

Tuz Gölü Havzası ve Doğal Kaynakları I: Tuz Gölü Suyunun Jeokimyası

The Salt Lake basin and natural resources I: Geochemistry of the brine of the Salt Lake (Central Anatolia-Turkey)

ALİ UYGUN *Maden Tetkik v Arama Enstitüsü, Ankara.*
ERSİN ŞEN *Maden Tetkik v Arama Enstitüsü, Ankara.*

ÖZ: Tuz Gölü'nde bir yılı aşkın sürede yapılan hidrokimyasal incelemeler su kimyasındaki mevsimsel değişimleri ortaya koymuştur. Gölde bir eşik ile birbirinden ayrılmış, suları farklı bileşimde iki bölge vardır. Sığ ana göl 300-350 g/l dolayında, derin bölge ise 80 g/l dolayında erimiş madde içerir. Yaz sonunda buharlaşma sonucu gölde 9,4 g/l K⁺, 25,3 g/l Mg⁺⁺, 640 mg/l Br⁻, 340 mg/l B ve 305 mg/l Li⁺ gibi yüksek konsantrasyonlara ulaşılmıştır. Çeşitli katyon ve anyonların mevsimsel değerleri ile mineral çökmesine etkileri tartışılmaktadır.

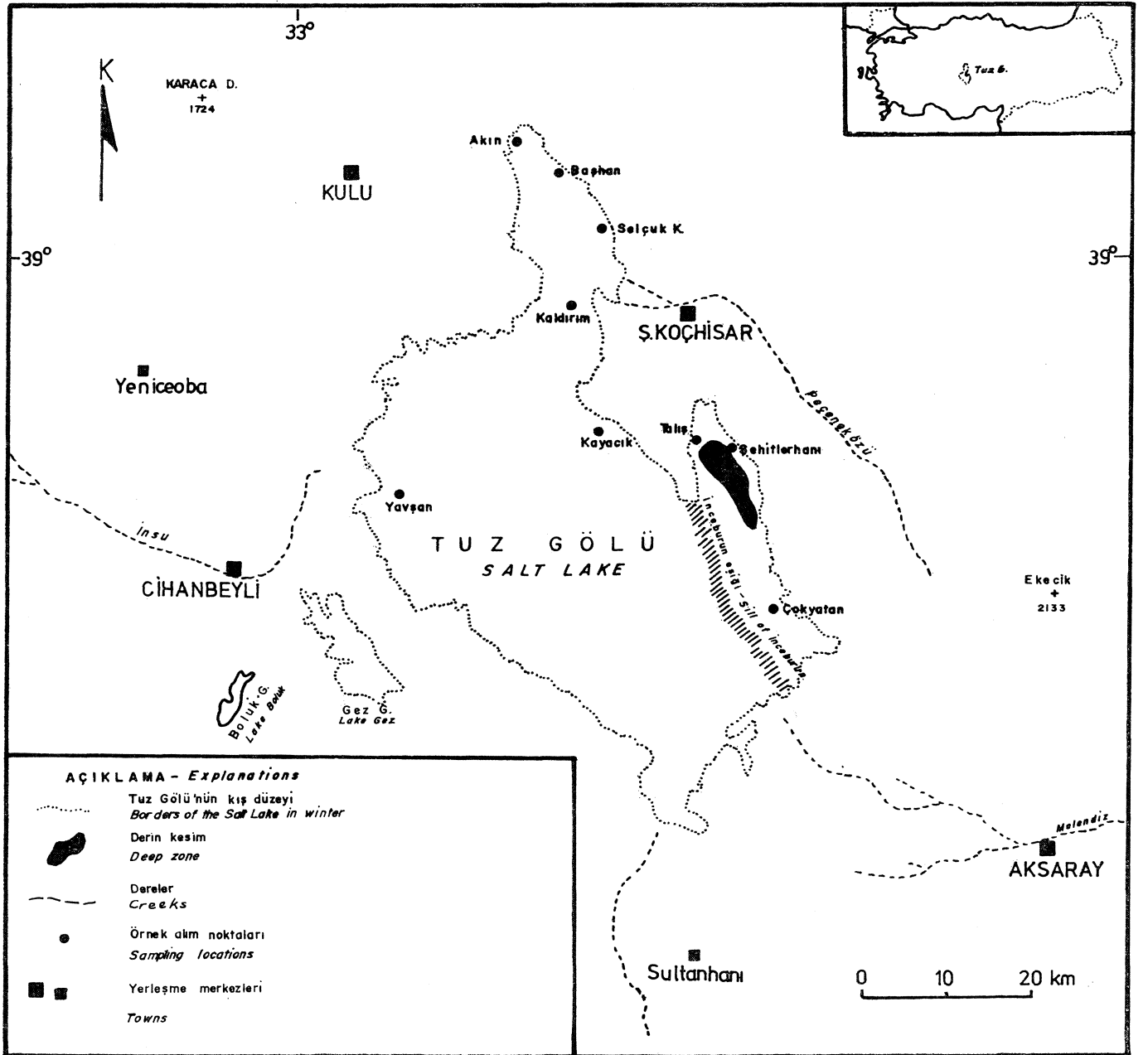
ABSTRACT: Hydrochemical investigations during a period, longer than one year, has shown the seasonal changes on the brine of the Salt Lake (Central Anatolia-Turkey). Two water bodies, separated by a sill, have different chemical compositions. The shallow main lake has the concentration around 300-350 g/l of dissolved material, while the deeper region has only 80 g/l. At the end of summer, brine concentration reaches to 9,4 g/l K⁺, 25,3 g/l Mg⁺⁺, 640 mg/l Br⁻, 340 mg/l B and 305 mg/l Li⁺. The seasonal concentration values of the several cations and anions and their effects on the mineralization are discussed.

GĪBİŞ

1665 kms lik alanı ile Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü "karasal tuz tavaları (Salzpfannen)" ile "tuzlu göller" (Salz Seen) arasında mevsimsel bir geçiş tipini canlandıran bir karasal buharlaşma ortamıdır. En büyük uzunluğu 85 km, en büyük genişliği ise 45 km ye varır (Şekil 1). Yaklaşık 16.000 km² lik bir beslenme havzasına sahip olan Tuz Gölü'ne doğuda Peçeneközü ve Melendiz, batıda ise İnsu dereleri ulaşırlar. Dışarıya akımı yoktur. Gölün en derin yeri doğuda sürekli su altında bulunan kesimde yer alır, 1,5-2 m dolayındadır. Buna karşılık asıl

göl kış-ilkbahar aylarında 60-80 cm derinlik göstermekte, yaz sonunda ise göl çoğunlukla kurumaktadır. Ancak gölün dengesi Konya ovasının fazla sularını ileten büyük bir kanalin açılmasıyla bozulduğundan, göl 1974 yılından bu yana tümüyle kurumamakta, tuz üretimi de son derece güçleşmektedir.

Tuz Gölü'nün benzerleri olan Great Salt Lake-Utah, Owens Lake, Salton Sea, Searles Lake(A.B.D.) ile Ölü Deniz (İsrail), Magadii Lake (Kenya) gibi göller uzun yıllar boyunca gerek hidrolojik, gerekse jeokimya ve mineralojik yönlerden ayrıntılı olarak araştırılmışlardır. Tuz



Şekil 1: Tuz Gölü'nde örnek alım noktalarını gösterir harita

Figure 1: Location map for water sampling; stations in the Salt Lake.

Gölü üzerine sağlıklı veriler ise oldukça kıttır. Salamon-Calvi ve Kleinsorge (1939) göl suyunun kimyasını, Irion (1970, 1972, 1973) mineralojisini incelemişlerdir. E.İ.E. tarafından kaldırım tuzlasında su düzeyi ile Peçeneközü ve İncesu derelerinde debi ölçümleri yapılmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün de halen havzada yağış veya buharlaşma ölçümü yapan 8 istasyonu bulunmaktadır.

Bu yazıda Tuz Gölü havzasının jeolojisini, hidrojeolojisini ve evaporitlerini konu alan çalışmalarda göl suyundaki bölgesel ve mevsimsel değişimler ile mineral çökmesi üzerine elde edilen ilk sonuçlar açıklanmaktadır.

ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Tuz Gölünde Şekil 1 de görülen değişik yerlerden 22 Haziran 1976 ile 23 Eylül 1977 arasında değişik zamanlarda, su, tuz ve çökel örnekleri toplanmıştır. Ayrıca gölü besleyen akarsularla havzanın yeraltı suları da toplanan çok sayıda su örneği ile araştırılmıştır.

Doğal sularda iyonların analizleri yapıncaya dek yükseltgenme, indirgenme, çökme, adsorblanma gibi nedenlerle değişimini önlemek için aynı yerden üç ayrı örnek toplanmıştır;

1 — Arazide süzülmiş örnek: Hızlı süzen filtre kağıtlarından süzülerek polietilen kaplara alınan Örneklerde B, Cl, F, Li, Na, K, S₂O₃, Br ve I analizleri yapılmıştır.

2 — Arazide asitlendirilmiş örnek: Derişik HNO₃ ile pH 3.0 a kadar asitlendirilen örnekte Mg, Ca, Sr analizleri yürütülmüştür.

3 — İşlem görmemiş örnek; Yine polietilen kaplara alınan örnekte HCO₃, CO₃, pH ve iletkenlik ölçümleri yapılmıştır.

Ayrıca arazide pH, sıcaklık ve iletkenlik ölçümleri de yürütülmüştür.

Laboratuvarda su analizleri için kullanılan yöntemler ASTM (1969), U.S. Salinity Lab. (1954), U.S.G.S. (1970) kaynaklarından derlenmiş standart metodlardır.

Na, K ve Li alev fotometresiyle tayin edilmişler, Li analizinde iyonizasyon yanılıgına engel olmak için örneklere izo-proponal katılmıştır. B ve F elementlerinin kolorimetrik tayinlerinde renklendirici reaktif olarak karmin ve alizarin komplekson kullanılmıştır.

Cl, Mohr yöntemiyle tirant olarak AgNO₃, belirteç olarak K₂CrO₄; Br ve I, Na₂S₂O₃ ile nişasta belirteci yanında titre edilerek, CO₃ ile nişasta belirteci yanında titre edilerek, CO₃ ve HCO₃ fenolftaleyn ve metiloranj belirteçleri yanında 0.1-n HCl ile Ca ve Mg ise kompleksometrik yöntemlerle kalsein ve erio-krom.T siyahı belirteçleri yanında tayin edilmişlerdir. SO₄, BaCl₂ ile BaSO₄ halinde çöktürülerek gravimetrik yolla bulunmuştur. Sr analizleri su örnekleri buharlaştırıldıktan sonra arta kalan katı kısımda iç standart yöntemi ve iç standart olarak da yitrium kullanılarak yapılmıştır. Suların toplam mineralizasyonu ise belirli hacimlerde suların buharlaştırılıp 180° C de kurutulması ile tayin edilmiştir.

Kullanılan analiz yöntemlerindeki doğruluk dereceleri ölçülen miktarların (it %) si olarak her bir element için

şöyledir: Cl < %2, Ca, Mg, Li, K % 4, Na, I, Br %6. Bor'da bağlı yanılıgı %0,6 dır.

pH ölçümleri çift elektrodlu (referans ve cam elektrod), ısı ayarlı pH-metre ile yapılmıştır. pH 7 lik standart tampon çözelti ile ayarlanmıştır. Spesifik iletkenlik kondaktivite-metre ile ölçülmüştür. Katı tuz örneklerinde su da çözelen kısımda Na, Cl, K; asitte çözülen kısımda Ca, Mg, SO₄ analizleri yürütülmüştür. Mineralojik incelemeler için gerekli durumlarda x ışınları difraksiyona başvurulmuştur.

SONUÇLAK

Tuz Gölü suyunda bir yılı aşkın sürede yapılan gözlem ve ölçümler suda gerek bölgesel gerek mevsimsel değişimler olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 1 de görüldüğü gibi Tuz Gölü iki farklı bölgeden yapıldır. Doğuda Ş. Koçhisar'm güneyinde İnceburun'dan güneye doğru uzanan ve üzerinde bazı adacıkların da yer aldığı bir eşik ana göl ile derin bölgeyi birbirinden ayırmaktadır. Bu eşigin varlığı Erol (1969) ve Irion (1970) tarafından bildirilmiştir. Gölde iki ayrı bölgenin varlığı NASA-ERTS uydusunun fotoğraflarında da gözlenmektedir.

İki bölge arasında suyun bileşimi yönünden oldukça büyük farklar vardır. 23-25 Haziran 1976 da gölün değişik kesimlerinden toplanmış su örneklerinin analiz sonuçlarından hazırlanmış Çizelge-1 bu farkı kesinlikle ortaya koymaktadır.

Örnek Yeri Location	Derin bölge (Deep zone)				Ana göl bölgesi (Main lake)		
	Şehitlerhanı						
	Cok yatan	Başhan	Selçuk	K.	Kaldırım	Kayaçık	Yavşan
Na+ (g/1)	28.0	29.0	112.5	112.5	110.0	112.5	110.0
K+ (g/1)	0.42	0.43	1.7	1.2	1.1	1.2	1.4
Ca++ (mg/1)	460	440	620	840	980	840	760
Mg++ (mg/1)	1.2	1.3	4.9	3.2	3.1	3.4	3.7
HCO ₃ -- (mg/1)	34	0	241	110	134	135	159
CO ₃ -- (mg/1)	87	156	0	0	0	0	0
Cl- (g/1)	45	47	183	180	176	180	177
SO ₄ -- (g/1)	3.2	3.5	10.2	7.7	7.5	7.9	8.3
Sr++ (mg/1)	15	15	20	15	20	13	20
B (total) (mg/1)	25	26	60	43	40	45	46
Br- (mg/1)	24	30	160	120	130	94	134
pH	8.5	8.9	7.3	7.2	7.3	7.3	7.3

Çizelge 1: Tuz Gölü'nün Haziran 1976 da çeşitli noktalardaki bileşimi

Table 1: Chemical composition of Salt Lake brine at June 1976.

Gölden ilk su örneklerinin alındığı Haziran 1976 da ince bir NaCl kabuğu oluşmuş ve su az da olsa çekilmiş idi. Bu durumda iki bölge arasındaki su bağlantısının ortadan kalkmış olacağı düşüncesiyle 1977 yılı Nisan ayının sonundaki kuvvetli yağışları izleyen 2-4 Mayıs günlerinde, gölün 1977 yılı maksimum su düzeyine eriştiği sıralarda farklı kesimlerden yine su örnekleri alınmıştır. Bu dönemde de iki bölge arasında kesin farkların olduğu Çizelge-2 deki değerlerde hemen göze çarpmaktadır.

İki bölge arasında suyun bileşimi yönünden farklılaşma çökelmeye de etkimekte, derin kesimde ana gölden farklı olarak aragonit, Mg-kalsit ve dolomit oluşmaktadır (Irion, 1970).

Örnek Yeri Location	Derin bölge (Deep zone)		Ana göl bölgesi (Main lake)			
	Talış	Şehitlerhanı	Kaldırım	Akın	Selçuk K.	Yavşan
Na+ (g/l)	26	30	103	100	98	104
K+ (g/l)	0.3	0.3	0.6	0.7	0.7	0.6
Ca++ (mg/l)	360	370	960	1120	1040	1000
Mg++ (g/l)	1.0	1.0	1.8	2.4	2.0	2.0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	214	250	128	137	122	110
CO ₃ ⁻ (mg/l)	0	0	0	0	0	0
Cl- (g/l)	42.3	39.5	149.4	185.2	164.2	171.6
SO ₄ ⁻ (g/l)	2.7	2.5	5.3	7.2	6.1	6.0
B tot. (mg/l)	24	21	33	41	34	32
Br- (mg/l)	28	26	39	24	33	29
Li+ (mg/l)	17	16	57	63	58	59
pH	8.3	8.0	7.4	7.4	7.4	7.3

Çizelge 2: Tuz Gölü suyunun Mayıs 1977 de bazı noktalardaki bileşimi

Table 2: Chemical composition of the Salt take brine at May 1977

Tuz Gölü'nde ana hatlarla suları farklı bileşimde iki bölge ayrılabilir. Birlikte bazı etkenler suyun bileşiminde yersel oynamalara yol açmaktadır. Örneğin sağnak halinde düşen bir yağış, bunun getireceği sellenme, kuvvetli bir rüzgarla suyun yer değiştirmesi, günlük sıcaklık farkları, buharlaşma gibi meteorolojik, farklı jeolojik yapıdaki bölgelerden farklı yeraltı ve yerüstü suları ile beslenme gibi hidrojeolojik etkenler de değişimlerin başlıca nedenleridir. Çizelge 1 ve 2 de ana göl bölgesinden alınan örneklerin bileşimindeki değişimler bu nedenlere bağlanmaktadır.

öte yandan gölde düşey yönde ve değişimlerin olabileceği varsayımı ile derinliğe göre de örnek alınmış, ancak belirgin farklılıklara rastlanılmamıştır. Bu belki de su dikmesinin gerçekte yeterince yüksek olmamasına dayanmaktadır.

Kayacık tuzlasında aynı yerden Haziran 1976-Eylül 1977 arasında değişik zamanlarda alınmış örnekler göl suyu bileşiminin bir yıl boyunca oynamalarını göstermektedir (Çiz. 3). Göl suyu sürekli NaCl'e doygun olduğundan salamura

(brine) olarak nitelendirilmesi belki daha doğru olacaktır. Yaz aylarındaki kuvvetli buharlaşma sonucu göl Eylül-Ekim döneminde minimum su düzeyine erişmekte, sonbahar sonu ve kış aylarındaki yağışları izleyen Mart-Nisan aylarında ise maksimum su düzeyine ulaşmaktadır. E.İ.E. nin gözlemleri de ana hatlarla bunu doğrulamaktadır.

Bu durumda Eylül sonlarında gölde en kaim tuz kabuğuna ve Na, Cl ve Ca dışında en doygun suya rastlanılmaktadır. Bahar başlangıcında ise en düşük doygunluk izlenmektedir. Ancak 1976-77 döneminde yağışların daha geç kalması nedeniyle maksimum su düzeyine Mayıs başlarında ulaşılmıştır. Çizelge 3 de Mayıs ayında izlenen düşüşün başlıca nedeni budur.

TARTIŞMA

Tuz Gölü suyunda mevsimsel değişimlerin büyük çapta oluşu göl suyunun standart bir bileşimini vermeyi güçleştirmektedir. Bir yılı aşan sürede ana göl bölgesinde Eylül 1976 da maksimum, Mayıs 1977 de minimum toplam erimiş madde ölçülmüştür. Bazı karşılaştırmaları yapabilmek amacıyla göl suyunun Haziran 1976 da Kayacık'daki bileşimine ortalama su düzeyine en yakın değerleri sunması beklendiğinden Çizelge 4 de Tuz Gölü suyu olarak yer verilmiştir. Katyon ve anyonların çökme ve zenginleşmelerle ilgili yorumlanmaları her biri için ayrı ayrı sunulmuştur.

Sodyum

Tuz Gölü'nün ana katyonu olan sodyum suda çoğunlukla 100 g/l nin üzerinde bulunur. Bu çalışmada 73,3 g/l olarak saptanmış en düşük değer Mayıs 1977 de maksimum su düzeyine karşılık gelmektedir. Derin göl bölgesi ise 20-30 g/l dolayında Na+ içerir.

Deniz suyuna oranla Tuz Gölü'nde yaklaşık 9-10 kez fazla sodyum bulunur. Haziran-Eylül döneminde NaCl kabuğunun çökmesi nedeniyle sodyum'daki azalmaya karşılık klorür'ün hemen hemen aynı miktarda kalması başlangıçta farklı molar paylara dayanmaktadır (Mayıs 1977: Na+ =

Tarih Date	Haziran June	Eylül Sept.	Kasım Nov.	Aralık Dec.	Şubat Febr.	Nisan April	Mayıs May	Haziran June	Eylül Sept.	Kasım Nor.
	1976	1976	1976	1976	1977	1977	1977	1977	1977	1977
Na+ (g/l)	112.5	84.5	115.0	(115.0)+	107.5	106.3	73.3	112.5	105.8	110.0
K+ (g/l)	1.2	9.4	2.5	1.0	0.8	0.8	0.6	0.8	3.3	1.9
Ca++ (mg/l)	840	140	450	784	870	1000	730	1130	640	745
Mg++ (g/l)	3.4	25.3	7.3	3.0	2.1	2.2	1.6	2.4	8.8	5.2
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	135	1373	305	140	165	128	131	90	360	226
CO ₃ ⁻ (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl- (g/l)	180.0	182.4	192.5	182.8	161.1	173.1	121.3	192.0	185.0	186.0
SO ₄ ⁻ (g/l)	7.9	44.5	13.9	7.3	6.1	6.6	4.7	6.8	16.9	12.2
Sr++ (mg/l)	13	17	20	—	—	—	—	—	—	—
B total (mg/l)	45	332	110	38	30	29	30	38	131	—
Br- (mg/l)	94	640	320	125	87	29	42	67	—	181
Li+ (mg/l)	(60)+	305	95	78	56	63	44	66	110	92
pH	7.3	6.9	7.1	7.5	7.5	7.1	7.6	7.2	—	—

(...)+ Yaklaşık değer
Approximate value
(-) Tayin edilmemiş
Not measured

Çizelge 3: Kayacık'ta Tuz Gölü suyunun Haziran 1976-Eylül 1977 arasındaki değişimleri

Table 3: Changes in the chemical composition of the Salt Lake brine at Kayacık between June 1976 and September 1977

	Tuz Gölü ¹		Büyük Tuz Gölü ²		Deniz Suyu ³	
	Salt Lake	Dead Sea	Salt Lake	Searles L.	Sea water	
Na+	112.5 g/1	36.68 g/1	97.35 g/1	110.000 ppm	11 g/1	
K+	1.2 "	6.70 "	8.18 "	26.000 "	0.35 "	
Ca++	0.84 "	15.72 "	0.35 "	16 "	0.4 "	
Mg++	3.4 "	39.40 "	11.38 "	—	1.3 "	
HCO ₃	0.1 "	0.09 "	—	27.100 ppm	0.1 "	
+ CO ₃						
Cl-	180.0 "	204.7 "	182.4 "	121.000 "	19.0 "	
SO ₄ --	7.9 "	0.56 "	21.41 "	46.000 "	2.65 "	
Li+	60 mg/1	17.5 mg/1	60 mg/1	81 "	0.2 mg/1	
B	45 "	—	60 "	3.380 "	5 "	
Br-	94 "	4.75 g/1	160	860 "	65 "	
Sr++	13 "	0.31 "	5 ppm	—	7 "	

- 1) Tuz Gölü, Kayacık, Haziran (June) 1976
- 2) Nissenbaum (1977),
- 3) Whelan (1973), Whelan ve Petersen (1977),
- 4) White ve diğerleri (1963).
- 5) Collins (1975).

Çizelge 4: Tuz Gölü suyunun deniz suyu ve bazı tuzlu sularla karşılaştırılması

Table 4: Correlation of the Salt Lake brine with sea water and some other brines.

3186 meql, Cl⁻=3422 meql). Yaz aylarında göl tabanını kaplayan ve 0,1-20 cm kalınlığa ulaşan tuz kabuğunun bileşimi ise şöyledir:

Na⁺ : %37,3
Cl⁻ : >%60,6
SO₄⁻ : %0,8

Suda çözülmemeyen madde : %0.04

Ca⁺⁺ : 1650 ppm
Mg⁺⁺ : 1920 "
K⁺ : 630 "
B(tot) : 23 "
F⁻ : <%0.1
Sr⁺⁺ : <1%0.01
Br⁻ : <%0.001

Göl suyunda bulunan Na⁺ un çoğu Naci'den türemektedir. Laboratuvar çalışmalarında -10 °C de soğutma yoluyla 1 l göl suyundan 0,5 g kadar Na₂SO₄ elde edilmiştir, öte yandan havzada yer alan Gez ve Boluk bölgelerinde öncelikle Na₂SO₄ (tenardit) veya Na₂SO₄ · 10 H₂O (mirabilit) çökelmektedir (M.T.A., 1976).

Magnezyum

Tuz Gölü'nün ikinci büyük katyonu olan magnezyum ana göl bölgesinde 1,6-25,3 g/l arasında ölçülmüştür. Irion (1970) tarafından saptanan Mg⁺⁺ değerleri ise 34 g/l ye ulaşmaktadır.

Tuz Gölü'nde Mg⁺⁺ ile Ca⁺⁺ arasında ters yönlü bir ilişki gözlenmektedir. Yaz başında CaSO₄ · 2 H₂O (jips) çökmesi ile birlikte Ca⁺⁺ miktarlarında bir düşüş başlamasına karşılık evaporasyonla Mg⁺⁺ miktarları sürekli bir artış gösterir, Magnezyum 1976 Eylülde, Haziran 1976'ya göre 7,4 kez, Mayıs-Eylül 1977 döneminde ise 5,5 kez artmıştır, öte yandan Ca⁺⁺ Eylül 1976 da Haziran 1976 ya göre 6 kez azalmıştır. Bu ters yönlü ilişki nedeniyle Mg⁺⁺/Ca⁺⁺ (Mol) oranı fazlasıyla artmakta, Irion (1970) tara-

findan da saptandığı gibi çökel kabukta Mg-kalsit, manyezit, huntit, dolomit gibi karbonatların oluşmasına yol açmaktadır.

Braitsch (1962) a göre deniz suyunun buharlaşmasında halit (NaCl) in ardından epsomit (MgSO₄) çökmesi beklenir. Collins (1975) e göre epsomit oluşumunun başlaması için suda 74 g/1 den fazla Mg⁺⁺ bulunmaktadır. Tuz Gölü'nde bu koşullara erişilmediğinden Mg-tuzları çökelmemektedir.

öte yandan Mg⁺⁺ un hangi oranlarda Cl⁻ ve SO₄[~] anyonlarına bağlı olduğu ayrı sorudur. 1976 Haziran-Eylül döneminde sülfat 5,6 kez artış göstermiştir. Bu sayının Mg⁺⁺ un biraz gerisinde kalışı arada bir miktar daha jips veya sölestin çökmesine bağlanabilir. Yapay koşullarda (100°C ve kapalı sistem) buharlaştırılan Tuz Gölü suyunun son dönemde elde edilen tuzun X-Işınları difraksiyonunda halit'in yanısıra bişofit (MgCl₂ · 6H₂O) saptanmıştır. Bu mineral yapay koşullarda karnalitten dönüşmüş olsa bile magnezyum'un daha çok klorür'e bağlı olduğu kanısına varılmıştır.

Potasyum

Tuz Gölü suyunda litrede 06 - 9,4 g arasında ölçülen potasyumun en yüksek değeri Irion (1970) tarafından 12,7 g/l olarak saptanmıştır. Gölün derin bölgesi ise 0,3-0,4 g/l düzeyinde K⁺ içerir. Deniz suyuna oranla Tuz Gölü'nde potasyum yaklaşık 3,5 kez daha yoğundur. Maksimum buharlaşma döneminde bu 35 katma çıkabilmektedir.

Göl suyunda Mg⁺⁺/K⁺ oranı 3:1 dolayındadır. 1976 Eylül'ünde Haziran 1976 ya göre K⁺ 7,9; 1977 Mayıs-Eylül döneminde ise 5,5 kez zenginleşmiştir. Bu magnezyuma çok benzerdir. Irion (1973) 1968 yılında K⁺ un buharlaşma sonucu 14,1 kez arttığını saptamıştır.

Buharlaşmanın son dönemlerinde kristallenen K-tuzlardan silvin (KCl) in oluşabilmesi için Collins (1975) litrede 37 gramı aşan K⁺ miktarlarının gerekliliğini bildirmektedir. Tuz Gölü'nde magnezyumda olduğu gibi bu koşullara erişilmemektedir. Daha önce belirtilen X-Işınları difraksiyonda bişofitin yanında silvinin de d₁ ve d₂ piklerinin saptanmış olması Mg⁺⁺ gibi K⁺un da daha çok Cl⁻ anyonuna bağlı olduğunu düşündürmektedir.

Bununla birlikte Irion (1970) gölün taban çökellerinde K-lu bir mineral olan polihalit'i (K₂Mg Ca₂ (SO₄)₄ · 2 H₂O) saptamıştır. Denizel evaporitlerde pek de ender olmayan polihalit'in oluşumunu Braitsch (1962) CaSG₂-ca zengin çözeltilerin ortama karışmasına dayandırmaktadır, öte yandan Holser (1966) e göre polihalit güncel bir Kaliforniya lagününde diyajenez sonucu jipsden türemiştir. Jaenecke diyagramı Tuz Gölü suyuna uygulayan Irion (1973) göl suyu bileşiminin yaz aylarında polihalit'in duraylılık alanına girdiğini hesaplayarak bu mineralin doğrudan göl suyunun veya taban tortullarının gözenek sularından çökebileceğini varsaymıştır.

Kalsiyum

Tuz Gölü suyunda ancak dördüncü büyük katyon olan kalsiyum'un gölde ölçülen miktarları 140-1130 mg/l arasında değişmektedir. Derin bölgede bu değerler 300-400 mg/l düzeyindedir. Kalsiyum miktarı yaz aylarında jips'in çökel-

meşine bağlı olarak düşme gösterir, öte yandan bahar sonunda karbonat minerallerinin çökmesi de Ca^{++} un uzalma nedenlerinin biridir.

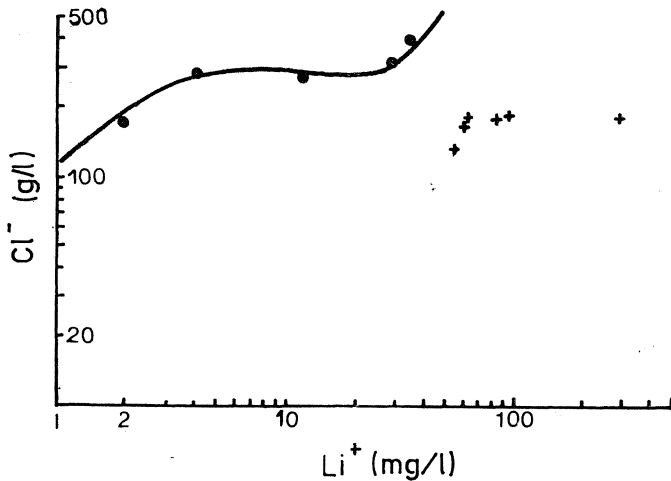
Tuz Gölü'nün taban çökellerinde jips üstün olan bir mineraldir. Tuz kabuğunun altında yer alan taban çökel, karbonat mineralleri ve kırıntılıların (kuvars, feldspat, kil mineralleri) yanısıra %50 ye yakın oranlarda jips içerir. Ana göl bölgesinde jips, taban çökelinin içinde çapı 10-15 cm ye varan, monoklinal, iyi gelişmiş, büyüme miktarları gösteren saydam kristaller biçimindedir.

Lityum

Tuz Gölü'nde en önemli sayılabilecek ölçüde zenginleşme gösteren elementlerden biri de lityum'dur. Göl suyunda rastlanan lityum değerleri 44-305 mg/l arasındadır. Irion (1972) un saptadığı değerler ise 18-220 mg/l arasındadır. Lityum'da hesaplanan buharlaşma faktörü Mg^{++} ve K^+ un biraz gerisinde kalmaktadır. Bu durum belki de elementin küçük atom çapı nedeniyle göl tabanındaki kil minerallerince kolayca adsorblanabilmesine dayanmaktadır.

Deniz suyundan en son çökelebilen ve bişofit oluşumuna kadar çözeltide kalabilen Li^+ Tuz Gölü suyunda deniz suyuna oranla yaklaşık 300 kez yoğundur. Maksimal buharlaşma döneminde bu oran 1500'e kadar çıkabilmektedir. Şekil 2 de deniz suyunda Li/Cl normal buharlaşma eğrisi görülmektedir. Burada Tuz Gölü'ne ait değerler de ayrıca gösterilmiştir. Tuz Gölü'ndeki Li^+ fazlalığı burada da göze çarpmaktadır,

Yüksek erirliği olan Li -tuzlarma doğada rastlamak güçtür. Volkanitlerle ilişkili bazı $Na-Cl$ tipi yüzey suları Li^+ zenginleşmesi gösterebilirler. Yüksek Li^+ lu suların başında 30-81 ppm ile Searles., 16 ppm ile Salado gölleri gelmektedir (White ve diğ., 1963). Tuz Gölü'nde yaz sonunda görülen 300 mg/l lik lityum değerleri doğada yüzey sularında rastlanan en büyük miktarlardan birisidir. Gölü besleyen yeraltı ve yerüstü sularında yüksek Li^+ a rastlanmamış olması, göldeki lityum'un uzun bir zaman sürecinde birikmiş olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 2: Deniz suyunun Li/Cl normal buharlaşma eğrisi (+ ile Tuz Gölü'ne ait bazı değerler gösterilmiştir)

Figure 2: Li/Cl normal evaporation curve of sea water (+ = The Salt Lake brine)

Bor

Deniz suyunda 5 mg/l dolayında bulunan bor, Tuz Gölü'nde 30-332 mg/l arasında ölçülmüştür. Bor, Haziran-Eylül 1976 döneminde K^+ ve Mg^{++} un artış oranlarına uygun olarak suda 7,4 kez yoğunlaşmıştır. Tuz Gölü suyunda bor deniz suyuna oranla yaklaşık 10 kez daha fazladır.

Bor'un denizel buharlaşma ortamlarında çökmesi Braitsch (1962) tarafından açıklanmıştır. Genellikle son buharlaşma dönemine ulaşan elementlerden biri olan bor'un bazı mineralleri ise taban anhidriti veya halit gibi daha önce çökelebilen tuzlarla birlikte de bulunmaktadır. Karasal buharlaşma ortamlarında bor zenginleşmesi daha çok post-volkanik etkinliğe bağlıdır. Borat'ların diyajenez de içine alan uzun bir sürede oluştuğu sanılmaktadır.

Stronsiyum

Tuz Gölü suyunda stronsiyum ölçümleri yalnız 1976 yılı içinde yapıldığından bu elementin değişimleri tam olarak saptanamamıştır. Bununla birlikte Haziran, Eylül ve Kasım değerlerinde büyük farklar yoktur. Göl suyunda Sr^{++} genellikle 15-20 mg/l dolayındadır. Bu da deniz suyuna oranla 2-3 kez fazladır. Sr^{++}/Ca^{++} ile doğru, SO_4^{--} ile dolaylı bağlantılıdır. Haziran-Eylül döneminde Sr^{++} un belirgin olarak artmamış olması bu kationun gölde çökelmiş olmasına bağlanabilir. Gerçekten de Sr^{++} un deniz suyunun buharlaşması ile zenginleşmesi ancak jips çökmesinin bitimine kadardır (Collins, 1975). Irion (1972) un bulguları ise gölde Sr^{++} un bahar yaz döneminde 17 mg dan 7 mg/l ye düştüğünü göstermektedir.

Stronsiyumdun deniz suyundaki bilançosunu hesaplayan Müller (1962) bu elementin %38,7 oranında Ca sülfatlarında (Jips, anhidrit, polihalit), %62,5 oranında da özgün mineral olarak bulunduğunu saptamıştır. Braitsch (1962) a göre Ca -lu sülfatlarda Sr^{++} , Ca^{++} un yerini kristal şebekesinde, "diadoch" olarak almaktadır. Evaporitik dönemlerde rastlanan asıl stronsiyum minerali ise $SrSO_4$ (sölestin) dir. Deniz suyundan sölestin çökmesi suyun 3-5 kez yoğunlaşması ile gerçekleşmektedir. Bu da maksimum 40 mg/l Sr^{++} a karşılık gelmektedir. Sülfat, Tuz Gölü suyunda gereken miktarda bulunduğu göre suyun 2-3 kez yoğunlaşması ile sölestin çökmesi beklenmektedir. Ancak kabukta bu minerale henüz rastlanılmamıştır. Irion (1970) taban çökeline iz olarak sölestin'e rastlamış, ancak kökenini çökellerdeki aragonit gibi duraysız minerallerin duraylı karbonatlara dönüşümünde serbest kalarak gözenek suyuna Sr^{++} un SO_4^{--} ile birlikte çökmesine bağlamıştır.

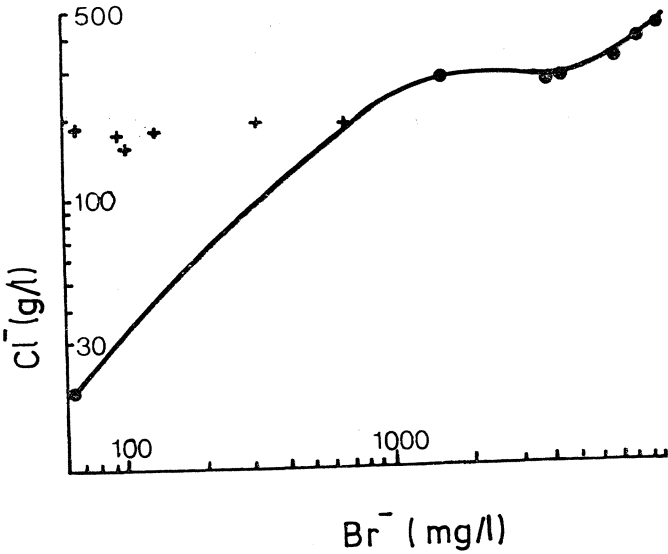
Brom

Anyonlar arasında Cl^- , SO_4^{--} ve HCO_3^- den sonra dördüncü sırada kalmakla birlikte, Br^- , lityum gibi Tuz Gölü'nün önemli zenginleşmelerinden birisini oluşturur, öte yandan bromür'ün tuzlu sular ve evaporit yataklarının köken araştırmasında önemli bir element oluşu özellikle araştırılmasını gerektirmektedir. Tuz Gölü'nde ölçülen Br^- değerleri 29-640 mg/l arasında değişmektedir. Maksimum buharlaşma döneminde Tuz Gölü suyu olağan deniz suyuna oranla 10 kez fazla Br^- içermektedir.

Buharlaşma ortamlarında Br^- klorür minerallerine kısım "diadoch" olarak (Cl^- ün yerini alarak) girmekle bir-

likte genellikle son kristallenme dönemine kadar artık çözeltilde kalabilen bir elementtir. Bu özelliği nedeniyle Br-buharlaştırma dönemleri için Bromstratigrafisi kurulması, (Baar, 1963; Borehert ve Muir, 1964), buharlaşma ortamında sıcaklık tayinleri (Braitsch ve Herrmann, 1963), çökeltme ortamında su derinliğinin hesaplanması (Kühn, 1955), tuz metamorfizmasının saptanması (Braitsch, 1962), tuzlu suların kökeninin araştırılması (White ve diğ., 1963) gibi konularda yeterince kullanılmıştır.

Şekil 3 de deniz suyunun normal buharlaşma eğrisinde Br/Cl ilişkileri gösterilmiştir. Tuz Gölü'nde ölçülen değerlerin eğrinin solunda kalması gölde bromür'ün klorür'e oranının düşüklüğünde kaynaklanmaktadır.



Sekil 3: Deniz suyunun Br/Cl normal buharlaşma eğrisi (4. ile Tuz Gölü'ne ait bazı değerler gösterilmiştir)

Figure 3: Br/Cl normal evaporation curve of sea water (4. = The Salt Lake brine)

Deniz suyunun %0,22 lik Br/çözelti (ağırlık) oranı erimemiş madde oranına göre tuzlu suları sınıflandırmışlardır. Buradaki konumuna göre Tuz Gölü suyu deniz suyundan daha fazla erimemiş madde, ancak daha az bromür içeren bir sudur. Bu tür sular olasılıkla erimemiş halit içeren sulardır. Aynı biçimde White ve diğ. (1963) e göre tuzlu formasyonlardan türemiş suların Br/Cl oranı suyun kökeninin belirlenmesinde yararlı bir parametredir. Bu oran 0,003 den büyükse fosil (connate) su söz konusudur. Tuz Gölü'nde Eylül sonunda alınmış bir örnek dışında bu oran 0,003 den küçüktür. Bu durumda suyun meteorik kökenli olup, kristal tuz yataklarını eritmiş olduğu düşünülmektedir, öte yandan Tuz Gölü havzasında geniş evaporitik oluşukların varlığı Arıkan (1975) ve Uğur taş (1975) tarafından bildirilmiştir. Bu durumda Tuz Gölü suyunun tabandaki evaporitlerden türemiş olması söz konusudur.

Rittenhouse (1967) ve Billings ve diğ. (1969) Br/toplam erimemiş madde oranına göre tuzlu suları sınıflandırmışlardır. Buradaki konumuna göre Tuz Gölü suyu deniz suyundan daha fazla erimemiş madde, ancak daha az bromür içeren bir sudur. Bu tür sular olasılıkla erimemiş halit içeren sulardır. Aynı biçimde White ve diğ. (1963) e göre tuzlu formasyonlardan türemiş suların Br/Cl oranı suyun kökeninin belirlenmesinde yararlı bir parametredir. Bu oran 0,003 den büyükse fosil (connate) su söz konusudur. Tuz Gölü'nde Eylül sonunda alınmış bir örnek dışında bu oran 0,003 den küçüktür. Bu durumda suyun meteorik kökenli olup, kristal tuz yataklarını eritmiş olduğu düşünülmektedir, öte yandan Tuz Gölü havzasında geniş evaporitik oluşukların varlığı Arıkan (1975) ve Uğur taş (1975) tarafından bildirilmiştir. Bu durumda Tuz Gölü suyunun tabandaki evaporitlerden türemiş olması söz konusudur.

Diğer anyonlar

Klorür, Tuz Gölü suyunun ana anyonudur. Mayıs 1977 de kuvvetli yağışları izleyen aşırı düşük değer göz önüne alınmazsa, Tuz Gölü'nde sürekli olarak 180 g/l dolayında Cl- vardır. Bu durumda deniz suyuna oranla 10 kez daha tuzlu olan göl suyu sürekli NaCl'e doygunudur.

İkinci büyük anyon olan SO₄-~ 4,7-44,5 g/l arasında değerler gösterir. Jips ve sölestin çökmesi bu anyona bağlıdır. Tuz Gölü'nde deniz suyuna oranla maksimal buharlaşma döneminde 17 kez zenginleşmiştir.

Bikarbonat, sülfat gibi yaz aylarında artış göstererek 1,37 g/l le ulaşır. Bahar-yaz geçişinde karbonat çökmesi HCO₃- m geçici azalmasına yol açar. Irion (1970) bu kaybı 0,3 g/l olarak hesaplamıştır.

Karbonat (CO₃-) a yalnız Haziran 1976 da gölün derin bölgesinde rastlanılmıştır. Bu kesimde bakteriyel SO₄- indirgenmesinin olduğu Irion (1970) tarafından kanıtlanmıştır. Bu ortamda ayrıca CO₃- açığa çıkmakta, ancak yine karbonat minerallerine dönüşmektedir.

Flor ölçümleri sürekli yapılmamıştır. Bununla birlikte elde edilen değerler çoğunlukla 1 mg/l in altındadır. Flor'un en önemli bileşiği olan florit'in (CaF₂) deniz suyunun eriliği 8,7 ppm dolayındadır (Collins, 1975). Özellikle evaporitlerin ilk dönemlerinde anhidrit ve karbonatlarla birlikte çökelebilen (Degens, 1968) florit'e Tuz Gölü'nde rastlanılmamıştır. Bu da mutlak düşük flor miktarından kaynaklanmaktadır.

Deniz suyunun 0,05 g/l dolayında olan I- Tuz Gölü'nde 1 mg/l den düşük miktarlarda ölçülmüştür. İyot analizlerinin sürekli yapılmamış olması, bu elementin atmosferik ve biyolojik etkilenmesi nedenleriyle I- için bir yoruma girmek gereksiz olacaktır.

Diğer elementler

Tuz Gölü suyunun Haziran 1976 da 19 mg/l SiO₂, Eylül 1977 de ise 63 mg/l SiO₂ ölçülmüştür. Irion (1973) ise 4-17 mg/l dolayında SiO₂ değerleri saptamıştır. Ölçülen en büyük Fe (total) miktarı 0,14 mg/l dir. PO₄- ve NO₃- e rastlanmamıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma M.T.A. Enstitüsü'nün Tuz Gölü Projesi çerçevesinde yürütülmüştür. Çalışma olanağını veren Enstitü'ye yazarlar teşekkürü bir borç bilirler.

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER

- Arıkan, Y., 1975, Tuz Gölü havzasının jeolojisi ve petrol imkanları : M.T.A. Dergisi, 85, 17-37.
- ASTM (Am. Soc. for Testing Materials), 1969, Water - Atmosphere Analysis: ASTM, Part 23, 1036 s.
- Baar, C.A., 1963, Der Bromgehalt als stratigraphischer Indikator in Steinsalzlagern: N. Jb. Miner., 7, 137.
- Billings, G.K., Hitchon, B. ve Shaw, D.R., 1969, Geochemistry and origin of formation waters in the western Canada sedimentary basin, 2. Alkali metals: Chem. Geology, 4, 211-223.
- Borehert, H., ve Muir, R.O., 1964, Salt deposits: Londra, D. van Nostrand Co., 338 s.
- Braitsch, O., 1962, Entstehung und Stoffbesand der Salzlagern: Berlin, Springer-Verlag, 232 s.

- Braitsch, O. ve Herrmann, A.G., 1963, Zur Geochemie des Broms in salinaren Sedimenten. Teil I: Experimentelle Bestimmung der Br-Verteilung in verschiedenen natürlichen Salzsystemen: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 361-391.
- Collins, A.G., 1975, *Geochemistry of oilfield waters*: Elsevier, 496 s.
- Degens, B.T., 1968, *Geochemie der Sedimente*: Springer, 282 s.
- Erol, O., 1969, Tuz Gölü havzasının jeolojisi ve jeomorfolojisi: M.T.A. Derleme Rapor No. 4220, yayınlanmamış.
- Holser, W.T., 1966, Diagenetic polyhalite in Recent salt from Baja California: *Amer. Miner.*, 51, 99-109.
- Irion, G., 1970, Mineralogisch - sedimentpetrographische und geochemische Untersuchungen am Tuz Gölü (Salzsee), Türkei: Doktora tezi, Ruprecht Karl-Universität (Heidelberg), 68 s., yayınlanmamış.
- , 1972, Lithium als Anreicherungsprodukt in zwei türkischen Salzseen: *Die Naturwiss.*, 59-10, 467-468.
- , 1973, Die anatolischen Salzseen, ihr Chemismus und die Entstehung ihrer chemischen Sedimente: *Arch. Hydrobiol.* 71/4, 517-557.
- Kühn, R., 1955, Tiefenberechnung des Zechsteinmeeres nach dem Bromgehalt der Salze: *Z. Deutschen Geol. Ges.*, 105, 646.
- M.T.A., 1976, Tuz Gölü havzası etüd ve aramaları fizibilite araştırması, Cilt 1, ön çalışma raporu: M.T.A., yayınlanmamış.
- Müller, G., 1962, Zur Geochemie des Strontiums in ozeanen Evaporiten amter besonderer Berücksichtigung der sedimentären Celestinlagerstaette von Hemmelte-West (Stüd-Oldenburg): *Geol.*, 11, Beih. 35, 1-90.
- Nissenbaum, A., 1977, Minor and trace elements in Dead Sea water: *Chem. Geol.* 19, 2, 99-111.
- Rittenhouse, G., 1967, Bromine in oilfield waters and its use in determining possibilities of origin of these waters: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, 51, 2430-2440.
- Salamon-Calvi, W. ve Kleinsorge, H., 1939, Merkezi Anadolu'da bir kaç Tuzgölünün incelenmesi hakkında rapor; M.T.A. End. Hammaddeler D. Arşiv No. 400, yayınlanmamış.
- Uğurtag, G., 1975, Tuz Gölü havzasının bir bölümünün jeofizik yorumu: *M.T.A. Dergisi*, 85, 38-44.
- U.S. G.S., 1970, Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases, Book 5: U.S.G.S., 160 s.
- U.S. Salinity Lab., 1954, Handbook: U.S. Dept. Agriculture, 160 s.
- Whelan, J.A., 1973, Great Salt Lake Utah; Chemical and physical variations of the brine, 1966-1972: *Utah Geol. Min. Survey, Water Res. Bull.*, 17, 24 s.
- Whelan, J.A. ve Petersen, C.A., 1977, Great Salt Lake Utah: Chemical and physical variations of the brine, Water years 1974, 1975: *Utah Geol. Miner. Survey, Water Res. Bull.* 22, 47 s.
- White, D.E., Hem, J.D. ve Waring, G.A., 1963, Chemical composition of subsurface waters: U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 440-F, Data of Geochem., 67 s.