

KEBAN MADEN SAHASININ JEOTERMOMETRESİ

Tuncay KİNES

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara

ÖZET.— Elazığ'ın 54 km kuzeybatısında bulunan Keban maden, Türkiye'nin kurşun, çinko istihraç eden önemli madenlerinden biridir.

Keban metamorfik masifi, kalk-şist, dolomitik mermer, fillat ve mermer ünitelerinden ibarettir. Masif, Alp orojenik kuşağının uzantısı olan Doğu Toroslar'ın bir parçasıdır.

Tektonik olarak saha, Malatya-Keban antiklinalinin kuzey uzantısını meydana getirir. Bu devrik antiklinalin eksenine NE-SW yönünde uzanır. Antiklinal üzerinde muhtelif yönlere tesir eden daha sonraki hareketler, N-S, E-W ve NE-SW yönlü kıvrımlara ve faylanmalara sebep olmuştur. Paleosen yaşlı küçük kuvars siyenit porfir kitleleri metasedimentlerin içine yerleşmiştir.

Kuvars siyenit porfirin gelişimiyle birlikte skarn zonları meydana gelmiştir. Bu zonlar umumiyetle metasedimentler içinde teşekkül etmiştir. Zereyandere manyetit yatağı, Kebandere şelit yatağı ve ana sülfid yatağı bu olayın bir parçası olarak meydana gelmişlerdir. Çalışma sahası dahilinde ayrıca az miktarda bazı mangan mineralleri ve ana sülfid yatağından türemiş vanadinit ve deskloizit mevcuttur.

Değişik metotlar kullanarak, ana sülfid yatağındaki cevher mineralleri için 620°C ve 78°C arasındaki bir teşekkül sıcaklığı tahmin edilebilir. Bu sıcaklık manyetit ve şelit yatakları için 743°C-225°C arasındadır.

TEŞEKKÜR

Bu yazı, İngiltere'nin Durham Üniversitesi Jeoloji Bölümünde hazırlanmış doktora tezinin bir parçasıdır.

Yazar, doktora çalışmalarını iki yıl müddetle kontrol etmiş eski Bölüm Başkanı Prof. K.C. Dunham ile laboratuvarlardan faydalanma ve teknik yardım imkânı veren Bölüm Başkanı Prof. G.M. Brown'a teşekkür eder. Yöneltilici fikir, devamlı alâka ve yazıyı ayrıntılı olarak okuduklarından dolayı, R. Phillips ve Dr. C.H. Emeleus'a samimî teşekkürlerini bildirir.

Yazar, M.T.A. Genel Direktörü Dr. S. Alpan'a tezin hazırlanmasındaki cesaret verici devamlı yardımlarından dolayı borçlu olduğunu ifade eder. Keban madeninde yazarın kaldığı müddetçe kendisine gösterilen kolaylık ve alâka dolayısıyla Keban maden mensuplarına da teşekkür eder.

Bu araştırma M.T.A. Enstitüsü Genel Direktörlüğü tarafından temin edilmiş bir burs vasıtasıyla mümkün olmuştur.

GİRİŞ

Ekonomik jeolojide problemlerin çözümünde teşekkül ısısı hakkında elde edilmiş bilgiler yardımcı olacağından, minerallerin ve maden yataklarının teşekkül ısısı uzun bir zamandır dikkati çekmektedir. Bir maden yatağında seri halindeki

ısı tayinleri, hakikî teşekkül sıcaklığının yönsel değişimini verebilir. Bu ise cevher taşıyan eriyiklerin geliş yönünü, dolayısıyla diğer yersel jeolojik bilgilerin de yardımıyla, yeni yeni yataklar veya zuhurlar bulmayı mümkün kılar.

Keban maden sahasında, değişik kimseler tarafından ortaya atılmış metotların tatbikine el-

verişli çok sayıda materyel bulunmuştur. Bu metotların tatbiki ve güven dereceleri uzun zamandır tartışma konusu olduğu halde, mevcut şartlar altında elde edilecek ortak değerlerin saha için takribi bir teşekkül sıcaklığı vereceği düşünülmüştür. Verilecek değerlerin limiti içinde cevher minerallerinin çoğunun teşekkül ettiğine inanılmaktadır. Tatbik edilen metotlar arasında sfalerit içindeki demir miktarı, pirotin içindeki demir noksanlığı ve arsenopiritin d_{102} parametresi zikredilir. Mikroskop çalışmalarından elde edilmiş neticeler de bulunan değerlere ilâve edilmiştir.

Zereyandere ve Kebandere'deki kontak metasomatik yataklar, ana sülfür yatağından farklı olarak direkt teşekkül sıcaklığını verebilecek uygun cevher minerallerden cins ve miktar olarak yoksundurlar. Bu sebepten, takribi bir ısı akıntısı, tahminî kontak metasomatik zon dahilinde maksimum teşekkül ısısını verebilecektir. Ayrıca bazı mikroskop neticeleri, ısı akıntısı tahminine yardımcı olabilecektir

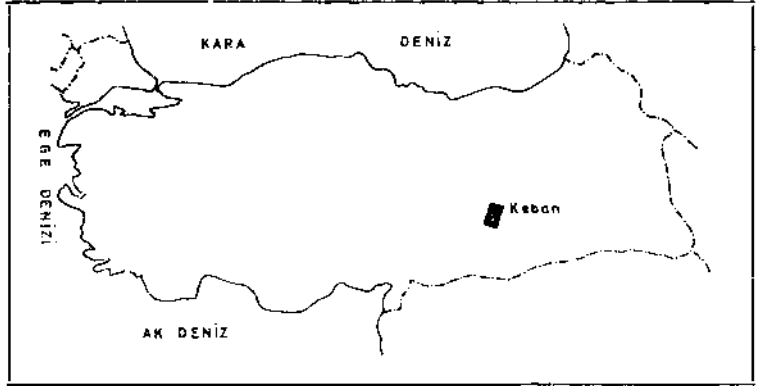
ANA SÜLFÜR YATAĞININ TEŞEKKÜL ISISI

Jeotermometre olarak sfalerit

Bazı karşıt neticelerine rağmen bu metot geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Kullerud (1953) deneysel olarak sfalerit içinde katı solüsyon halinde mevcut demir miktarının, teşekkül ısısının bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Bunun için şart, formasyon esnasında ortamda aşırı miktarda demirin mevcut olmasıdır. Kükürdün aşırı miktarda bulunuşu piritin teşekkülüne sebep olarak, dolayısıyla demir sfalerit bünyesine gireceği yerde pirit yapacaktır.

Yapılan kimyevî analizler Keban sfaleritlerinin demir bakımından oldukça zengin olduğunu göstermiştir. Bu demir zenginliği, aşırı kükürdün olmadığına işaret eder. Değişik yerlerden alınmış cevher numunelerinde sfalerit, teşekkül esnasında pirotin ve kalkopirit ile denge halinde görülür. Bilindiği gibi, gerek pirotin ve gerekse kalkopiritin gerçek kimyevî formüllerinde kükürt miktarı daima noksandır. Dolayısıyla iki cevher mineralinin sfalerit ile birlikte bulunuşu kükürt miktarının teşekkül esnasında aşırı miktarda olmadığını gösterir.

Isı tahminlerinin yapıldığı cell-size ölçüleri, flotasyon tekniğiyle ayrılmış sfaleritler üzerinde yapılmıştır. Ölçüler, Industrial-G fast X-ray filimleriyle dolu-



Şek. 1 - Keban maden sahasının lokasyon haritası.

rumuş Philips toz kamera (114.59 mm çaplı) vasıtasıyla alınmıştır. Bu iş için geniş açılı fokus yapan Philips X-ray difraktometer kullanılmıştır. Sfaleritlerin tahmin edilen kristalleşme sıcaklığı (yönlü basınç için düzeltilmemiş değerler) Tablo 1 de verilmektedir.

Tablo - 1

<i>Numune no.</i>	<i>Cell-size A°</i>	<i>Mol % FeS</i>	<i>Isı °C</i>
109	5.4185	20.00	620
120/1	5.4169	16.25	540
229	5.4172	16.90	550
B-N/1	5.4184	20.00	620
165	5.4168	16.25	540

Sfalerit içindeki bazı tali elementlerin ısı üzerinde etkisi bilindiğinden, kullanılan numunelerin tali element analizleri ayrıca yapılmıştır. Buna göre, maksimum değerleri 4425 ppm Mn, 1092 ppm Cd ve maksimum toplam konsantrasyon 5215 ppm olarak bulunmuştur. Kullerud (1953) ve Skinner'in (1959) Mn Kullerud'un (1953) Cd ve Toulmin'in (1960) Cu ve sfalerit-pirotin denge durumundaki münasebetleri üzerinde yaptığı çalışmalar düşük konsantrasyonlu bu elementlerin teşekkül üzerinde tesirleri olmadığını ortaya koymuştur. Dolayısıyla mevcut tali element miktarları için düzeltme yapmak gereksizdir.

Pirotin içindeki demir noksanlığı

Arnold (1962), heksagonal pirotin ile pirit arasındaki erime münasebetlerini deneysel olarak göstermiştir. Arnold'a göre pirotin içindeki demir yüzdesi teşekkül ısısına bağlıdır, basınca bağlı değildir. Highland-Surprise Mine (Amerika) bölgesinde pirotin ve sfalerit birlikte teşekkül ederler. Pirotinde elde edilmiş ısı değerleriyle, sfaleritten yukarıdaki metot vasıtasıyla bulunmuş değerler birbirlerine gayet yakındır. Arnold'u takiben, Buseck (1962) ve Kullerud *et al.* (1963) aynı metodu monoklinik pirotin-pirit sistemine tatbik etmişlerdir. Daha sonra pirotinde mevcut tali elementlerle ilgili olarak birçok sualler ortaya atılmıştır. Bunlar arasında Sawkins *et al.* kuvars ve flüoritteki sıvı inklüzyon ve sfaleritteki demir çalışmalarıyla, pirotinin, jeolojik termometre olarak kullanılmasının kâfi derecede güven verici olmadığını ispat etmişlerdir. Sawkins pirotin için teşekkül ısısını 250°C nin çok altında buldu; oysaki, bu maksimum altında teşekkül etmiş hiç bir pirotin bilinmemektedir. Diğer taraftan pirotin (Arnold'un metoduyla) 450°C~530°C arasında bir değer vermektedir.

Yukarıda metot hakkında belirtilen hususlara rağmen, ana sülfid yatağında piritle beraber bulunan iki pirotin numunesi üzerinde deney yapılmıştır. X-ray filimleri için kısaltma düzeltilmesi yapıldıktan sonra bunun d_{102} parametreleri, $d = 2.090 \text{ \AA}$ ve $d = 2.081 \text{ \AA}$, 49.62 atomik % Fe ve 48.68 atomik % Fe karşılığıdır. Ancak Arnold tarafından hazırlanmış FeS-S sistemindeki denge münasebetleri diyagramında 47.50 atomik % den fazla demir ihtiva eden durumlar için bir boşluk mevcuttur. Bu sebepten Keban pirotininin jeolojik termometre olarak kullanılması mümkün olmamıştır.

Arsenopirit-pirit-lölinjit münasebeti

Clark, 1960 yılında, arsenopiritin d_{131} parametresinin, kimyevî kompozisyonunun bir fonksiyonu olduğunu deneysel olarak ispat etmiştir. Dolayısıyla, d_{131} parametresi kompozisyonu bilinen arsenopiritin teşekkül ettiği ısıyla ilgilidir. Herhangi bir arsenopirite ait d_{131} parametresi teşekkül ısı hakkında bir tahmini mümkün kılar.

Keban'daki yeraltı çalışmaları esnasında muhtelif katlardan toplanmış numunelerin çoğunda arsenopirit, pirit ve lölinjit birlikte bulunurlar. Clark tarafından ortaya atılan teknik ile ölçmeler X-ray diffraktometer kullanarak seçilmiş dört numune için yapılmıştır. Isı neticeleri Tablo 2 de gösterilmektedir.

Tablo - 2

<i>Numune no.</i>	$d_{131} A^{\circ}$	$Is^{\circ}C$
106	1.6330	450
122	1.6334	472
146	1.6332	465
154	1.6332	465

Analiz edilmiş dört numunenin aritmetik ortalaması 461°C dir. Görüldüğü gibi bu değer, kritik değer olan 491°C den daha düşüktür ve bu derecenin üzerinde pirit yerine pirotin teşekkül eder. Değerler sfaleritten daha sonra teşekkül etmiş arsenopirit tarafından verilmiştir. Sfaleritten daha önce teşekkül etmiş arsenopirit de mevcuttur, ancak bu tip arsenopirit pirit lölinjit sistemi içinde değil, yalnız teşekkül etmiştir. Bu tip arsenopirit 300°C-702°C arasında meydana gelebilir.

Mikroskopik delil

Maden mikroskobu çalışmaları, belirli mineral topluluklarının teşekkül ısıları hakkında deliller verir. Bunlar arasında eksolüsyonlar tarafından verilen değerler en başta gelir. Ana sülfid yatağında mikroskop vasıtasıyla bulunan teşekkül ısı 78°C-550°C arasında değişir. Kovellin lamellerinin (ayrıntılar) eksolüsyon halinde neodigenit içinde mevcudiyeti 78°C üzerinde bir ısıya tekabül eder (Palache *et al.*, 1964). Blaubleibenden kovellinin kovellit ile birlikte bulunuşu, ısının 157°C altında olduğuna işarettir (Moh, 1944). Borchert (1934), kalkopirit içindeki valeriit eksolüsyonlarının (ayrıntılarının) 225°C de teşekkül ettiğini iddia etmiştir. Yine Borchert kalkopirit içindeki bornit eksolüsyonları için 500°C uygun görmüştür. Sfalerit-kalkopirit sistemi için Buerger (1934), Borchert (1934) ve Schwartz (1931) tarafından teklif edilen değerlerde bir uygunluk yoksa da, sfaleritin demir muhteviyatı vasıtasıyla bulunmuş değerlerinin ortalaması Borchert'in teklif ettiği 550°C yakındır.

Kısaca maden mikroskobu çalışmaları tedricî bir ısı azalmasına işaret eder ve ana sülfid yatağındaki metalik mineral toplulukları tedricî ısı azalması neticesinde teşekkül etmişlerdir.

KONTAK METASOMATİK YATAKLARIN TEŞEKKÜL ISISI

Isı akıntısı tahmini

Takribi olduğu halde, plutonik kayaç etrafındaki cevher taşıyan zon içinde mevcut ısının maksimum limiti bir fikir verebilir. Jones (1934) ve Lovering'e (1935) göre, kontak yan taşın içine doğru ısı düşmesi, başlangıçta süratlidir. Fakat, yan taşlar ısındıkça ısı düşmesi yavaşlar. Kontaktaki sıcaklık, plutonik kayacın soğuması sırasında oldukça uzun bir zaman, pek değişmeden muhafaza edilir. Neticede yan taş ısınmış olur. Bu, ilgili plutonik kayaçtan, dışarıya doğru hareket eden «sıcak dalgası» ile izah edilebilir (Jones, 1934); sıcak dalgası yavaşça hareket eder ve yan taşı süratli bir şekilde ısıtır. Yan taşlar ısındıktan sonra soğuma yavaş olur. Kontak zonda belirli bir mesafe dahilinde sıcaklık, plutonik kayaç ile yan taş arasındaki sıcaklığa yakındır. Bundan başka, kontaktaki sıcaklık, yan taş içindeki herhangi bir noktanın sıcaklığından daha yüksektir. Şayet bir kontak dahilindeki sıcaklık bilinirse, bu teşekkül etmiş mineraller için maksimum bir değer verir.

Jaeger (1957) tarafından geliştirilmiş tabloya göre, erime noktası 1200°-700°C arasında bulunan bir plutonik kayacın kontak sıcaklığı 691°C dir. Verilen değer, katılma neticesinde meydana gelen gizli ısı ile uçucuların sebep olduğu ısı kaybını hesaba katar. Bu rakam, kısa erime aralığına sahip plutonik kayaçlar için bir miktar yüksek olduğu halde, bu kayacın en sıcak yerindeki maksimum sıcaklık olarak düşünülebilir. Keza, verilen maksimum değer, Kullerud tarafından garnet/pirit topluluğu için teklif edilen 743°C ile geniş mánada uyumludur.

Lovering (1955), kuvars monzonit ve granit magmaların en sıcak kısımlarındaki takribi sıcaklığın 850°C - 900°C arasında olabileceğini ileri sürmüştür. Bunun siyenit magmasına da ait olması mümkündür; zira, jenetik sırada siyenit magması granit ve kuvars monzonit arasında yer alır. Yine Lovering'e göre bir silin, dayk veya benzer intruzyonların kenarlarındaki sıcaklık 700°C kadar olabilir.

Mikroskopik delil

Keban bölgesinin kontak metasomatik yatakları, teşekkül sıcaklığını tahmin etmek için limitli delil temin ederler. Olağan olmamakla beraber, valeriit eksolüsyonları (ayrıntıları) ihtiva eden kalkopirit minimum 225°C teşekkül ısısına işaret eder. Bol miktarda ve birlikte rastlanan pirit ile zonlu anizotrop grossular 743°C altında sıcaklık gösterir (Kullerud, 1953). Diğer taraftan vollastonitin teşekkülü 660°C-800°C aralığında bir sıcaklık gerektirir.

Kısaca, değişik tahminlerin ışığında, kontak metasomatik yataklar için maksimum takribi 700°C en uygun sıcaklık olarak düşünülebilir. Bu sıcaklığın altında metalik mineraller azalan sıcaklığa göre teşekkül etmişlerdir.

Neşre verildiği tarih 11 temmuz, 1969

B İ B L İ Y O G R A F Y A

- ARNOLD, R. G.; COLEMAN, R. G. & FRYKLUND, V. C. (1962) : Temperature of crystallization of pyrrhotite and sphalerite from the Highland-Surprise Mine, Coeur D'Alene District, Idaho. *Econ. Geol.*, vol. 57, s. 1163-1174.
- BORCHERT, H. (1934): Über Entmischungen im System Cu-Fe-S und ihre Bedeutung als geologische Thermometer. *Chem. der Erde*, vol. 9, s. 145-172.
- BEURGER, N. W. (1934) : The unmixing of chalcopyrite from sphalerite. *Amer. Min.*, vol. 19, s. 525-530.
- BUSECK, R. R. (1962) : *Ann. Rep. of Director Geophys. Lab., Carnegie Inst., Washington, Year Book* 61, s. 161.
- JAEGER, J. G. (1957): Neighbourhood of a cooling intrusive sheet. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 255, s. 305.
- JONES, R. B. (1934) : Temperature relations to ore deposition. *Econ. Geol.*, vol. 29, s. 711-724.
- KULLERUD, G. (1953): The FeS-ZnS system. A geological thermometer. *Norsk Geol. Tids.*, vol. 32, s. 61-147.
- ; DOE, B. R., BUSECK, P. R. & TRÖFLEN, P. F. (1963) : *Ann. Rep. Director Geophys. Lab. Carnegie Inst., Washington, Year Book* 62, s. 210.
- LOVERING, T, S. (1935) : Theory of heat conduction applied to geological problems. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 46, s. 69-94.
- (1955) : Temperatures in and near the intrusions. *Econ. Geol. Fiftieth Ann.* s. 249-281.
- MOH, G. H. (1964) : Blaubleibender covelline. *Ann. Rep. Director Geophys. Lab. Carnegie Inst., Washington, Year Book* 63, s. 208.
- PALACHE, C.; BERMAN, H. & FRONDEL, C. (1944) : The system of mineralogy of J. D. Dana. *John Wiley & Sons, Inc.*, cilt, I (7 th Ed.).
- SAWKINS, F. J.; DUNHAM, A. C. & HIRST, D. M. (1964) : Iron-deficient low temperature pyrrhotite. *Nature*, cilt, 204, no. 4954, s. 175-176.
- SCHWARTZ, G. M. (1931) : Intergrowths of bornite and chalcopyrite. *Econ. Geol.*, cilt, 2 c, s. 186-201.
- SKINNER, B. J. (1959) : Effect of manganese on the sphalerite geothermometer (Abstr.) *Geol. Soc. Amer. Bull.*, cilt, 70, s. 1676.
- TOULMIN, P. (1960) : Effect of copper on sphalerite phase equilibria, a preliminary report (Abstr.) *Geol. Soc. Amer. Bull.*, cilt, 71, s. 1993.