir. Bölgedeki volkanik faaliyetler genel olarak KD-GB gidişli doğrultulu atımlı faylarla ilişkilidir. Volkanik kayalardan dasitler alterasyona uğramış ve kahverengi, kızılımsı kahverengi renkli alterasyon renklerine sahiptir (Şekil 2C). Dasit karakterli volkanik kayaçalarda yer yer silisleşme, piritleşme ve kaolinleşme belirgindir (Akyol, 1977). Bu kayalar inceleme alanında, Esan Pb-Zn madeni civarında gözlenebilmektedir.

Balya (Balıkesir) Pb-Zn cevherleşmelerinin, Oligo-Miyosen yaşlı dasitik ekstrüsif bir sokulum ile Permien yaşlı kireçtaşı bloğu arasında skarn ve/veya kireçtaşına ait çatlaklarda damar şeklinde olduğu ileri sürülmektedir (Akyol, 1982; Aygen, 1956). Cevherleşmeler gözle görülebilir şekildedir ve özellikle galen mineralleri iri kristaller şeklindedir (Şekil 2E). Esan Eczacıbaşı A.Ş. tarafından ara dönemlerde sondaj faaliyetleri sürmektedir (Şekil 2F). Balya Pb-Zn yatağında, cevher mineralizasyonunun şekli ve yan kaya ilişkileri üzerine yapılan çalışmalarda yatak şekli ve kökeni ile ilgili yaygın görüş bir skarn tipi yatak olduğudur (Kovenko, 1940, Gjelsvik, 1962, Akyol, 1977). Diğer bir görüş ise hidrotermal kökenli epitermal bir yatak olduğudur (Öztunalı, 1984). Birçok yazar, Balya'da bulunan cevherleşmenin birimler arası kontak kesimlerinde bulunduğunu belirtmiştir (Aygen, 1956; Kaaden, 1957; Mohr, 1959) Ağdemir vd. (1994), Balya Pb-Zn-Ag yatağının hidrotermal bir sistem olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu sistemin, 1,5 km genişliğinde 3 ana alterasyon (propilitik, arjilik/fillik, ileri derecede arjilik) stiliyle ilişkili olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, andezitik kayaların hidrotermal alterasyon sisteminin protoliti olduğu ifade edilmektedir (Ağdemir vd. 1994). Dasit bileşimli volkanik kayaçların özellikle mostrada gözlenen kesimlerinde yaygın bir arjilik alterasyon zonlarının bulunması ve bu kayaçların

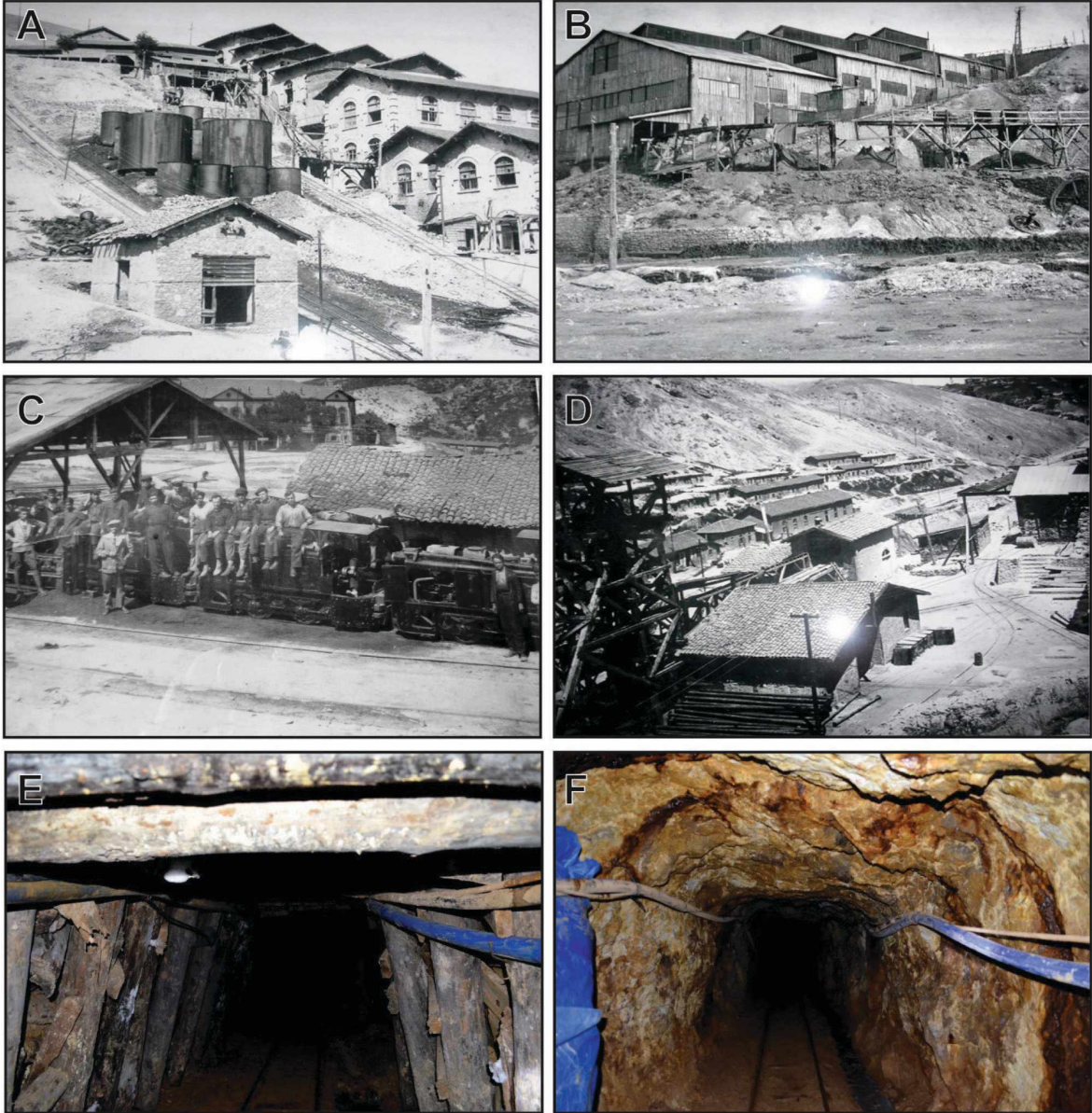
derine doğru uzanımlarının da silis kontak kesimlerindeki kalksilikat mineral toplulukları içermesi, cevherleşmelerin kökenin hidrotermal çözeltilerden oluştuğuna işaret etmektedir. Bu görüşü destekleyen diğer bir veri volkanik kaya alterasyonlarının yüksek sülfidasyonlu epitermal yataklarla olan benzerliği ile açıklanmaktadır (Ağdemir vd. 1994). Balya Pb-Zn yatağı civarında, Arı ve Orta Mağara kesimlerinde bulunan cevher kütleleri yan kaya ve tenör dağılımlarına göre sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Bu sınıflandırmada (i) Saçınımlı Cevherleşme, (ii) Kontak Cevherleşmesi, (iii) Damar Tipi Cevherleşme şeklinde farklı tip cevherleşmeler halinde bulunmaktadır (Akyol, 1976). Balya Pb-Zn yatağında, yaygın görülen cevher mineralleri galen, sfalerit, pirit, kalkopirit, daha az miktarda bornit, hematit, tetrahedrit, markazit, piroluzit, orpiment ve realgardan meydana gelmektedir (Akyol, 1982).

Balya Bölgesi Flotasyon ve İzabe Atıkları

Balya (Balıkesir) bölgesinde madencilik faaliyetlerinin M.Ö. 500 yıllarına dayandığı tahmin edilmektedir. Bölgede bulunan Pb-Zn madeni, M.Ö. 130 yıllarında Roma döneminde "*Cristian Madenleri*" adı altında işletilmiştir. 1651 yılında Kütahya Beylerbeyi Mutasarrıfı'nın Balya Kadısı'na yazdığı mektupta madenin padişahın malı ve Bali Bey yönetiminde olduğu belirtilmektedir. 1839-1849 yılları arasında "*Balya Madenleri İşletmeleri*" sahada çalışma yapmıştır. 1868 yılında "Reiser" isimli bir Alman vatandaşı maden işletme hakkını almış ve işletme hakkını 1869 yılında Alman "*Lorium*" şirketine devretmiştir (Öngür, 2003). 1876'da ise Fransız "*Riyol*" şirketi faaliyet göstermiştir (Çiloğlu, 2007). Bu şirket daha çok "*Arı-Orta Mağara*", "*Sarısu Sahası*", "*Koca Mağara*" ve "*Karaca Mağara*" sahalarında üretim yapmıştır. Kesintisiz çalışan maden, 1930 ekonomik krizinde kurşun fiyatlarının düşmesi sonucunda işleten şirketin zor durumda kalması sebebiyle, hükümetin

teşviklerine rağmen 1939'da kapanmıştır (Akyol, 1976). Balya Pb-Zn madeni, “*Societe Anonyme Ottomane de Mines de Balia-Karaaydın*” firması tarafından 1869-1939 yılları arasında yaklaşık

70 yıl boyunca, iki flotasyon, bir izabe tesisinde yaklaşık 400.000 ton civarında metal kurşun üretmiştir (Öngür, 2003) (Şekil 3A-F).



Şekil 3. **A)** Fransız dönemine ait flotasyon tesisi (1937) , **B)** Fransız izabe Tesisi (1904), **C)** Cevher taşınmasında demir yolu kullanımı (1901-1937), **D)** Fransız çalışma binaları ve çalışanları (1937), **E, F)** Eski Fransız Sarısu üretim galerileri (Esan Eczacıbaşı Şirketi tarafından restore edilmiştir)

Figure 3. **A)** French flotation plant (1937), **B)** French smelting plant (1904), **C)** Railway used for ore transportation (1901-1937), **D)** French buildings and miners (1937), **E, F)** Former French Sarısu production galleries (restored by Esan Eczacıbaşı Company).

Balya (Balıkesir) izabe ve flotasyon atıkları, Balya ilçesinin yaklaşık olarak 1-2 km kuzeydoğusunda, Hastane Tepe'nin kuzeydoğu ve güney kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Hastane Tepe'nin kuzeydoğusunda yayılım sunan flotasyon atıkları, Hastane Tepe'nin kuzeyinden başlayıp, Balya-Gönen yoluna kadar Maden Deresi boyunca devam etmektedir. Hastane Tepe'nin güney kesiminde bulunan flotasyon ve izabe atıkları ise eski işletmeden kalan harabe binalar ile Maden Deresi arasındaki kesimde gözlenmektedir. Önceki zamanlarda üretimden arta kalan tahmini 3.000.000-3.500.000 ton miktarındaki atıklar, Hastane Tepe, eski Fransız'lara ait flotasyon tesisi çevresi ve Kadıköy yolu üzerinde Mutlu Akü A.Ş. tesisinin kurulduğu bölgelerde yer almaktadır (Şekil 4A-C). Sahada doğaya bırakılan atıl durumdaki atıkların geri kazanımı ve bertaraf işlemleri açısından herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Atıkların bulunduğu bölgede yağmur suları ile yıkanmalarla taşınma veya yol dolgusu şeklinde atıkların kullanıldığı bilindiğinden dolayı, bölgede atıklar ilk günlük atılan miktarın altındadır.

Bu çalışmada, Balya ve civarında gözlenen atıklar *flotasyon atığı* ve *izabe atığı* olmak üzere 2 kategoriye ayrılarak çalışılmıştır (Şekil 4A). Bunlardan, flotasyon atıkları genel olarak sahada açık renklerde gözlenirken (Şekil 4B), izabe atıkları daha çok sert, koyu renkli siyahımsı bir görünüme sahiptir (Şekil 4C). Atıklar yaklaşık olarak 200.000 m²'lik bir alanda yayılım sunmaktadır. Bölgede atıklar üzerine ilk çalışma Akyol (1975) tarafından gerçekleştirilmiştir. Akyol (1975), Balya bölgesindeki atıkların ülke ekonomisi için önemli olduğunu ifade ederek, flotasyon atıkları için %4,20 Pb ve %3,50 Zn; izabe atıkları için %3,50 Pb, %10,40 Zn ortalama tenör tespit etmiştir. Bölgede 1940 yılına kadar işletilmiş olan Balya (Balıkesir) kurşun ve çinko maden sahası civarındaki maden atıkları Sarısu deresi ve bu derenin yan kollarında birikmekte olup, atıklar çevreye ve bölgedeki su kalitesine etki edebilecek oranda As, Cu ve Pb içermektedir (Şimşek vd., 2012). Güneş vd., (2013), Balya

bölgesindeki atıklardan elde edilecek veriler ile Asit Maden Drenajı (AMD) tahmin etmenin geriye dönük kayıtlar sağlayabileceğini belirtmiştir. Balcı vd. (2004), Balya Pb-Zn maden atık sahasının biyojeokimyası ve asit maden drenajı oluşumuna olan etkilerini jeokimyasal, moleküler ve mikrobiyolojik teknikler kullanarak incelemiştir. Atıklar üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada, terk edilmiş atıkların potansiyel çevreye olan etkileri araştırılmıştır. Alınan örnekler üzerinde yapılan çalışmalarda, örneklerin sülfür içeriklerinin %7,4 ve %10,25 arasında; organik madde içeriğinin %9,12 ve %3,49 ve su içeriğinin ise %8,85 ve %2,68 arasında değiştiğini ortaya konulmuştur.

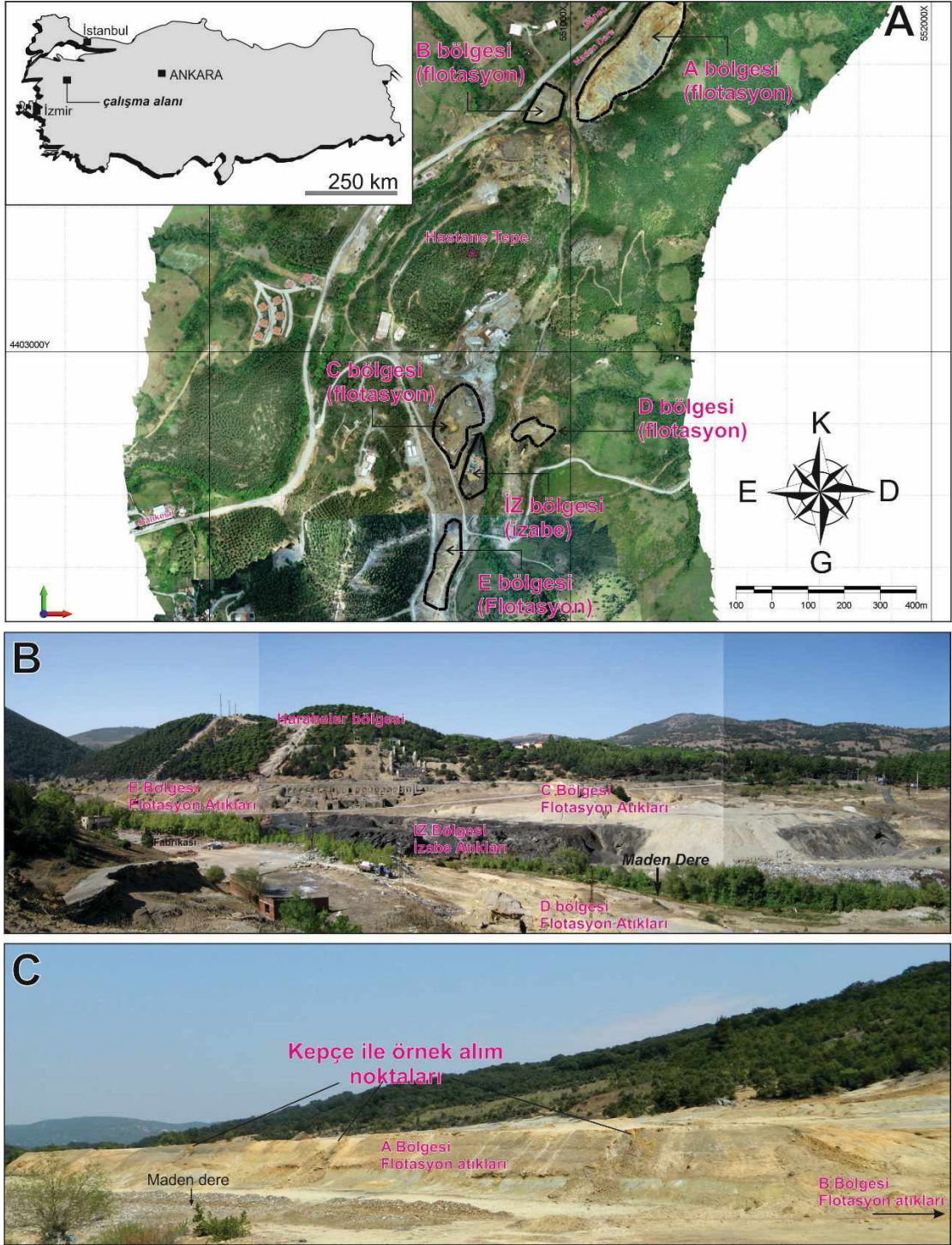
MATERYAL ve METOD

Haritalama

Bölgede atıkların gözleendiği alanda atıkların sınır alanları çevrilerek alan çalışması yapılmıştır. Çalışma alanı ve çevresinin uydu haritaları, topoğrafik haritası, yapılan jeolojik haritalar, kullanılan çizim programları ile sayısallaştırılarak koordinatlı çalışma sağlanmıştır. Çalışma alanı ve numunelendirme alanları ofis çalışmalarında çizim programları ile belirlenip bu noktalar ve alanın haritalaması ölçüm cihazları yardımıyla (Garmin GPS, Leica) 3 boyutlu olacak şekilde yapılmıştır.

Veritabanının Oluşturulması

Balya bölgesindeki maden yatağı atıkları flotasyon ve izabe atıkları şeklinde ikiye ayrılmış olup, bunların yayılım, kalınlık, yoğunluk, alterasyon, koordinat, oksidasyon gibi verileri tespit edilmiştir. Bu veriler sayısallaştırılarak bilgisayar yazılımı arayüzü ile 3 boyutlu olacak şekilde bir kütle haline getirilmiş ve bu kütle içerisine metal analiz sonuçlarına göre birbirleri arasında etkileşim ve yayılımı kullanılarak modelleme çalışması yapılmıştır. Bu modellemelerin oluşturulmasında uluslararası alanda sıkça kullanılan AutoCad, ArcGis, Micromine adlı yazılımlardan faydalanılmıştır.



Şekil 4. A) Balya (Balıkesir) civarındaki flotasyon ve izabe atıklarının konumunu gösteren dron görüntüsü, B, C) Çalışma alanında gözlenen flotasyon ve izabe atıklarının arazi fotoğrafları.

Figure 4. A) Drone image showing position of the flotation and smelting wastes around Balya (Balıkesir), B, C) Field photographs of the the flotation and smelting wastes in studied area.

Poligon Alanı

Çalışılan bölge içerisinde atıkları temsil edecek şekilde 3 boyutlu kapalı hacmin, tenör ve kaynak analizinin yapılacağı alan tanımlanmıştır. Geniş yayılım gösteren atık alanları 5 flotasyon 1 izabe olacak şekilde bölgelere ayrılıp, blok içerisine alınmıştır.

Modelleme

Yapılan bloklar içerisine alınan numune sonuçlarının Pb-Zn-Fe-Cu elementlerini gösterecek şekilde üç boyutlu diyagramlarla tenör ve kaynak modellemesi yapılmıştır.

Örnekleme

Bu çalışma sırasında flotasyon ve izabe atıklarının bulunduğu alandan toplamda 104 adet hendek numunesi alınmıştır. Alınan numuneler atık alanlarının birbirinden mesafe olarak uzak olmasından dolayı 5 flotasyon 1 izabe alanı olacak şekilde 6 adet atık bölgesine ayrılmıştır. Belirlenen 6 adet bölgeden numunelendirme çalışmaları yapılmıştır. Alınan numunelerin lokasyon haritaları detaylandırılmış, Micromine programında sayısallaştırılmış ve haritada gösterilmiştir. İzabe atıkları Maden Deresi'nin hemen kenarında belirli bir alanda yayılım sunmaktadır. Atık sahasında yapılan çalışmada alınan örnekler, sahayı tamamen tanımlayacak şekilde seçilerek detaylı bir numunelendirme çalışması yapılmıştır. Numunelendirme işlemi, her bir numune 10 kg olacak şekilde keçe yardımıyla alınmıştır (Şekil 5A-F). Flotasyon atıkları dağılık olduğu için 5 ayrı bölüme (A, B, C, D, E), izabe atıkları bir alanda yayılım sunduğu için 1 bölüme ayrılarak çalışılmıştır. Bölgedeki atık dağılımı sabit olmayıp 30 cm'den 20-25 m yüksekliklere ulaşan yığılımlar şeklindedir. Bu tarz bölgelerin ortasında kalan kısımlarının da numunelendirebilmesi ve tepciklerin yamaçlarını doğru veri üretebilmek için kazıcı bir araç olan JCB ile kanal açılarak numunelendirme çalışması yapılmıştır. Flotasyon atıklarından toplamda 90,

izabe atıklarından 14 numune derlenmiş, sınır alanları çizilmiş ve alanlar üzerine örnek yerleri koordinatlı bir şekilde işaretlenmiştir (Şekil 6).

MİNERALOJİ ve KİMYASAL ANALİZ

Balya bölgesindeki atıklardan derlenen örnekler üzerinde mineralojik içeriğini belirlemek amacıyla XRD çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, mineral birlikteliği anlamında sfalerit, kuvars, magnetit, fayalit, vurtzit, bassanit, K-feldispat, anglezit olarak cevher minerallerinden sfalerit ve gang minerallerinden tespit edilmiştir (*detay için* Baştürk, 2017 *bknz*; Çizelge 1).

Çizelge 1. Balya (Balıkesir) flotasyon ve izabe atıklarında tespit edilen mineralleri.

Table 1. Minerals determined in Balya (Balıkesir) flotation and smelting wastes.

Mineral	Bileşimi
Sfalerit	ZnS
Galen	PbS
Kalkopirit	CuFeS ₂
Pirit	FeS ₂
Manyetit	Fe ₃ O ₄
Wurtzit	(Fe, Zn)S
Kuvars	SiO ₂
Anglezit	PbSO ₄
K-feldspat	KAlSi ₃ O ₈
Bassanit	2CaSO ₄ .H ₂ O
Fayalit	Fe ₂ (SiO ₄)

Balya atık bölgesinde izabe ve flotasyon atıkları üzerinde, atıkların jeokimyasal içeriklerinin belirlenebilmesi amacıyla XRF çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, 14 adet izabe atıklarından ve 90 adet flotasyon atıklarından olmak üzere toplamda 104 adet örneğin kimyasal analizi yapılmıştır. Atıklarda, 4 değerli elementin (Pb, Zn, Fe, Cu) yüzdelik içerikleri ALS Laboratuvarı (Kanada)'nda X-Ray Flouresence (XRF) yöntemiyle saptanmıştır (Çizelge 2).

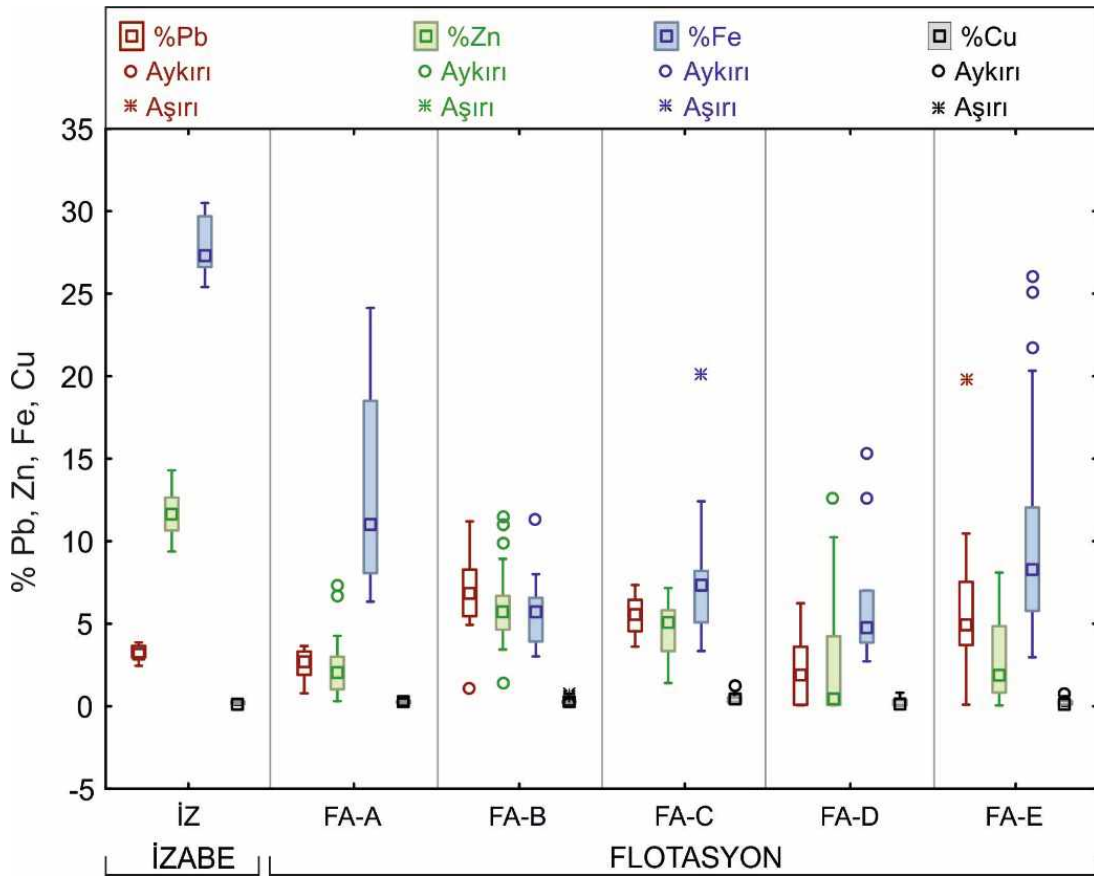


Şekil 5. Koordinatlandırma ve örnekleme işlemleri. **A)** İzabe atıklarının GPS ile koordinatlandırma işlemi, **B)** Maden dere her iki tarafında izabe ve flotasyon atıkları, **C, D)** Flotasyon atıklarında kepçe ile yarma açma ve örnekleme işlemi, **E, F)** İzabe atıklarında örnekleme işlemi.

Figure 5. Coordination and sampling operations. **A)** Coordination process of smelting waste with GPS, **B)** Smelting and flotation waste on both sides of the Maden Stream, **C, D)** Channel opening process and sampling in flotation waste with an excavator, **E, F)** sampling of smelting waste.

Bu analizlere göre, flotasyon atıklarında en düşük Pb içeriği %0,076 en yüksek Pb içeriği %19,829; en düşük Zn içeriği %0,066, en yüksek Zn içeriği %14,300; en düşük Fe içeriği %2,724, en yüksek Fe içeriği %26,076; en düşük Cu içeriği %0,037, en yüksek Cu içeriği %1,286 çıkmıştır (Çizelge 2 ve 3). İzabe atıklarında ise en düşük Pb içeriği %2,450 en yüksek %3,870; en düşük Zn içeriği %9,380 en yüksek %14,300; en düşük Fe içeriği %25,400 en yüksek %30,500; en düşük Cu içeriği

%0,101 en yüksek %0,325 çıkmıştır (Çizelge 2). Analiz sonuçlarına göre flotasyon atıklarında Pb, izabe atıklarında ise Zn oranları gözle görünür oranda yüksek çıkmıştır (Şekil 6). Ayrıca, her bir bölgedeki atıklara ait alan haritası, örnek lokasyonları ve metal derişim haritaları Şekil 7’de verilmiştir. Jeokimyasal kutu diyagramı ve kaynak hesabı için 3 boyutlu ardışık grafik Statistica 12 programında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Balya bölgesi flotasyon ve izabe atık bölgelerinin Pb, Zn, Fe, Cu element değışim kutu grafiği.

Figure 6. Box plot showing variations of elements Pb, Zn, Fe and Cu in flotation and smelting waste in Balya region.

Çizelge 2. Flotasyon ve izabe atıklarından derlenen örneklerin koordinatları ve kimyasal analiz sonuçları.**Table 2.** Chemical analyses and coordinates of samples collected from flotation and smelting wastes.

X	Y	Z	Yoğunluk	Proje	Numune No	%Pb	%Zn	%Fe	%Cu
550708,78	4400883,33	153,01	3,97	İZ	İZ-1	3,66	11,50	26,60	0,17
550723,26	4400913,81	157,56	3,92	İZ	İZ-2	2,80	12,65	26,70	0,24
550711,93	4400904,07	157,27	3,97	İZ	İZ-3	3,87	12,70	25,40	0,21
550708,76	4400890,47	155,63	3,67	İZ	İZ-4	2,96	10,25	30,30	0,29
550692,04	4400919,97	155,53	3,83	İZ	İZ-5	3,26	9,38	30,50	0,30
550737,52	4400993,09	153,62	3,90	İZ	İZ-6	3,80	10,65	29,70	0,14
550737,97	4400972,65	154,40	3,80	İZ	İZ-7	2,52	13,23	28,30	0,14
550742,35	4400943,94	155,58	3,89	İZ	İZ-8	3,12	11,23	26,62	0,20
550743,70	4400896,21	154,22	3,95	İZ	İZ-9	3,00	12,33	28,23	0,10
550676,17	4400898,93	157,85	3,95	İZ	İZ-10	3,26	9,38	30,50	0,32
550712,55	4400957,31	154,99	4,00	İZ	İZ-11	2,45	11,22	26,96	0,33
550686,78	4400863,20	154,93	4,20	İZ	İZ-12	2,96	12,50	27,54	0,12
550746,16	4400871,55	154,22	4,02	İZ	İZ-13	3,26	14,30	25,68	0,17
550712,04	4400839,64	152,91	3,98	İZ	İZ-14	3,69	11,95	27,12	0,15
551150,00	4401984,00	139,00	3,01	FA-A	FA-A1	2,79	1,87	21,92	0,38
551224,00	4402015,00	141,00	2,89	FA-A	FA-A2	2,84	2,54	15,39	0,46
551203,00	4402041,00	139,00	2,95	FA-A	FA-A3	2,67	2,53	23,04	0,22
551244,00	4402082,00	138,00	3,12	FA-A	FA-A4	3,64	4,27	8,50	0,20
551286,00	4402164,00	135,00	2,92	FA-A	FA-A5	3,35	7,32	12,39	0,28
551228,00	4402132,00	139,00	3,05	FA-A	FA-A6	1,76	3,13	7,95	0,20
551164,00	4402115,00	140,00	2,95	FA-A	FA-A7	2,31	6,65	7,55	0,35
551145,00	4402078,98	137,48	2,97	FA-A	FA-A8	2,05	1,90	11,60	0,38
551153,00	4402043,55	138,13	2,50	FA-A	FA-A9	1,53	0,68	10,53	0,18
551084,00	4402028,07	136,70	2,98	FA-A	FA-A10	2,61	3,49	11,82	0,26
551072,00	4401949,73	138,35	3,02	FA-A	FA-A11	3,36	1,87	24,14	0,36
551104,00	4402001,04	138,55	2,88	FA-A	FA-A12	1,86	0,64	17,09	0,16
551224,25	4402190,07	136,35	2,91	FA-A	FA-A13	2,60	0,92	8,98	0,29
551190,27	4402085,19	137,76	2,68	FA-A	FA-A14	1,36	2,19	6,34	0,09
551025,57	4401939,31	139,13	2,61	FA-A	FA-A15	0,79	2,87	19,92	0,21
551038,52	4401887,21	140,12	3,02	FA-A	FA-A16	2,99	1,87	20,90	0,28
551047,28	4401961,92	138,35	2,82	FA-A	FA-A17	1,95	2,45	7,80	0,24
551191,74	4402158,51	136,03	2,65	FA-A	FA-A18	3,65	1,13	8,19	0,18
551254,57	4402161,94	136,59	2,75	FA-A	FA-A19	3,28	0,44	7,77	0,22
551112,44	4402049,31	136,85	2,76	FA-A	FA-A20	3,47	0,31	8,52	0,12
550964,09	4401949,48	133,78	3,08	FA-B	FA-B1	8,28	6,45	3,34	0,18
550955,00	4401945,57	135,01	3,00	FA-B	FA-B2	9,38	3,45	3,81	0,29
550954,86	4401940,08	135,65	3,14	FA-B	FA-B3	8,17	5,53	5,73	0,20
550944,86	4401923,83	136,93	3,10	FA-B	FA-B4	9,57	5,32	3,92	0,29
550942,18	4401953,14	140,34	3,14	FA-B	FA-B5	9,08	5,75	3,52	0,22
550923,46	4401879,98	139,09	3,19	FA-B	FA-B6	11,20	3,44	6,09	0,31
550921,92	4401977,02	138,44	3,07	FA-B	FA-B7	7,58	4,64	5,03	0,25
550950,69	4401946,04	137,85	3,04	FA-B	FA-B8	8,08	4,75	3,02	0,12
550918,06	4401900,12	135,74	3,11	FA-B	FA-B9	5,79	8,92	6,07	0,48
550918,99	4401872,19	137,24	3,17	FA-B	FA-B10	9,92	4,44	6,59	0,21
550960,00	4401948,86	135,49	2,65	FA-B	FA-B11	1,12	1,45	3,64	0,13
550879,60	4401896,62	139,03	3,21	FA-B	FA-B12	6,79	9,92	6,47	0,68

Çizelge 2'nin devamı / Continuation of Table 2

X	Y	Z	Yoğunluk	Proje	Numune No	%Pb	%Zn	%Fe	%Cu
550899,85	4401913,85	139,76	3,15	FA-B	FA-B13	6,02	8,93	4,47	0,32
550907,49	4401955,76	139,88	3,15	FA-B	FA-B14	5,80	10,93	6,57	0,78
550945,07	4401904,55	137,87	3,08	FA-B	FA-B15	7,57	4,32	4,96	0,12
550919,13	4401944,60	139,88	3,20	FA-B	FA-B16	5,46	11,52	11,30	0,34
550886,73	4401882,70	135,62	3,18	FA-B	FA-B17	4,93	5,71	7,63	0,20
550894,60	4401903,73	136,69	3,20	FA-B	FA-B18	5,01	6,69	6,25	0,25
550904,35	4401892,54	136,86	3,27	FA-B	FA-B19	6,46	4,91	5,53	0,44
550900,21	4401943,37	138,04	3,25	FA-B	FA-B20	5,33	5,74	6,71	0,23
550921,65	4401925,93	136,81	3,26	FA-B	FA-B21	4,97	6,21	8,00	0,25
550702,85	4400982,04	157,60	3,11	FA-C	FA-C1	5,13	7,14	3,35	0,30
550707,42	4401014,16	158,98	3,08	FA-C	FA-C2	5,86	3,34	7,48	0,23
550669,00	4400966,62	162,47	3,06	FA-C	FA-C3	6,02	5,46	4,99	0,54
550611,43	4401003,22	166,40	3,06	FA-C	FA-C4	7,08	5,11	4,69	0,48
550653,00	4400998,10	164,12	3,20	FA-C	FA-C5	5,74	6,87	6,86	0,74
550709,00	4401041,14	158,17	3,15	FA-C	FA-C6	4,19	5,37	7,81	0,54
550720,59	4401107,32	150,90	3,22	FA-C	FA-C7	4,24	5,00	7,39	0,50
550681,00	4401068,85	158,54	3,14	FA-C	FA-C8	7,23	4,43	5,06	1,29
550656,35	4401095,20	160,49	3,11	FA-C	FA-C9	4,87	7,16	8,00	0,41
550635,41	4401046,09	160,15	3,13	FA-C	FA-C10	5,44	4,73	8,20	0,37
550674,00	4401039,76	155,33	2,95	FA-C	FA-C11	3,61	1,57	20,07	0,67
550631,00	4401023,42	160,84	3,30	FA-C	FA-C12	4,55	5,82	7,08	0,22
550687,64	4401057,65	162,29	3,26	FA-C	FA-C13	6,96	5,13	5,08	0,41
550692,23	4401126,27	158,59	3,10	FA-C	FA-C14	3,67	5,62	7,12	0,19
550625,40	4401066,75	161,00	3,28	FA-C	FA-C15	5,80	6,54	8,61	0,28
550617,43	4401036,47	161,00	3,12	FA-C	FA-C16	6,45	3,09	12,42	0,13
550624,48	4400974,40	162,02	3,15	FA-C	FA-C17	7,35	3,26	8,68	0,22
550655,10	4400947,05	156,13	2,87	FA-C	FA-C18	5,36	1,41	6,42	0,24
550895,36	4400985,84	168,83	3,72	FA-D	FA-D1	3,60	10,24	5,61	0,31
550833,84	4400988,02	158,07	3,51	FA-D	FA-D2	6,24	12,61	15,38	0,82
550831,11	4401009,86	155,40	3,42	FA-D	FA-D3	3,78	4,24	7,00	0,48
550879,93	4401032,01	160,75	2,55	FA-D	FA-D4	0,06	0,07	2,72	0,07
550832,00	4401072,00	153,00	2,50	FA-D	FA-D5	0,09	0,12	3,68	0,18
550868,00	4401091,00	156,00	2,69	FA-D	FA-D6	0,07	0,08	3,86	0,05
550807,98	4401045,60	154,00	2,71	FA-D	FA-D7	1,88	0,08	4,79	0,13
550795,54	4400979,26	154,00	2,65	FA-D	FA-D8	1,27	0,54	4,51	0,39
550849,23	4401035,18	153,66	3,02	FA-D	FA-D9	1,95	0,51	12,67	0,07
550630,58	4400582,80	158,78	2,86	FA-E	FA-E1	1,66	0,75	5,49	0,08
550637,21	4400597,32	158,55	3,06	FA-E	FA-E2	8,01	1,34	8,35	0,16
550619,04	4400417,70	161,44	2,99	FA-E	FA-E3	6,48	5,21	7,85	0,42
550635,75	4400555,51	156,46	2,74	FA-E	FA-E4	0,20	0,95	5,78	0,03
550643,36	4400451,67	158,70	2,95	FA-E	FA-E5	5,77	8,10	9,48	0,42
550612,22	4400452,28	161,85	2,85	FA-E	FA-E6	6,48	3,30	7,65	0,32
550579,27	4400445,31	166,91	3,00	FA-E	FA-E7	4,10	6,34	7,41	0,60
550599,42	4400558,88	166,13	2,55	FA-E	FA-E8	0,10	0,05	5,78	0,07
550633,85	4400601,33	160,02	2,86	FA-E	FA-E9	0,32	0,72	2,97	0,04
550645,53	4400623,42	158,86	3,15	FA-E	FA-E10	8,00	2,24	11,53	0,73
550636,00	4400673,48	160,95	2,65	FA-E	FA-E12	2,64	7,16	5,63	0,34

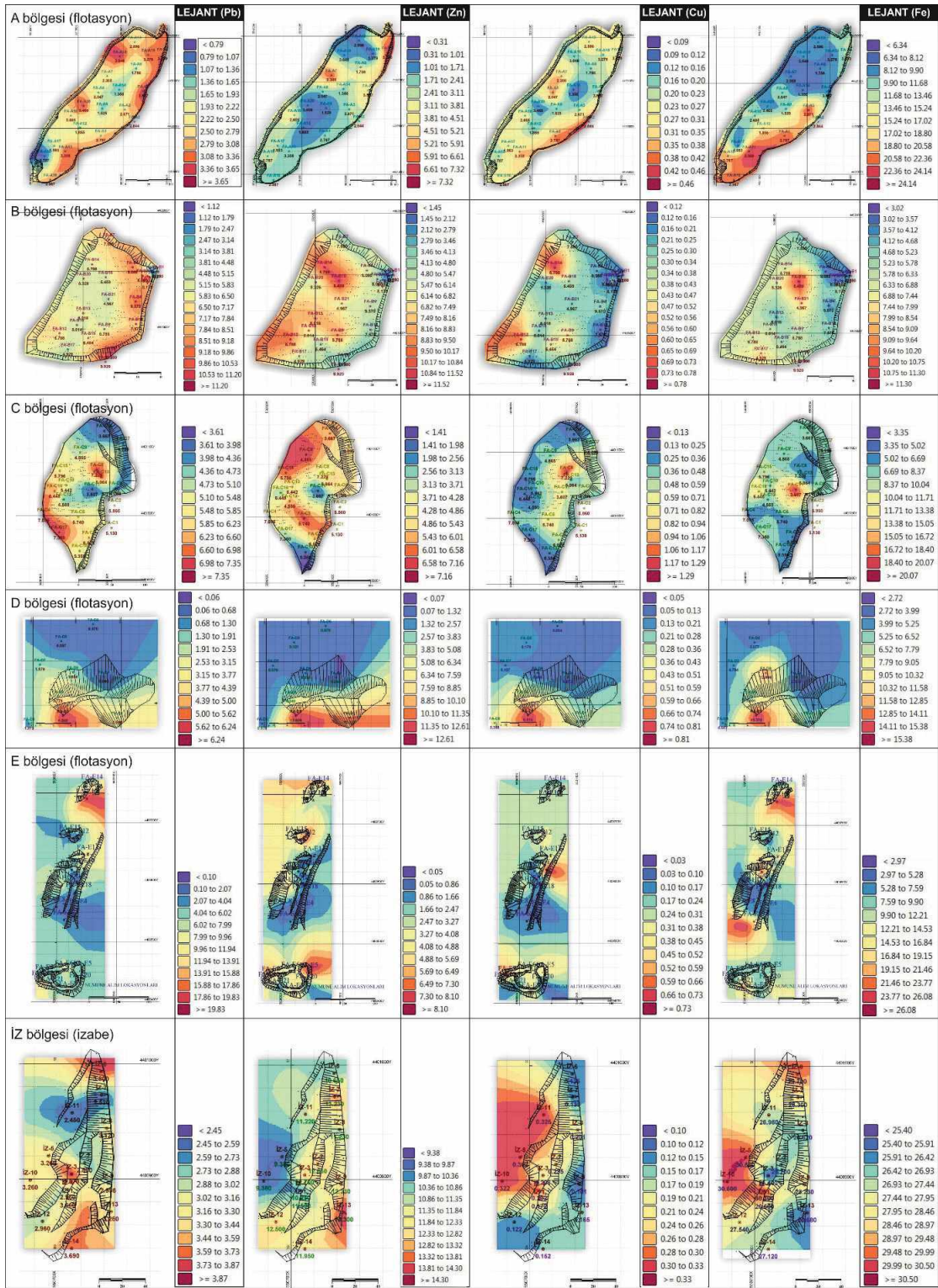
Çizelge 2'nin devamı / Continuation of Table 2

X	Y	Z	Yoğunluk	Proje	Numune No	%Pb	%Zn	%Fe	%Cu
550650,60	4400740,04	163,00	3,75	FA-E	FA-E13	19,83	2,62	25,02	0,25
550659,41	4400763,98	164,98	3,20	FA-E	FA-E14	5,49	6,23	8,28	0,24
550622,38	4400679,30	164,33	2,82	FA-E	FA-E15	3,71	4,05	11,23	0,25
550625,24	4400621,05	165,97	2,71	FA-E	FA-E16	3,86	1,51	21,80	0,12
550608,60	4400594,78	167,13	3,52	FA-E	FA-E17	7,54	4,85	4,26	0,30
550640,42	4400583,49	156,70	2,92	FA-E	FA-E18	4,89	0,44	8,03	0,10
550612,33	4400537,11	161,66	2,82	FA-E	FA-E19	5,00	0,83	26,08	0,12
550639,18	4400432,03	160,47	2,71	FA-E	FA-E20	4,06	1,34	12,90	0,08
550593,11	4400425,52	165,46	3,10	FA-E	FA-E21	4,74	1,41	20,33	0,12
550576,28	4400435,60	168,03	3,12	FA-E	FA-E22	10,47	3,31	10,35	0,15

Çizelge 3. Flotasyon ve izabe atıklarının ortalama tenör değerleri

Table 3. Average grade values of flotation and smelting waste.

Numune Bölgesi	Numune Adedi	Min. Pb Değer	Max. Pb Değer	Pb Medyan	Ort. %Pb	Min. Zn Değer	Max. Zn Değer	Zn Medyan	Ort. %Zn
FA-A	21	0,78	3,65	2,64	2,54	0,31	7,32	2,04	2,45
FA-B	20	1,12	11,20	6,79	6,98	1,45	11,52	5,71	6,14
FA-C	18	3,61	7,35	5,59	5,53	1,41	7,16	5,12	4,84
FA-D	9	0,06	6,24	1,88	2,11	0,07	12,61	0,51	3,16
FA-E	22	0,10	19,83	4,94	5,58	0,05	8,10	1,88	2,88
TOPLAM	90	0,60	11,20	4,87	4,71	0,05	12,61	3,47	3,97
Numune Bölgesi	Numune Adedi	Min. Fe Değer	Max. Fe Değer	Fe Medyan	Ort. %Fe	Min. Cu Değer	Max. Cu Değer	Cu Medyan	Ort. %Cu
FA-A	21	6,34	24,14	11,07	13,02	0,09	0,46	0,23	0,25
FA-B	20	3,02	11,30	5,73	5,65	0,12	0,78	0,25	0,30
FA-C	18	3,35	20,07	7,26	7,74	0,13	1,29	0,39	0,43
FA-D	9	2,72	15,38	4,79	6,69	0,05	0,82	0,18	0,28
FA-E	22	2,97	26,08	8,32	10,83	0,03	0,73	0,20	0,24
TOPLAM	90	2,72	26,08	7,59	9,07	0,03	1,29	0,25	0,30
Numune Bölgesi	Numune Adedi	Min. Pb Değer	Max. Pb Değer	Pb Medyan	Ort. %Pb	Min. Zn Değer	Max. Zn Değer	Zn Medyan	Ort. %Zn
İZ	14	2,45	3,87	3,19	3,19	9,38	14,3	11,73	11,66
Numune Bölgesi	Numune Adedi	Min. Fe Değer	Max. Fe Değer	Fe Medyan	Ort. %Fe	Min. Cu Değer	Max. Cu Değer	Cu Medyan	Ort. %Cu
İZ	14	25,4	30,5	27,33	27,87	0,1	0,33	0,19	0,205



Şekil 7. Balya bölgesi flotasyon ve izabe atık bölgelerinde Pb, Zn, Cu, Fe elementlerinin alansal dağılım haritası.

Figure 7. Distribution map of elements Pb, Zn, Cu and Fe in area of flotation and smelting waste in Balya region.

KAYNAK HESABI

Veritabanı

Jeostatistiksel bir analizde, incelenen sahadaki veriler iyi bir şekilde organize edilmeli ve elde edilen veriler dikkatli bir şekilde yönetilmelidir. Elde edilen bu veriler (2 boyutlu ya da 3 boyutlu) birbirleriyle karşılaştırılmalı ve yorumlanmalıdır (Çetin, 1996). Veri kaynakları değişkenler, özellikler ve koordinatlar olmak üzere üç tipe ayrılmaktadır. Bunlardan; değişkenler; mineral içeriklerini, istenmeyen maddelerin miktarlarını, litolojik özellikleri, mineralojiyi, diğer sınıflayıcıları; koordinat sistemi veriye göre 2 veya 3 boyutlu olarak değişimleri içermektedir. 3 boyutlu verilerde ortogonal koordinatlar (X, Y, Z) yer almaktadır. Kullanılan verilerin saha çalışmasından analiz aşamasına ve verilerin dijitalize edilmesine kadar tüm aşamalarda öncelik, doğru veri üretilmesi, doğru analiz seçimi, kontrollü analiz edilmesi ve verilerin kullanılabilir olması çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Veri akım şeması a) Dijital veritabanı oluşturulması, b) Analiz verilerinin girilmesi, c) Haritalar (topoğrafik ve diğer haritalar), d) Jeolojik kesit(ler), e) Jeolojik katı model, f) Blok model, g) Mineral kaynağı ve kaynak hesaplama şeklindedir (Baştürk, 2017).

Micromine Programı Kullanılarak Ordinary Kriging Yöntemi ile Alansal Dağılım Haritası Yapılması

Kimyasal analizler sonucunda elde edilen veriler, Micromine programı ile "Ordinary Kriging" metodu kullanılarak elementlerin alansal dağılım haritaları yapılmıştır. Kriging metodu, mekânsal tahmin için en elverişli jeostatistiksel bir tekniktir (Waller ve Gotway, 2004). Kullanılan kriging tekniği, diğer tahmin tekniklerine göre daha tarafsız ve objektif sonuçlar vermektedir (Deutsch ve Journel, 1992; Abtey vd., 1993; Başkan, 2004; Webster ve Oliver, 2007). Kriging metodunun en önemli özelliği, çok fazla verinin birbiriyle olan

karşılaştırılmalarında tahmin edilen bir nokta veya alan için bir varyans değerini hesaplayabilmesidir (Başkan, 2004). Başkan (2004)'e göre, kesin değerler arasındaki varyans ile bir nokta veya alan için hesaplanan varyans değeri arasındaki ilişkide ölçülmeyen nokta veya alan için tahmin edilen değer daha küçük olması, güvenilir olduğunu göstermektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Kriging yöntemleri Simple Kriging, Ordinary Kriging, Universal Kriging 20, Disjunctive Kriging ve Cokriging olmak üzere 5 ayrı kategoride incelenmektedir (Yiğit, 2003).

Bu yöntemlerden, Ordinary Kriging yönteminin ilk aşaması, enterpole edilecek noktalar kümesinden varyogram oluşturmaktır. İkinci aşamada ise deneysel variogramın, teorik variogram baz alınarak oluşturulmasıdır. Kriging metodunun uygunluğu, veri popülasyonunun dağılımına, birim mesafedeki tenör varyansına, yöne bağlı anisotropinin varlığına vb. parametreler değerlendirilerek belirlenmektedir. (Yaprak ve Arslan, 2008). Ordinary Kriging'de kullanılan temel eşitlik aşağıdaki hesaplama göre yapılmaktadır:

$$Np = \sum_{i=1}^n Pi * Ni$$

Burada; n modeli oluşturan nokta sayısı; Ni , Np 'nin hesabında kullanılan noktaların ondülasyon değerleri; Np Aranılan ondülasyon değeri; Pi , N 'nin hesabında kullanılan her Ni değerine karşılık ağırlık değerleridir. Bu IDW enterpolasyonu için kullanılan eşitliğin benzeridir. Burada fark ağırlık sadece mesafeye dayanmaz, aynı zamanda model variogramla ilişkilidir (Yaprak ve Arslan, 2008). Yapılan kimyasal analizler sonucunda değerli metallere Pb, Zn, Cu, Fe anomali değerleri verdiği için Ordinary kriging yöntemine uygun görülüp haritaları çizilmiştir. Bu elementlerin alansal dağılım haritasına göre bordo renkli alan anomali olarak daha yüksektir. Mavi renkli alana gidildikçe anomali düşmektedir. Sarı renkli alan ise o element için geçiş alanını göstermektedir.

Histogram

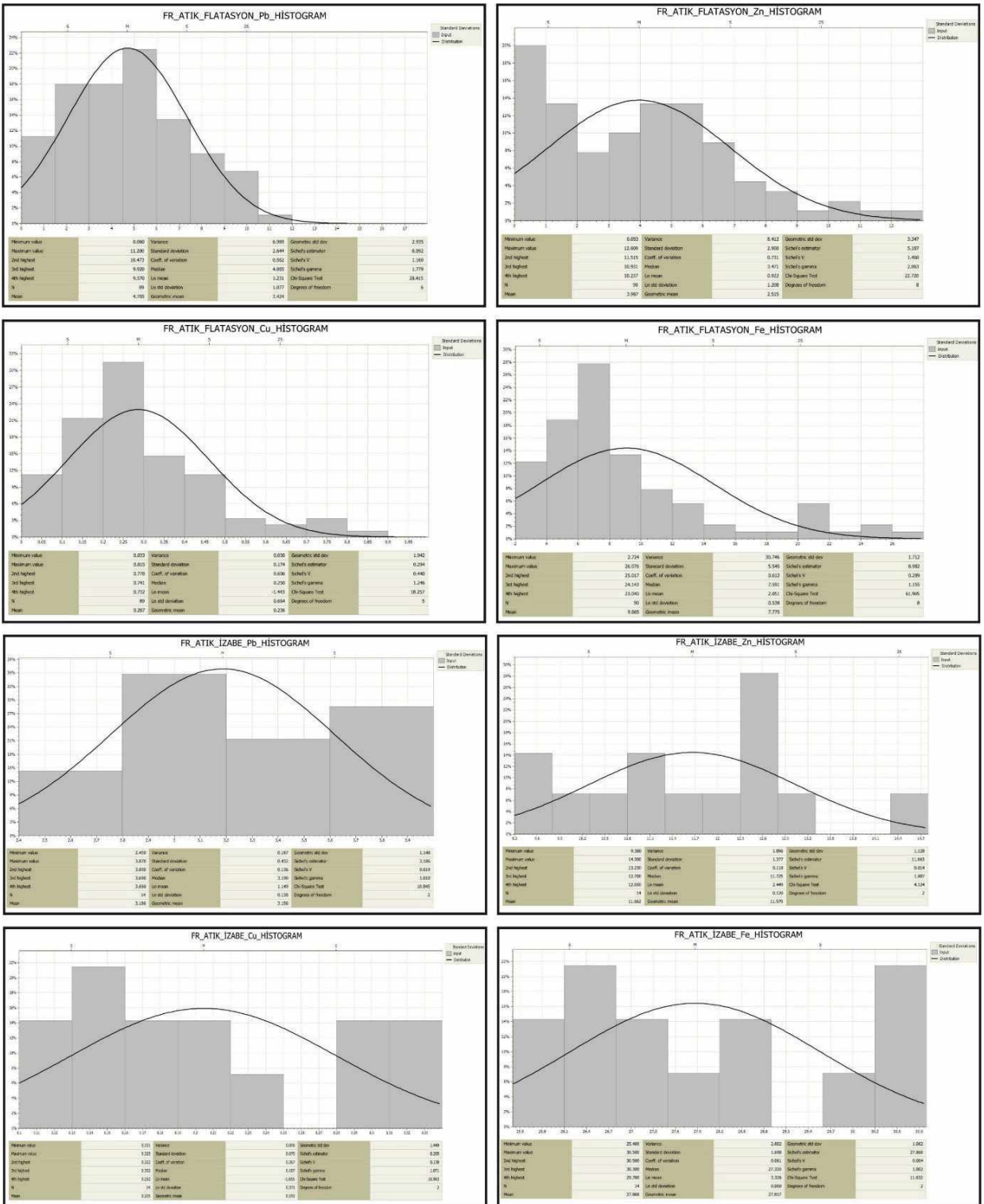
Çok fazla verinin (analiz) dağılımını yeniden düzenleyerek, dağılımı, sayı kümeleri ve orta noktayı gösteren grafiklere “*histogram*” adı verilmektedir. Histogramda, elde edilen veriler istenilen aralıklara bölünür ve her bir aralığa düşen veri sayısı ya da oranı hesaplanarak sütun grafikler şeklinde gösterilmektedir. Grafiğin X eksenini verilerde istenilen aralıkların sayısal verisini gösterir. Y eksenini ise X ekseninde belirtilen aralıktaki veri frekansını gösterir. Buna frekans denilmektedir. Her aralıkta frekans değeri olmayabilir; buna ek olarak değer olmadığı zaman aralıklar boş kalabilir. Bunun bir diğer bulma yöntemi değerler toplamının toplam veri sayısına oranlamasıdır. Dağılım değerlerinin ortalamadan sapmasını ölçme yöntemine “varyans” denilmektedir. Veriler küçükten büyüğe doğru dizildiğinde veri dizisinin ortasında kalan değere ise “Ortanca (median) değer” denir. Bütün verilerin sayısı tek sayı ise ortada kalan sayı alınır, eğer çift sayı ise ortaya düşen 2 sayının ortalaması alınmaktadır. Histogram grafiklerini oluşturmadaki ana amaç, çok fazla olan sayısal verinin dağılımını, ortanca sayısını ve ortalama değerini almaktır. Burada dikkat edilmesi gereken veri topluluğunun histogram grafikleri üzerinde dağılımını görmektir. Histogram dağılımları tek bir yükselme eğrisi verirse bu eğrilere normal dağılımlı, eğer birden fazla değer verirse değişken dağılımlı histogramları oluşturur. Değişken dağılımlı histogramlarda çalışmak için her bir pik noktasının veri alanı alınarak farklı kompozitlemeler yapılmalıdır (Baştürk, 2017).

Yapılan çalışmada elde edilen histogram grafiklerine bakıldığında zaman hepsinde normal bir dağılım görülmektedir (Şekil 8). Normal dağılım eğrisi, ölçme sonuçlarının orta noktalarında yoğunlaştığı, uç noktalarda seyrekleştiği bir dağılım şeklini ifade etmektedir. Verilerin normal dağılım gösterip gösteremediğini belirlemenin bir diğer yolu ortalama, mod ve medyan değerlerine bakmaktır. Normal dağılımda bu değerler çakışıktır. Bu istatistikler birbirine yaklaştığı ölçüde dağılım normal dağılıma yaklaşır. Birbirinden uzaklaştığı ölçüde dağılım

çarpıklaşmaktadır. Ancak, bu yakınlığın düzeyi ile ilgili belirli bir standart yoktur. Bu sebeple normal dağılım gösteren histogram parametreleri Kriging yönteminde kullanılmıştır.

Micromine Programı

Çalışma alanındaki jolojik haritaların ve numunelendirme çalışmalarının sayısallaştırması, numune yer tayini, numuneler arası karşılaştırma, kaynak, tenör hesaplamalarında ve modellemelerinde dünyaca bilinen Micromine programı kullanılmıştır. Bu program 3 boyutlu jeoloji ve maden planlama, tasarlama alanlarında birçok firma tarafından kullanılmaktadır. Program kolay ve pratik ara yüz olmasından ve koordinat sistemiyle çalışmasından, açık işletme, yeraltı üretim operasyonları ve maden arama projeleri için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Micromine Programı 3 boyutlu ara yüzü ile görüntüleme, yüzey modelleme, otomasyon, ocak dizaynı, blok model, kriging, jeostatistik analiz gibi modülleri içeren bir maden yazılım programıdır. Excel tabanlı çalışan programın geniş bir veri girdi yelpazesinin olması ve matematiksel işlemlerde oldukça esnek olması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu programa excel formatından veri girişi yapılabilmektedir ve yapılan çizim veya kapalı alanların X, Y, Z koordinatlarını otomatik olarak alabilmektedir ve diğer çizim programları veya ofis programlarından Excell formatında da import ve export yapılabilmektedir. Fransız şirketinin üretim yaptığı dönemde atılan atıkların dere yatağına atılmasından kaynaklı mevsimler yağışlar ile aşındırılarak taşınmış olması ve/veya yol dolgusu olarak kullanılmasından günümüzde ilksel formunu koruyamamıştır. Bu sebepten tüm alanların üst noktalarının ölçülmesi, taban noktalarının yüzey, dere, eğim parametreleri hesaplanarak 3 boyutlu kapalı bir alan oluşturulmasından dolayı bu program seçilmiştir. Program ile oluşturulan alanın hacimsel değerinin içerisine atılan analiz değerleri ve yoğunluklarla ilgili parametreler kullanılarak, alanın istenilen elementteki kütlesi program ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 8. İzabe ve flotasyon atıklarından derlenen numunelerin histogram diyagramları.

Figure 8. Histogram diagrams of samples collected from the smelting and flotation wastes.

Blok Model

Atık alanları GPS ve Leica marka ölçüm cihazı ile X, Y, Z olmak üzere atık çevresi ve yükseklik veren kısımlarının koordinatları alınıp ofis çalışmalarında öncelik olarak kapalı bir alan (katı blok) haline getirilmiştir. Oluşturulan katı bloklar içerisinde alınan numune yerleri ve yüzdesel analiz sonuçları işlenmiştir. Blok modelin oluşturulmasında Micromine madencilik yazılım programı kullanılmıştır. Çalışma alanı birbirinden farklı noktalarda olduğu için 5 flotasyon, 1 izabe şeklinde 6 bölüme ayrılmıştır. Ayrım sonrasında herbir atık bloğunun kapladığı alan 3 boyutlu olacak şekilde katı blok haline getirilmiştir. Yapılan jeostatistiksel analizler doğrultusunda cevher dağılımı ve oluşacak blok parametreleri X, Y, Z yönlerinde 1x1x1 m olarak belirlenmiştir. Poligon alanındaki topoğrafyadaki numuneler arası mesafe sabit aralıklar ile olmadığından X ve Y yönünde 1 m alınması düşünülmüştür (düşük aralık seçmek, veri yoğunluğuna ve varyansa göre farklı sonuçlar doğurur. Çok küçük boyutlar detay sonuçtan ziyade, hata oranını arttırabilir bu sebepten elde edilen verilere göre dar aralık seçilmesi hatayı minimuma indirecektir). Atık yığınları en fazla 1-10 arası kalınlık verdiği için burada da "Z", 70 yıllık üretim sırasında farklı dönemlere ait yığılımların olması ve erozyona bağlı değişken kalınlık içerdiği ve gerçeği yansıtmaması için blok boyutlarında aralık 1 m olarak kabul edilmiştir. Sınıflandırılarak oluşturulan 6 bölge için ayrı solidler oluşturulmuştur. Her bir solid içerisinde oluşturulacak bloklar düzensiz geometriden sabit boyutlar kullanılmıştır. Çalışma sahasındaki oluşturulan 3 boyutlu blok model görüntüleri Şekil 9A-F'de verilmiştir.

Yapılan katı blok içerisinde tenör ataması için alınan 90 adet numunenin Pb, Zn, Fe, Cu metal analizleri işlenmiş ve yukarıdaki parametrelere göre blok tenör ataması yapılmıştır. Yapılan tenör atamasında oluşturulan search elipsoid parametrelerinin belirlenmesinde, numuneler arasında uzaklık parametrelerinin histogram

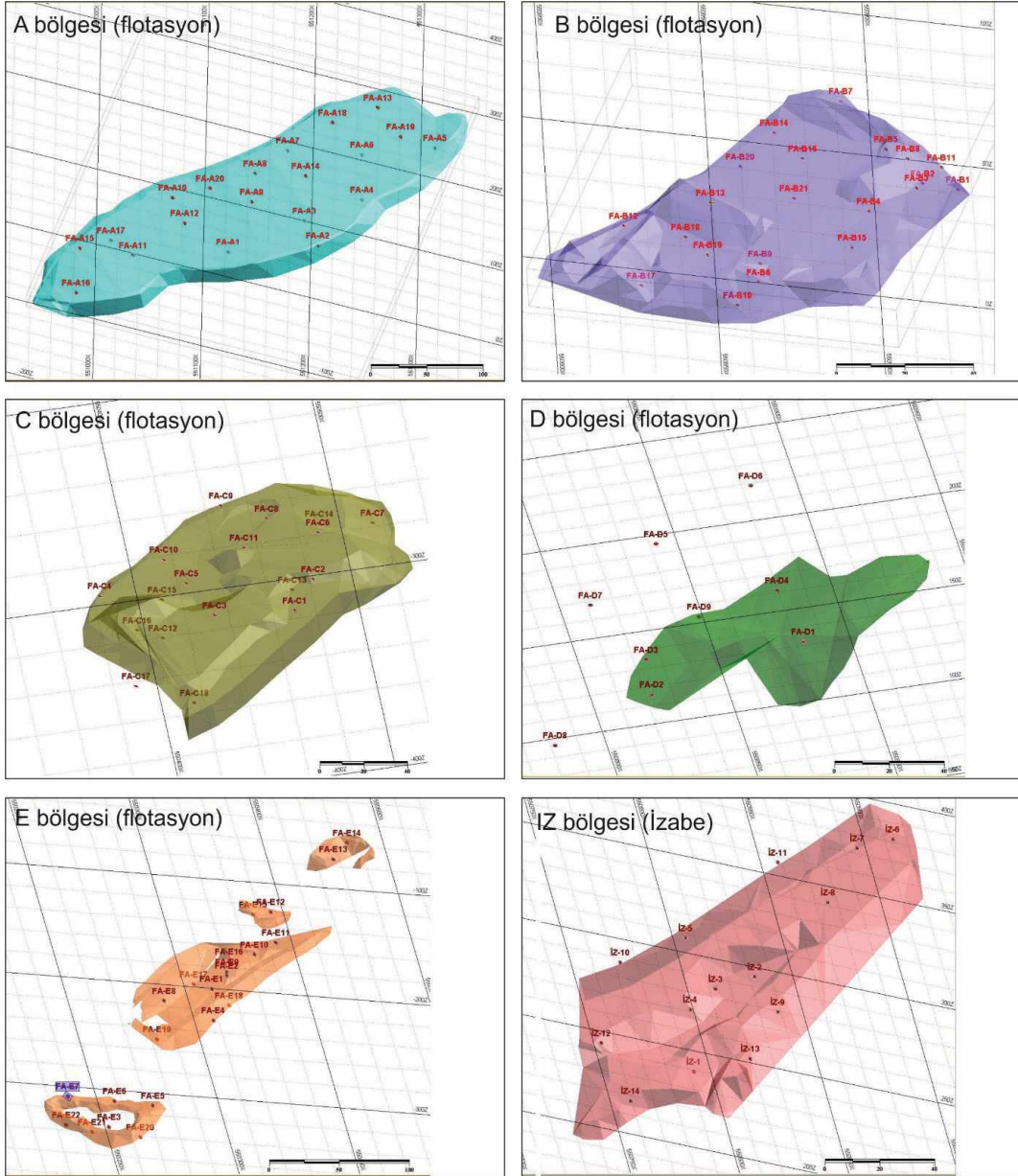
eğrileri yapılarak median değeri kullanılmıştır. Yatay istifleme yapılması aramanın 1. parametresini vermektedir. Yapılan yarma çalışmaları ve aşınma alanlarındaki çalışmada yataya bağlı yapılan istifleme gözükmüş derine doğru dik bir şekilde değişkenlik gözlemlendiği için 2. parametre -90 derece olarak alınmıştır. Herhangi bir tarafa dalım olmaması ve yatay olmasından 3. parametrede 0 derece olarak alınmıştır. Variogramlar oluşturularak, uygulanacak IDW yönteminde kullanılacak olan arama elipsoidi parametreleri Micromine programı tarafından yapılmıştır.

Kaynak Tahmini

Çalışılan saha üzerindeki atık poligonlarının çevresi keskin hatlarla ayrıldıktan sonra yığılımlar üzerinden alınan 90 adet flotasyon ve 14 adet izabe numunesinin hepsinde yoğunluk analizi yapılmış olup, bu verilerin ortalama değerleri Çizelge 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Yapılan yoğunluk analizlerinin flotasyon atıkları için yoğunluğu ortalama 3,02 gr/m³, izabe atıkları için ise ortalama 3,93 gr/m³ bulunmuş ve blok model hesaplamalarında ayrı model hesaplaması yapılmıştır. Oluşturulan blok ile Pb, Zn, Cu, Fe, elementleri giydirilerek cevher tenör değerleri hesaplamaya çalışılmıştır. Mümkün kaynak hesabı yapılacağı için Cut off değeri alınmamıştır. Pb, Zn, Fe elementi için alt sınır %0,1, Cu elementi için ise 1 gr/ton olarak düşünülmüştür. Kaynak hesabı için Micromine programı kullanılmış olup, alınan numune analizleri variogram eğrilerine göre değerlendirilmiş ve model parametreleri belirlendikten sonra yoğunluk analizleri kullanarak blok model oluşturulmuştur. 5 flotasyon ve 1 izabe atığı olarak belirlenen bloklar için ayrı ayrı kaynak hesaplamaları yapılmıştır. Her blok için Pb, Zn, Cu, Fe elementleri için ayrı tenör hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan blok modelden alınan rapora göre hazırlanan tabloda ilgili cevher bloğu ve kaynak görülebilmektedir. Çalışma alanı bir cevher yatağı olmayıp yığın şeklinde atılmış bir

kütle olduğu için ve kaynak hesabı yapıldığından raporlama yapılırken Cutoff grade ayırtması yapılmayıp komple potansiyel hesabı yapılmıştır. Pb, Zn, Fe ve Cu elementleri için kaynak bilgileri cevher değeri için “%” ve miktarı “Ton” şeklinde verilmiştir. Yapılan kaynak hesabına göre; izabe atıklarında 10.373 ton %3,16 Pb, 36.372 ton

%11,08 Zn, 87.090 %26,53 Fe, 722 ton %0,22Cu; flotasyon atıklarında 72.761 ton %4,38 Pb, 67.661 ton %4,10 Zn, 235.452 ton %8,48 Fe ve 6.243 ton %0,29 Cu tespit edilmiş ve ekonomik olabilecek mümkün kaynak miktarı ortaya konulmuştur (Çizelge 4, 5, 6 ve 7, Şekil 10).



Şekil 9. İzabe ve flotasyon atıklarının katı blok çizimleri ve numune yerleri.

Figure 9. Sample locations and solid block drawing of smelting and flotation waste.

Çizelge 4. Flotasyon atıklarının alan, yoğunluk %Pb, %Zn element içerikleri ve kaynak (ton) verileri.

Table 4. Volume and density of Pb (wt%)-Zn (wt%) concentrations and resources data (tons) of flotation waste.

Bölge	Hacim	Tonaj	Yoğunluk	Pb (%)	Pb (ton)	Zn (%)	Zn (ton)
A_Katı_Blok	431.653,72	1.238.846	2,87	2,47	30.600	2,30	28.493
B_Katı_Blok	38.906,18	121.776	3,13	6,87	8.366	6,19	7.538
C_Katı_Blok	183.656,47	574.845	3,13	5,28	30.352	4,97	28.570
D_Katı_Blok	13.408,06	39.822	2,97	1,88	749	4,42	1.760
E_Katı_Blok	16.770,12	49.807	2,97	5,41	2.695	2,61	1.300
TOPLAM	684.394,55	2.025.096	3,01	4,38	72.761	4,10	67.661

Çizelge 5. Flotasyon atıklarının alan, yoğunluk %Pb, %Zn element içerikleri ve kaynak (ton) verileri.

Table 5. Volume and density of Fe (wt%)-Cu (wt%) concentrations and resources data (ton) of flotation waste.

Bölge	Hacim	Tonaj	Yoğunluk	Fe (%)	Fe (ton)	Cu (%)	Cu (ton)
A_Katı_Blok	431653,72	1.238.846	2,87	13,93	172.571	0,25	3.097
B_Katı_Blok	38906,18	121.776	3,13	5,77	7.026	0,30	365
C_Katı_Blok	183656,47	574.845	3,13	8,57	49.264	0,45	2.587
D_Katı_Blok	13408,06	39.822	2,97	4,38	1.744	0,20	80
E_Katı_Blok	16770,12	49.807	2,97	9,73	4.846	0,23	115
TOPLAM	684394,55	2.025.096	3,01	8,48	235.452	0,29	6.243

Çizelge 6. İzabe atıklarının yoğunluk Pb, Zn element yüzdesi ve kaynak (ton) verileri.

Table 6. Volume and density of Pb (wt%)-Zn (wt%) concentrations and resources data (ton) of smelting waste.

Bölge	Hacim	Tonaj	Yoğunluk	Pb (%)	Pb (ton)	Zn (%)	Zn (ton)
IZ_Katı_Blok	83528,81	328.268	3,93	3,16	10.373	11,08	36.372

Çizelge 7. İzabe atıklarının yoğunluk %Fe, %Cu element içerikleri ve kaynak (ton) verileri.

Table 7. Volume and density of Fe (wt%)-Cu (wt%) concentrations and resources data (tons) of smelting wastes.

Bölge	Hacim	Tonaj	Yoğunluk	Fe (%)	Fe (ton)	Cu (%)	Cu (ton)
IZ_Katı_Blok	83528,81	328.268	3,93	26,53	87.090	0,22	722

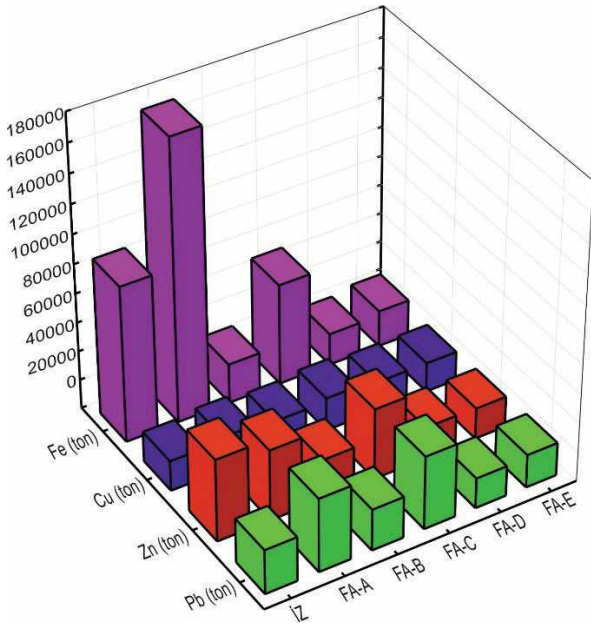
SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Balya (Balıkesir) Pb-Zn cevherleşmelerinin işletilmesi sonrasında ortaya çıkan maden atıkları, flotasyon ve izabe atıkları olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yapılan çalışmada;

1) Yayılım, kalınlık, yoğunluk, alterasyon, koordinat, oksidasyon gibi mineral ve değerli element tayini için 90 adet flotasyon 14

adet izabe olmak üzere toplam 104 numune alınmıştır.

2) Alınan numuneler üzerinde mineral tayini için 4 adet flotasyon 2 adet izabe numunesine XRD çalışması yapılmıştır. Buna göre, atıklardan alınan numunelerin sfalerit, kuvars, manyetit, fayalit, wurtzit, anglezit, bassanit ve K-feldspat mineralleri içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 10. Atık bölgelerinin Pb, Zn, Cu, Fe temelinde kaynağı gösteren 3D diyagram.

Figure 10. 3D diagram illustrating resource of waste region based on Pb, Zn, Cu and Fe.

- 3) Atıkların element tayini için yapılan XRF çalışmaları ile Pb, Zn, Cu, Fe element potansiyelleri ortaya konmuştur. Analiz sonuçlarına göre, izabe atıklarında Pb içeriği %2,450-%3,870 (ortalama Pb: %3,186); Zn içeriği %9,380-%14,300 (ortalama Zn: %11,662); Fe içeriği %25,400-%30,500 (ortalama Fe: %27,868); Cu içeriği %0,101-%0,325 (ortalama Cu: %0,205) arasında değerler sunmaktadır. Flotasyon atıklarında Pb içeriği %0,076-%19,829 (ortalama Pb: %4,5466); Zn içeriği %0,066-%14,300 (ortalama Zn: %3,896); Fe içeriği %2,724-%26,076 (ortalama Fe: %8,7848); Cu içeriği 0,037-%1,286 (ortalama Cu: %0,2998) arasında değişmektedir.
- 4) Atıkların element verileri elde edildikten sonra, verilerin istatistiksel yorumu yapılmıştır. Bloklar flotasyon ve izabe olarak ayıklanmış ve her bir grubun analiz değerlerinde

kriging için jeostatistiksel parametreler belirlenmiştir. Belirlenen jeostatistiksel parametreler kullanılarak ordinary kriging yöntemi uygulanıp analizler üzerinde kompozitleme ve IDW yöntemi kullanılarak sahanın tenör bazında alansal değişimi tespit edilmiştir.

- 5) Atıkların detaylı haritalama çalışması yapılmış olup, her birim içerisinde yarma çalışmaları ve yüzey ölçümlendirmelerle belirlenen alanlar Micromine programı üzerinde 3 boyutlu koordinatlı bloklar haline getirilmiştir.
- 6) Yapılan bloklar üzerine Micromine programı ile cevher blokları oluşturularak rezerv ve tenör hesaplaması yapılmıştır. Yapılan kaynak hesabına göre; izabe atıklarında 3,93 gr/m³ yoğunluklu, 10.377 ton %3,16 Pb, 36.377 ton %11,08 Zn, 87.091 %26,53 Fe, 705 ton %0,22 Cu içeriği; flotasyon atıklarında 72.743 ton %4,38 Pb, 67.686 ton %4,10 Zn, 235.443 ton %8,48 Fe ve 6.270 ton %0,29 Cu tespit edilmiş ve ekonomik olabilecek mümkün kaynak miktarı ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak, analiz sonuçlarına göre izabe atıklarında Zn (ortalama %11,67), flotasyon atıklarında ise Pb (ortalama %4,55) oranları gözle görünür oranda yüksek çıkmıştır. Dünya genelindeki işletmelerinde ortalama %3-%5 arası Pb-Zn içeriği işletmede kazanç potansiyeli için yeterlidir. Bu değer bölgedeki atıkların ortalama Pb-Zn içeriklerinin ekonomik önem taşıdığını göstermektedir. Ancak, sülfidli cevherleşmelerin yüksek oranda geri kazanım olanağı beklenmez (Üçürüm ve Ulu, 1987). Buna ek olarak, Balya bölgesi cevherleşmelerinin yüksek denebilecek oranda Ag içerdiği bilinmektedir. Böylece, atıkların bu çalışmada analizi gerçekleştirilemeyen Ag açısından da incelenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, atıklardan gerçekleştirilen XRD analizlerinde bassanit (2Ca (SO₄·H₂O) ve anglezit (PbSO₄) gibi sülfat minerallerinin olması, atıkların

oksidasyona maruz kalması, atıkların bazı bölgelerinde kısmen sedimantasyon geçirmesi ve heterojen yapı sunması nedeniyle atıklardan Pb-Zn bakımından zengin cevherli alanların geri kazanımı ve bertaraf işlemleri için detaylı AR-GE çalışması gerekmektedir.

EXTENDED SUMMARY

The reserve estimation of mineral resources is generally realized through using traditional methods such as the polygon and triangle. Compared with traditional methods, the modern geostatistical methods give closer results than real values. Resource assesment of geological occurrences and mineral deposits is made with special software based on block models. In block modeling, the size of the blocks in the model is chosen according to the best match for mining selectivity and the anticipated grade control method, sample density and sample statistics. Micromine Mining Design Software (MMDS) is a program providing a theoretical and practical overview of mineral resource assesment, and it was also successively used in this study.

For the mine waste in the Balya (Balıkesir) region, there is no information when the mining activity started, but it is estimated to be as early as 500 BC. This mine was operated by the ancient Romans under the name of “Christian Mines” in 130 BC. A French company wass active in 1876. This company carried outproduction in the areas of “Ari-Orta Cave”, “Sarısu”, “Big Cave” and “Karaca Cave”. The Ottoman administration granted this company the right to process the mine waste and slag for 99 years. As a result of a sharp decrease in lead prices, the mine was nationalized in 1940 and mining was terminated, despite the incentives of the government (Akyol, 1976). The first study on the waste in the region was carried out by Akyol (1975). Akyol (1975) stated that the mining waste in Balya was important for the country’s economy. Also, he estimated an average

proportion of 4.20% Pb and 3.50% Zn for the flotation waste, and 3.50% Pb and 10.40% Zn for the smelting waste.

The objective of this study was to draw the areas covered by the mining waste in the Balya (Balıkesir) region on a scaled map, and to determine the volume and tonnage from solid blocks. Modeling and the resource assesment of the flotation and smelting waste in the area were calculated using geostatistical methods.

In this study, the materials and method comprise mapping, database generation, a polygon area, modelling, sampling, and mineralogical and geochemical analyses. The waste was divided into two categories, flotation and smelting waste. Among these, the flotation waste is generally observed in light colors, whereas the smelting waste has a darker, blackish appearance and is harder than the flotation tailings. The historical mine flotation and smelting waste produced by the French company is located approximately 1 km from Balya. This waste is located in the NE of the Balya district, and and on the southern part of Hospital Hill. The flotation waste starts from north of Hospital Hill and continues along the Maden Stream to the Balya-Gönen road. Flotation and smelting waste in the southern part of Hospital Hill are observed between the old facility buildings and Maden Stream and cover an area of approximately 200,000 m².

A total of 14 smelting samples were collected from this waste, outcropping in an area next to Maden Stream. The samples are labeled as IZ. Since flotation waste is observed in 5 different regions (A, B, C, D, E), they are labeled as FA. A total of 90 flotation samples was collected from this waste. The sampling was carried out using an excavator and each sample weighed 10 kg. Their boundary areas were drawn and the sampled locations were marked with coordinates on the maps. XRF studies were carried out to determine the geochemical content of the smelting and

flotation waste at the Balya waste site. A total of 104 waste samples was chemically analyzed (14 smelter; 90 flotation). The content of 4 base metals (Pb, Zn, Fe, Cu) in the waste was determined.

XRF analyses indicate that the lowest Pb content in the smelting waste was 2.450% and the highest 3.870%; the lowest Zn content was 9.380% and the highest was 14.300%; the lowest Fe content was 25.400% and the highest 30.500%; and the lowest Cu content was 0.101% with the highest being 0.325% (Table 2).

The lowest Pb content in the flotation waste was 0.076% and the highest Pb content was 19.829%; the lowest Zn content was 0.066% and the highest Zn content 14.300%; the lowest Fe content was 2.724% and the highest Fe content 26.076%; while the lowest Cu content was 0.037% and the highest Cu content was 1.286% (Table 2). According to the results of the study, Zn is rich in the smelting waste; while the Pb ratios are high in the flotation waste.

The construction of a spatial distribution map with the Ordinary Kriging method was used by means of Micromine software. The Kriging technique gives more objective results than other estimation methods. In addition, it is the minimum variance calculation of the standard deviation, based on estimation. The most important feature of the Kriging method is that the correlation of many data to each other can calculate a variance value for a predicted point or area.

A normal distribution was observed in all the histogram graphs in the study. The normal distribution curve refers to a form of distribution in which the measurement results are concentrated at the midpoints and sparse at the endpoints. The Micromine program, which provides a theoretical and practical overview of resource estimation, was used in the digitization process of the geological maps, sampling studies, inter-sample correlation, reserves, grade calculations and in creating the block model. The area occupied by

each waste block was turned into a solid 3D block. In accordance with the geostatistical analysis, the ore distribution and the block parameters to be formed were determined as 1x1x1 m in X, Y, Z directions. Since the distance between the samples in the topography of the polygon area is not fixed due to the irregular shapes of the closed cages, it was considered to be 1 m. While assigning ore to the solid block, the estimation of the given block size is such that a 3-dimensional polygon area is created for each waste block. The analysis of Pb-Zn-Fe-Cu metals was processed and the block grade assignment was made according to the above parameters. Histogram curves of the distance parameters between the samples were produced and the median value was used to determine the search ellipsoid parameters created in the grade assignment. Horizontal stacking gives the first parameter of the search. The second parameter is taken as -90 degrees. Since the waste is horizontal, the third parameter is taken as 0 degrees. The block model drawing, search ellipsoid data and solid block parameters were specified by the IDW method of Micromine program.

Consequently, reserve estimation showed that both flotation and smelting waste have a total of 516,674 ton resource. The flotation waste includes a 382,117 ton resource of 4.38 wt. % Pb (72,761 tons), 4.1 wt.% Zn (67,661 tons), 0.29 wt.% Cu (6243 tons) and 8.48 wt.% Fe (235,452 tons). The smelting waste has a 134,557 ton resource of 3.16 wt. % Pb (10,373 tons), 11.08 wt.% Zn (36,372 tons), 26.53 wt.% Fe (87,090 tons) and 0.22 wt.% Cu (722 tons). Excluding Fe and Cu, this study revealed that waste in the region has an operable content of Pb and Zn. However, detailed research and development work is required for the recovery and disposal of Pb-Zn-rich areas due to presence of some sulfate minerals (bassanite, anglesite), the oxidation processes, partial sedimentation and the heterogeneous structure of the waste.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Ahmet BAŞTÜRK'ün Yüksek Lisans tezinden gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, çalışmaya maddi ve lojistik destek sağlayan Esan Eczacıbaşı A.Ş. (Balya, Balıkesir)'e, Türkiye Jeoloji Bülteni Baş Editörü Dr. Erdinç YİĞİTBAŞ'a, Editörler Dr. İ. Onur TUNÇ'a, Dr. Mustafa AVCIOĞLU'ya ve makaleyi inceleyen hakemlere teşekkür etmektedirler.

ORCID

Ahmet Baştürk  <https://orcid.org/0000-0003-1984-998X>

M. Selman Aydoğan  <https://orcid.org/0000-0003-2478-8632>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Abtew, W., Obeysekera, J. & Shih, G. (1993). Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida. *Water Resources Bulletin*, 29 (2), 179-188.
- Ağdemir, N., Kırkoğlu, M.S., Lehmann, B. & Tietze, J. (1994). Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb-Zn-Ag deposit NW Turkey. *Mineralium Deposita* 29, 366-371.
- Akıncı, Ö. T. (2003). *Maden Jeolojisi ve Arama Yöntemleri*. SDÜ Yayın No: 33, 496 s.
- Akyol, Z. (1975). *Balıkesir İli Balya civarının jeolojisi* [Yayımlanmamış diploma çalışması]. İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Kürsüsü.
- Akyol, Z. (1976). *Balıkesir-Balya Pb-Zn-Ag'li Cürüfların Tenör ve Kaynak Hesabına yönelik ön çalışma raporu*. MTA, Ankara (Yayımlanmamış).
- Akyol, Z. (1977). Balya Madeni Civarının Jeolojisi. T.M.M.O.B. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 1(3), 10-27.
- Akyol, Z. (1979). Balya Kurşun-Çinko Maden Yatağı. T.M.M.O.B. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 3(1), 48-58.
- Akyol, Z. (1982). Balıkesir-Balya cevherli sahalarının jeolojisi, mineralojisi ve maden potansiyelinin değerlendirilmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 3(1-2), 163-189.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1983). Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) Dergisi* 95/96: 1-13.
- Aslan, Z., Erdem, D., Temizel, İ. & Arslan, M. (2017). SHRIMP U-Pb zircon ages and whole-rock geochemistry for the Şapçı volcanic rocks, Biga Peninsula, Northwest Turkey: implications for pre-eruption crystallization conditions and source characteristics. *International Geology Review*, 59 (14), 1764-1785.
- Aygen T. (1956). *Balya Bölgesi Jeolojisinin İncelenmesi*. MTA. Yayın Seri DNU- 11, Ankara.
- Balcı, Ç. B., Gül, S., Kılıç, M. M., Karagüler, N., Sarı, E. ve Sönmez, M. Ş. (2014). Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57(3), 1-24. <https://doi.org/10.25288/tjb.298704>
- Başkan, O. (2004). *Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik, Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeostatistik Uygulaması* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baştürk, A. (2017). *Balya (Balıkesir) civarındaki flotasyon ve izabe atıklarının özelliklerinin belirlenmesi ve rezervinin hesaplanması* [Yayımlanmamış yüksek lisans Tezi]. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B. (1975). Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun bazı özellikleri [Geology of the Biga Peninsula and some characteristics of the Karakaya blocky series]. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri* (s. 70-77). MTA Enstitüsü (Congress on Earth Sciences for the 50th Anniversary of Republic of Turkey, Abstracts), [in Turkish with English Abstract].
- Çetin, M. (1996). *Jeostatistiksel yöntem ile nokta ve alansal yağışların saptanması ve stokastik olarak modellenmesi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çiloğlu, M. (2007). Osmanlı Devleti'nde Madencilik ve Balya Madenleri. *Balıkesir Üniversitesi, F.E.F. Karesi Tarih Kulübü Bülteni*, 31-41.

- Daya, A. A. (2012). Reserve estimation of central part of Choghart north anomaly iron ore deposit through ordinary kriging method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 22, 573-577.
- Deutsch, C.V. & Journel, A. G. (1992). *Geostatistical software library and user's guide*. Oxford University Press, Inc., New York.
- Erel, Z. (2011). *Balya (Balıkesir) Polimetallik Maden Yatağı Rezervinin Jeostatistiksel Yöntemle Analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erkül, F., Tatar Erkül, S. ve Aysal, N. (2016). Balya ve Çevresindeki Volkano-Plütonik Kayaçların jeokimyasal ve Petrojenetik Özellikleri, Balıkesir, Türkiye. 7. *Jeokimya Sempozyumu* (16-18 Mayıs, Antalya), *Bildiri Özetleri* (s.262).
- Gjelsvik, T. (1962). Investigations of Lead-Zinc Deposits in Northwest Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 59, 62-70.
- Gökçe, A. (2005). *Maden Arama ve Değerlendirme Yöntemleri*. Sivas, 151 s.
- Güneş, C., Güneş, A. T., Akıncı, G., Bektaş, G. ve Özdemir Ş. (2013). Terkedilen Balya Pb-Zn Madeni Atıklarında Asit Maden Drenaj Verileri ve ÇED. *Uluslararası Çevresel Etki Değerlendirmesi Kongresi* (8-10 Kasım), IKM, İstanbul.
- Kaaden, G. (1957). *Çanakkale-Biga Edremit yarımadası bölgesindeki jeolojik saha çalışmaları ve maden yatakları hakkında rapor* (Rapor no: 2661). M.T.A. (yayımlanmamış), Ankara.
- Kovenko, V. (1940). Balya Kurşun madenleri. *MTA Dergisi*, 21, 580-593.
- Mohr, M. (1959). *Balya muntikasındaki kurşun zuhurlarının prospeksiyonu hakkında toplu rapor* (rapor no: 2703). MTA, Ankara.
- Öngür, T. (2003). *Balya Kurşun-Çinko Madeni, Çevre Sorunları ve Toplumsal Yeniden Kalkınma*. ISBN No 975-92283-7-8, Dev.Maden-Sen Yayın Evi.
- Öztunalı, Ö. (1984). *Balya Kurşun Çinko madeni, Arısu sahası etüdü*. İ.Ü Mühendislik Fakültesi D.S.R., 39, 1-84.
- Şimşek, C., Gündüz, O. ve Elçi, A (2012). Terkedilmiş Balya (Balıkesir) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 43-55.
- Tahmasebi, P. & Hezarkhani, A. (2010). Application of adaptive neuro-fuzzy inference system for grade estimation; case study, Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4, 408-420.
- Üçürüm, M. ve Ulu, E. (1987). Balıkesir-Balya Kurşun-Çinko sahasındaki İzabe ve birinci flotasyon artıklarının teknolojik değerlendirilmesi. *Madencilik Dergisi*, 26(3), 5-13.
- Ünal, E. & Gökçe, A. (2009). Geology and Fluid Inclusion Characteristics of the Hastane Tepe (Balya-Balıkesir) Lead-Zinc Deposit. *XX. ECROFI Meeting* (31-27 September 2009), Granada, Spain.
- Waller, L. & Gotway, C. A. (2004). *Applied Spatial Statistics for Public Health Data*. New Jersey, J Wiley & Sons.
- Webster, R. & Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientist*. Chichester: J Wiley & Sons.
- Yaprak, S. ve Arslan, E. (2008). Kriging Yönteminin Geoit Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *İTÜ Dergisi*, 7(3), 51-62.
- Yiğit, C. Ö. (2003). *Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümünde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.