

TÜRKİYE'DE YENİ BULUNAN SULU MAGNEZYUM-BORAT MİNERALLERİ: KURNAKOVİT, İNDERİT, İNDERBORİT

Orhan BAYSAL

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü

ÖZET. — Eskişehir iline bağlı Kırka bucağının 4 km batısında yer alan Sarıkaya yöresinde, Türkiye'nin en büyük borat yatakları keşfedilmiştir. Esasını *boraksın*. ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{10}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$), teşkil ettiği Sarıkaya borat yatakları, fay çatlaklarından gelen borikasit, sodyum ve magnezyum içeren ekshalasyon ürünlerinin, keza volkan çamur ve küllerinin mevcut Neojen göllerinde çökmesi ile oluşmuştur. Dolayısıyla yataklar ekshalatif-sedimenter kökenlidir.

Yatakların özellikle mineralojisini ve oluşumunu inceleyen yazar, yataklarda muhtelif Mg-boratların varlığını saptamıştır. Bunlar triklinik *kurnakovit* ($\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$), monoklinik *inderit* ($\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$) ve monoklinik *inderborit tir.* ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$). Her üç mineral de Türkiye'de ilk olarak Sarıkaya borat yataklarında gözlenmiştir. Mineraller mikroskopik, kimyasal ve X ışınları difraksiyon metotları ile incelenmiştir.

Sulu Mg-borat minerallerinin, özellikle *kurnakovit* ve *inderit m* isimlendirilmesinde ve tanımlanmasında batı memleketlerinin literatüründe önemli karışıklıklar vardır. Heinrich (1946), keza Frondel ve Morgan (1956a) tarafından '*inderit*' olarak tanımlanan mineral *kurnakovit*, Frondel ve Morgan (1956b) tarafından 'lessert' olarak isimlendirilen mineral ise *inderit tir.* Bu araştırmacılar tarafından yapılan ve birçok literatüre geçmiş tanımlamaların, başta ASTM karteksi olmak üzere bir an evvel değiştirilmesinde büyük yarar vardır.

GİRİŞ

1968 yılından beri sürdürülen arazi ve laboratuvar araştırmaları Eskişehir iline bağlı Kırka bucağının Sarıkaya yöresinde büyük bir borat yatağının varlığını ortaya çıkarmıştır (Baysal, 1968; 1969; 1970; 1972a). Bölge Neojen oluşumları ile örtülü olup, bunlar daha çok dikey hareketlerle meydana gelen tektonik göllerde çökelmiş, laküstr-volkanik fasiyes tortullarıdır. Yatakların tabanında marn-kil serileri, tavanında ise kil-marn serileri bulunur. Muhtelif borat minerallerini içeren borat serisinde, ayrıca, yer yer marn, kil ve tüfit arakat seviyeleri mevcuttur.

Pliosen başında oluşan, genellikle SSW-NNE doğrultusunda uzanan fay çatlaklarından gelen bor ekshalasyonları, volkan çamurları ve volkan külleri, mevcut Neojen göllerinde bu yatakları oluşturmuştur. Yataklar, oluşumları esnasında ve daha sonra faaliyetlerini devam ettiren dikey hareketlerle az çok deformasyona uğramış ve nihayet bugünkü durumlarını almıştır.

Sarıkaya borat yataklarında *boraks*, *uleksit*, *kolemanit*, *tunelit*, *meyerhoferit* ve *inyoit* in yanısıra, ayrıca *kurnakovit*, *inderit* ve *inderborit* gibi Mg- ve Mg-Ca-borat minerallerine de rastlanmıştır. *Tunelit* gibi (Baysal, 1972b), *kurnakovit*, *inderit* ve *inderborit* Türkiye'de ilk olarak incelenen Sarıkaya borat yataklarında gözlenmiştir. Bu nedenle, burada yalnız söz konusu Mg- ve Mg-Ca-borat mineralleri ele alınacaktır. Sarıkaya borat yataklarının tüm mineralojisi ve jenezi, keza jeokimyası, petrografisi, jeolojisi detaylı olarak Baysal'da (1972a) işlenmiştir.

KURNAKOVİT VE İNDERİTİN YANLIŞ TANIMLANMASI

Su içeren iki magnezyum-borat mineralinin isimlendirilmesinde ve tanımlanmasında, batı memleketlerinin literatüründe önemli karışıklıklar vardır.

En son yapılan araştırmalara göre; İnderit ve kurnakovit, $2\text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ min iki ayrı polimorfudur ve bunlardan birincisi monoklinal, ikincisi ise triklinal sistemde kristalleşir (Rumanova & Ashirov, 1964; Da-Nean, 1965; Christ *et al*, 1967). İnderit Boldyreva (1937), keza Godlevsky (1937); kurnakovit ise Godlevsky (1940) tarafından ilk olarak Rusya'nın Batı Kazakistan bölgesindeki İnder borat yataklarında rastlanmış ve incelenerek rapor edilmiştir. Aynı zamanda İnderit Feigelson *et al*. (1939), Nikolaev ve Chelishcheva (1940), keza D'Ans ve Behrendt (1957) tarafından; kurnakovit ise Spiriyagina (1949) tarafından sentetik elde edilip incelenmiştir.

Heinrich (1946) bu minerallerden bir tanesini Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunduğunu ileri sürerek İnderit olarak tayin etmiş ve bunu aynı zamanda sentetik olarak da elde etmiştir. Fakat Heinrich (1946) tarafından 'Amerika materyali' olarak tanımlanan bu numunenin Kaliforniya'daki yataklardan, özellikle Kramer yataklarından olduğu hakkında şüpheler vardır ve buna ihtimal verilmemektedir (Frondele & Morgan, 1956; Schaller & Mrose, 1960 vb.).

Frondele ve Morgan (1956a) Kramer (Kaliforniya) yataklarının iki farklı ocağından (Baker ve Jenifer) topladıkları numuneleri incelediklerinde; bunların Heinrich (1946) tarafından 'İnderit' olarak tanımlanan mineral ile identik olduğunu görmüşlerdir. Bu nedenle inceledikleri numuneleri 'İnderit' olarak tanımlamışlardır. Hemen bunu müteakip Frondele ve Morgan (1956b) yine Kramer yataklarının Jenifer ocağında, daha önce buldukları mineralin monoklinal kristalleşen dimorfumu bularak tayin etmişler ve buna, yeni mineral addederek, 'lesserite' ismini vermişlerdir. Bu suretle Heinrich (1946) ile Frondele ve Morgan (1956a, 1956b) tarafından yapılan tanımlamalar, başta ASTM kartoteksi olmak üzere bütün batı memleketlerinin literatürüne aynen geçmiştir.

Yazar, Sarıkaya borat yataklarından topladığı Mg-boratların optik, kimyasal ve difraksiyon özelliklerini literatür verileri ile karşılaştırdığında, birtakım çelişkilerin ve çakışmaların mevcut olduğunu görmüştür. Bunun üzerine literatür araştırmalarını daha da derinleştirmiş ve bu arada sulu Mg-boratları için büyük önem taşıyan bir ön yayına rastlamıştır. Schaller ve Mrose (1960) bu kısa ön yayınlarında aynı karışıklığa temas etmekte ve Prof. Dr. M.A. Valyashko'dan aldıkları İnder (Rusya) lokaliteli orijinal kurnakovite ait toz difraksiyon analiz sonuçlarının, Heinrich'in (1946) 'İnderit' için verdiği değerlerle tamamen uyduğunu ifade etmektedirler. Yazarın Sarıkaya borat yataklarındaki Mg-boratları için yaptığı değerlendirmeler bu ifade ile tamamen aynı paraleldedir. Yine aynı yazarlar, ön yayınlarında Kramer (Kaliforniya) yataklarından topladıkları numuneleri detaylı olarak incelediklerini kaydederek, sonuçların ileride yayınlanacağını belirtmektedirler. Fakat bugüne kadar böyle bir yayın yapılmamıştır.

Bir taraftan yazarın araştırmalarında elde ettiği sonuçların literatür verileri ile karşılaştırılması, diğer taraftan Schaller ve Mrose (1960) tarafından ortaya atılan iddialar açık olarak göstermiştir ki, Heinrich (1946), keza Frondele ve Morgan (1956a) tarafından 'İnderit' olarak tanımlanan mineral kurnakovit) Frondele ve Morgan (1956b) tarafından 'lesserite' olarak isimlendirilen mineral ise İnderit'tir. Dolayısıyla bu araştırmacılar tarafından yapılan literatürdeki tanımlamaların bir an evvel düzeltilmesinde büyük yarar vardır.

İnderit ve kurnakovit minerallerinin tanımlanmasında doğacak daha ileri karışıklıkları önlemek amacıyla, Schaller ve Mrose (1960) tarafından verilen bilgilere, yazarın tespit edebildiği yenileri de ilâve edilerek, mevcut literatür verileri Tablo 1 de derlenmiştir.

Tablo - 1

Sulu Mg-borat minerallerinin sınıflandırılması

<i>İnderit</i> ; 2MgO.3B ₂ O ₃ .15H ₂ O monoklinal	<i>Kurnakovit</i> ; 2MgO.3B ₂ O ₃ .15H ₂ O triklinal
<i>Doğal numuneler*</i>	<i>Doğal numuneler*</i>
İnderit BOLDYREVA (1937) İnderit GODLEVSKY (1937) 'Lesserite' FRONDEL & MORGAN (1956b) 'Lesserite' MUESSIG (1959) 'Lesserite' PENNINGTON & PETCH (1962) İnderit PETCH <i>et al.</i> (1962) İnderit RUMANOVA & ASHRIVOV (1964) İnderit CHRIST <i>et al.</i> (1967) İnderit VALYASHKO & WLIASSOWA (1969)	Kurnakovit GODLEVSKY (1940) 'İnderit' HEINRICH (1946) 'İnderit' FRONDEL & MORGAN (1956a) 'İnderit' MUESSIG & ALLEN (1957) 'İnderit' MUESSIG (1959) 'İnderit' PENNINGTON & PETCH (1960) Kurnakovit PETCH <i>et al.</i> (1962) Kurnakovit DA-NEAN (1965) Kurnakovit CHRIST <i>et al.</i> (1967) Kurnakovit VALYASHKO & WLIASSOWA (1969)
<i>Sentetik numuneler*</i>	<i>Sentetik numuneler*</i>
İnderit FEIGELSON <i>et al.</i> (1939) İnderit NIKOLAEV & CHELISHCHEVA (1940) İnderit D'ANS & BEHRENDT (1957)	'İnderit' HEINRICH (1946) Kurnakovit SPIRYAGINA (1949)

* Doğru olmayan isimlendirmeler tırnak içinde yazılmıştır.

KURNAKOVİT

Strüktür formülü: Mg [B₃O₃ (OH)₅]. 5H₂OOksit formülü : 2MgO.3B₂O₃.15H₂O

Dağılımı

Kurnakovit daha önce de belirtildiği gibi, Godlevsky (1940) tarafından ilk olarak Batı Kazakistan'daki İnder borat yataklarında, daha sonra da Frondel ve Morgan (19560) tarafından Kaliforniya'daki Kramer borat yataklarında (Jenifer ocağında) bulunup rapor edilmiştir. Heinrich (1946) tarafından *kurnakovit in* daha önce *'inderit* olarak isimlendirilmesi nedeniyle, Frondel ve Morgan (19560) buldukları bu minerale *'inderit* ismini vermişlerdir. Türkiye'de ise, ilk olarak Sarıkaya borat yataklarında bulunmuştur.

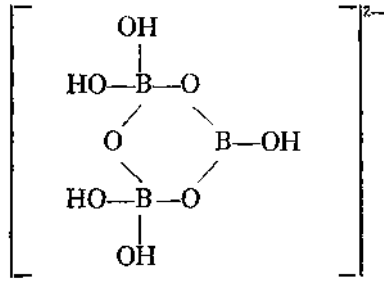
Kurnakovit Sarıkaya borat yataklarında *boraks* ve *uleksit ten* sonra en çok rastlanan bir mineraldir. Özellikle K-4, K-10 ve S-2 sondajlarında fazla, K-5, K-6 ve K-7 sondajlarında az miktarda

kesilmiştir. Keza dekapaj sahasında ve Türk Boraks Madencilik Anonim Şirketinin 1, 5, 8 no. lu galerilerinin önündeki cevher yığınlarında sık sık *kurnakovit* e rastlanmıştır (bkz. Baysal, 1972a, levha 1 ve 2).

Kurnakovit genellikle yatakların tavanlarında ve kenarlarında bulunur. Bu kesimlerdeki dağılımı muntazam olmayıp, killerin, özellikle yatakların üstünde yer alan mavi-yeşil örtü killерinin içinde dağınık oluşumlar halindedir. Beraberinde ekseriya *uleksit*, *inderit*, *tunelit*, yer yer de *boraks* oluşumlarına rastlanır.

Mineralojik tanımı

Pennington ve Petch (1960, 1962) ve Petch *et al* (1962) $2\text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ dimorflarından *kurnakovit* (triklinal) ve *inderit* in (monoklinal) kristal strüktürünü kontrol ederek, bunların iki BO_4 -tetraedri ve bir BO_3 -üçgeni içerdiğini ileri sürmüşlerdir. Bu neticeler daha sonra Rumanova ve Ashirov (1964) ve Da-Nean (1965) tarafından değiştirilmiştir. Bu son araştırmacılara göre; *kurnakovit* in, keza *inderit* in strüktürlerinde $[\text{B}_3\text{O}_3 (\text{OH})_3]^{2-}$ polianyonları mevcuttur, bu netice Christ'in (1960) ilk teklifi ile uyumluluk göstermektedir. Buna göre, *kurnakovit*, keza *inderit* m kristal strüktüründe aşağıda görülen temel inyoit-polianyonu bulunmaktadır:



Sarıkaya borat yataklarında *kurnakovit* genellikle örtü killерinin içinde idiomorf tek kristaller veya kristal toplulukları halinde bulunur. Büyüklükleri 10-15 cm yi bulan tek kristalleri gözlenmiştir. Çoğunlukla {010}, {100}, {001}, {110} ve {111} yüzeylerinden müteşekkil kristalleri kalın prizmatik veya {010} e göre kalın levhamsı bir habitusa sahiptir. Aynı zamanda ince uzun prizmatik kristallerden oluşmuş demetler halindeki *kurnakovit* topluluklarına da yer yer rastlanmıştır. Bu tip *kurnakovit* kristallerinin arasında ayrıca kil minerali ve iğneler, ince sütunlar şeklinde *uleksit* de mevcuttur. Dilinimi {010} ve {110} yüzeylerine paralel olup, güzeldir ve bu yüzeyler arasındaki açı yaklaşık 70° dir. Ekseri renksiz veya açık gri renkte, şeffaf ve cam parlaklığındadır. Buna karşılık demetler halindeki kristaller, kil minerali kapanımları nedeniyle nispeten donuktur. *Kurnakovit* m yoğunluğu 1.862, sertliği ise yaklaşık 3 tür.

Triklinal sistemde kristalleşen *kurnakovit* m optik işareti negatif olup, 2V optik eksenler açısı yaklaşık 60° ölçülmüştür. Abbe-refraktometresi ve özel immersiyon sıvıları kullanılarak sodyum ışığı altında yapılan ölçmelerde, aşağıdaki ışığı kırma indisleri bulunmuştur:

$$n_x = 1.490 \mp 0.002$$

$$n_y = 1.510 \mp 0.002$$

$$n_z = 1.524 \mp 0.002$$

Kimyasal bileşimi

X ışınları difraksiyon analizi ile kontrol edilen şeffaf, renksiz ve saf numunelerden ikisinin kimyasal analizi yapılmış ve Tablo 2 deki değerler bulunmuştur. Bütün analizlerde olduğu gibi,

B_2O_3 hazırlanan çözeltiye mannit ilâve edilerek NaOH titrasyonu ile, MgO titripleks-III ile kompleksometrik, su ise 1 gram numune üzerinden saptanmıştır.

Tablo 2 de görüldüğü gibi, analiz sonuçları *kurnakovit* teorik kimyasal bileşimine uymakla beraber, Godlevsky (1940) tarafından ilk orijinal numune için elde edilen analiz neticelerinden farklıdır. Adı geçen yazar daha yüksek MgO ve B_2O_3 , buna karşılık daha düşük H_2O yüzdesi bulmuştur. Netekim Godlevsky (1940) *kurnakoviti* ilk olarak $2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 13H_2O$ şeklinde formüle etmiştir. Schaller ve Mrose (1960) tarafından da işaret edildiği gibi, bu ilk kimyasal analizlerde hataların bulunması dolayısıyla *kurnakovit*'m başlangıçta yanlış formüle edilmiş olması kuvvetle muhtemeldir.

Tablo - 2

Kurnakovit, nderit ve nderboritin kimyasal bileşimleri

Analiz no.	Kurnakovit			İnderit		İnderborit		
	1	2	Teorik bileşimi	1	2	Teorik bileşimi	1	Teorik bileşimi
MgO	14.52	14.46	14.41	14.36	14.28	14.41	8.60	8.01
CaO	—	—	—	—	—	—	10.62	11.14
B_2O_3	37.45	37.28	37.32	37.42	37.16	37.32	41.34	41.49
H_2O	47.96	48.14	48.27	48.38	48.05	48.27	39.61	39.36
Asitte çözünm.	—	—	—	—	0.65	—	—	—
Toplam :	99.93	99.88	100.00	100.16	100.14	100.00	100.17	100.00

X ışınları difraksiyon analizi

Yatakların muhtelif yerlerinden alınan otuz yakın numunenin General Electric firmasının 'X-Ray Diffractometer 700' tipi cihazıyla X ışınları difraksiyon analizleri ayrı ayrı yapılmış ve hepsinden aynı netice alınmıştır. Elde edilen diyagramlardan bir tanesi ve hesaplanan d-değerleri, *inderit* ve *inderborit* ile direkt karşılaştırma imkânı yaratabilmek için Şekil 1 de beraber sunulmuştur. Şekil 1 de açık olarak görüldüğü üzere, bu üç mineralin X ışınları difraksiyon diyagramları birbirinden tamamen farklıdır.

Heinrich (1946) tarafından *Merif* ismi altında yayınlanan hariç, yazar *kurnakovit*'m X ışınları toz difraksiyon analiz neticelerine bir ikinci literatürde rastlayamamıştır. Bu nedenle karşılaştırmalar bir tek literatür verisine göre yapılmıştır. Yazarın Sarıkaya yataklarından topladığı numunelerin d-değerleri genel hatlarıyla Heinrich (1946) tarafından verilen değerlere (ASTM 8-160) uymaktadır. Ondan farklı olarak ayrıca birkaç pik elde edilmiş olup, bunlar diyagramda ? işareti ile belirtilmiştir. Literatür verilerinin, dolayısıyla karşılaştırma olanaklarının çok sınırlı olması nedeniyle, bu fazla piklerin incelenen Sarıkaya orijinal *kurnakoviti* için özel bir durum olup olmadığı hakkında kesin bir yargıda bulunmak, şu anda mümkün değildir.

Değişmeler

İncelenen *kurnakovit* kristallerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Kristaller genellikle taze olup, durumlarını iyi muhafaza etmişlerdir. Gözlemler göstermiştir ki, *kurnakovit* başta olmak üzere Mg-boratlara, yataklardaki diğer boratlara oranla çok daha fazla kararlı, dış etkenlere karşı daha çok dayanıklıdır.

Kurnakovit'm beraberinde yer yer gözlenen *inderborit* kristalleri, ileride belirtileceği üzere, kurnakovitten oluşmuş psödomorflardır. Aralarındaki yapısal ilişkiler de, bunu doğrular niteliktedir.

İNDERİT

Strüktür formülü : $Mg [B_3O_3(OH)_5] \cdot 5H_2O$

Oksit formülü : $2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 15H_2O$

Dağılımı

Daha önce de belirtildiği gibi, *inderit* ilk olarak Boldyreva (1937) ve Godlevsky (1937) tarafından Batı Kazakistan'daki İnder borat yataklarında keşfedilip yayınlanmıştır. Aynı minerali daha sonra Kaliforniya'daki Kramer yataklarında Frondel ve Morgan (1956b) bulmuş ve ona 'lesserite' ismini vermişlerdir. Aynı zamanda Arjantin'de de bu minerale rastlanıldığı hakkında yayın mevcuttur. Fakat gerek lokalitesi, gerekse özellikleri hakkında kesin bir bilgi verilmemektedir (Muessig, 1959). Aynı *kurnakovit* gibi, *inderit* de Türkiye'de ilk olarak yazarın incelemeleri esnasında, Sarıkaya borat yataklarında gözlenmiştir.

inderit, yatakların üstündeki mavi-yeşil örtü killerin, keza kenarlardaki killi, marnlı seviyelerin içinde *kurnakovit* ile beraber bulunur. Dağılımı kurnakovitinkine benzemesine rağmen, yataklarda çok daha az miktarda rastlanmıştır. En çok K-10 ve S-2 sondajlarında, keza dekapaj sahasında ve Türk Boraks Madencilik Anonim Şirketinin 5 no. lu galerisinin ağzındaki cevher yığınlarında gözlenmiştir (bkz. Baysal, 1972a, levha 1).

Mineralojik tanımı

Yapılan kristal strüktür analizleri *inderit* mineralinin strüktüründe de *kurnakovit* olduğu gibi $[B_3O_3(OH)_5]^{2-}$ temel inyoit-polianyonunun mevcut olduğunu göstermiştir (Rumanova & Ashirov, 1964). Yalnız *kurnakovit* triklinal sistemde kristalleşmesine karşılık, *inderit* monoklinaldır.

inderit kristalleri ince uzun sütunlar ve iğneler halinde prizmatik bir habitusa sahiptir. Bu prizmatik kristaller killerin içinde demetler, siferolitik konkresyonlar teşkil ettiği gibi, *kurnakovit* kristallerinin içinde, onları keser durumda da bulunur. Kristallerin uzunlukları genellikle 1-2 cm, genişlikleri ise 1-2 mm arasındadır. Zaman zaman daha büyük kristallere de rastlanmıştır, *inderit* {110} yüzeyine göre güzel bir dilinime sahiptir. Fakat bu dilinim *kurnakovit* m {110} dilinimi kadar güzel değildir. Polisentetik ikizlenmeler ince kesitlerde sık sık gözlenmiştir. Mineral renksiz, şeffaf ve cam parlaklığındadır. Kilin içinde demetler, siferolitik konkresyonlar halinde oluşan *inderit* kristalleri, hemen hemen daima az miktarda kil minerali içerdiklerinden, gri ve donuk renktedir. Kil mineralleri daha çok dilinim çatlaklarını doldurmuştur. Makroskopik görünümüyle *kurnakovit* e çok benzediğinden, arazide ondan ayırt edilmesi zordur, *inderit*'in ölçülen yoğunluğu 1.780 olup, sertliği yaklaşık 2.5 tur.

İki optik eksenli olan *inderit* pozitif işarete ve orta büyüklükte (40-45°) 2V optik eksenler açısına sahiptir. Sodyum ışığı altında ölçülen ışığı kırma indisleri şöyledir:

$$n_x = 1.486 \mp 0.002$$

$$n_y = 1.490 \mp 0.002$$

$$n_z = 1.506 \mp 0.002$$

Kimyasal bileşimi

Optik ve difraksiyon analizleri ile kontrol edilen iki numunenin kimyasal analizi yukarıda belirtilen metotlarla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2 de verilmiştir.

Analizi yapılan birinci numune, renksiz şeffaf büyük kristaller halindedir. İkincisi ise, gri renkte ince küçük prizmatik kristaller halinde olup, killerin içinden tek tek ayıklanmıştır. Bu numunedeki asitte çözünmeyen kısım kil mineralidir.

X ışınları difraksiyon analizi

Yataklardan alınan muhtelif *inderit* numunesinin X ışınları toz difraksiyon analizleri yapılmıştır. Bunlardan bir tanesinin diyagramı, hesaplanan d-değerleri ile birlikte Şekil 1 de görülmektedir. Elde edilen d-değerleri Frondel ve Morgan (1956b) tarafından verilen değerlere (ASTM 11-583) tamamen uymaktadır. ASTM kartoteksinin 11-583 numarasında 'lesserite' ismi altında yer alan numunenin '*inderit*'* olarak değiştirilmesi gerekir.

Değişmeler

Sarıkaya borat yataklarından alınan *inderit* kristalleri nispeten tazedir ve fazla değişikliğe uğramamışlardır. Yalnız polisentetik ikizlenme gösteren kristallerde veya demetler halindeki topluluklarda ikizlenme ve dilinimlenme yüzeylerinde veya çatlaklarında daima az miktarda kil kaparımlarına rastlanır. Bu yüzeylerden veya çatlaklardan sızan çözeltiler, mevcut kil ve *inderit* kristalleri ile reaksiyona girerek, yeni oluşumların meydana gelmesine sebep olmuşlardır. Bu suretle, dilinim ve ikizlenme yüzeyleri, keza çatlaklar boyunca *inderit* kristalleri balık iskeletlerini andıran şekillerde bozunmuşlardır. Aralarda dolomit ve tanınması mümkün olmayan psödomorflar oluşmuştur. Tanınamayan bu psödomorfların hidromagnezit olduğu tahmin edilir.

İNDERBORİT

Strüktür formülü : $\text{CaMg} [\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Oksit formülü : $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$

Dağılımı

İlk olarak Kazakistan'daki İnder borat yataklarından Gorshkov (1941), keza Ikornikova ve Godlevsky (1941) tarafından rapor edilmiştir. Ikornikova ve Godlevsky (1941) bu minerali '*meta-hidroborasit*' olarak isimlendirmiş, fakat literatürde daha çok Gorshkov tarafından verilen '*inderborit*'* ismi benimsenmiştir. Yazarın literatür araştırmalarına göre, *inderborite* bir ikinci lokalitede henüz rastlanmamıştır. Türkiye'de ilk olarak Sarıkaya borat yataklarında yazarın incelemeleri esnasında gözlenmiştir.

Yataklarda *inderborit* ender ve lokal oluşumlar halindedir. Gerek M.T.A., gerekse Etibank sondaj karotlarının incelenmesinde *inderborit*e rastlanmamış, ancak Türk Boraks Madencilik Anonim Şirketinin 5 no. 11 ve Kuşkaya galerilerinin (bkz. Baysal, 1972a, levha 1) ağzındaki döküntü cevher yığınlarında az miktarda bulunmuştur. Numunenin alındığı cevher yığınlarında, özellikle *kurnakovit uleksit*, az miktarda da *inderit* ve *boraks* mevcuttur.

Mineralojik tanımı

İnderborit aynı *kurnakovit*, keza *inderit* te olduğu gibi $[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5]^{2-}$ tipinde polianyonlar içerir. Kristal strüktüründe magnezyumlar oktaedr teşkil eder ve bu oktaedrler bağımsız adalar halinde bulunur. Buna karşılık kalsiyum-poliedrleri tabakalar teşkil eder ve bu tabakalar polianyonların içinden geçerek onları sıkı bir şekilde birbirine bağlar (Kurkutova *et al.*, 1965). Valyashko ve Wlassowa (1969), *inderborit* in çözeltilerde kolaylıkla $\text{Mg}(\text{OH})_2$ şeklinde parçalanmasını, bu strüktürel özelliğe bağlamaktadır.

Yığınlardan alınan numunelerde *kurnakovit* ve *uleksit* ile müşterek büyümeler halinde bulunur. Bilhassa *kurnakovit* ile müşterek büyümeleri daha yaygındır. Kalın prizmatik *kurnakovit* kristallerinden müteşekkil birkaç numunenin içinde, büyümeleri tamamen *kurnakovit* kristalleri ile uyumluluk gösteren *inderborit* lere rastlanmıştır. Bunlar *kurnakovitlerle* tamamen iç içe girmişlerdir ve aralarında çoğu zaman kesin bir sınır yoktur.

İnderborit kristalleri kalın ve uzun prizmalar şeklinde olup, büyüklükleri birkaç cm ye kadar ulaşır. Dilinimi (100) e göre güzeldir. Genellikle beyaz, yarı şeffaf olup, cam veya dilinim yüzeylerinde zayıf sedef parlaklığına sahiptir. Zaman zaman renksiz ve şeffaf kristallere de rastlanır. *İnderborit m* ölçülen yoğunluğu 1.930 olup, sertliği yaklaşık 2.5 tur.

Monoklinal sistemde kristalleşen *inderborit* negatif optik işaretli olup, 2V optik eksenler açısı oldukça büyüktür (80-85°). Sodyum ışığı altında ölçülen ışığı kırma indisleri şöyledir:

$$n_x = 1.490 \mp 0.002$$

$$n_y = 1.516 \mp 0.002$$

$$n_z = 1.536 \mp 0.002$$

Kimyasal bileşimi

Ayrılan saf bir *inderborit* kristalinin elde edilen kimyasal bileşimi Tablo 2 de görülmektedir.

incelenen numunenin kimyasal bileşimi *inderborit*in formül bileşiminden biraz farklıdır. Tablo 2 de görüldüğü gibi CaO düşük, buna karşılık MgO ve H₂O ise biraz yüksektir. Bunun muhtemel *kurnakovit* karışımlarından ziyade, *inderborit*in kristal kafesinde bir kısım Ca atomlarının yerini, Mg atomlarının almasından ileri geldiği tahmin edilir.

X ışınları difraksiyon analizi

Mikroskopik ve kimyasal incelemelere paralel olarak numunenin ayrıca X ışınları toz difraksiyon analizi yapılmıştır. Elde edilen diyagram ve hesaplanan d-değerleri Şekil 1 de görülmektedir.

Analizi yapılan numunenin d-değerlerinden büyük bir kısmı, özellikle *inderborit* için karakteristik olanları, ASTM kartoteksinin 12-70 numarasında yer alan *inder* (Kazakistan) orijinli numuneye ait olanlara benzemektedir. Aradaki farklar genellikle kabul edilebilecek büyüklüktedir. Analiz neticesinde, diyagramda ? işareti ile gösterilen bazı yabancı pikler de elde edilmiştir. Bunların bir kısmı *kurnakovit m* pikleriyle çakışmaktadır. Yazar, aynı kimyasal bileşimde olduğu gibi, bunların da kafesteki fazla Mg atomlarından ileri geldiği inancındadır. Zira numunede bir *kurnakovit* karışımı söz konusu olsa idi, X ışınları difraksiyon analizinde *kurnakovit'in* 7.314 (7.167), 5.000 (4.900) gibi karakteristik piklerinin de elde edilmesi gerekirdi. Gözlenen bu durumun kristal strüktür açısından ele alınıp detaylı etüt edilmesinde hiç şüphesiz yarar vardır. İleride bu numunenin ayrıca kristal strüktür analizi yapılacaktır.

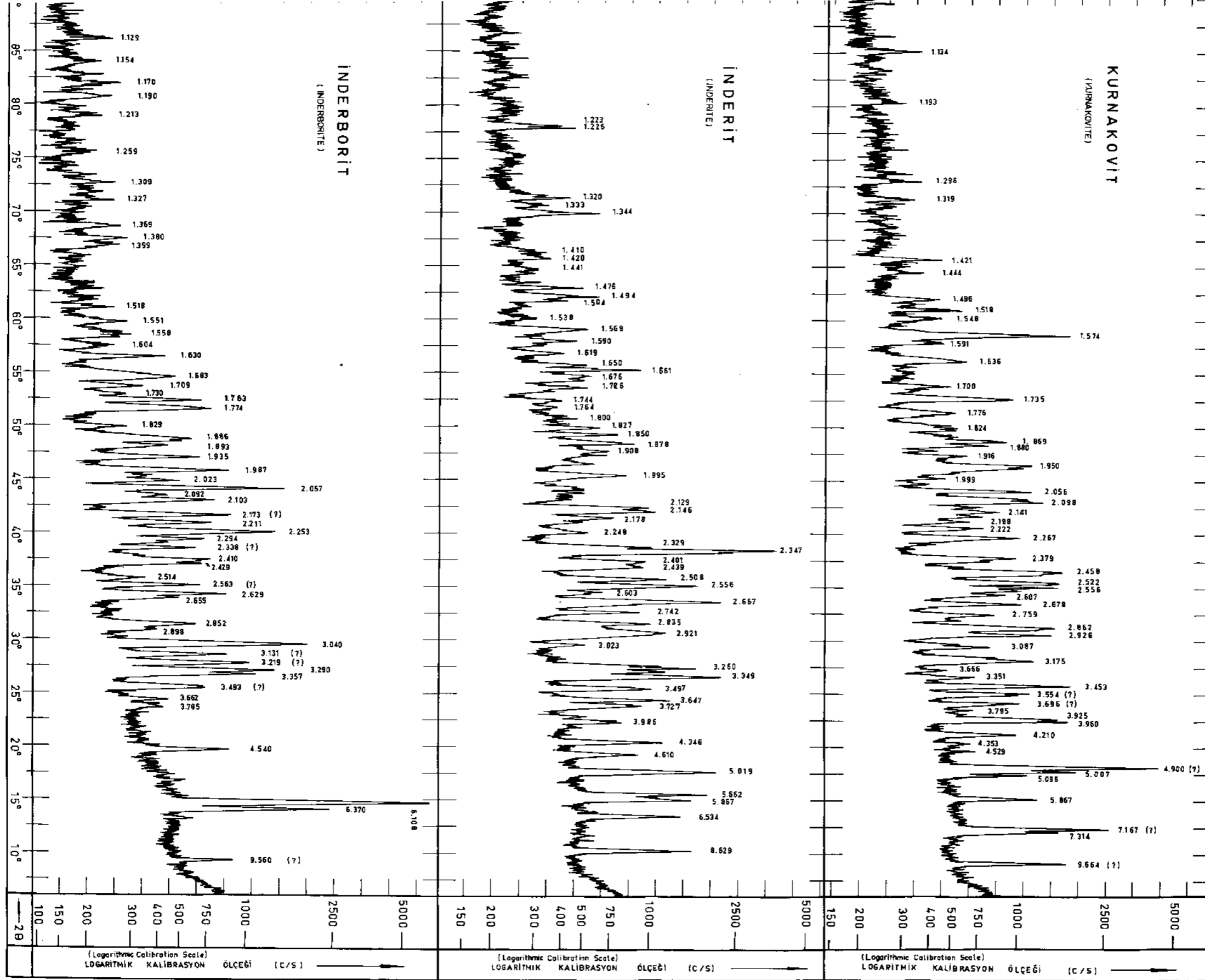
Değişmeler

İnderborit kristallerinin içinde ender olarak kriptokristaller halinde kalsit oluşumlarına rastlanır. Bu kalsit oluşumları genellikle kristalin dilinim yüzeyleri arasında bulunur. Bunların *inderborit*ten psödomorf olarak veya dilinim çatlaklarına sızan çözeltilerden oluştuğu kesinlikle saptanamamıştır. Her iki ihtimal de yazara göre mümkün görünmektedir.

inderborit kristalleri arasında ince kamalar şeklinde izlenen *kurnakovit* kristalleri yeni oluşmuş psödomorflar olmayıp, daha çok *kurnakovit* artıklarıdır. Bunlara, ileride *kurnakovit inderborit* arasındaki jenetik ilişkilerden söz ederken tekrar temas edilecektir.

YATAKLARDA MAGNEZYUM-BORATLARIN OLUŞUMU

Daha önce de belirtildiği gibi, Pliosen başında oluşan fay çatlaklarından gelen bor ekshalasyonları, volkan çamurları ve volkanik küller, mevcut Neojen göllerinde Sarıkaya borat yataklarını oluşturmuştur. Yapılan kimyasal ve X ışınları difraksiyon analizleri taban kalkerlerinde, keza tavan kalkerlerinin üst seviyelerinde magnezyumun fazla miktarda bulunmadığını göstermiştir. Buna kar-



Şek. 1.

Kurnakovit, inderit ve inderboritin X ışınları difraksiyon diyagramları.

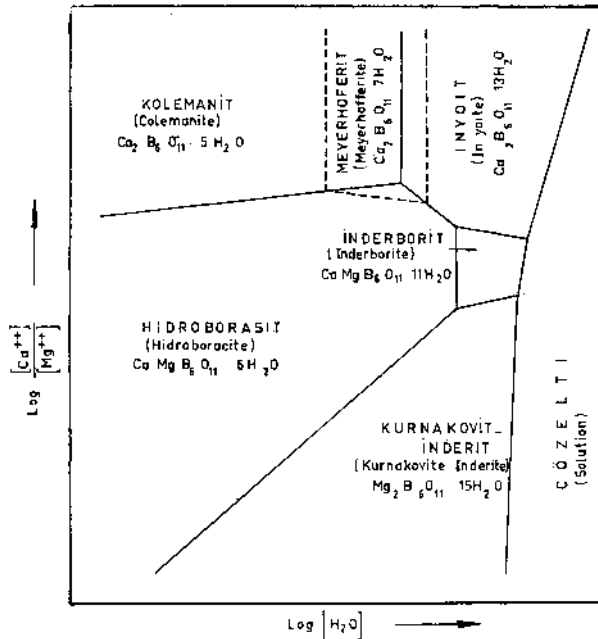
Rad.: CuK α ; Filtre: Ni; çıkış kolimatörü: 1; giriş kolimatörü: 0.2; MA: 5; KVP 45; dakikada 2 0.

şılık borat serisinde ve killi kayaç, keza tüfit serilerinde magnezyum fevkalade zenginleşmiştir (Baysal, 1972a). Buradan da açık olarak görülüyor ki, magnezyum Sarıkaya borat yataklarında volkanik getirimli bir elementtir. Bir diğer ifade ile, yatakların oluşmasına sebep olan volkanik ekshalasyonlar borik asit ve sodyumun yanısıra, ayrıca magnezyum da içermişlerdir. Diğer taraftan aynı süreçlerle gelen piroklastik materyalin hidrolizi (akuatolizi) sonucu göl sularındaki magnezyum konsantrasyonu zaman zaman yükselmiştir. Elde edilen bulgular kalsiyumun göl sularına dışarıdan taşınıp getirildiğini doğrular niteliktedir. Örneğin volkanik faaliyetlerden önce ve sonra kalın kalker sedimentasyonu vuku bulmuştur.

Bilindiği üzere, yüzeysel koşullarda göl sularında primer oluşan borat mineralleri daima kendi serilerinin en yüksek hidratıdır (Muessig, 1959; Christ *et al*, 1967; Özpeker, 1969; Baysal, 1972a). Kendi serilerinin en yüksek hidratı olmaları nedeniyle, *kurnakovit* ve *inderit* de Sarıkaya borat yataklarında primer olarak çökelmiştir. Bunların oluşması, Şekil 2 deki aktivite-aktivite diyagramında görüldüğü gibi, tamamen göl suyundaki $[Ca^{++}]/[Mg^{++}]$ ve $[H_2O]^1$ oranına bağlı olmaktadır. Yazara göre, yataklarda devamlı boraksın çökmesi neticesinde, oluşumun son evrelerinde göl suları, özellikle Ca^{++} ve Mg^{++} bakımından zenginleşmiştir. Ca^{++}/Mg^{++} oranı *kurnakovit* veya *inderit* in çökmesini mümkün kılacak limite ulaştığında bu mineraller çökelmiş, bu suretle göl sularında zenginleşmiş Mg^{++} nispeten tüketilmiştir. *Kurnakovit* ve *inderit* e genellikle yatakların tavanındaki killerin içinde rastlanması da bunu doğrulamaktadır. Bu arada son volkanik faaliyetlerle gelen piroklastik malzemenin Mg bakımından zengin olması da, bu minerallerin çökmesinde mühim rol oynamıştır. Yapılan kimyasal analizler, yatakların üstündeki mavi ve gri kilin Mg bakımından zengin olduğunu göstermiştir (Baysal, 1972a). Bu kil seviyesinin alt kısmında *kurnakovit*, *inderit*, keza yer yer *uleksit* oluşurken, üst kısmında Mg-hidratasyonu ile erken diajenetik dolomitleşme meydana gelmiştir. Bu hususlar dikkate alınacak olursa, *kurnakovit* ve *inderit* m çökmesini mümkün kılan magnezyumun, hiç olmazsa bir kısmının, yukarıda belirtildiği gibi, bu son volkanik evre piroklastiklerinin hidrolizi sonucu açığa çıkmış olması gerekir.

Gözlemler göstermiştir ki, *inderit* ve *kurnakovit* yataklarda bir arada beraber çökelmişlerdir. Bu iki polimorfun müşterek büyümeleri, şüphesiz belirli termodinamik ve jeokimyasal durumun sonucudur. Bunlar hakkında şu anda bir yargıda bulunmak mümkün değildir. Zira her iki polimorfun arasındaki jenetik, keza kararlılık ilişkileri henüz bilinmemektedir. Bazı yataklarda, örneğin Death Valley (Kaliforniya) ve İnder (Rusya) yataklarında *hidroborasit* matrisi içinde *kurnakovit* ve *inderit* iç tabanı büyümeler halindedir. Burada prizmatik *inderit* kristalleri *kurnakovit* i delip geçmektedir (Christ *et al*, 1967). Kramer'de (Kaliforniya) ise incelenen yataklarda olduğu gibi *inderit* ve *kurnakovit* direkt oluşumlar halindedir.

Yataklarda az miktarda izlenmiş olan *inderborit* primer Mg-boratlardan, daha çok *kurnakovit* ten psödomorf ola-

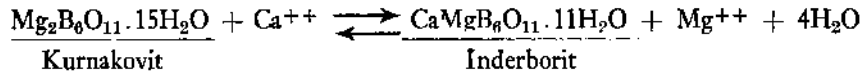


Şek. 2 - $2CaO.3B_2O_3.5H_2O-2MgO.3B_2O_3.7H_2O-H_2O$ sistemindeki faz ilişkilerini gösteren şematik aktivite-aktivite diyagramı. (C.L. Christ; A.H. Truesdell & R.C. Erd'den, 1967, alınmıştır).

1 Köşeli parantezler aktiviteyi ifade etmektedir.

rak teşekkül etmiştir. Zira daha önce de belirtildiği gibi, *inderborit* in içinde kamalar şeklinde *kurnakovite* rastlanmıştır. Jeokimyasal açıdan onun inderitten teşekkül etmiş olması mümkündür. Fakat *inderborit* ve *inderit* arasında herhangi bir yapısal ilişki gözlenmemiştir.

Gerek arazi gözlemleri, gerekse deneysel araştırmalar ve termodinamik, jeokimyasal kritikler göstermiştir ki, yatakların oluşup gömülmesinden sonra, artan sıcaklığın ve basıncın etkisiyle sedimentlerdeki kapılar suyun aktivitesi düşmektedir. Bu suretle, primer yüksek sulu boratlar dehidratasyona uğrayarak, kendi serilerinin daha düşük sulu boratların oluşturmaktadır. Şayet sıcaklık ve basıncın değişmesi ile birlikte, kapılar çözeltinin kimyasal bileşimi de değişirse, primer boratlardan farklı kimyasal yapıda sulu boratlar da oluşabilmektedir. İncelenen Sarıkaya borat yataklarının üst kesimlerinde sıcaklık ve basınç koşulları pek değişmemesine rağmen, kapılar suyun bileşiminde sirkülasyon ve yeraltı suları nedeniyle kalsiyum konsantrasyonu artmıştır. Bu nedendir ki, primer oluşmuş olan *kurnakovit*, yataklar gömüldükten sonra kararlı durumunu yitirmiş ve neticede yer yer *inderborit* e dönüşmüştür. Aşağıdaki kimyasal reaksiyon ile ifadesini bulan bu süreç Şekil 2 de açık olarak görülmektedir:



Yayına verildiği tarih, 10 temmuz 1972

REFERANSLAR

- BAYSAL, O. (1968): Kırka-Sarıkaya bortuzu sondaj karotlarının mineralizasyonu hakkında. *M.T.A. Enstitüsü, Mineralojik rapor*, no. 5757, 5758, 5771, 5772, 5777, Ankara (yayınlanmamış).
- (1969) : Kırka-Sarıkaya bortuzu sondaj karotlarının mineralizasyonu hakkında. *M.T.A. Enstitüsü, Mineralojik rapor*, no. 5823, 5824, 5828, 5839, 5883, Ankara (yayınlanmamış).
- (1970): Kırka-Sarıkaya bortuzu sondaj karotlarının mineralizasyonu hakkında. *M.T.A. Enstitüsü, Mineralojik rapor*, no. 1579, 1681, Ankara (yayınlanmamış).
- (1972a): Sarıkaya (Kırka) borat yataklarının mineralojik ve jenetik incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi, Ankara* (baskıda).
- (1972b): Sarıkaya (Kırka) borat yataklarında yeni bir stronsiyum-borat minerali: tunelit. *M.T.A. Derg.*, no. 79, Ankara.
- BOLDYREVA, A. (1937): investigation of inderite and of the including rock. *Mem. Soc. Russe Min.*, 66, no. 4, 2. ser., pp. 651-672.
- CHRİST, C.L.; TRUESDELL, A.H. & ERD, R.C. (1967): Borate mineral assemblages in the system Na₂O-CaO-MgO-B₂O₃-H₂O. *Geochim, et Cosmochim. Acta*, vol. 31 pp. 313-339.
- DA-NEAN YEH (1965): The structure of kurnakovite. *Scientia Sinica*, XIV, s. 1086-1089 (çit. in CHRİST et al, 1967).
- D'ANS, J. & BEHRENDT, K.H. (1957): Über die Existensbedingungen einiger Mg-borate. *Kali und Salz*, 2, S. 121-137.
- FEIGELSON, J.B.; GRUSHVITSKY, V.E. & KOROBOCHKINA, T.V. (1939): Synthesis of inderite. *Compt. Rend. Doklady, Ac. Sci. USSR*, 22, pp. 242-243.
- FRONDEL, C. & MORGAN, V. (19560): inderite and gerstleyite from the Kramer borate district, Kern County, California. *The Amer. Min.*, vol. 41, pp. 839-843.
- (1956b): Lesserite, a new borate mineral. *The Amer. Min.*, vol. 41, pp. 927-928.

- GODLEVSKY, M.N. (1937): Mineralogical investigation on the Inder borate deposits. *Mem. Soc. Russe de Mineralogie*, 66, Liefg. 2, pp. 315-344.
- (1940): Kurnakovite, a new borate. *Compt. Rend. (Doklady) Acad. Sci., USSR*, vol. 28, pp. 638-640.
- GORSHKOV, G.S. (1941): A new mineral from the region of Lake Inder. *Compt. Rend. (Doklady) Acad. Sci., USSR*, vol. 33, pp. 254-256.
- HEINRICH, E.W. (1946): A Second discovery of inderite. *The Amer. Min.*, vol. 31, p. 71.
- IKORNIKOVA, M.V. & GODLEVSKY, M.N. (1941): The new borate: nietahydroboracite. *Compt. Rend. (Doklady) Acad. Sci. USSR*, vol. 33, pp. 257-258.
- KURKUTOVA, A.G.; RUMANOVA, I.M. & BELOV, N.V. (1965): çit. in VALYASHKO, M.G. & WLIASSOWA, E.W. (1969).
- MUESSIG, S. (1959): Primary borates in playa deposits: minerals of high hydration. *Econ. Geol.*, 54, pp. 495-501.
- & ALLEN, R.D. (1957): Ezcurreite ($2\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), a new sodium borate from Argentina, occurrence, mineralogy, and associated minerals. *Econ. Geol.*, 52, pp. 426-437.
- NIKOLAEV, A.V. & CHELISHCHEVA, A.G. (1940): The 25° isotherm of the system: $\text{CaO} + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ and $\text{MgO} - \text{B}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$. *Compt. Rend. Acad. Sci., USSR*, 28, pp. 127-130.
- PENNINGTON, K.S. & PETCH, H.E. (1960): Nuclear magnetic resonance spectrum of BH in inderite. *J. Chem. Phys.*, 33, pp. 329-334.
- (1962): Nuclear magnetic resonance spectrum of B^{11} in lesserite. *J. Chem. Phys.*, 36, pp. 2151-2155.
- PETCH, H.E.; PENNINGTON, K.S. & CUTHBERT, J.D. (1962): On CHRIST's postulated boronoxigen polyions in some hydrated borates of unknown crystal structure. *The Amer. Min.*, vol. 47, pp. 401-404.
- RUMANOVA, I.M. & ASHIROV, A. (1964): The determination of the crystal structure of inderite. *Sov. Phys. Cryst.*, 8, pp. 414-428.
- SCHALLER, W.T. & MROSE, M.E. (1960): The naming of the hydrous magnesium borate minerals from Boron, California. *The Amer. Min.*, vol. 45, pp. 732-734.
- SPIRYAGINA, A.I. (1949): Conditions of formation of kurnakovite. *Doklady Akad. Nauk. USSR*, 68, pp. 909-911.
- ÖZPEKER, I. (1969): Batu Anadolu borat yataklarının mukayeseli jenetik etüdü. *Ak. Matbaası*, 116 s., İstanbul (doktora tezi).
- VALYASHKO, M.G. & WLIASSOWA, E.W. (1969): IR-Absorptionsspektren von Boraten und borhaltigen waessrigen Lösungen. *Jenaer Rundschau*, Heft 1, S. 3-11.