

Tuz Gölü'ndeki mineral çökeliminin termodinamik değerlendirilimi

Thermodynamic evaluation of mineral precipitates in the salt lake (Tuz Gölü), Turkey

M. Zeki ÇAMUR
Halim MUTLU

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, Ankara
Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, Ankara

Öz

Tuz Gölü'nün suyu, derin bölgede daha seyreklik olmak üzere Na-Cl tipi salamura sınıfına girmektedir. İyon konsantrasyonları çökelmekte olan halit, jips, aragonit ve kalsit minerallerinin değişikliğe uğratıldığı evaporasyona bağlı evrim eğilimleri sergilemektedirler. Ana göl bölgesinde çökeller esas olarak jips, hantit, manyezit ve polihalit minerallerinden oluşmaktadır. Derin bölgede ise, çökel mineralleri Mg-kalsit ve dolomittir. Gölden elde edilen veriler ile yapılan termodinamik doygunluk hesapları; iyonlar-arası etkileşim ve iyon-birlikteliği formlarıyla tanımlanan esas alan modellerin doğada gözlemlenen evaporit "minerallerinin çökelimini veya çözünlümünü tespit etmekte kullanılabileceğini göstermiştir. İyonik gücü molal ölçekte 1.35 den 8.5 a kadar değişen Tuz Gölü'nün sularında her iki modelin doygunluk hesaplaması benzer bulunmuştur. Bunlara ek olarak, söz konusu modellerin güncel çökeller ışığında daha önce çökelmiş minerallerin kökenlerini incelemeye yararlı olabilecekleri gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tuz Gölü, salamura sularda doygunluk, Pitzer denklemleri, mineral kökeni.

Abstract

The Salt Lake water could be classified as Na-Cl type brine with more dilute compositions in the deep zone. Major ion concentrations, in general, exhibit evaporation dependent evolution trends that are further modified by precipitating halite, gypsum, aragonite, and calcite minerals. In the main zone, sediments are dominantly composed of gypsum, huntite, magnesite, and polyhalite minerals whereas in the deep zone, Mg-calcite and dolomite minerals are the major constituents in the sediments. Thermodynamic saturation calculations to the lake data suggest that the models based on the specific ion-interaction and the ion-association formulations could be used to determine the precipitation of evaporate minerals observed in nature. The overall prediction quality of both models is similar for the lake water with ionic strengths ranging from 1.35 to 8.5 calculated on a molal scale. Moreover, such models are found to be very useful tools for the evaluation of the sediment mineralogy in the light of active precipitation.

Key Words; Tuz Gölü, brine saturation, Pitzer equations, mineral genesis.

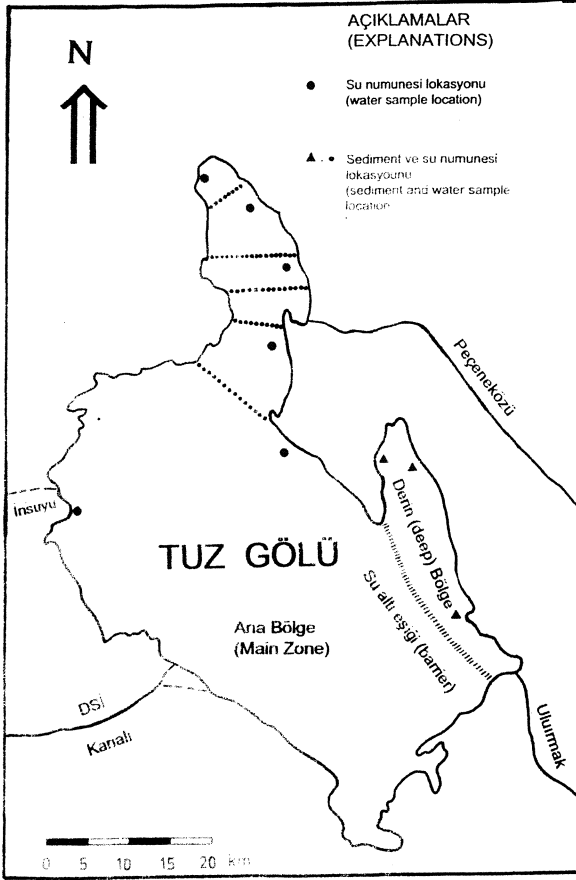
GİRİŞ

Çözeltilerin termodinamik metodlarla mineral doygunluğu belirleyebilmek için çözelti içindeki serbest-iyon aktivite katsayılarının bilinmesi gerekmektedir (Nordstorm ve Munoz, 1986; Drever, 1982 vb.). Bu katsayıların laboratuvar metodları ile doğrudan tespiti mümkün olmadığından, konu teorik bazda ele alınmış ve çeşitli denklemler geliştirilmiştir! (özet için Whitfield, 1979'u bakınız). Bunlardan Pitzer (1973, 1979, 1987)'in "iyonlar-arası etkileşim" (İAE) ve Guggenheim ve Turgeon (1955)'un "iyon-birlikteliği" (İB) denklemleri, 25°C de serbest-iyon aktivite katsayılarının salamura sularda hesaplanması ve dolayısıyla minerallerin bu ortamlardaki doygunluklarının belirlenmesi amacıyla modellenmiş, bir başka ifade ile denklemlerde mevcut bilinen değişkenler deneysel veriler kullanılarak kalibre edilmiştir (Truesdell ve Jones, 1974; Harvie ve diğ., 1984). Basit kimyasal sistemlere ve bazı doğal koşullara uygulandığında (Gueddari ve

diğ., 1983; Nordstorm ve Munoz, 1986; Harvie ve diğ., 1984; Weare, 1987) nisbeten başarılı sonuçlar vermiş bu modellerin, Na-Cl'ca zengin deniz harici doğal sulardaki mineral çökelimini tespit kapasiteleri test edilmiştir. İç Anadolu'da yer alan Tuz Gölü'nün dünyada birkaç coğrafyada rastlanan su kimyası ve çökel mineralojisi söz konusu ortamlardaki test için ideal koşullar sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı; Tuz Gölü verilerini kullanarak, İAE ve İB yaklaşımlarına ait denklemlerle oluşturulmuş termodinamik doygunluk modellerini test etmek ve göl çökelimlerinde mevcut minerallerin kökenini araştırmaktır.

TUZ GÖLÜ'NÜN JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Yaklaşık 1600 km² lik bir alanı kaplayan Tuz Gölü, başlıca Ulurmak, İnsuyu ve Peçeneközü nehirleri ile 1974 yılında açılan DSİ sulama kanalı tarafından beslenmektedir (Şekil 1). Göle ulaşan toplam yıllık yüzey-



Şekil 1. Tuz Gölü'nün lokasyon haritası.

Figure 1. Location map of the Salt Lake.

sel akış miktarı yaklaşık 175 milyon m³ olup, bu miktar DSİ kanalı ve Ulunmak nehri üzerindeki sulama barajından bırakılan su miktarlarına bağlı olarak değişim gösterir. Yıllık ortalama yağış miktarı 353 mm ve aylık potansiyel-eyaporasyon 1175 ile 1390 mm arasında değişmektedir (M.T.A., 1982). Erol (1969), Tuz Gölü'nde mevcut sığ su altı eşiğini kullanarak gölü batıya doğru ana bölge ve doğuya doğru derin bölge olmak üzere iki kısma ayırmıştır. Yaz ve sonbahar aylarında kuruyan ana göl bölgesindeki su seviyesi ilkbahar aylarında yaklaşık 70 cm dir ve bu seviye Eylül-Ekim döneminde minimum, Mart-Nisan döneminde ise maksimumdur. Diğer taraftan derin bölgede, ilkbahar döneminde seviyesi 1 m yi aşan su yıl boyunca mevcuttur. Irion (1970) ve Uygun ve Şen (1978) tarafından da belirtildiği üzere, her iki bölge farklı kimyasal ve mineralojik içeriklere sahiptir.

Doyunluk modellerinde kullanılacak göle ilişkin kimyasal ve mineralojik parametreler, yaklaşık dört yıllık bir zaman süreci içerisinde M.T.A. teknik elemanlarınca toplanmış Tuz Gölü Basenine ilişkin verilerin

değerlendirmesini yapan Çamur ve Mutlu (1995)'dan alınmış ve aşağıda sunulmuştur. Göl suyu, tuz kabuğu ve çökel örneklerinin toplanmasına ve kimyasal analizlerine ilişkin standart bilgiler Uygun ve Şen (1978) ve M.T.A. (1982) de verildiğinden burada tekrarlanmamıştır. Değişik ay ve yıllarda Şekil V de belirtilen lokasyonlardan toplanan 36 adet göl suyu ve tuz kabuğu analizleri gölün aylık ortalama su kimyasını belirlemek amacıyla kullanılmış ve hesaplanan ortalama iyon konsantrasyonları ana bölge ve derin bölge için sırasıyla Çizelge 1(a) ve 1(b)'de standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

Mineraloji

Ana göl bölgesindeki tuz kabuğu (1-30 cm) halit, jips, aragonit ve kalsit minerallerinden oluşmaktadır. Tuz kabuğunun hemen altındaki sıkışmamış çamurlu çökellerde mineraloji, 25 cm kalınlığındaki jips, hantit ve manyezit seviyesi ile başlayıp gölün ortalarına doğru polihalit oluşumları ile devam eder. Polihalit seviyesi yaklaşık olarak 25 cm kalınlığındadır ve hemen altında jips, hantit, manyezit, illit ve montmorillonit içeren çökeller gözlenmiştir. Irion (1970) ve Ergun

Çizelge 1. Tuz Gölü'ndeki (a) ana bölge ve (b) elerin bölge için yıllık ortalama toplam iyon konsantrasyonları. Toplam karbonat alkalinite meq/l olarak ifade edilmiştir. % G, standart sapma yüzdesi ve p, yoğunluktur.

Table 1. Mean total ion concentrations in (a) the main zone and (b) the deep zone of the Salt Lake in a yearly cycle. Total carbonate is expressed as alkalinity in meq/l. % G is the percent standard deviation and p is density.

(a) Ana Bölge (ppm) Main Zone										
Ay	K	Na	Ca	Mg	Alk.	SO ₄	Cl	pH	T°C	p gr/l
Ocak	1610	115625	617	4445	3.85	9675	188812	7.42	-	1.15
Şubat	800	107500	870	2100	2.70	6100	161100	7.50	-	1.15
Nisan	800	106300	1600	2200	2.10	6600	173100	7.10	-	1.15
Mayıs	944	101980	975	2860	2.84	7371	167438	7.34	-	1.15
Haziran	1458	114717	772	3963	3.23	8838	185454	7.30	23	1.18
Temmuz	3358	106667	429	10591	9.20	19097	172710	7.33	24	1.21
Ağustos	6300	113000	380	10932	8.67	20809	184104	7.45	25	1.25
Eylül	9400	89625	273	20686	14.4	37018	196448	7.15	26	1.30
Ekim	9680	69750	192	36667	13.3	67785	171159	6.95	22	1.15
Kasım	9950	108417	302	4864	4.46	13646	170527	7.35	17	1.15
Aralık	10000	102083	600	5095	4.23	10885	168018	7.55	-	1.15
%G	10	4	12	13	0.3	14	3	0.8	8	

(b) Derin Bölge (ppm) Deep Zone										
Ay	K	Na	Ca	Mg	Alk.	SO ₄	Cl	pH	T°C	p gr/l
Mayıs	300	28000	365	1000	3.80	2600	40900	8.15	-	1.15
Haziran	453	31500	478	1327	2.41	3485	50875	8.50	22	1.18
Temmuz	715	60000	718	2370	2.69	6109	91500	7.80	23	1.21
Ağustos	1200	100000	920	3720	4.51	9594	149075	7.40	24	1.25
Eylül	1700	100000	524	5302	4.10	12798	185316	7.20	25	1.30
Ekim	2200	110000	561	6955	2.95	15110	185011	7.30	21	1.15
%G	7	9	3	9	0.19	6	7	0.9	8	

TUZ GÖLÜ'NDEKİ MİNERAL ÇÖKELİMİ

(1988) ana göl bölgesinde ayrıca prolodolomit oluşumları belirlemişlerdir. Bu minerallere ek olarak, Ergun (1988) ana bölgenin kuzeyinden aldığı örneklerden anhidrit oluşumları da rapor etmiştir.

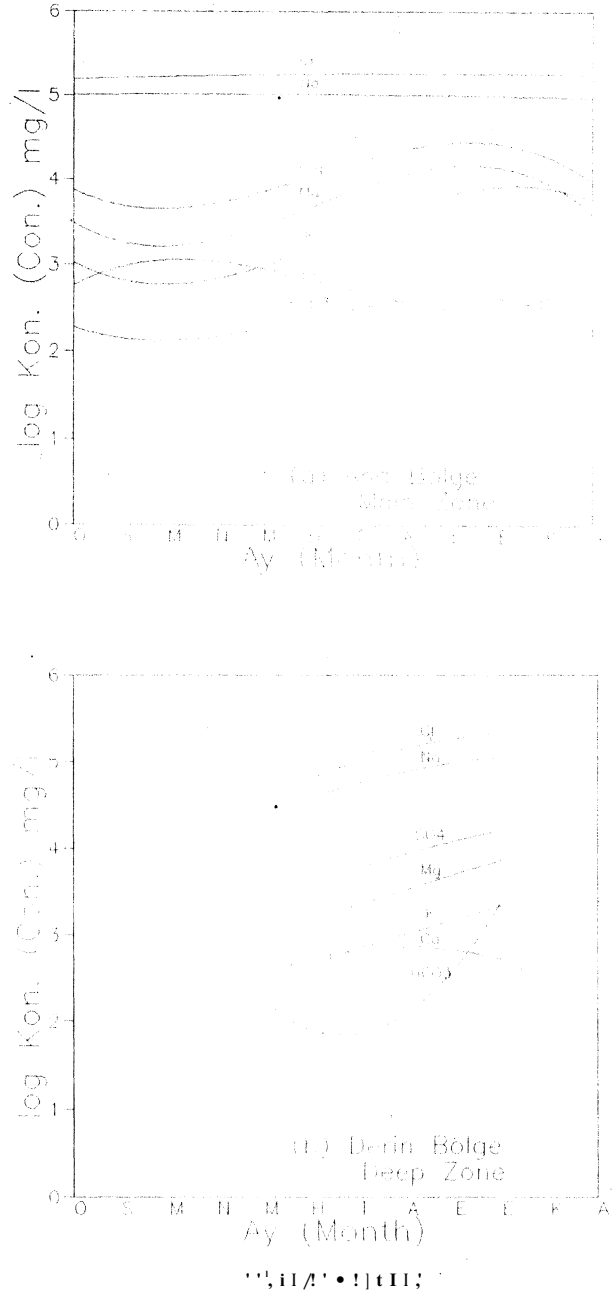
Derin bölge çökelleri, en üstte ince bir halit, jips ve aragonit tabakası (1-3 cm) ile başlayıp derinlere doğru Mg-kalsit ve dolomit oluşumlarıyla devam etmektedir. Dolomitin Mg-kalsit oranı yaklaşık bire birdir. Mg-kalsitteki $MgCO_3$ içeriği ise ağırlık yüzdesi olarak 7 ile 11 arasında belirlenmiştir (M.T.A., 1982). Bu evaporit minerallerine ek olarak, derin bölge çökellerinde klorit, montmorillonit, kuvars, feldspat ve mika gibi detritik mineraller de gözlemlenmiştir.

Göl suyunun mevsime bağlı kimyasal evrimi

Yüzey sularındaki iyon konsantrasyonuna göre, göl suyu Na-Cl tipi salamura sınıfına girmektedir (Çizelge 1). Göl içerisinde herhangi bir zaman dilimindeki başlıca yersel konsantrasyon farklılıkları sadece ana ve derin bölgelerin yüzey suları arasında mevcut olup bu farklılık iyonların konsantrasyonlarında göreceli değişim olarak kendini gösterir. Bir başka ifade ile, derin bölge suları ana bölgedekine göre yaklaşık iki katı seyreltiklerdir. Diğer taraftan, her bölge kendi içerisinde çok az yersel konsantrasyon farklılıklarına sahiptir ve iyon konsantrasyonları miktarı her iki bölgede de çoktan aza doğru; Cl, Na, SO_4 , Mg, K, Ca ve HCO_3 şeklinde sıralanmaktadır. Göl içerisindeki yersel su kimyası farklılıklarının çok az olmasına karşın mevsimsel su kimyası farklılıkları fazladır. Bu farklılıklar evaporasyon ve mineral çökelim/çözünümü ile daha da belirginleşir.

Mevsimsel kimyasal değişimleri değerlendirmek amacıyla her iki bölge için iyon konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi grafiğe aktarılmıştır (Şekil 2). Şekildeki çizgiler herbir iyon için çizilen polinomial en iyi uygunluğu temsil etmektedir. Bütün bir yıl esas alındığında göldeki bölgelerin farklı kimyasal değişim çizgisi izledikleri şekilde açıkça gözükmektedir. Ana göl bölgesinde, K kapalı göllerde evaporasyona bağlı konsantrasyon değişiminin tipik bir örneğini sergilemektedir; Nisan-Ekim döneminde artarken, Kasım-Mart döneminde azalır. SO_4 , Mg ve HCO_3 iyonlarının genel eğilimlerine göre; konsantrasyonlar Nisan-Eylül döneminde artış ve daha sonra Ekim-Mart döneminde bir azalış göstermektedir (Şekil 2a). Ca konsantrasyonları ise, Nisan-Eylül döneminde azalış ve Ekim-Mart döneminde bir artış ile genel döngüye göre ters bir eğilim göstermektedir. Na ve Cl konsantrasyonları yıl boyunca yaklaşık olarak sabittir.

Kalsiyum ve bikarbonat, konsantrasyonlarının birbirine zıt eğilimleri gölde $CaCO_3$ mineralinin çökmesine işaret etmektedir (Garrels ve Mackenzie, 1976; Hardie ve Eugster, 1970). Hemen hemen sabit Na ve Cl kon-



Şekil 2. Tuz Gölü'ndeki (a) Ana bölge ve (b) Derin bölge için yıllık ortalama toplam iyon konsantrasyon değişimi. X eksenindeki büyük harfler ayların ilk harflerine karşılık gelmektedir. Grafiklerin oluşturulmasında kullanılan konsantrasyonlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Figure 2. Total ion concentration change in a yearly cycle for (a) the main zone and (b) the deep zone of the Salt Lake. The capital letters on the X-axis are the first letters of months in Turkish. The concentrations used in the generation of the plots are listed in Table 1.

santrasyonlan, halit kristallincmc noktasının yıl boyunca varlığının bir kanıtıdır. Mg ve SO₄ konsantrasyonlarına ilişkin çizginin eğimi Temmuz-Aralık döneminde (salamura suda cvaporasyondan etkilenmeyerek korunduğu varsayılan) K'ımkiye göre daha az olduğundan, bu dönemde ana bölgede Mg ve SO₄ içeren mineral (ler) in de çökeldiği söylenebilir.

Derin bölgede, Ca ve HCO₃ dışındaki bütün iyon konsantrasyonları (verilerin mevcut olduğu zaman aralığı) Mayıs-Ekim döneminde artış gösterirler (Şekil 2b). Bu dönem boyunca bölgede kuru bir mevsimin hüküm sürdüğü göz önüne alındığında, bu beklenen bir eğilimdir. Fakat Cl, Na ve SO₄ eğrilerinin eğimleri Ağustos ayından sonra yataylanımkfadır (SO₄ da daha az belirgin). Diğer taraftan Mayıs-Haziran döneminde Ca konsantrasyonu artarken HCO₃ konsantrasyonu azalmakta, Haziran-Ekim döneminde ise bu eğilimlere zıt olarak Ca azalmakta iken HCO₃ artmaktadır (Şekil 2b). Ca ve HCO₃ iyonlarının bu zıt eğilimleri ve Cl, Na ve SO₄ in yataylanıma eğilimleri, evaporasyon ile artması beklenen konsantrasyonların halit, kalsit (aragonit) ve jips minerallerinin çökmesiyle değişime uğradıklarını göstermektedir.

DOYGUNLUK UYGULAMALARI

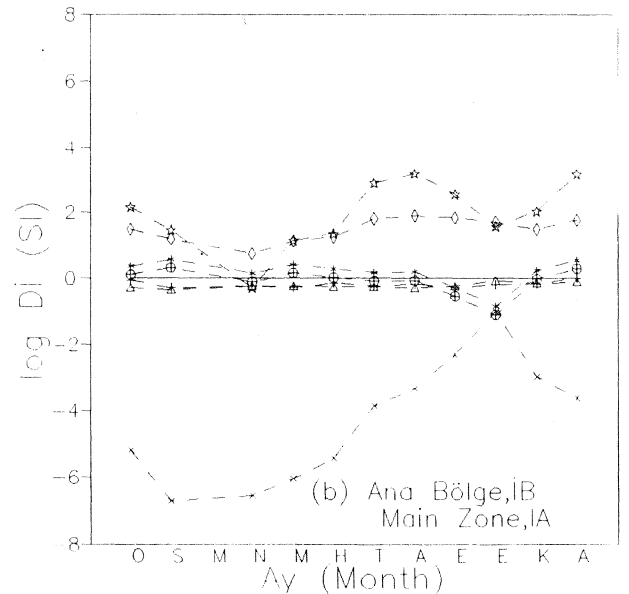
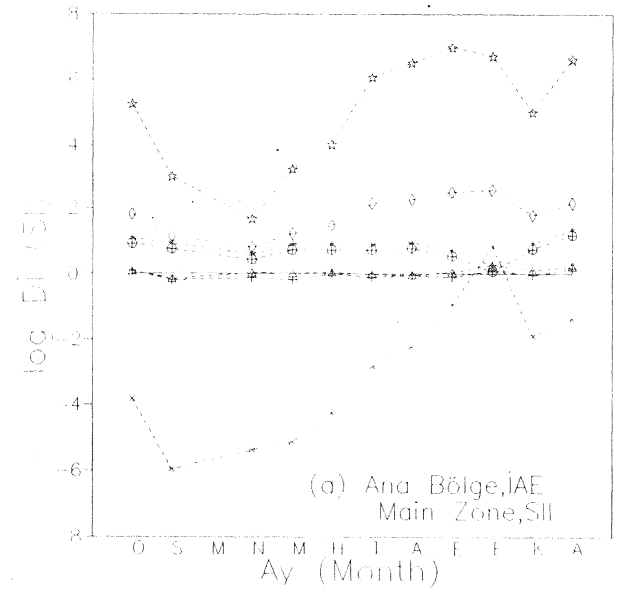
Göl çökellerinde varlığı belirlenen minerallerin kökeni göl yüzey salamura suları kullanılarak doygunluk hesaplamaları ile araştırılmış sonuçlar aşağıda özetlenmiştir (hesaplamaların ayrıntısı için Pitzer, 1987; Harvie ve diğ., 1984 ve Wigley, 1977 ye bakınız). Doygunluk hesaplamaları halit, jips, aragonit, kalsit, hantit, manyezit, dolomit ve polihalit mineralleri için 25°C de yapılmıştır, ana ve derin bölge göl suları kullanılarak elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 3 ve 4'de verilmiş-

Şekil 3. Ana bölgedeki tuz kabuğu ve çökel mineralleri için 25°C ve 1 atın. basınç altında (a) İAE ve (b) İB model uygulamalarından elde edilen doygunluk indeksleri. X eksenindeki büyük harfler ayların ilk harflerine karşılık gelmektedir. Kullanılan sembollerden; artı (halit), üçgen (jips), baklava dilimi (manyezit), beş-köşeli yıldız (hantit), altı-köşeli yıldız (kalsit), çarpını (polihalit) ve daire içi artı (aragonit) tir. Hesaplamalarda kullanılan iyon konsantrasyonları Çizelge la'da verilmiştir.

Figure 3. Saturation index for the salt crust and the sediment minerals of the main zone at 25 C and 1 atm, produced from the applications of (a) IAE model and (b) IB model. The capital letters on the X-axis are the first letters of months in Turkish. Symbols: cross (halite), triangle (gypsum), diamond (magnesite), five-cornered star (huntite), six-rayed star (calcite), tilted-cross (polyhalite), and cross in circle (aragonite). Ion concentrations used in the calculations are listed in Table la.

tir. Modeller Mg-kalsilin katı-çözeltili özelliklerini içermediğinden bu mineralin doygunluk durumu incelenememiştir.

Gözlemlenen bulgular model sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, bu tür denge modellerinin genelde doğal ortamlara uygulanabilirliği açıkça gözükmemektedir (Şekil 3 ve 4). Ana göl bölgesinde halit ve jips bütün yıl boyunca denge doygunluğu seviyesindedir. Kalsit ve aragonit, İB modeline göre doygunluk-altı değerler verdiği Eylül ve Ekim ayları hariç diğer aylarda denge doygunluğundadır. Bu mineraller İAE modeline göre Ekim ayı hariç bütün aylarda az da olsa doygunluk-üstü değerler vermekle Ekim ayında ise, denge doygunluğuna yaklaş-



TUZ GÖLÜNDEKİ MİNERAL ÇÖKELİMİ

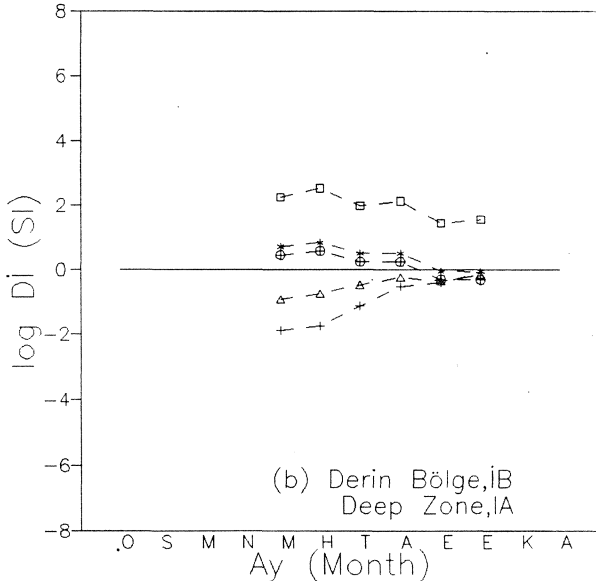
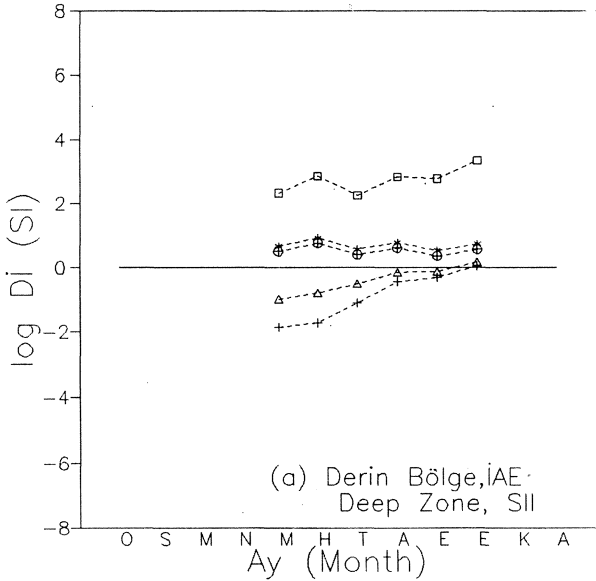
maktadır. Sonuçlar ana bölge göl salamura suyunun hantit ve manyezite göre doygunluk-üstü, polihalite göre ise doygunluk-altı konsantrasyonlara sahip olduğuna işaret etmektedir. Manyezit, Nisan ayında İB modeline göre denge doygunluğuna yakın seviyededir. Polihalitin doygunluk-altı değerleri zamana bağlı olarak azalmakta ve Eylül-Kasım döneminde denge-doygunluğuna yaklaşmaktadır. Derin bölge su kompozisyonlarının genel doygunluk göstergesi eğilimi Ağustos-Ekim döneminde halit ve jipsin denge-doygunluğuna işaret etmektedir (Şekil 4). Kalsit ve aragonit, genelde yıl boyunca az da olsa doygunluk-üstü değerlerde gözükmeyle birlikte, İB modeline göre Eylül ve Ekim aylarında denge doygun-

luğuna ulaşmaktadır. Dolomit hesaplan ise doygunluk-üstü seviyelerde sonuçlar vermiştir.

SONUÇLAR

Çökel mineralojisi, iyon konsantrasyonlarının evrimi ve doygunluk hesaplamalarının da ortaya koyduğu üzere, halit, jips, kalsit ve aragonit gölde doğrudan çökelmektedir. 25°C sıcaklığın gölde Haziran-Ekim döneminde hakim olduğu ve azalan sıcaklık ile minerallerin doygunluk noktalarının doygunluk-altı değerlerine düşeceği göz önüne alındığında; halit ve jipsin ana bölge salamura sularında Haziran-Ekim ve derin bölge salamura sularında Ağustos-Ekim dönemlerinde çökeceği söylenebilir. Abu Dabi ve Tuz Gölü'nde oluşan jips minerallerinin kristallografik benzerliklerini esas alan Ergun (1988), Kinsman (1966) ve Sherman (1963)'ın modellerini benimseyerek, jipsin genelde erken diyajenez esnasında Ca ve SO₄ ca zengin çökel içi sıvılardan kapilar evaporasyon ile iterek büyüme sonucu oluştuğu yorumunu yapmıştır. Halbuki doygunluk hesaplamaları her iki bölgede de, göl salamura sularının jipsin doğrudan çökeli için gerekli termodinamik doygunluk seviyesinde olduğuna işaret etmektedir.

Dolomit, hantit ve manyezitin katı-çözeltiler oluşturduğu ve doygunluk hesaplarında kullandığımız göl salamura sularının (akımından bu yana gölü seyrelterek tamamıyla kurummasını engelleyen) sulama kanalının açılımdan sonrasına ait oluşu nedeniyle, bu minerallerin doygunluk-üstü değerlerini saha verilerine karşı sağlıklı olarak değerlendirmek mümkün değildir. Bunlara ek olarak, çok tuzlu sulardan doğrudan elektrot kullanımı ile yapılan pH ölçümleri Pasztor ve S no ve (1983)'in da belirttiği üzere suyun gerçek pH değerlerini yansıtmayabilir. Fakat doygunluk hesaplarında kullandığımız pH değerlerinin tamamıyla dönebilir (reversib-



Şekil 4. Derin bölgedeki çökel mineralleri için 25°C ve 1 atm. basınç altında (a) İAE ve (b) İB modelleri uygulamalarından elde edilen doygunluk indeksleri. X eksenindeki büyük harfler ayların ilk harflerine karşılık gelmektedir. Kullanılan sembollerden; artı (halit), üçgen (jips), altı-köşeli yıldız (kalsit), kare (dolomit) ve daire içi artı (aragonit) dir. Hesaplamalarda kullanılan iyon konsantrasyonları Çizelge 1b'de verilmiştir.

Figure 4. Saturation index for the sediment minerals of the deep zone at 25 V and 1 atm, produced from the applications of (a) IAE model and (b) IB model. The capital letters on the X-axis are the first letters of months in Turkish. Symbols: cross (halite), triangle (gypsum), six-rayed star (calcite), square (dolomite) and cross in circle (aragonite) and cross in circle (aragonite). Ion concentrations used in the calculations are listed in Table 1b.

le) denge durumunu yansıdığı varsayılmıştır. pH değerlerindeki bu varsayımdan dolayı karbonat minerallerine ilişkin doygunluk hesaplamaları yanıltıcı olabilir. Her ne kadar doygunluk hesaplamaları ve salamura sularının Mg/Ca oranı dolomit, hantit ve manyezitin birincil çökeline engel oluşturmamakta ise de, aşağıda ifade edilen gözlemler bu minerallerin daha çok diyajenetik ürünler olduğuna işaret etmektedir.

Kalsit ve aragonit minerallerinin tuz kabuğu altındaki ana bölge çökellerinde mevcut olmayışı, ya bu minerallerin tuz kabuğuna bağlı denge-dışı fazlar olduğuna veya çökel içi sıvılar tarafından değişime uğratıldıklarına (alterasyona) işaret etmektedir. Daha önce ifade edilen doygunluk hesaplamaları ve saha verilerinin sonuçları gencide kalsit ve aragonitin denge çökclimini desteklemekte dolayısıyla, yukarıda belirtilen seçeneklerden alterasyon tezini vurgulamaktadır. Daha önce irion ve Müller (1968), M.T.A. (1982) ve Ergun (1988) tarafından da ifade edildiği gibi, jips çökeli ile salamura sularında artan Mg/Ca miktarı daha önce oluşmuş CaCO₃ mineralinin dolomitleşmesine neden olur. Daha önce oluşmuş aragonitlerin, jips çökeli ile Ca ca fakirleşen salamura sular tarafından dolomitleştirilmesi Solar* Lake gibi benzer durumlarda da gözlemlenmiştir (Aharon ve diğ., 1977).

Irion ve Müller (1968)'e göre, Mg/Ca oranındaki daha fazla artış diyajenetik manyezit ve hantit oluşumlarına neden olmaktadır. Diğer taraftan Ergun (1988), Sayles ve Fyfe (1973)'nin deneysel olarak gösterdikleri gibi, jipsin anhidrite dönüşmesi sonucu ortama kansan suyun dolomiti etkileyerek manyezit ve hantite dönüşmesine neden olduğu yorumunu benimsemiştir. Bu yorum Ergun (1988)'un şu gözlemlerine dayanmaktadır. "...Anhidrit içeren jipsin bulunduğu bölgelerde dolomit ile manyezit miktarları arasında ters bir korelasyon mevcuttur; anhidrit içeren jipsin miktarı arttıkça dolomit miktarı azalmakta, manyezit miktarı ise artmaktadır veya tam tersi. Bunlara ek olarak, manyezit, çökeller içinde mevcut değilse bu bölgedeki jipsler de anhidrit içermemektedirler. Hantit miktarı da manyezit ile doğru orantılı bir korelasyona sahiptir..." Çökeller içerisinde anhidrit mineralinin lokal olarak gözlenmesi ve anhidrit mineralinin bulunmadığı diğer bölgelerde manyezit ve hantit minerallerinin bulunması nedeniyle, yukarıda bahsedilen her iki mekanizmanın da göl çökellerinde manyezit ve hantitin oluşumuna katkıda bulduklarını tartışılmaktadır.

Ana bölge çökelleri içerisinde bulunan polihalit minerallerinin kökeni tartışmaya açıktır. Çökellerin devamlı bir tabakalı yapı göstermesi gözlemine dayanarak M.T.A. (1982), polihalit minerallerinin birincil oldukları yorumuna gitmiştir. Bu yoruma karşı olarak, polihalit minerallerinin bulunduğu bölgede jipse rastlan-

ması sonucu Irion ve Müller (1968) polihalitin Mg ve Ca zengin çözeltilerin varlığında jipsten diyajenetik olarak dönüştüğünü ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, Irion (1973) mineral duraylılık çalışmalarını esas alarak polihalitin birincil olarak ya göl yüzey salamura sularından veya çökel içi salamura sularından çökebileceğini ifade etmiştir. Bizim termodinamik hesaplarımız göl yüzey salamura sularının sulama kanalının açılışından önce polihalite göre doygunluğu sağlamış olabileceği yönündedir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, yayınlanmamış analizlerin kullanılmasına izin veren MTA Enerji Hammaddeleri Etüt ve Arama Dai. Bşk.m Nizamettin Şentürk'e yine aynı daireden bu konuda yardımını gördükleri Gürkan Öktü'ye ve verilerin toplanmasındaki katkılarından dolayı Mevlüt Aygün, Fevzi Ayok, Hasan Baş, Tayfun Bilgiç, Ergün Çelik, Celal Erkan, Soner Kayakıran, Ali Uygun, Mustafa Yaşar'a da ayrıca teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Aharon, P., Kolodny, Y. A., ve Sass, E., 1977, Recent hot brine dolomitization in the Solar lake, isotopic, chemical, and mineralogical study: *J. Geol.*, 85, 27-48.
- Çamur, M. Z. ve Mutlu, H., 1995, Major ion geochemistry and mineralogy of the Salt Lake (Tuz Gölü) Basin, Turkey: *Chemical Geology* (in press).
- Drever, J. I., 1982, *The Geochemistry of Natural Waters*, Prentice Hall, N. I., 388 s.
- Ergun, O. N., 1988, Şereflikoçhisar yöresi Tuz Gölü güncel evaporit çökellerinin sedimentolojik incelenmesi: *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları*, 33, 1-73.
- Erol, O., 1969, Tuz Gölü havzasının jeolojisi ve jeomorfolojisi: *MTA Rap. No. 4220* (yayınlanmamış).
- Garrels, R. M. ve Mackenzie, F. T., 1967, Origin of the chemical composition of some springs and lakes: In: W. Stumm (ed.), *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems*. Am. Chem. Soc., *Advances in Chemistry Series*, 67, 222-242.
- Gueddari, M., Monnin, C., Perret, D., Fritz, B., ve Tardy, Y., 1983, Geochemistry of brines of the Chott el Jerid in southern Tunisia-Application of Pitzer's equations: *Chemical Geology*, 39, 165-178.
- Guggenheim, E. A., ve Turgeon, J., 1955, Specific interaction of ions: *Trans. Faraday Soc.*, 51, 747-761.
- Hardie, L. A. ve Eugster, H. P., 1970, The evolution of closed-basin brines: *Mineral. Soc. Am. Spec. Publ.*, 3, 273-290.
- Harvie, C. E., Moller, N., ve Weare, J. H., 1984, The prediction of mineral solubilities in natural waters: The Na- K- Mg- Ca- H- Cl- SO₄- OH- HCO₃- CO₃- CO₂-

TUZ GÖLÜ'NDEKİ MİNERAL ÇÖKELİMİ

- H₂O system to high ionic strengths at 25C: Geochim. Cosmochim. Acta, 48, 723-751.
- Irion, G., 1970, Mineralogisch- sedimentpetrographische und geochemische untersuchungen am Tuz Gölü (Salzsee), Türkel. Ph. D. dissertation, Ruprecht Karl-Universitaet (Heidelberg).
- Irion, G., 1973, Die anatoliischen Salzseen, ihr chemismus und die entstehung ihrer chemischen sedimente: Arch. Hydrobiol., 71, 517-557.
- Irion, G. ve Müller, G., 1968, Huntite, magnesite, and polyhalite of recent age from Tuz Gölü, Turkey: Nature, 220, 1309-1310.
- Kinsmann, D. J. J., 1966, Gypsum and anhydrite of recent age, Trucial Coast, Persian Gulf: Proc. Znd Int. Salt Symp., Cleveland, Northern Ohio Geol. Soc., 1, 302-326.
- M.T.A., 1982, Tuz Gölü havzası projesi jeolojî raporu: MTA Rap. No. 1200 (yayınlanmamış).
- Nordstorm, D. K. ve Munoz, J. L., 1986, Geochemical Thermodynamics, Blackwell Sci. Pub., 477 s.
- Pasztor, A. J. ve Snove, J. S., 1983, How to treat metal contamination from heavy clear brines: Oil Gas J., 81, 141-146.
- Pitzer, K. S., 1973, Thermodynamics of Electrolytes: I. Theoretical basis and general equations: Jour. Phys. Chem., 77, 268-277.
- Pitzer, K. S., 1979, Theory: ion interaction approach: In. R. D. Pytkowicz (ed.), Activity coefficients in electrolyte solutions, CRC Press, Vol. 1, Chap. 2, 157-208.
- Pitzer, K. S., 1987, Thermodynamic model for aqueous solutions of liquid-like density: In. I.S.E. Carmichael and H.P. Eugster (eds), Thermodynamic modelling of geological materials: Minerals, fluids and melts, Reviews in Mineralogy, Vol. 17, Chap. 4, 97-142.
- Sayles, F.L. and Fyfe, W. S., 1973, The crystallization of magnesite from aqueous solution: Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 78-87.
- Shearman, D.J., 1963, Recent anhydrite, gypsum, dolomite, and halite from the coastal flats of the Arabian Shore of the Persian Gulf: Proc. Geol. Soc. London, 1607, 63-65.
- Truesdell, A. H. and Jones, B. R., 1974, WATEQ: A computer program for calculating chemical equilibria of natural waters: Journal of Research U.S.G.S. 2, 233-248.
- Uygun, A. ve Şen, E., 1978, Tuz Gölü havzası ve doğal kaynakları: I. Tuz Gölü suyunun jeokimyası: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 21, 113-120.
- Weare, J. H., 1987, Models of mineral solubility in concentrated brines with application to field observations: In. I.S.E. Carmichael and H.P. Eugster (eds), Thermodynamic modelling of geological materials: Minerals, fluids and melts, Reviews in Mineralogy, Vol. 17, Chap. 5, 97-42.
- Whitfield, M., 1979, Activity coefficients in natural waters: In. R. D. Pytkowicz (ed), Activity coefficients in electrolyte solutions, Vol. 2, Chap. 3, 154-299.
- Wigley, T.M.L., 1977, WATSPEC: A computer program for determining the equilibrium speciation of aqueous solutions: Brit. Geomorph. Res. Group Tech. Bull, 20, 3-39.

