

**Bigadiç Tersiyer Havzasında Borat İçeren Kilttaşlarının Elektron Mikroskobu
Yorumlan**

**Electron Microscopic Interpretation of the Borate-Bearing Claystone in the Bigadiç
Tertiary Basin**

E. Günen, B. E. Varol

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan/Ankara

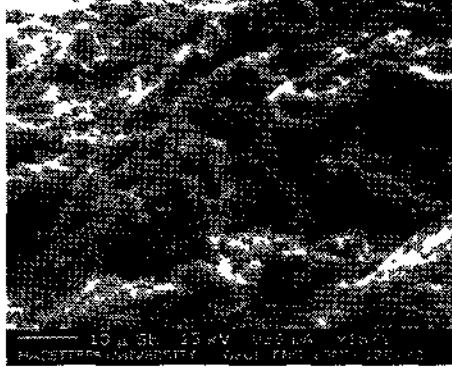
ÖZET: Bigadiç Neojen havzasında gösel istifler arasında açığa çıkan bor oluşumları kolemanit, borasit, hidroborasit, havlit ve üleksit gibi mineralleşmelerle temsil edilmektedir. Bunlara eşlik eden sedimanter birimler kireçtaşı ve çamurtaşı ağırlıklı bir litolojiye sahiptir. Kireçtaşları sert ve sık dokulu olup, karstik boşluklarında bor mineralleşmeleri içerir. Çamurtaşları ise, borlu seviyelerle aralanmalı olup, çok sayıda tektonik sedimanter yapı içerir (Mikro faylar, kayma oturma yapılan ve sedimantasyonla hem yaş kıvrımlar). Çamurtaşları bileşimindeki kil mineralleri bor mineralleşmelerinden farklı olarak, tek düze bir mineralojik karakter gösterir. Bu Mg bakımından zengin kil minerali, hektorit olarak belirginleşir. Çamurtaşları içerisindeki kil mineralinin oluştuğu aralıklarda ortamın jeokimyasal dengelerine bağlı olarak Ca'nın yükseldiği evrelerde kolemanit, Mg ve Cl yükseliminde borasit veya hidroborasit, Si'nin hektorit için gerekli olan miktardan daha üstündeki artışında ise, havlit çökelimleri gelişmiştir. Yukarıdaki mineralojik fazlar göl ortamının su kalitesinin yanında diagenetik ortamın jeokimyasal özellikleri ile de kontrol edilmiştir. Bu kimyasal elementlerin temininde volkanizma ile birlikte göl ortamına etkili olan hidrotermal eriyiklerin de katkısı önemli olmuştur. Özellikle Fe, Zn ve Na gibi element zenginleşmeleri hidrotermal aktivite süreçlerinde en üst düzeye erişmiştir. Hektorit çökeli için gerekli olan Mg ve Si ise; göl drenaj sistemini büyük ölçüde teşkil eden volkanik kaynaklardan yıkanmasından türemiş ve bu göl suyunun da sürekli olarak alkali özellikte kalmasını sağlamıştır.

ABSTRACT: Borate beds show very intimate associations with claystones in the lacustrine successions of the Bigadiç Tertiary basin. Although the layers consist of a variety of borate minerals such as colemanite, boracite, hydroboracite and howlite, their clay composition have a unique character represented by hectorite (Mg-smectite). The borate-bearing clay layers show very complex mineralization phases with the contributions of B, Ca, Mg, Si, Na, K, Cl and Fe. The elemental compositions were described by the analysis of scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-Ray (EDAX) system. X-Ray diffractometer is used to determine the main borate minerals and hectorite. All data obtained these analyses revealed that the three mineralization phases took place during the precipitation of the borate-bearing clays. These elemental and mineral compositions given suggest that hectorite (Mg-smectite) prevailed the borate-bearing clay layers in the Bigadiç Tertiary basin. The clay mineralization would be occurred in a lacustrine environment with Mg-rich brines in which Mg and Si were concentrated upon relatively high PH condition. Borate mineralizations started when hydrothermal water was entering into the evaporitic lake and/or diagenetic environment. On the other hand, image analyses show that the borate minerals were formed as replasive, displasive and void-filling crystals within the clay matrix.

1. GİRİŞ

Bigadiç civarında yüzeylenen bor oluşumlarının mineralojik, jeokimyasal ve ortamsal tanımlarına dayalı ayrıntılı çalışmalar Helvacı ve Alaca (1984) ve (1991) yayınlarında verilmiştir. Genel olarak bu

çalışmalarda Bigadiç borat yataklarının, kurak veya yarı kurak iklim koşullarında, yerel volkanizma ile bağlantılı hidrotermal çözeltiler ve sıcak su kaynaklarıyla beslenen, volkanik bakımdan etkin sahalarda geliştiği; ayrıncı veya birbirleri ile bağlantılı olabilen playalarda oluştuğu belirtilmiştir.



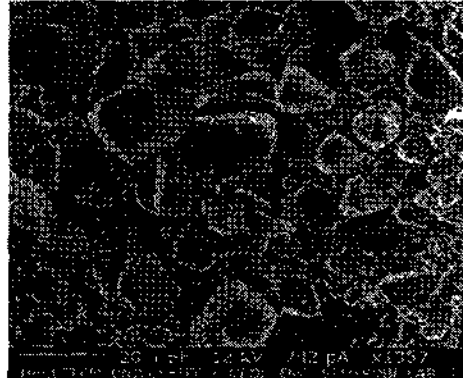
Şekil 3



Şekil 6



Şekil 4



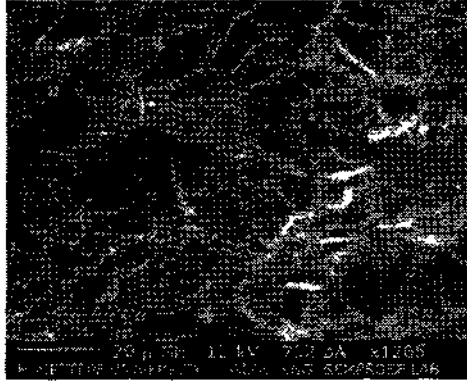
Şekil 7



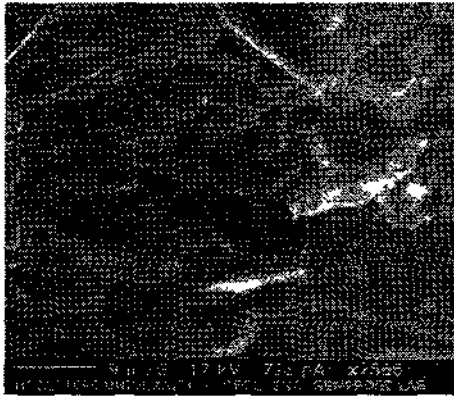
Şekil 5



Şekil 8



Şekil 9



Şekil 10

Karbonat fasiyesi içinde zayıf bor mineralleşmenin çok farklı evreler şeklinde gelişmişlerdir. Örneğin, borasitler çoğunlukla kireçtaşı ağırlıklı litolojilerde belirginleşmekte olup, örneklerde kil mineralleşmelerine rastlanmamaktadır. Karbonat ağırlıklı olan bu yüzeylerde borasit oluşumları ile birlikte Na, Zn ve Fe bakımından zenginleşmeler de dikkati çekmektedir. Na bakımından elementel zenginleşme çevredeki volkanik camların yıkanmasına bağlanabilir. Zn ve Fe ise hidrotermal eriyiklerle getirilmiş olmalıdır (şekil IIA ve şekil 12A). Şekil 11B ve 12B'de ise, bu görüntülerin EDS sonuçları verilmiştir.



Şekil 11A

El.	Line	Intensity (%)	Conc	
C	Ka	49.27	0.000	wt%
O	Ka	85.85	0.000	wt%
Na	Ka	1.24	2.980	wt%
Mg	Ka	2.40	2.630	wt%
Cl	Ka	28.63	5.726	wt%
Ca	Ka	430.03	85.430	wt%
Zn	La	3.26	12.912	wt%
100.000				wt%
				Total

Şekil 11B



Şekil 12A

El.	Line	Intensity (%)	Conc	
C	Ka	23.29	0.000	wt%
O	Ka	48.12	0.000	wt%
Na	Ka	1.18	1.462	wt%
Mg	Ka	13.26	2.632	wt%
Cl	Ka	3.97	0.536	wt%
Ca	Ka	666.31	81.973	wt%
96.399				wt%
				Total

Şekil 12B

E. Gibiers B. E. Varol

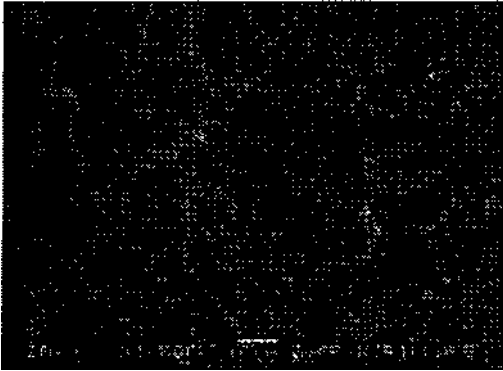
Borlu seviyelere eşlik eden CaCÜ3 oluşumları çoğu kez tabaka düzlemine dik bir oryantasyon gösterir. Bu pbzisyonlanıyla düşen göl seviyesi esnasında büyüyen kristaller olarak veya diajenetik ortamda tabaka ara düzeylerinde büyüdükleri anlaşılır (şekil 13A-B ve şekil 14A-B); Bu örneklerdeki kalsit kristallerinin Mg oranlarının %2-5 oranında olması; bunların Mg-Kalsit şeklinde kristallendiğini desteklemektedir. Bu kalsit çökelten ortamlarda Mg zenginleşmesi Q ile desteklendiğinde oluşum ortamında borasite doğru ani bir kayma meydana gelmektedir.



Şekil 13A

Elit	Line	Intensity	Conc	
		(a.u)		
C	Ka	14.73	0.000	wt%
O	Ka	46.91	0.000	wt%
Na	Ka	1.99	0.004	wt%
Mg	Ka	24.99	4.734	wt%
Cl	Ka	1.17	0.218	wt%
Ca	Ka	683.39	23.653	wt%
Fe	Ka	5.78	2.138	wt%
				Total

Şekil 13B



Şekil 14A

Elit	Line	Intensity	Conc	
		(a.u)		
C	Ka	13.61	0.000	wt%
O	Ka	37.84	0.000	wt%
Na	Ka	1.44	0.230	wt%
Mg	Ka	28.10	4.707	wt%
Cl	Ka	1.02	0.120	wt%
Ca	Ka	659.68	23.322	wt%
Fe	Ka	7.01	0.625	wt%
				Total

Şekil 14B

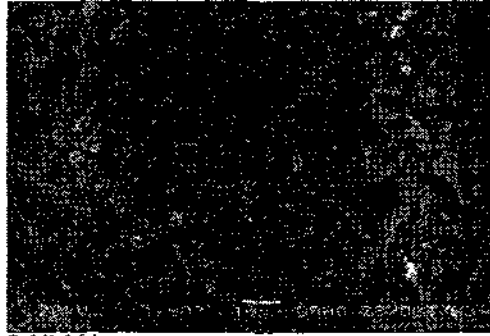
Borasit ile birlikte Fe oranının artması ortama hidrotermal eriyiklerin girmesiyle birlikte bor mineraleşmesinin aktif olarak başladığını desteklemektedir. Yine kalsit (karbonat) oluşum alanları içerisinde değişen ortamsal koşulların silis zenginleşmesine doğru yönelmesi kalsit kristalleri çevresinde çok zayıf havlit oluşumlarına neden olabilmektedir (şekil 15A-B ve şekil 16A-B).



Şekil 15A

Elit	Line	Intensity	Conc	
		(a.u)		
Si	Ka	0.08	0.000	wt%
O	Ka	7.20	0.000	wt%
Si	Ka	22.90	0.000	wt%
Mg	Ka	0.76	0.266	wt%
Mg	Ka	11.19	2.718	wt%
Al	Ka	1.41	0.233	wt%
Si	Ka	27.39	0.000	wt%
K	Ka	1.92	0.213	wt%
Ca	Ka	234.54	21.457	wt%
				Total

Şekil 15B



Şekil 16A

El.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
C	Ka	8.86	0.000	wt%
O	Ka	26.53	0.000	wt%
Na	Ka	1.09	0.254	wt%
Mg	Ka	20.58	3.331	wt%
Al	Ka	1.35	0.192	wt%
Si	Ka	48.77	6.052	wt%
K	Ka	4.73	0.569	wt%
Ca	Ka	673.75	39.641	wt%
				100.000
				Total

Şekil 16B

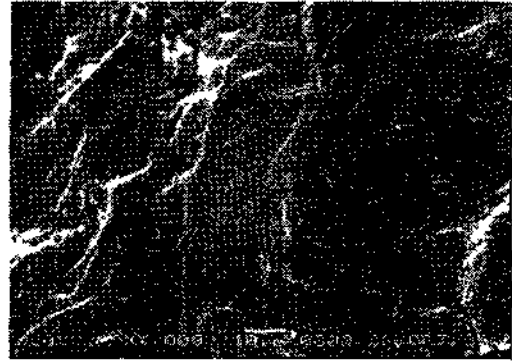
Bu ortamlarda bor mineralleşmeleri yanında silyum oranının aşırı yükselmesi ile birlikte karbonat oluşumları yerini killere bırakmaktadır. Bu killere Al oranı düşük, Na ve Mg oranı yüksek hektont olarak açığa çıkmaktadır. Bu; büyük olasılıkla çevredeki volkanik camların yıkanması ile yakın ilişkili olarak şekillenmektedir (şekil 17A-B, 18A-B, 19A-B ve 20A-B).



Şekil 17A

El.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
B	Ka	0.00	0.000	wt%
Si	Ka	4.18	0.000	wt%
O	Ka	82.65	0.000	wt%
Na	Ka	5.07	1.186	wt%
Mg	Ka	127.52	21.010	wt%
Al	Ka	4.90	0.822	wt%
Si	Ka	285.88	30.590	wt%
K	Ka	2.27	0.478	wt%
Ca	Ka	118.62	25.914	wt%
				100.000
				Total

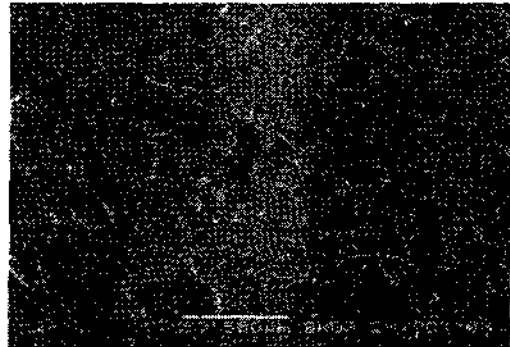
Şekil 17B



Şekil 18A

El.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
B	Ka	0.34	0.000	wt%
O	Ka	7.75	0.000	wt%
O	Ka	84.53	0.000	wt%
Na	Ka	3.78	1.182	wt%
Mg	Ka	21.84	7.228	wt%
Al	Ka	2.27	0.571	wt%
Si	Ka	68.14	12.436	wt%
K	Ka	2.67	0.453	wt%
Ca	Ka	436.37	77.950	wt%
				100.000
				Total

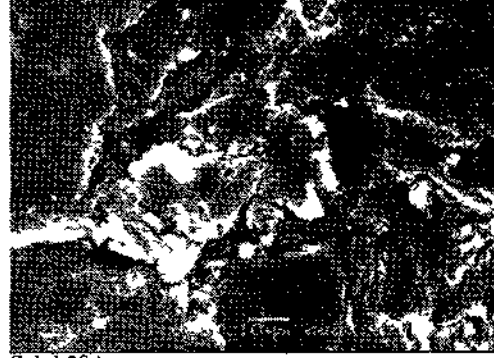
Şekil 18B



Şekil 19A

Elr.	Line	Intensity (cts)	Conc		
P	Ka	0.00	0.000	wt%	
C	Ka	3.64	0.000	wt%	
O	Ka	64.97	0.000	wt%	
Ne	Ka	5.78	1.663	wt%	
Mg	Ka	60.67	23.140	wt%	
Al	Ka	2.79	0.622	wt%	
Si	Ka	140.14	28.240	wt%	
K	Ka	1.66	0.346	wt%	
Ca	Ka	252.46	35.991	wt%	
				100.000	wt%
					Total

Şekil 19B

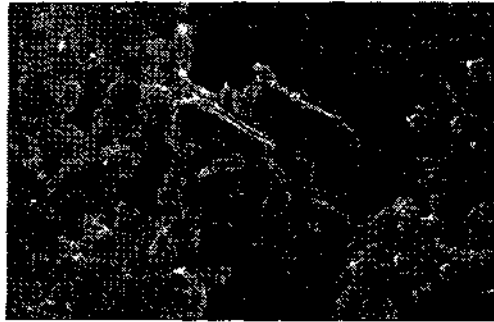


Şekil 20A

Elr.	Line	Intensity (cts)	Conc		
B	Ka	0.00	0.000	wt%	
C	Ka	11.11	0.000	wt%	
O	Ka	77.87	0.000	wt%	
Ne	Ka	5.87	1.382	wt%	
Mg	Ka	65.18	11.884	wt%	
Al	Ka	6.92	1.262	wt%	
Si	Ka	167.98	28.396	wt%	
K	Ka	2.83	0.407	wt%	
Ca	Ka	304.83	56.670	wt%	
				100.000	wt%
					Total

Şekil 20B

Ortamdaki Si, Mg ve Na oranının göreceli olarak azalması ile birlikte kalsit kristallenmeleri yeniden egemen hale geçmektedir (şekil 21A-B)

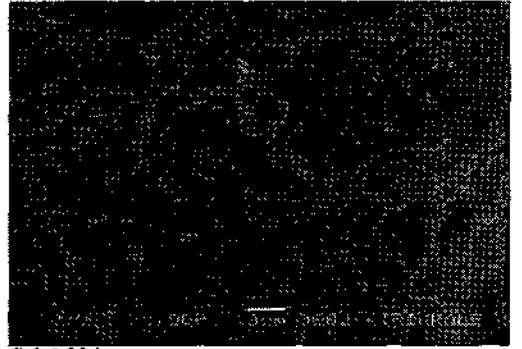


Şekil 21A

Elr.	Line	Intensity (cts)	Conc		
C	Ka	18.62	0.000	wt%	
O	Ka	58.38	0.000	wt%	
Ne	Ka	9.49	0.099	wt%	
Mg	Ka	18.45	2.600	wt%	
Al	Ka	6.81	0.898	wt%	
Si	Ka	22.39	2.350	wt%	
K	Ka	3.93	0.242	wt%	
Ca	Ka	905.48	88.311	wt%	
				100.000	wt%
					Total

Şekil 21B

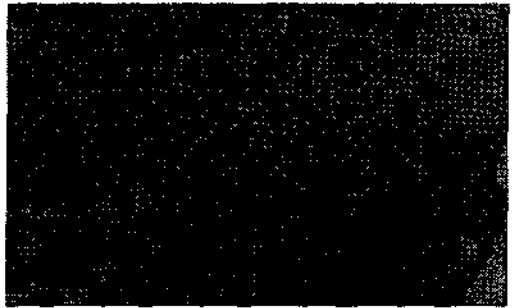
Bu ortamlarda Cl oranının azalması ile birlikte hidroborastler açığa çıkmaktadır (şekil 22A-B, 23A-B ve 24A-B)



Şekil 22A

Elr.	Line	Intensity (cts)	Conc		
C	Ka	14.59	0.000	wt%	
O	Ka	77.05	0.000	wt%	
Ne	Ka	8.89	1.906	wt%	
Mg	Ka	46.08	9.266	wt%	
Cl	Ka	1.35	0.291	wt%	
Ca	Ka	86.04	18.238	wt%	
Fe	Ka	16.82	3.112	wt%	
				34.273	wt%
					Total

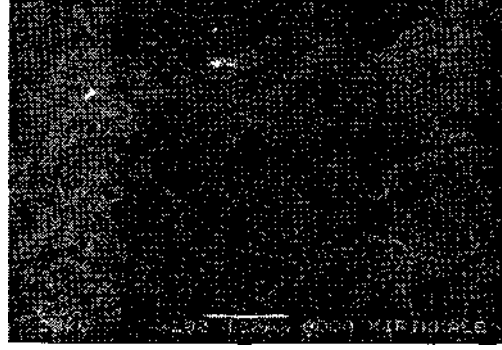
Şekil 22B



Şekil 23A

El	Line	Intensity (cts)	Conc	
C	K α	14.09	0.000	wt%
O	K α	95.69	0.000	wt%
Na	K α	1.86	0.390	wt%
Mg	K α	52.52	3.028	wt%
Cl	K α	0.63	0.069	wt%
Ca	K α	342.81	55.230	wt%
Fe	K α	3.75	1.407	wt%
			261.94	wt%
Total				

Şekil 23B



Şekil 24A

El	Line	Intensity (cts)	Conc	
C	K α	14.99	0.000	wt%
O	K α	91.20	0.000	wt%
Na	K α	0.84	0.184	wt%
Mg	K α	57.69	9.343	wt%
Cl	K α	1.03	0.190	wt%
Ca	K α	242.52	46.413	wt%
Fe	K α	2.78	1.096	wt%
			272.6	wt%
Total				

Şekil 24B

5.2. 2. EDS ANALİZLERİ

Yukarıda verilen görüntü analizlerinin gerçekleştirildiği alanlarda yapılan yan kantitatif kimyasal analizlere göre; 3 mineralleşme fazı belirlenmiş olup; bunlar şu şekilde açığa çıkmaktadır:

(1) 1. faz; Si ve Mg oranının fazla, Al, K ve Na oranlarının ise çok az olarak bulunduğu fazdır. Burada Ca miktarındaki keskin ve ani artışlar borat mineralleşmesinin kil matriksi içinde geliştiğini göstermektedir. Bu durum aynı zamanda X ışınları difraktometresi analizi ile de desteklenmiştir. Bu fazın genel kimyasal bileşimi şöyledir: Si: 52-67 %, Mg: 21-27 %, Ca: 24-26 %, Na: 1-2 %, Al: 0-1 %,

K: 0,9 %. Bu sonuçlara göre; yüksek orandaki Si ve Mg ve çok önemsiz miktardaki Al'in değerleri esas kil mineralinin hektorit olduğunu göstermektedir.

(2) 2. faz; çok kompleks bir element yayılımı göstermektedir. Bu yüzden tanımlama yapmak oldukça güçtür. Si azalmakta ve Ca ise % 50'nin altında bir değerdedir. Bununla birlikte Cl ve Fe miktarları ise belirgin bir şekilde yükselmektedir. Bu fazın genel kimyasal bileşimi şu şekildedir: Ca: %45, Cl: %13, Mg: %10, Na: %8, Fe: %4. Bu sonuçlara göre tanımlanan borat minerali borasitir ($Mg_3B_7O_{13}Cl$).

(3) 3. faz; Ca miktarının artışı ile borat mineralleşmesinde tipik bir fazdır. Mg, Cl ve Zn ikincil elementler olarak bulunmaktadır. Borat mineralleri ise kolemanit, borasit ve hidroborasit olarak tanımlanmıştır. Bu fazın genel kimyasal bileşimi şu şekildedir: Ca: %86-95, Mg: %3-9, Cl: %0-6, Na: %1-2, Fe: %1-2 ve Zn: %3. Bu sonuçlara göre hektorit borat içeren kil seviyeleri içinde baskın gelmektedir.

6. SONUÇLAR

Görsel ortamdaki kil mineralleşmesi Mg'ca zengin tuzlu su ortamlarında meydana gelmektedir. Bu ortamda Mg ve Si; yüksek pH koşullarında çökelmiştir. Borat mineralizasyonu esnasında hidrotermal sulan evapontik göle ve/veya diajenetik ortama girmeye başlamasıyla yoğunluk kazanmaktadır. Na, Cl ve Ca zenginliği ile açığa çıkan farklı mineral parajenezleri de bu hidrotermal kaynağı desteklemektedir. Diğer taraftan; elektron mikroskop görüntüleri, borat minerallerinin doğrudan kristallerime yanında kil matriksi içerisinde ornacı, kovucu ve boşluk doldurucu olarak da kristallenmiş olduğunu göstermektedir.

İncelenen borlu istif içerisinde en belirgin kil minerali olarak açığa çıkan hektoritin oluşumu için gerekli olan Si; göl drenaj alanı içerisinde yoğun miktarda bulunan volkaniklerden temin edilmiş olmalıdır. Mg'un kaynağı ise, doğrudan evaporitik göl suyundan veya hidrotermal eriyiklerden sağlanmış olmalıdır.

E. Günen, B. E. Varol

KATKI BELİRTME

Yazarlar, saha çalışmalarına olanak sağlayan Etibank ve Etibor Genel Müdürlüğü'ne ve Bigadiç Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürü borç bilirlir.

KAYNAKLAR

- Günen, E. ve Varol, B., 2004. Bigadiç Neojen havzasında sedimantasyonla yaşıt tektonik yapılar, Evaporitler ve Tuzlar Semineri, 317-328.
- Helvacı, C. 1983. Türkiye Borat yataklarının mineralojisi, *Jeo. Müh. Der.* 17, 37-54.
- Helvacı, C. ve Alaca, O. 1984. Bigadiç borat yataklarının jeolojisi ve mineralojisi. *Tür. Jeo. Kur.* 38,110-111.
- Helvacı, C. ve Alaca, O. 1991. Bigadiç borat yatakları ve çevresinin jeolojisi ve mineralojisi. *MTA Dergisi* 113, 61-92.
- Helvacı, C., Stamatakis, M. G., Zagouroglou, C. and Kanaris, J., 1993. Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean Late Miocene continental basins, *Explor. Mining Geology* 2,171-178.
- Ketin, İ. 1977. Türkiye'nin başlıca orojenik olayları ve paleocografik evrimi: *MTA Dergisi*, 88,1-4.