



Ayvacık (Çanakkale) bentonit yataklarındaki baydellit oluşumu

Occurrence of beidellite in Ayvacık (Çanakkale) bentonite deposits

Fazlı Çoban İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Bölümü, Maslak, 80626 İstanbul.

Öz

Baydellit, oktahedral katmanında esas olarak alüminyum içeren bir dioktaedral smektit mineralidir. Miyosen yaşlı volkanik kayalar içinde bulunan Ayvacık (Çanakkale) bentonit yataklarında baydellit oluşumu saptanmıştır. Bölgedeki volkanik kayalar başlıca bol kırıklı andezit, trakiandezit ve çok gözenekli türlerden meydana gelir. Çalışma bölgesinde; hidrotermal sıvılar kırık sistemleri boyunca yükselerek volkanik kayaları bentonitleştirmiştir. Baydellit minerali, bentonitleşme arasında özellikle andezitik kayalardaki plajyoklasların ve camlı türlerin alterasyon ürünü olarak meydana gelmiştir. X-ışınları incelemelerinde baydellitin düzensiz yapılı olduğu, montmorillonit ile birlikte bulunduğu ve kil boyutu diğer mineraller olarak illit, kaolinit, halloysit ve kristobalit varlığı tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Ayvacık bentoniti, baydellit, hidrotermal alterasyon.

Abstract

Beidellite is a dioctahedral smectite mineral, which contains principally (Al) ions in octahedral site. Beidellite mineral was found in the Ayvacık bentonite deposits, which were formed within Miocene volcanic rocks. In the Ayvacık region; volcanic rocks are composed of mainly highly fractured andesite, trachyandesite and highly porous tuffs. In the study area, hydrothermal solutions ascended through the fracture systems and altered volcanic rocks to bentonite. During bentonitization, beidellite mineral was occurred as an alteration product of plagioclase in andesitic rocks and vitric tuffs. X-ray diffraction data indicate an unusually ordered layer stacking arrangement of beidellite. Minor amount of illite, halloysite, kaolinite and cristobalite were determined during X-ray diffraction analysis of clay size.

Key words: Ayvacık bentonite, beidellite, hydrothermal alteration.

GİRİŞ

Dioktaedral smektit grubuna ait bir kil minerali olan baydellit ilk kez 1925 yılında Larsen ve Wherry tarafından Beidell (Colorado) bölgesinde tanımlanmıştır (Weir ve Greene-Kelly, 1962). Daha sonra, Nagelschmidt (1938), Grim ve Rowlands (1942), Greene-Kelly (1957), Weir ve Greene-Kelly (1962) tarafından baydellitin değişik özellikleri (optik, DTA, XRD, SEM vb.) incelenmiş ve oluşumu üzerinde çalışılmıştır. Bentonit yatakları içindeki baydellit oluşumu ile ilgili araştırmalar ise, Anderson ve Reynolds (1966), Nadeau ve diğ. (1985), Post (1995) ve Post ve diğ. (1997) gibi araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Batı Anadolu'da Ayvacık (Çanakkale) ilçesi güney-

doğusunda Ahmetçe, Hüseyinfakı ve Kayalar köyleri çevresinde Miyosen yaşlı volkanik kayalar ile ilişkili bentonit yatakları bulunmaktadır. Bölgedeki bentonit yataklarının jeolojisi, mineralojisi ve oluşumuna yönelik ayrıntılı çalışmalar Ece ve Çoban (1993) ve Çoban (1997a, b) tarafından gerçekleştirilmiştir.

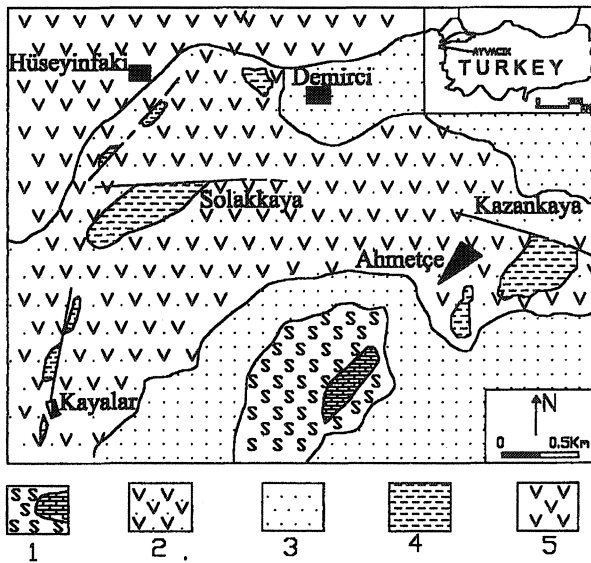
Bu çalışmada; ilgili bentonit yataklarında saptanan baydellit mineralinin özellikleri incelenmiş ve oluşumu ortaya konmaya çalışılmıştır.

JEOLOJİ-PETROGRAFI

Bentonit yataklarının bulunduğu Ayvacık (Çanakkale) güneydoğusunda; karbonat bloklu spilit, kumtaşı ve piroklastiklerden meydana gelen Alt Triyas yaşlı birim

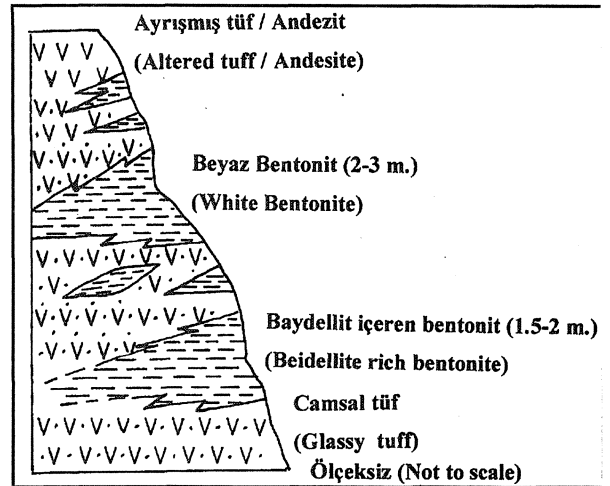
bölgedeki en yaşlı birimdir. Alt Triyas üzerine uyumsuz olarak gelen Miyosen yaşlı litolojik topluluk, eşyaşı görsel çökeller (kumtaşı, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı) ve bentonit oluşumları kapsayan volkanitlerden meydana gelmiştir. Volkanitler alt kesimlerde andezit, trakiandezit, aglomera ve tüfler; üst kesimlerde ise bazaltik andezit ve bazaltlar ile temsil edilmiştir (Şekil 1). Miyosen yaşlı volkanik istifin orta seviyelerinde bulunan ve değişik kalınlıklar (5-20 m) gösteren bentonit oluşumları; yapısal olarak yaklaşık doğu-batı ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu faylar ile ilişkili olarak düzensiz mercekler ve cepler şeklinde yataklanmış olup, faylar boyunca yükselen hidrotermal sıvıların andezitik kay açları ve camı tüfleri yerinde ayrıştırması ile meydana gelmiştir. Baydellit içeren Kayalar köyü yöresi bentonit oluşumuna ait kesit Şekil 2'de verilmiştir.

Yapılan optik mikroskop incelemelerinde bentonitleşme ile ilişkili volkanik kayaların büyük çoğunluğunun mikrolitik porfirik dokulu andezit, trakiandezit ve



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Bingöl ve diğ., 1973 ve Çoban, 1997'a'dan sadeleştirilerek alınmıştır). 1: Alt Triyas (spilit, kumtaşı, piroklastikler), 2: Orta Miyosen (andezit, trakiandezit, tüf, aglomera), 3: orta Miyosen (kumtaşı, kiltası, silttaşı, kireçtaşı), 4: Bentonit, 5: Orta-Üst Miyosen (bazaltik andezit, bazalt).

Figure 1, Geological map of the studied area (Simplified from Bingöl et al., 1973 and Çoban, 1997a). 1: Lower Triassic (spilit, sandstone, pyroclastics), 2: Middle Miocene (andesite, trachyandesite, tuff, agglomerate), 3: Middle Miocene (sandstone, clastone, siltstone, limestone), 4: Bentonite, 5: Middle-Upper Miocene (basaltic andesite, basalt).



Şekil 2. Kayalar köyü yöresi bentonit oluşumunu gösteren dikme kesit.

Figure 2. Columnar section to illustrate the bentonite occurrence near Kayalar village.

camı tüf bileşimli oldukları, bentonitleşmenin yoğun olarak izlendiği kesimlerde andezitik kayalardaki plajiyoklasların tümüyle ayrışarak killeştiği, benzer biçimde camı tüflerde de camsal malzemenin büyük oranda killeştiği bazen de kuvars ve feldspat bileşimli sferolitlere dönüştüğü saptanmıştır (Çoban, 1997 a). Diğer taraftan özellikle baydellit saptanan Hüseyinfaki ve Kayalar köyü yöresindeki bentonit oluşumlarından derlenen bentonit örneklerinin mikroskop incelemesinde plajiyoklas, biyotit ve nadiren kalsit mineralleri saptanmış, plajiyoklasların aşın derecede kırık ve ayrışmış oldukları, çok küçük biyotit kristallerinin de büyük oranda ayrışarak demir açığa çıkardıkları saptanmıştır.

ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Bentonitlerden derlenen baydellit içeren örnekler; X ışınları toz difraksiyonu (XRD), infrared (ER) spektrometre ve diferansiyel termik analiz (DTA) yöntemleri ile incelenerek inceleme konusu baydellit mineralinin özellikleri ortaya konmaya çalışılmış, uygun örneklerden de kimyasal analiz yapılarak baydellit mineralinin kimyasal bileşimi hesaplanmıştır.

XRD incelemesi yapılacak örnekler önce mekanik yolla öğütülmüş, daha sonra deiyonize su ile yıkanmış ve sedimentasyon yolu ile boyutlandırılarak Stokes yasası uyarınca ayrılan kil boyutu (<2µm) taneler santrifüjlenerek elde edilmiştir (Jackson, 1958). Elde edilen bu kil fraksyonuna malzemeden XRD kayıtları almak üzere

AYVACIK (ÇANAKKALE) BENTONİT YATAKLARINDAKİ BAYDELLİT OLUŞUMU

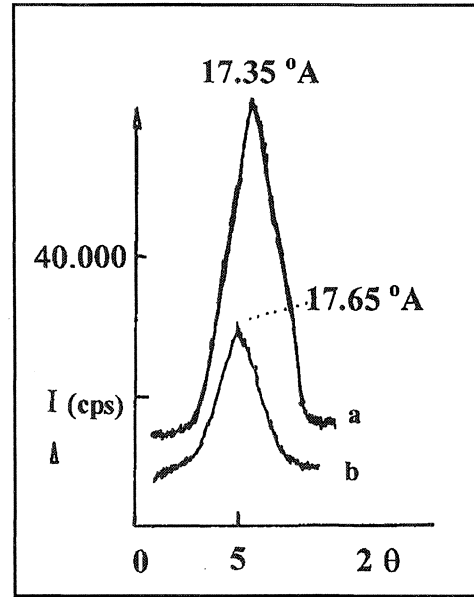
yönlenmiş örnekler hazırlanmıştır. Baydellit mineralinin kesin tespiti için hazırlanan bu malzemeden iki ayrı XRD kaydı alınmıştır. Örnekler ilk olarak 60°C'de 12 saat süreyle etilen glikol ile muamele edilmiş ve sonra ilk XRD çekimi yapılmıştır. İkinci işlem olarak örnekler Greene Kelly (1953) yöntemine göre (incelenecek örnek LiCl ve %80'lik ethanol ile karıştırılarak 3000°C'de 12 saat bekletilme) hazırlanmış ve 12 saat süreyle (90°C'de) gliserol ile muamele edilerek ikinci XRD kaydı alınmıştır. XRD kayıtlarının tümü, bilgisayarlı otomatik Rigaku Dmax-2200 kayıt cihazı ile Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında elde edilmiştir. DTA incelemesi; ısıtma hızı 10°C/dakika, kağıt hızı: 10mm/dakika şartlarında Netzsch STA Model 429 cihazı ile; İR incelemesi ise KBr tekniği kullanılarak Perkin-Elmer 983 cihazı ile, İTÜ Fen Edebiyat Fakültesi kimya laboratuvarlarında yapılmıştır. XRD, DTA ve İR incelemeleri sonucunda baydellit varlığı saptanan örneklerin kil boyutu kimyasal analizleri ise "Acme Analytical Laboratories Ltd. (Canada)" laboratuvarlarında yapılmıştır. Baydellit'in elektron mikroskop fotoğrafı Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları Araştırma Merkezindeki JEM-T330 tip elektron mikroskobu ile elde edilmiştir.

X IŞINLARI İNCELEMELERİ

İnceleme konusu bentonitlerin kil boyutu bileşiminin esas minerali dioktaedral smektit (montmorillonit-baydellit)'tir. Bu bileşenlerin yanında değişik oranlarda kristobalit, kuvars, opal-CT, halloysit, kaolinit ve illit bulunabilmektedir. (Çoban, 1997a). Bu mineralojik bileşime, nadiren klorit eşlik edebilmektedir. Montmorillonit-baydellit saptanan Ayvacık bentonitine ait örneklerde, baydellit mineralinin montmorillonitten ayrılması için ayrıntılı XRD incelemesi yapılmıştır.

Baydellit ile montmorillonit mineralleri arasındaki ayırım, x-ışınları (XRD) çalışmaları ile yapılabilmektedir (Greene Kelly, 1953; Weir ve Greene Kelly, 1962; Lim ve Jackson, 1986). Etilen glikol ile işlem görmüş baydellit için d(001) mesafesi 16.8°A (Weir ve Greene-Kelly, 1962), 17°A (Weir ve Greene-Kelly, 1962), 17.7°A (Brindley ve Brown, 1984), 17.8°A (Malla ve Douglas, 1987) ve 17.85°A (Post ve diğ., 1997) olarak verilmektedir. Montmorillonit için d(001) aralığı ise, etilen glikollü olarak 17°A (Yamada ve diğ., 1991) ve Greene-Kelly yöntemi ile hazırlanarak gliserol ile işlem görmüş halde 9.6°A (Yamada ve diğ., 1991), 9.5°A (Malla ve Douglas, 1987) şeklindedir.

Montmorillonit-baydellit saptanan Ayvacık bentonitinde, Kayalar köyü yöresindeki oluşumdan derlenen bir örnek üzerinde baydellit mineralinin özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla ayrıntılı XRD incelemesi yapılmıştır. Buna göre incelenen örneğin etilen glikolu XRD kayıtlarında d(001) mesafesi 17.35°A, Greene Kelly yöntemi uygulanmış ve gliserol ile işlem görmüş durumda ise d(001) mesafesi 17.65°A değerine ulaşmaktadır (Şekil 3). Ayvacık baydellitine ait XRD sonuçları, Black Jack Mine (Weir ve Greene-Kelly, 1962) ve De Lamar



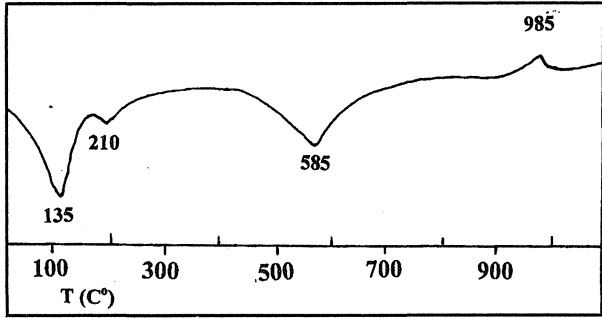
Şekil 3. Ayvacık baydellit örneğine ait X-ışın difraktogramı. a) Etilen glikollü çekim, b) Greene-Kelly yöntemi ile hazırlanmış ve gliserol ile işlem görmüş çekim.

Figure 3. X-ray diffractograms from Ayvacık beidellite. A) Ethylene glycolated, b) Greene-Kelly and glycerol treated.

Mine (Post ve diğ., 1997) baydellitine ait XRD verileri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'den de görüleceği gibi Ayvacık baydelliti diğer örnekler ile büyük benzerlikler göstermektedir. Diğer taraftan yapılan XRD incelemeleri (Çoban, 1997a, b) baydellitinin saf olmadığını, montmorillonit (%3) ile birlikte bulunduğunu göstermektedir.

DTA İNCELEMELERİ

İnceleme konusu baydellitinin termal karakteristiklerinin ortaya konabilmesi amacıyla Kayalar köyü yöresi bentonit oluşumuna ait örnekler üzerinde DTA incelemesi yapılmıştır (Şekil 4). Baydellit minerali ile ilgili



Şekil 4. Ayvacık baydelliti DTA eğrisi.

Figure 4. DTA curve of Ayvacık beidellite.

DTA incelemelerinde düşük sıcaklıklarda (140°C ve 210°C) iki endotermik pik görülür. Bu iki endotermik pik baydellite ait tabakalararası suyun çıkışını (dehidrasyon) ifade eder (Weir ve Greene-Kelly, 1962) ve bu aralıktaki piklerin yerleri aynı zamanda tabakalararası değişebilir katyonların cins ve miktarına bağlı olarak değişik yerlerde oluşmaktadır. (Mac Kenzie, 1950; Greene-Kelly, 1957; Post, 1995). Buna göre değişebilir katyon Na ise 136°C, K ise 148-150°C civarında, Ca ise 161°C'de ve Mg ise 172-174°C arasındadır (Post ve diğ., 1977). Bu özellik, dehidroksilasyon pikleri 600-700°C aralığında oluşan montmorillonitin baydellitten ayırmını sağlar. Baydellitteki yeni faz oluşumunu veren ekzotermik pikler ise 970°C (Weir ve Greene Kelly, 1962) ve 100-1040°C civarındadır (Post ve diğ., 1997). İnceleme konusu Ayvacık baydellit örneğine ait tabakalararası suyun çıkışını (dehidrasyonu) ifade eden endotermik pikler 135 ve 210°C leredir. 135°C'deki endotermik pik yukarıda değinildiği gibi tabakalararası değişebilir katyonun K olabileceğini göstermektedir. Bu özellik kimyasal analizler ile de çakışmaktadır. 210°C'deki derin olmayan ikinci endotermik pik ise tabakalararası suyun çıkışının ikinci aşamasını yansıtmak-

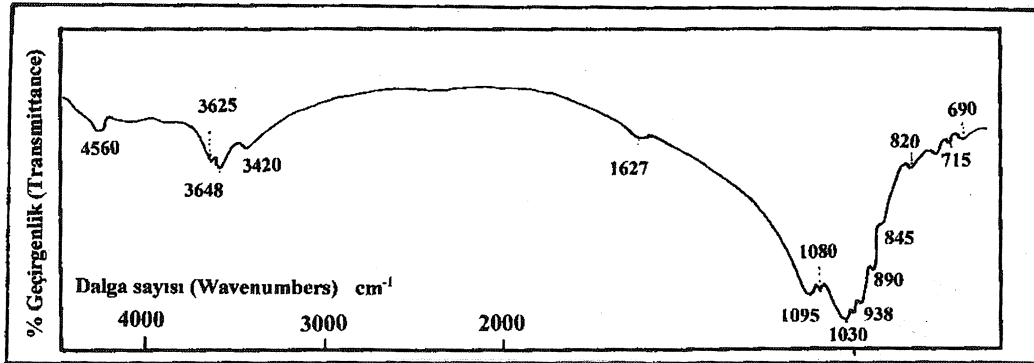
tadır. 585°C'deki derin olmayan üçüncü endotermik pik ise Ayvacık baydellitine ait kristal yapı suyunun çıkışını (dehidroksilasyon) belirtir. İncelenen örnekteki yeni mineral faz oluşumun yansıtan ekzotermik reaksiyon ise 985°C'de meydana gelmektedir.

Yapılan DTA incelemeleri sonucunda Ayvacık baydellit örneğinin termal özelliklerinin tipik baydellit özellikleri gösterdiği ve diğer bazı baydellit örnekleri ile (Weir ve Greene Kelly, 1962; Post ve diğ., 1997) benzer olduğu saptanmıştır.

İNFRARED (İR) SPEKTROMETRE ANALİZİ

Baydellit minerali için yapılan İR incelemelerinde temel hidroksil (OH) bağının gerilme titreşimini ifade eden absorpsiyon bantları 3660 cm^{-1} (Farmer, 1974), 3650 cm^{-1} (Post ve Noble, 1993) ve 3625 cm^{-1} (Vander Marel ve Beutelspacher, 1976) olarak verilmektedir. Benzer olarak (Al-OH) bükülme titreşimini ifade eden ilk absorpsiyon bandı 4548 cm^{-1} ve 4585 cm^{-1} , ikincisi ise 940 cm^{-1} , civarında ortaya çıkar. Mineralin % Al_2O_3 miktan ile ilişkili olan bu ilk Al-OH absorpsiyon bant değerleri aynı zamanda baydellit ile montmorillonit arasındaki ayırmı da belirleyen bir özelliktir (Post ve Noble, 1993). Buna göre mineralin % Al_2O_3 oranı arttıkça Al-OH absorpsiyon bant değeri de artış gösterir ve 4550 değerinden daha yüksek değerdeki (4560 cm^{-1} , 4585 cm^{-1} , vb.) absorpsiyon bantları baydellit için, daha düşük değerli (4540 cm^{-1} , 4475 cm^{-1} , vb) absorpsiyon bantları ise montmorillonit için tipiktir. Diğer taraftan 818 cm^{-1} ve 770 cm^{-1} absorpsiyon bantları da baydellit mineraline ait (Si-O-Al) arasındaki karakteristik bükülme titreşimi olarak değerlendirilmektedir (Farmer ve Russel, 1967; Nadeau ve diğ., 1985).

Şekil 5'te görüldüğü gibi Ayvacık baydellit örneğine ait infrared (İR) grafiğinde sırasıyla 4560, 3648, 3625,



Şekil 5. Ayvacık baydelliti İR grafiği.

Figure 5. Infrared scan of beidellite from Ayvacık.

AYVACIK. (ÇANAKKALE) BENTONİT YATAKLARINDAKİ BAYDELLİT OLUŞUMU

Çizelge 1.. Black Jack Mine (Weir ve Greene Kelly, 1962). De Lamar Mine (Post ve diğ., 1997) ve Ayvacık. Baydelliiti XRD verileri.,
Takk 1.. XRD results of Black Jack Mine (Weir and Greene-Kelly, 1962). De Lamar Mine (Post et al., 1997) and Ayvacık BeideMine.

(hkl)	d(A°)		
	Black Jack Mine	De Lamar Mine	Ayvacık
(110)	4.42	4.471	4.41
(022)	3.95	4.055	3.98
(023)	3.54	3.524	3.53
(200)	2.57	2.565	2.56
(202)	2.52	2.508	2.50 (geniş)
(203)	2.36	2.348	2.35 (geniş)
(040)	2.24	2.234	2.24
(041)	2.19	-----	2.20
(240)	1.693	1.696	1.69
(243)	1.623	1.652	1.635
(060)	1.498	1.491	1.500
(001)(Normal Çekim)	15.1	15.10	15.05
(001)(Etilen Glikollü)	16.8	17.00	17.35
(001)(Grene Kelly +Gliserollü)	17.6	17.85	17.65

3420,1627,1095, 1080, 1030, 990, 938,, 890, 845, 820, 770,715 ve 690 cm^{-1} absorbsiyon bandan saptanmıştır. Buna göre ilgili grafikteki 3648 cm^{-1} ve 3625 cm^{-1} absorbsiyon bantları, Ayvacık baydeOitine ait temel hidroksil (OH) bağının gerilme titreşimini, 4560 cm^{-1} ve 938 cm^{-1} bandan (Al-OH)'a ait temel bükülme titreşimlerini ifade etmektedir. Benzer biçimde 3420 cm^{-1} ve 1.627 cm^{-1} bandan ise absorbsiyon suyuna (H_2O) ilişkin. H-O-H bağı bükülme titreşimine aittir. Aynı şekilde 820 cm^{-1} ve 770 cm^{-1} absorbsiyon bandı da Ayvacık baydellitine ait Si-O-Al arasındaki bükülme titreşimlerini tanımlamaktadır. Diğer taraftan 840 cm^{-1} , bölgesindeki absorbsiyon bandı dioktaedral smektitlerdeki AlMgOH'e ait (Madejova ve diğ., 1992; Cuadros ve diğ., 1994) ve 845 cm^{-1} bandı da montmorillonit mineralini karakterize eden (Nadeau ve diğ., 1985) absorbsiyon bandı olarak değerlendirilmektedir.

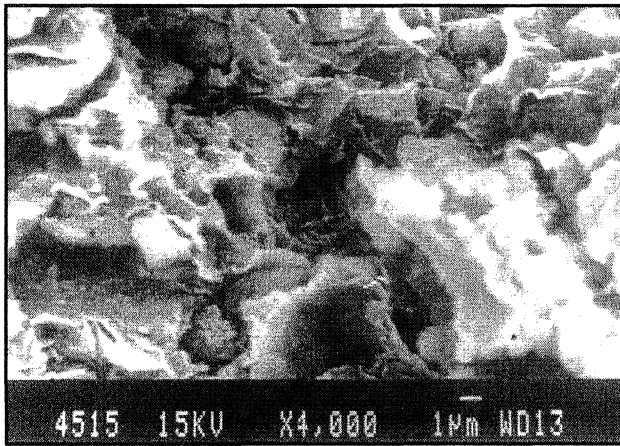
Ayvacık baydelliiti için. elde edilen. İR sonuçları, tipik baydellit İR verileri ile uyumludur. İncelenen örnekte montmorillonit¹ e 845 cm^{-1} absorbsiyon bandının bulunması ise Ayvacık, baydellitinin saf olmaması, diğer bir ifade ile eser¹ miktarda montmorillonitin bulunması ile ilişkili, olmalıdır;

TARAMALI ELEKTROMİKROSKOP İNCELEMESİ

Ayvacık bentoniti içindeki baydellit mineralinin morfolojik özelliklerinin belirlenebilmesi için Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) incelemesi yapılmıştır.

2:1 tipi killerden olan dioktedral smektitlerde (montmorillonit, baydellit, nontronit), kıvrımlı-dalgalı yapılı morfoloji tipiktir (Güven ve Pease 1975; Anderson ve Reynolds, 1966) ve baydellit ile montmorillonit mineralleri morfolojik yönden birbirleri ile büyük benzerlikler gösterir (Heneing ve Störr 1986). İnce şeritler, pillar, ince tabakalar (Weir ve Greene-Kelly, 1962), ksenomorfik levhalar (Henning ve Störr, 1986) şeklindeki morfoloji, baydellit mineralinin karakteristik morfolojik yapısını oluşturur. Benzer biçimde, üst üste yığılmış ve bükülmüş ince tabakaların biraraya gelmesinden oluşan gül (rosette) şekilli morfolojik yapı da baydellit için tipiktir¹ (Nadeau ve diğ, 1985). Taramalı elektron mikroskop -incelemelerinden baydellit ile montmorillonit arasındaki belirgin fark, baydellit mineraline ait bükülmüş-kıvrılmış ince levhaların montmorillonit'e göre daha kısa hatlar ile sınırlandırılmış olması ve baydellit'in genellikle daha ince agregalar halinde bulunması şeklinde verilmektedir (Henning ve Störr, 1986). Ayvacık baydelli-

tine ait SEM incelemelerinde; dioktaedral smektitlere ait karakteristik dalgalı şekilli yapraksal morfolojinin varolduğu belirlenmiştir. Ortalama 1-10 mikron büyüklüğünde olan ince yapraklar oldukça kısa sınırlı olup, bükülmüş-kıvrılmış olarak izlenir (Şekil 6). Kenarları düzgün olmayan yapraklar oldukça kısa sınırlı olup, bükülmüş-kıvrılmış olarak izlenir (Şekil 6). Kenarları düzgün olmayan yapraklar yer yer de gül şekilli (rosette-shaped) morfoloji meydana getirmiştir. Diğer taraftan, yapılan



Şekil 6. Ayvacık baydellit SEM fotoğrafı.

Figure 6. Scanning Electron Microscope photograph of Ayvacık beidellite.

incelemelerde baydellit ile birlikte gözlenen montmorillonit'in özellikle volkanik camdan itibaren oluştuğu ve SEM incelemelerinde baydellit'e göre daha uzun hatlar ile sınırlandırılmış olduğu saptanmıştır (Çoban, 1997a).

KİMYASAL ANALİZLER

XRD, DTA ve İR incelemeleri sonucunda baydellit olduğu belirlenen ve Kayalar köyü yöresindeki bentonit oluşumundan alman ve XRD incelemelerine göre baydellit olduğu saptanan bir adet örneğin tüm kayaç ana ve eser element ile kil boyutu ana element kimyasal analizi yapılmış ve baydellit için 11 oksijen bazına göre (Weaver ve Pollard, 1973) yapısal formül hesaplanmıştır. Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir.

Literatürde baydellit minerali için değişik kimyasal analiz sonuçları verilmektedir (Heystek, 1963; Weir, 1965; Nadeau ve diğ., 1985; Post ve Noble, 1993; Post ve diğ., 1997). Tüm baydellit kil boyutu analizlerinde Al_2O_3 yüzde oranı yüksek (%24,76; %28,60; %30,60; %31,73; %36,11 vb.), buna karşın sodyum, potasyum,

Çizelge 2. Ayvacık baydellit tüm kayaç (%) ve eser element (ppm) kimyasal analizi.

Table 2. Whole rock (%) and trace element (ppm) chemical analysis of Ayvacık beidellite.

Tüm Kayaç (Whole Rock)(%)		Eser Element (Trace Element)(ppm)			
SiO ₂	56.21	Ni	3500	Cs	<1
TiO ₂	0.17	Cr	3100	Ta	<1
Al ₂ O ₃	22.32	Zn	127	Br	<1
Fe ₂ O ₃	9.34	Co	120	Hg	<1
MgO	1.53	Ba	100	Sb	<0.9
Na ₂ O	1.95	Sc	9.7	Th	<0.5
K ₂ O	0.55	Rb	<30	U	<0.5
CaO	2.28	AG	<5	Sn	<0.01
KK	5.54	Mo	<5	Sr	<0.05
Toplam (Total)	99.89	As	<2		

demir gibi elementler ise hayli düşüktür (binde 5-10 mertebesinde, bazen daha da düşük, Nadeau ve diğ., 1985; Post ve diğ., 1997).

İncelenen Ayvacık baydellit örneğine ait tüm kayaç analizinde Al_2O_3 oranı %22,32 iken bu değer kil boyutunda %28,54 değerine ulaşmaktadır. Tüm kayaç incelemesinde yüksek olan toplam demir oksit (%9,34), hidrotermal solüsyonların bileşimi ve yüzey sularının etkisiyle oluşan bir kirlenme ile ilgili olmalıdır. Benzer biçimde yine tüm kayaç analizindeki yüksek sayılabilecek Na_2O : %1,95 ve CaO : %2,28 değerleri kayaç örneğindeki feldspat varlığı ile açıklanabilir. Diğer taraftan Çizelge 2'de de görüldüğü gibi tüm kayaç eser element analizinde diğer elementlere göre oldukça yüksek Ni (3500 ppm) ve Cr (3100 ppm) değerleri saptanmıştır. Bu yüksek Ni ve Cr değerleri, Biga Yanmadası'nda Okay ve diğerleri (1990) tarafından "Denizgören Ofiyoliti" olarak adlandırılan birimden hidrotermal solüsyonlar ile Ayvacık bentonit oluşumları içine kazandılmış olmalıdır.

Kil boyutu incelemesinde ise Al_2O_3 oranı %28,54, Na_2O : %0,08 ve K_2O oranı ise %0,55 olup (Çizelge 3), literatürde verilen değerler ile benzerlik göstermektedir. Yapısal formül incelendiğinde, oktaedrdaki egemen katyon hemen hemen sadece Al'dir. Değişebilir katyon olarak ise sırasıyla Mg, K, Na bulunmaktadır ve DTA incelemeler bu özelliği destekler niteliktedir. Oktaedrik bileşim esas alınarak değerlendirildiğinde Ayvacık baydellitinin, tipik "baydellit" bölgesinde (Güven, 1988) bulunduğu görülmektedir (Şekil 7).

AYVACIK (ÇANAKKALE) BENTONİT YATAKLARINDAKİ BAYDELLİT OLUŞUMU

Çizelge 3. Ayvacık baydelliti kil boyutu kimyasal analizi (%) ve yapısal formülü

Table 3. Structural formula and clay fraction chemical analysis (%) of Ayvacık beidellite.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	KK	Toplam
56.80	28.54	0.10	0.45	0.80	0.10	0.08	0.55	12.10	99.52

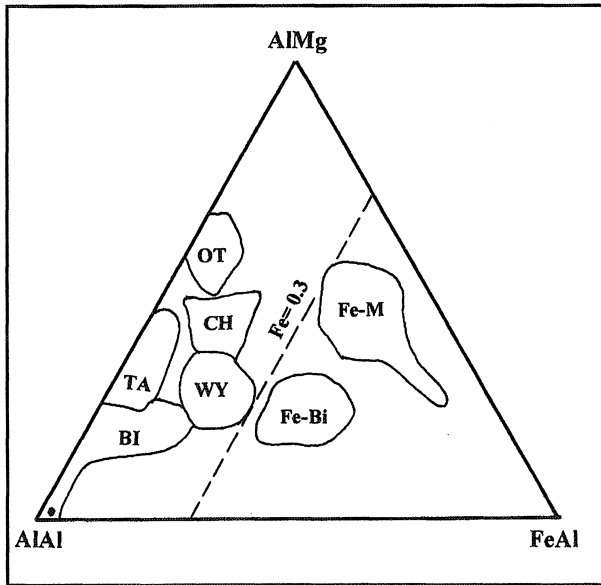
KK: Kızdırma Kaybı (Loss of ignition)

Tetraedral Katyonlar (Tetrahedral Cations)	Oktaedral Katyonlar (Octahedral Cations)	Değişebilir Katyonlar (Exchangable Cations)
Si: 3.76	Al: 1.98	Na: 0.01.
Al: 0.24	Fe ³⁺ : 0.02	K: 0.04
		Mg: 0.07

Tetraedral Yük<Tetrahedral Charge): 0.24Aktaedral Yük (Octahedral Charge): 0.00

Toplam Aktaedral Katyon Miktarı (Total Octahedral Cation): 2.00

Toplam Yaprak Yükü (Total Charge): 0.24



Şekil 7. Ayvacık Baydelliti'nin oktaedral bileşimi (Güven, 1988). TA: Tatatilla montmorillonite, OT: Otay tip montmorillonite, CH: Cheto tip montmorillonite, WY: Wyoming tip montmorillonite (Fe-M: Demirce zengin tip), BI: Baydellit (Fe-BI: Demirce zengin baydellit). o: Ayvacık baydellit örneği.

Figure 7. Octahedral composition of Ayvacık beidellite (Güven, 1988). TA: Tatatilla montmorillonite, OT: Otay tip montmorillonite, CH: Cheto montmorillonite, WY: Wyoming montmorillonite (Fe-M: Fe-rich type), BI: Beidellite (Fe-BI: Fe rich beidellite). o: Ayvacık beidellite.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Toprak profilinde detrital mikanın (Güven, 1988), bazik magmatik kayalarındaki plajiyoklas ve amfibollerin bozulması (Velde, 1985) sonucunda baydellit oluşumu, tipik baydellit oluşum mekanizmaları olarak verilmektedir. Ayrıca, değişik bileşimdeki volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu ile oluşan birçok bentonit yatağının baydellit minerali kapsadığı (Grim ve Güven, 1978; Nadeau ve diğ., 1985; Post ve diğ., 1997), benzer olarak volkanik camın devitrifikasyonu ile oluşan bentonit yataklarında da baydellitin bulunduğu bilinmektedir (Grim ve Güven, 1978). Hidrotermal alterasyon sonucunda oluşan bentonitlerdeki baydellit saf olmayıp, montmorillonit ile birlikte bulunur ve bu birlikteliğe değişik oranlarda kaolinit, hallosit, illit gibi kil mineralleri eşlik edebilir. Diğer taraftan, deneysel olarak hidrotermal alterasyon koşullarında volkanik camdan itibaren [zaman, pH(>8) ve sıcaklığa (150-200°C) bağlı olarak] önce "allofan" daha sonra ise "baydellit" bileşiminde kil elde edilebilmektedir (Yamada ve diğ., 1991; Kawano ve Tomita, 1992; Kawano ve diğ., 1993). Saha incelemelerinde gözlenen volkanik camın erken bozulma evresinde allofan, ileri bozulma evresinde de baydellit oluşur (Kawano ve Tomita, 1992) gözlemi, yapılan deneysel çalışmalar ile çakışmaktadır.

Ayvacık (Çanakkale) güneydoğusunda bulunan bentonit yatakları Erken-Orta Miyosen yaşlı kalkalkalen volkanizma (Ercan ve diğ., 1995) ürünü andezitik kayalar ile camsı tüflerin hidrotermal sıvıların etkisi ile yer-

rinde (in-situ) bozuşması sonucunda oluşmuştur (Çoban, 1997a). Arazi gözlemleri ve petrografik incelemeler bentonitleşen andezitik kayalardaki plajiyoklasların hemen hemen tümünün, camsı tüflerin de yoğun biçimde killeştiğini (bentonitleşme) göstermektedir. Yapılan ayrıntılı XRD incelemelerine göre, montmorillonit bölgedeki tüm bentonit oluşumlarında esâs kil boyutu bileşen olarak izlenirken, volkanik kay açlarının (ana kay aç) farklılaşmasına bağlı olarak baydellit, Hüseyinfakı ve Kayalar köyleri çevresindeki oluşumlarla saptanmıştır. Mineralojik incelemeler, montmorillonit ve baydellit dışında kaolinit, halloysit ve illit gibi kil minerallerinin de değişik oranlarda bentonit bileşimine girdiğini göstermektedir (Çoban, 1997a).

Ayvacık baydellitinde toplam oktaedral katyon miktarı 2.00, yapraklararası yük ise 0,19 olarak tespit edilmiştir. Değişebilir katyonlar ise sırasıyla Mg, K ve Na şeklinde belirlenmiştir. Diğer taraftan kil boyutu kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında, inceleme konusu Ayvacık baydellitinin literatürde verilen kimyasal analiz sonuçları ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Ayvacık baydellitinde yapılan ayrıntılı jeolojik, mineralojik ve kimyasal incelemeler sonucunda baydellit oluşumunun, bölgedeki kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu faylara bağlı olarak gelişmiş çatlaklar içinde yükselen ve 150-225°C sıcaklığa sahip (Gevrek ve diğ., 1984) hidrotermal sıvıların etkisiyle meydana geldiğini göstermektedir. Hidrotermal sıvılar özellikle bol kırılgı ve gözenekli andezitik kayalardaki plajiyoklaslar (labradorandezin) ve camsal tuf seviyelerini ayırtmış, ayrışmanın ileri safhasında da baydellit oluşmuştur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma sırasında yapıcı eleştiri ve yönlendirici katkılarından dolayı Prof. Dr. M. YeniyoFa (İstanbul Üniversitesi), Prof. Dr. A. Mermut'a (Saskatchewan University-Canada) teşekkürü borç bilirim. Ayrıca, laboratuvar incelemeleri sırasında yardımlarını esirgemen Prof. Dr. S. Akman (İTÜ) ve Jeo. Yük. Müh. B. Arman'a (Şişe Cam-İstanbul), yayın derlemesinde yardımcı olan Jeo. Yük. Müh. A. Polat'a (Saskatchewan University-Canada) teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Anderson, M. D. ve Reynolds, C. R., 1966, Umiat bentonite: An unusual montmorillonite from Umiat, Alaska. *The American Mineralogist*, 51,1443-1456.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmaz, B., 1973, Biga Yarım-

dası'nın jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Kitabı. Özetler, 70-76.

- Borchardt, G. A., 1977, Montmorillonite and other smectite minerals: in *Minerals in Soil Environments*, J.B. Dixon and S. B. Weed (ed.), Soil Science Society American, Madison, Wisconsin, 293-330.
- Brindley, G. W. ve Brown, G., 1984, X-Ray Diffraction procedures for clay minerals identification, *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*, G. W. Brindley and G. Brown (ed.). Mineralogical Society, London, 232-233.
- Cuadros, J., Delgado, A., Reyes, E. ve Linares, J., 1994, Kaolinite/Montmorillonite resembles beidellite. *Clays and Clay Minerals*, 42/5,643-651.
- Çoban, F., 1997a, Ayvacık (Çanakkale) bentonitinin jeolojisi, mineralojisi ve oluşumu. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 10(1), 22-37.
- Çoban, F., 1997b, Ayvacık (Çanakkale) bentonit yataklarının mineralojik özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu. Özetler Kitabı*, 20.
- Ece, Ö. I. ve Çoban, F., 1993, Comparison of hydrothermal alteration of two different parent rocks for the occurrence of Ca-Bentonite deposits in the Western Turkey. 2nd International Meeting on "Red Mediterranean Soils". University of Çukurova, Adana. *Short Papers and Abstracts*, 91-93.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sanfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, J. H. ve Yıldırım, T., 1995, Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri. *MTA Dergisi*, 117, 55-86.
- Farmer, V. C., 1974, Layer silicate. In: Farmer, V.C. (ed.): *Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society, London, 331-363.
- Farmer, V. C. ve Russell, J. D., 1967, Infrared absorption spectrometry in clay studies. *Clays and Clay Minerals*, 15,121-142.
- Gevrek, I. A., Şener, M. ve Ercan, T., 1984, Çanakkale-Tuzla jeotermal alanının hidrotermal alterasyon etüdü ve volkanik kayaların petrolojisi. *MTA Dergisi*. 103-104, 55-81.
- Greene-Kelly, R., 1953, The identification of montmorillonoids in clays. *Journal of Soil Science*. 4,233-237.
- Greene-Kelly, R., 1957, The montmorillonite minerals (smectites). In: MacKenzie R. C. (ed.). *The differential thermal investigation of clays*. Mineralogical Society, London, 103-104.

AYVACIK (ÇANAKKALE) BENTONİT YATAKLARINDAKİ BAYDELLİT OLUŞUMU

- Grim, R. E. ve Rowlands, A. R., 1942. Differential thermal analysis of clay minerals and other hydrous minerals: The American Mineralogist, 27, 801.
- Grim, R. ve Güven, N., 1978, Bentonites: Geology, mineralogy, properties and uses. Developments in Sedimentology, 24. Elsevier, New York, 256 p.
- Güven, N. ve Pease, R. W., 1975, Electron-optical investigations on montmorillonites. II. morphological variations in the intermediate members of the montmorillonite-beidellite series. Clays and Clay Minerals, 23, 187-191.
- Güven, N., 1988, Smectites. Hydrous phyllosilicates (exclusive of micas). S. W. Bailey (ed.). Reviews in Mineralogy, 19, Mineralogical Society of America, 497-559.
- Henning, K. H. ve Störr, H., 1986. Electron Micrographs (TEM, SEM) of Clays and Clay Minerals. Akademia-Varlag, Berlin, 350 p.
- Hystek, H., 1963, Hydrothermal rhyolitic alteration in the Castle Mountains, California. Clays and Clay Minerals. 11,158-168.
- Jackson, M. L., 1958, Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, New Jersey, USA, 498 p.
- Kawano, M. ve Tomita, K., 1992, Formation of allophane and beidellite during hydrothermal alteration of volcanic glass below 200°C. Clays and Clay Minerals, 40/6, 666-674.
- Kawano, M., Tomita, K. ve Kamino, Y., 1993, Formation of clay minerals during low temperature, experimental alteration of obsidian. Clays and Clay Minerals, 41/4, 431-441.
- Lim, C. H. ve Jackson, M. L., 1986, Expandable phyllosilicate reactions with lithium on heating. Clays and Clay Minerals, 34,346-352.
- Mac Kenzie, R. C., 1950, The hydration of montmorillonite. Clay Minerals Bulletin. 1,115-119.
- Mac Kenzie, R. C., 1970, Simple phyllosilicates based on gibbsite, and brucite-like sheets: in Differential thermal analysis. Volume 1, R. C. Mackenzie, (ed.), Academic Press, New York, 504-511.
- Madejova, P., Komadel, P. ve Cicel, B., 1992, Infrared spectra of some Czeck and Slovak smectites and their correlation with structural formulas. Geological Carpathica Clays, Series: 1,9-12.
- Malla, B. P. ve Douglas, A. L., 1987, Problems in identification of montmorillonite and beidellite. Clays and Clay Minerals, 35-3, 232-236.
- Nadeau, H. P., Farmer, C. V., McHardy, J. W. ve Bain, C. D., 1985, Compositional variations of the Unterrupsthal Beidellite. The American Mineralogist, 70,1004-1010.
- Nagelschmidt, G., 1938, On the atomic arrangement and variability of the members of the montmorillonite group. Mineralogical Magazine, 25,140.
- Okay, A. İ., Siyako, M. ve Burkan, A. K., 1990, Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 2/1, 83-121.
- Post, L. J., 1995, Alteration minerals of the De Lamar-Silvercity mining area, Idaho. In: Kharako, Y. K., Chudoev, O. V., (eds), Balkema, Rotterdam, 103-104.
- Post, L. J. ve Noble, N. P., 1993, The near-infrared band frequencies of dioctahedral smectites, micas and illites. Clays and Clay Minerals, 41/6, 639-644.
- Post, L. J., Cupp, L. B. ve Madsen, T. F., 1997, Beidellite and associated clays from the De Lamar Mine and Florida Mountain area, Idaho. Clays and Clay Minerals, 45/2, 240-250.
- Weaver, E. C. ve Pollard, D. L., 1973, The Chemistry of Clay Minerals. Developments in sedimentology, 24, Elsevier, Amsterdam, 213 p.
- Weir, A. H. ve Greene-Kelly, R., 1962, Beidellite. The American Mineralogist. 47, 137-146.
- Weir, A. H., 1965, Potassium retention in montmorillonite. Clays and Clay Minerals, 6,17-22.
- Van der Marel, H. W. ve Beutelspacher, H., 1976, Atlas of IR Spectroscopy of Clay Minerals and Their Admixtures. Elsevier, Amsterdam.
- Velde, B., 1985, Clay minerals, A physico-chemical explanation of their occurrence. Developments in sedimentology. 40, Elsevier, Amsterdam, 427 pp.
- Yamada, H., Nakazawa, H., Yoshioka, K. ve Fujita, T., 1991, Smectites in the montmorillonite-beidellite series. Clay Minerals, 26, 359-369.

Makalenin geliş tarihi: 15.12.1997

Makalenin yayma kabul edildiği tarih: 01.10.1998

Received: December 15, 1997

Accepted: October 01, 1998

