Yerbilimleri, 2025, 46 (2), 120-128, 1726193

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni (*Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*

YERBİLİMLERİ
Bulletin for Earth Sciences

ISSN: 2687- 2978

Yüksek Mn İçeriğine Sahip Bir Cüruf Üzerinde Mineralojik ve Kimyasal Değerlendirme

Mineralogical and Chemical Evaluation of a Slag with High Mn Content

GÜLLÜ DENİZ DOĞAN-KÜLAHCI [1*]

[1] Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara, Türkiye

Geliş *(received)*: 24 Haziran (June) 2025 Kabul *(accepted):* 4 Ağustos (August) 2025

ÖZ

Kırıkkale/Erenler çevresinde yürütülen arazi çalışmaları sırasında, sedimanter kayaçlarla birlikte gözlemlenen, parlak metalik gri-siyah renkli, yüksek yoğunluklu ve çevresindeki litolojiden belirgin biçimde farklı bir örnek (D1) dikkat çekmiştir. D1, yaklaşık 6 cm çapında, 200 g ağırlığında, nodüler, yüzeyinde yer yer vesiküler doku içeren ve manyetik özellik göstermeyen bir yapıya sahiptir. Kırık yüzeylerinde metalik parlaklık sergiler ve iç yapısında belirgin tane yapıları ya da konsantrik zonlanmalar bulunmaz. SEM- EDS analizleri, örneğin yüksek Mn (%61–88) içeriği ve düşük Fe (%5–6) içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. XRD analizlerinde, örnekte manganozit (MnO) ve kohenit ($(Fe,Ni,Co)_3C$) mineralleri saptanmıştır. Bu mineral birlikteliği ve kimyasal bileşim, örneğin yüksek sıcaklık, indirgen atmosfer ve karbonca zengin koşullarda oluştuğuna işaret etmektedir. Aynı zamanda EDS analizleri, örneğin düşük düzeyde P, S ve Ni içerdiğini de göstermektedir. Tüm bu veriler (morfolojik, mineralojik ve kimyasal özellikleri) birlikte ele alındığında, D1'in doğal bir oluşum olmadığı, yüksek sıcaklık ve indirgen ortam koşullarında manganez ve demirin birlikte ergitilmesi sonucu oluşmuş, ferromanganez cürufu niteliğinde, endüstriyel metalürjik süreçler sonucunda meydana gelen ve büyük olasılıkla ferromanganez üretimi sırasında oluşan bir endüstriyel cüruf parçası olduğu değerlendirilmiştir. Bu çalışma, doğal görünümlü fakat yapay kökenli materyallerin mineralojik ve jeokimyasal açıdan detaylı analizlerle ayırt edilebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, benzer endüstriyel artıkların yanlış jeolojik sınıflandırmalara konu olmaması adına da önemli bir örnek sunmaktadır. Cüruf örneğin bulunduğu lokasyonun demiryolu yakınında yer alması, bu tür atıkların dolgu malzemesi olarak kullanıldığı alanlarla da örtüşür niteliktedir. D1 cüruf örneğinin, yüksek fırında manganez ve demir karışımının ısıtılmasıyla oluşmuş ferromanganez gibi metal bakımından zengin endüstriyel cüruf özelliklerine sahip bir parça, olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Cüruf, demir, endüstriyel, manganez, nodül

ABSTRACT

During fieldwork conducted in the Kırıkkale/Erenler area, a bright metallic gray-black, high-density sample (D1), markedly distinct from the surrounding lithology, was observed in association with sedimentary rocks. D1 measures approximately 6 cm in diameter, weighs 200 g, is nodular in form, exhibits locally vesicular textures on its surface, and is non-magnetic. Its fractured surfaces display a metallic luster, and its internal

structure lacks distinct grain textures or concentric zoning. SEM–EDS analyses reveal that the sample contains high Mn (61–88%) and low Fe (5–6%). XRD analyses identified the presence of manganosite (MnO) and cohenite ($(Fe,Ni,Co)_3C$) minerals. This mineral assemblage and chemical composition indicate formation under high-temperature, reducing, and carbon-rich conditions. Furthermore, EDS analyses show that the sample contains low levels of P, S, and Ni. Considering all these data (morphological, mineralogical, and chemical characteristics) together, it is concluded that D1 is not a natural formation, but rather a piece of industrial slag with the characteristics of ferromanganese slag, formed by smelting manganese and iron together under high-temperature and reducing conditions, produced through industrial metallurgical processes, and most likely generated during ferromanganese production.This study demonstrates that materials of artificial origin but natural appearance can be distinguished through detailed mineralogical and geochemical analyses. It also provides an important example to prevent similar industrial residues from being mistakenly classified in geological contexts. The location of the slag sample near a railway is consistent with the use of such waste materials as fill. It is concluded that the D1 slag sample possesses the characteristics of an industrial slag fragment rich in metals, formed by heating a manganese-iron mixture in a blast furnace, similar to ferromanganese.

Keywords: *Slag, iron, İndustrial, manganese, nodule*

https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1726193

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: gdeniz@hacettepe.edu.tr

GİRİŞ

Makalenizin Endüstriyel metalürjik süreçler, yüksek sıcaklık ve kimyasal reaksiyonlar sonucu çeşitli yan ürünlerin (cüruf, toz ve partiküller, atık sular, ağır metal içeren çeşitli gazlar, asitli ve alkali çamurlar) oluşmasına neden olur. Bu yan ürünlerden biri olan ferromanganez cürufu, yüksek fırınlarda manganez ve demirin birlikte eritilmesiyle oluşan metal açısından zengin bir endüstriyel atıktır (Ünal vd. 2014). Mangan (Mn), yüksek kaliteli çelik üretmek için önemli bir hammaddedir (Gürsoy, 2021). Türkiye'deki manganez tüketimi, dünya ile benzerlik göstermekte ve büyük ölçüde, parça manganez cevheri ve manganlı demir alaşımları şeklinde değerlendirilir. Sıcaklığı 1750 oC'den daha yüksek fırınlarda, manganezin oksijen ve karbona olan yüksek afinitesi nedeniyle manganez rafinasyonu işlemi gerçekleşir (Özdemir, 2015). Bu şekilde yüksek fırınlarda oluşan cüruflar, demir-çelik üretimi ve alaşımların oluşumu süreçlerinde meydana gelir ve genellikle silikatlar, oksitler ve kükürt içeren bileşenler içerir. Ferromanganez cürufları, makro görüntüleri, ağırlıkları ve metalik görünüşleriyle ilk anda meteoritlere, içerdiği yüksek Mn ve Fe konsantrasyonu nedeniyle de mineralojik olarak doğada bulunan peridodit gibi, bantlı demir oluşumları gibi koyu renkli ve ağırlığı fazla olan farklı kayaçlara benzerlik gösterebilir. Ancak, bileşimlerinde bulunan Mn, Fe, C ve Si gibi metal fazları, kohenit gibi alaşım fazları, bu malzemelerin doğal oluşumlar yerine endüstriyel süreçler sonucunda oluşmuş ürünler olabileceğini ortaya koyar. Ferromanganez üretimi sırasında ortaya çıkan bu fazlar ve kimyasal bileşimler, kullanılan hammaddeye, proses koşullarına (sıcaklık, redüksiyon ortamı), karbon miktarına ve soğuma hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. Ferromanganez cürufu, metal geri kazanımı ve endüstriyel atık yönetimi açısından önemli bir üründür (Vapur vd. 2013). Demir çelik üretiminde kullanılan manganezin %90'ı ferromanganez formunda bulunur (DPT, 2001). Yüksek Mn içeriği ve ürünün fiziksel

özelliklerinin yanında, mineralojik-petrografik analizler ve kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi ile hem jeolojik, metalürjik araştırmalar açısından hem de kayaç sınıflandırması ile endüstriyel yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından önem taşır. Birçok farklı özelliğe sahip demir-çelik cürufu gibi atık malzemelerin kimyasal bileşimi ve maliyetinin uygun olması cürufun yeniden değerlendirmesinde önemli bir rol oynar (Kaya ve Turan, 2003). Çelik üretimi sırasında, toplam üretimin %15-20'i cüruf olarak hesaplanır. Avrupa Birliği'nde yılda 30 Mt ve Türkiye'de 9 Mt çelik üretimi gerçekleşmekte ve Dünya genelinde de çelik üretimi giderek artmaktadır. Endüstriyel metalürjik süreçlerin yanında, arkeometalurjik süreçlerle oluşmuş cüruflar da bulunur. 2002–2008 yılları arasında Kırklareli, Demirköy ilçesinde gerçekleştirilen arkeolojik kazılarda, kazı alanın güneydoğusunda iki tane ocağı olan bir demirci işliği ortaya çıkarılmıştır (Özbal, 2009). Bu kazılarda bölgede çok sayıda demir atığı, demirci cürufu ve üretimle ilişkili diğer arkeolojik buluntulara rastlanıldığı belirtilmiş ve demirci ocağı cürufu ve diğer örnekler Taramalı Elektron Spektrometresi (SEM)- X-Işını Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) ve X-ışını Krınımı (XRD) analizleriyle incelenmiştir (Özbal, 2009). Örneklerin çoğunda yüksek oranda (%60-90) demir oksit içerirken, bazı örneklerde metalik demir damlacıkları da gözlendiği belirtilmiştir. Elektron mikroskobu analizlerinde de genelde wüstit (FeO) niteliğinde demir oksit yapısında oldukları belirlenmiştir. Burdur/Sagalassos'da, Eekelers vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada da Helenistik Bizans dönemine ait tarihsel cüruflar bulunmuş ve örnekler üzerinde yaptıkları XRD analizleri sonucunda üç örnekte de yine demirce zengin kohenit minerali tespit edilmiştir.Türkiye'de demir-çelik üretiminden elde edilen yan ürün cüruflar, çoğunlukla saklama alanlarında depolanır (Uysal ve Bahar, 2018). Ayrıca endüstriyel çelik cürufu, yol ve demiryollarında balast malzemesi (demiryolu raylarının altına serilen, fazla suyun boşaltılmasını sağlayan ve rayların sabit bir şekilde kalmasını destekleyen kırılmış taş veya benzeri malzeme) olarak, kıyı yapılarında dolgu malzemesi olarak, cam-seramik üretiminde de kullanılır (Ünal vd. 2014). Cüruflar ayrıca bünyelerinde bitkiler için önemli elementleri (P, S, Mn, Fe ve Mo) içerdiklerinden dolayı gübre ve bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılarak kompost olarak kullanılabilinir ve tarımsal faaliyetlerde daha yararlı şekillerde değerlendirilebilirler (Tozsin ve Öztaş, 2023). Çalışma, D1 olarak adlandırılan parçanın (Şekil 1), fiziksel özellikleri açısından meteorit'e benzerlik gösterdiği düşünülerek araştırılmaya başlanmış ancak ilerleyen süreçte örnek üzerinde yapılan mineralojik incelemeler ve XRD analizleri sonucunda MnO ve kohenit minerallerinin varlığı, endüstriyel kökenli bir cüruf olduğu belirlenmiştir. Çalışma, jeolojik ve metalürjik araştırmaların yanı sıra endüstriyel yan ürünlerin değerlendirilmesine yönelik katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Literatürde genellikle kayaç, cevher veya volkanik ürünler üzerine yoğunlaşan çalışmalardan farklı olarak, bu çalışma doğal görünüme sahip endüstriyel kökenli oluşumların, jeolojik materyallerle karıştırılmaması için özgün bir yaklaşım sunmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, benzer endüstriyel atıkların gelecekte yanlış yorumlanmasını engelleyecek nitelikte somut bir vaka analizi sunmasıyla da önemli bir katkı sağlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Mineralojik–petrografik incelemeler için, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı'nda hazırlanan incekesit, aynı bölümde bulunan Leica DM/LP marka/model, 10x oküler büyütmeye ve 2,5x, 10x, 20x ve 63x büyütmeli lens sistemine sahip alttan aydınlatmalı polarizan mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Fotoğraflar ise Leica DFC-280 marka/model mikroskop kamerası kullanılarak çekilmiştir. Leica DM 2500 P model, üstten aydınlatmalı mikroskop ile de örnekte bulunan kristalen kısım incelenmiş ve fotograflanmıştır. XRD analizleri Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, XRD laboratuvarında Rikagu D / max 2200 PC model X-ray diffraktometresinde (Cu Kα, 40 kV, 30 mA, 2º/dak tarama hızı, 2Θ= 2- 50 ve 70º) gerçekleştirilmiştir. Bu çekimler için öğütülüp, toz haline getirilmiş örnek lam üzerine sıvanarak hazırlanmıştır. Minerallerin SEM görüntülemeleri ve noktasal kimyasal analizleri için Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliğinde bulunan Carl-Zeiss EVO 50 EP SEM ve bütünleşik Bruker XFlash 3001 EDS, 10 keV ivmelendirici gerilim, 5nA demet akımı, 40 saniye sayma zamanı ve 10 mm çalışma mesafesi uygulanarak kullanılmıştır. SEM ile incelenecek örnek yüzeyleri, vakum altında EMS 5000 SC (Sputter Coater) marka/model kaplama cihazı kullanılarak ince bir karbon tabakası ile kaplanmıştır. Minerallerin kimyasal konsantrasyonlarını elde edebilmek için EDS analizleri ise Potsdam Üniversitesi (Almanya), Yer Bilimleri Enstitüsünde bulunan JEOL JXQ-8200 elektron mikroprobunda, 15 keVivmelendirici gerilim, mineral fazlar için 15 nA ışın akımı ve odaklanmış bir elektron demeti (2 µm çap) kullanılarak analiz edilmiştir. Minerallerin kimyasal konsantrasyonlarının elde edilmesiyle (örn: FeO, MnO, CaO vb.) D1 örneğinin hangi koşullarda (indirgen ya da yükseltgen ortam) oluştuğu konusunda bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

CÜRUF ÖRNEĞİNİN MAKROSKOBİK, MİKROSKOBİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

D1 örneği, yaklaşık 6 cm çapında, nodüler morfolojiye sahip bir parçadır (Şekil 1).

Şekil 1. Gri-siyah renkli ve sol üst kısımlarında metalik parlaklığın görüldüğü D1 el örneği.

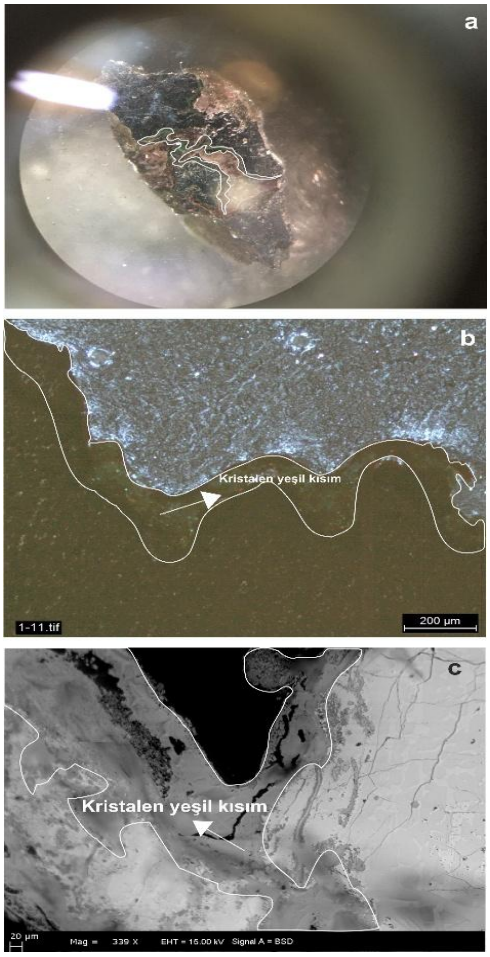
Figure 1. *(D1 hand specimen with a gray-black color and metallic luster observed on the upper-left side)*

Yapılan ölçümler sonucunda 200 g ağırlığında ve manyetik özellik göstermeyen bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Makroskobik incelemede, metalik gri-siyah parlaklığı ve yoğunluğu nedeniyle bazı meteoritlerle benzerlik gösterdiği düşünülmüştür. Literatür bilgilerine göre mangan cüruflarının özgül ağırlıkları (2.88 -3.17 g/cm3) aralığında değişmektedir ve buna göre D1 örneğinin özgül ağırlığının da bu aralıkta olduğu düşünülmektedir. Siyah renkte olan D1'in

kırılmış veya kesilmiş yüzeylerinde belirgin bir metalik parlaklık mevcuttur. Örnek, genel olarak pürüzsüz bir yüzey morfolojisi sergilemekle birlikte, yer yer gözenekli yapılar içerir. Seramik bir karonun sırsız yüzeyine sürtüldüğünde herhangi bir çizik iz bırakmamıştır. Çizik bırakmaması ise örneğin sertliğinin seramiğe eşit veya ondan düşük olduğunu, yani ≤ 6,5–7 olduğunu gösterir. Örnek, kesilmesi sonucu homojen ve düzgün dokulu bir iç yapı ortaya sunar. Örnekten hazırlanmış incekesitin, polarizan mikroskop ile gerçekleştirilen optik incelemelerinde, belirgin mineral kristalleri gözlenmemiştir. Ancak, parçanın gözeneklerinin kenar kısımlarını çevreleyen yeşilimsi kristalin bir hat belirlenmiştir (Şekil 2). Bu kısımlarda gerçekleştirilen SEM-EDS analizleri, örneğin yüksek Mn, Fe ve O konsantrasyonu içerdiğini gösterir (Şekil 3 – Ölçüm 1). Ayrıca, bu tanelerin yanı sıra çevresindeki bölgelerin de Mn (%61-88), Fe (%5-6), O (%2-31), Si (%4-5) ve düşük oranlarda P, S ve Ni içerdiği de belirlenmiştir (Şekil 3 – Ölçüm 3 ve 4). Örnek üzerinde gerçekleştirilen XRD analizleri, cüruf içinde manganozit (MnO) ve kohenit ($(Fe,Ni,Co)_3C$) minerallerinin varlığını gösterir (Şekil 4). Bu iki mineralin D1 örneğinde birlikte görülmesi, D1'in yüksek sıcaklıkta, indirgen atmosferde ve karbonca zengin koşullarda oluştuğuna işaret eder. Bu durum, arkeometalurjik süreçlerle uyumlu olabileceği gibi, modern endüstriyel süreçlerde de görülebilmektedir.

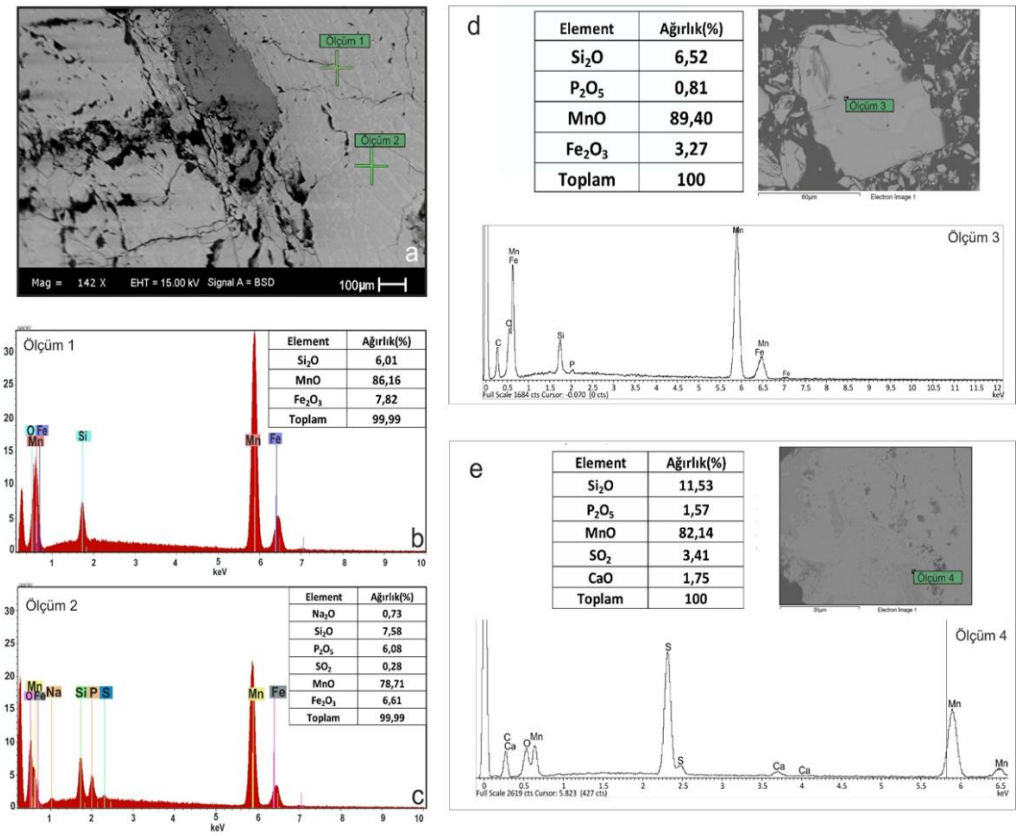
BULGULAR VE TARTIŞMA

D1 örneği, içerdiği yüksek Mn ve Fe konsantrasyonu ile birlikte nodüler morfoloji, metalik parlaklık ve vesiküler doku gibi fiziksel özellikler sunar. Petrografik incelemelerde, örneğin belirgin mineral kristalleri içermediği, ancak gözenekli yapıların kenarlarında yeşilimsi kristalin bir çerçevenin geliştiği gözlenir (Şekil 2).



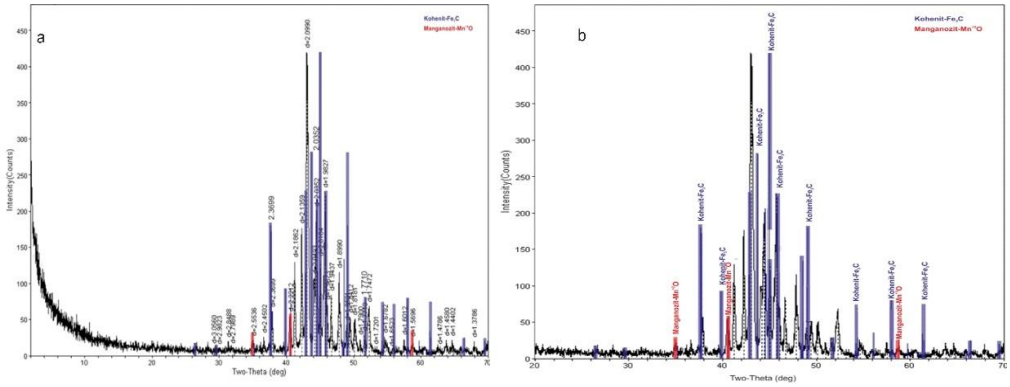
Şekil 2. D1 'in a) Üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüsü, b) Optik mikroskop ikinci nikol görüntüsü. Koyu renkli kısımda çizilen hat, yüksek Mn, Fe ve O konsantrasyonu içeren kristalen yeşil kısmı temsil etmektedir. c) Yüksek Mn, Fe ve O konsantrasyonu içeren kristalen yeşil kısmın elektron mikroskop görüntüsü (SEM).

Figure 2. *a) Reflected light microscopy image of D1, b) Optical microscope image of under crossed polars. The line drawn in the dark-colored area represents the crystalline green portion containing high Mn, Fe, and O concentrations. c) Scanning Electron microscope image of the green crystalline part containing high Mn, Fe, and O concentrations (SEM).*



Şekil 3. a) D1 örneğinin EDS (Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi) ile yapılan yeşil kristalen bölgesi (Ölçüm 1) ve matriks alanındaki (Ölçüm 2) analiz noktaları b) Ölçüm 1 noktasına ait spektrumlar ve element (oksit yüzdeleri) c) Ölçüm 2 noktasına ait spektrumlar ve element (oksit yüzdeleri) d) D1 örneğinin EPMA-EDS ile yapılan toz halinden ölçülen Ölçüm 3 noktasına ait spektrumlar ve element (oksit yüzdeleri) e)) D1 örneğinin toz halinden EPMA-EDS ile yapılan Ölçüm 4 noktasına ait spektrumlar ve element (oksit yüzdeleri).

Figure 3. *a) Analysis points obtained by EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) from the green crystalline region (Measurement 1) and the matrix area (Measurement 2) of sample D1 b) Spectra and oxide percentage data for Measurement 1 c) Spectra and oxide percentage data for Measurement 2 d) Spectra and oxide percentage data for Measurement 3, taken from the powdered form of D1 e) Spectra and oxide percentage data for Measurement 4.*



Şekil 4. (a,b) D1 örneğinin tüm kayaç XRD çekimi.
Figure 4. *(a,b) XRD analysis of the whole sample of D1.*

SEM-EDS analizleri, bu bölgelerde yoğun Mn (%61–88), Fe (%5–6), O (%2–31) ve Si (%4–5) varlığına işaret eder. Ayrıca, düşük oranlarda P, S ve Ni elementlerinin varlığı da SEM-EDS ile gözlenir. XRD analizlerinde, manganozit (MnO) ve kohenit ($(Fe,Ni,Co)_3C$) minerallerinin baskın olarak yer aldığı da gözlenir (Şekil 4). Bu mineral birlikteliği, örneğin yüksek sıcaklıkta, indirgen ve karbonca zengin bir atmosferde oluştuğuna işaret eder. Kohenit oluşumu, özellikle metalurjik ergitme süreçlerinde, dökme demir ve alaşımlı çelik üretimi gibi uygulamalarda ortaya çıkan karbür fazları ile ilişkilidir (Brearley, 2014; Brett, 1967). MnO fazı ile birlikte kohenitin varlığı, D1'in doğal çökelimle oluşmadığını, tersine kontrollü ergitme ve soğuma koşullarında meydana geldiğini gösterir. Tüm bunlara ek olarak, EDS analizlerinde P ve S elementlerinin varlığı, modern demir-çelik üretimi süreçlerinde cüruf fazına geçen safsızlık unsurlarıyla uyumluluk gösterir. Fosfor, çelik üretiminde CaO gibi bazik fazlarla reaksiyona girerek fosfatlara dönüşürken, kükürt indirgen fırın atmosferinde katı sülfürlü fazlar (örneğin FeS, CaS) olarak cürufa geçer (Yao-hui Yu vd., 2023; Schrama vd., 2017). D1'in yer yer gözlenen vesiküler dokusu, bu tür cüruflarda soğuma sırasında hapsolmuş gazların dışarı çıkamamasına bağlı olarak gelişen tipik bir dokusal özelliktir (Dikme, 2010). Tüm bu mineralojik ve jeokimyasal bulgular, D1'in, demir ve manganın birlikte eritildiği yüksek fırın koşullarında oluşmuş, ferromanganez üretimine ait endüstriyel bir cüruf olduğunu ortaya koyar. Bunun yanında EDS ölçümlerinde, P ve S'nin tespit edilmesi de endüstriyel cüruf parçası olduğu görüşünü desteklemektedir (Matinde, 2024). Endüstriyel fırınlarda kullanılan hammadde bileşimi, redüksiyon atmosferi ve karbon aktivitesi gibi etkenler, bu tür cüruflarda MnO ve kohenit fazlarının birlikte kristalleşmesine neden olur (National Academies of Sciences, 2023). Ayrıca soğuma hızına bağlı olarak gelişen vesiküler yapı, D1'in hızlı bir şekilde katılaştığını ve kristal büyümesinin sınırlı kaldığını da işaret eder (Kumar Tripathy vd., 2020).

SONUÇ

Cüruflar, meteoritlere veya cevher nodüllerine benzeseler de bu parçaların mineral özelliklerine sahip değillerdir. D1 örneği, EDS analizlerine göre Mn içeriği %61 ve daha düşük

oranlarda (%) O ile Fe'ye sahip endüstriyel bir cüruf parçasıdır. Bu çalışma, doğal ve endüstriyel oluşumların ayrımında mineralojik ve jeokimyasal analizlerin önemli rolünü vurgulamakta ve benzer nitelikteki malzemelerin yanlış sınıflandırılmasını önleyici bir örnek sunmaktadır. Cüruflar, P, S, Mn, Fe ve Mo gibi bitkiler için gerekli elementleri içerdiklerinden, gübre ve organik atıklarla karıştırılarak tarımsal faaliyetlerde daha yararlı biçimlerde değerlendirilebilirler. Ayrıca çelik cürufundan, metalleri ayrılarak doğal kaynaklarımızın korunması sağlanabilinir.

KATKI BELİRTME

Yazar, SEM-EDS analizlerinin gerçekleşmesinde Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğinden Doç. Dr. Evren Çubukçu ve Potsdam Üniversitesin Jeoloji Enstitüsü'nde bulunan Dr. Seann McKibbin ve Christina Guenter'e, ayrıca makaleyi değerlendirip yapıcı eleştirileriyle katkı koyan hakemlere ve editöre teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Brearley, A.J., 2014. 1. 9 - Nebular Versus Parent Body Processing. ss 309-334. Holland, Heinrich D., Turekian, Karl K., ed. 2014 .Treatise on Geochemistry (Second Edition), Elsevier, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00106-6.

Brett, R., 1967. Cohenite: its occurrence and a proposed origin, Geochimica et Cosmochimica Acta, 31(2) 143-159. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(67)80042-5.

Criado, M., Ke, X., Provis, J. L., & Bernal, S. A. 2017. Alternative inorganic binders based on alkali-activated metallurgical slags. In H. Savastano Junior, J. Fiorelli, & S. F. dos Santos (Eds.), Sustainable and nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites (185–220). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102001-2.00008-5

Dikme, D. 2010. Doğal Sülfat İçeriği Yüksek Olan Kumlarla Üretilen Harçlarda Sülfat Etkisinin İncelenmesi Ve Mineral Katkıların Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 77 s, İstanbul.

DPT, 2001. Sekizinci kalkınma planı. Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, Metal Madenler Alt Komisyonu, Diğer Metal Madenler Çalışma Grubu, Ankara. https://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2022/08/Sekizinci-Bes-Yillik-Kalkinma-Plani-Madencilik-OIK-Raporu-MetalMadenlerAltKomisyon-Degerli-Metaller-Calisma-Grubu-Raporu.pdf (Erişim Tarihi: 18.06.2025)

Eekelers, K., Degryse, P., Muchez,P., 2016. Petrographic investigation of smithing slag of the Hellenistic to Byzantine city of Sagalassos (SW-Turkey), American Mineralogist, 101, 1072–1083. https://doi.org/10.2138/am-2016-5390

Gürsoy, Y.G., 2021. Düşük Tenörlü Mangan Cevherinin Kuru Manyetik Ayırma Yöntemi İle Zenginleştirilmesinde Tane Boyutunun Etkisi, ESOGÜ Müh Mim Fak Dergisi, 29(3), 337-345.

Kaya G., Turan S, 2003. Yüksek Fırın Cüruflarının Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makine, 45, 536,48-60.

Matinde, E. 2024. Presidential Address: Metallurgical slags: A drive to circularity and search for new research agenda. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 124,9,491–506.

http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2024/2024

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2023. Health Risk Considerations for the Use of Unencapsulated Steel Slag. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/26881.

Özdemir, İ, 2015. Yüksek Fırın Baca Tozlarının Ferromanganez Üretiminde Kullanılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri EnstitüsüYüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), 77 s, İstanbul.

Uysal F.F, Bahar, S, 2018. Cüruf Çeşitleri Ve Kullanım Alanları. Trakya University Journal of Engineering Sciences, 19(1),37-52.

Ünal S., Yücel O., Kurt M., Gül S. 2014. Atık'tan Ürün'e Demir-Çelik Cürufu, İleri Teknolojiler Çalıştayı, 255-267.

Vapur, H., Top, S., Teymen, A., Türkmenoğlu, M, 2016. Elazığ Ferrokrom Tesisi Cüruflarının Agrega Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 77-88.

Yao-hui Yu, Chuan-ming Du, Xiao Yang. 2023. Recovery of phosphorus from steelmaking slag and phosphate tailings by a collaborative processing method, Separation and Purification Technology, 313, 123499. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123499

Tozsin, G., Öztas, T. 2023. Utilization of Steel Slag as a Soil Amendment and Mineral Fertilizer in Agriculture: A Review. Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi), 29(4): 906-913. doi: 10.15832/ankutbd.1197239

Schrama, F. N. H., Beunder, E. M., van den Berg, B., Yang, Y., Boom, R. 2017. Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. Ironmaking & Steelmaking: processes, products and applications, 44(5), 333-343. doi.org/10.1080/03019233.2017.130391

Kumar Tripathy, S., Jayalaxmi Dasu, Y. Rama Murthy, Gajanan Kapure, Atanu Ranajan Pal, Lev O Filippov, 2020. Utilisation perspective on water quenched and air-cooled blast furnace slags, Journal of Cleaner Production, 262 121354. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121354

Özbal, H, 2009. Demirköy Demirci İşliği, Kültür Ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü, 25-29 Mayıs 2009 Denizli 25. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayın No:3251, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Yayın No:144