

ULUABAT GÖLÜ ÇEVRE JEOKİMYASI

100835

DOKTORA TEZİ
Y. Müh.Ahmet ÇELENLİ
505930012012

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Ekim 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Nisan 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Yılmaz BÜRKÜT (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Atilla AYKOL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Namık ÇAĞATAY (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Osman YILMAZ (İ.Ü.)
Prof.Dr.Selçuk TOKEL (K.Ü.)

[Handwritten signatures and initials of the jury members]

Nisan 2000

ÖNSÖZ

Uluabat Gölü ve çevresi, tarihi ve kültürel zenginlikleri, doğal bir kuş cenneti olması ve sahip olduğu tatlı su potansiyeli ile ülkemiz ve insanlık için oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Ancak geçmişten günümüze giderek artan kirlilik sebebiyle, büyük bir risk altında olan ve acil önlemler alınmazsa yakın bir gelecekte göl niteliğini kaybederek bataklık haline gelebilecek olan Uluabat Gölü, bugüne değin ciddi olarak doktora düzeyinde araştırılmamıştır. Dolayısıyla Uluabat Gölü'nün, interdisipliner bir konu olarak detaylı araştırılması amacıyla doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada Uluabat Gölü'nün su ve dip sedimanları hidrojeokimya ve çevre jeokimyası kapsamında irdelenmiş, jeokimyasal kriterlere dayanarak ve göl suyu ve sedimanlarındaki majör, minör ve iz elementlerin yanal ve düşey değişimleri incelenerek göl suyu ve sedimanlarının metal kirlilik yükleri ortaya konmuş, sonuçlar ayrıca jeostatistiksel olarak yorumlanmıştır.

Modern ve çağdaş anlamda Jeokimya biliminin dünyadaki gelişimini ve değişimini çok yakından izleyerek beni bu konuda araştırmaya yönlendiren, bunun için bana her türlü laboratuvar ve teknik imkanı sağlayan, akademik yaşamım boyunca ve özellikle doktora tez çalışmam sırasında yapıcı eleştiri ve önerilerini esirgemeyen, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli danışman hocam sayın Prof.Dr. Yılmaz Bürküt'e minnet ve şükranlarımı sunarım. Laboratuvar ve binoküler mikroskop incelemeleri sırasında değerli katkı ve yardımlarını gördüğüm sayın Doç.Dr. A.H.Gültekin'e, XRD çekimleri için Jeo.Yük.Müh. S.G. Yılmaz'a, XRD çözümlemelerinde ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın Doç.Dr. F.Esenli'ye, çeşitli konularda desteklerini gördüğüm öğretim üyeleri sayın Prof.Dr. M.S.Kırıkoğlu, sayın Doç.Dr.M.F.Suner'e, yakın çalışma arkadaşlarım Jeo.Yük.Müh. M.Budakoğlu, Jeo.Yük.Müh. M.Kumral ve Dr. V.Esenli'ye, her zaman anlayışlarını gördüğüm anabilim dalımızın diğer elemanlarına, MTA Çorlu Bölge Müdürlüğü'nden Jeo.Yük.Müh.A.İskenderoğlu'na ve Dr. F. Yücesoy'a teşekkürlerimi sunarım. Tezimi Araştırma Fonu kanalıyla destekleyen seçkin üniversiteme ayrıca teşekkür ederim. Geçmişte olduğu gibi, bu çalışma sırasında da bana destek olan, sabır ve anlayışını gördüğüm sevgili eşime ve oğluma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xvii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Önceki Çalışmalar	3
1.3. Coğrafi Konum	4
1.4. İklim, Bitki Örtüsü ve Meteorolojik Özellikler	7
1.5. Sosyal ve Ekonomik Yapı	9
1.6. Gölün Batimetrisi	13
1.7. Göl Suyunun Yenilenme Zamanı	15
2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ	16
2.1. Arazi Çalışmaları	16
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	19
2.2.1. Su Örneklerinin İncelenmesi	20
2.2.1.1. Fiziksel İncelemeler	20
2.2.1.2. Kimyasal İncelemeler	20
2.2.2. Göl Sedimanlarının İncelenmesi	22
2.2.2.1. Göl Sedimanlarının Mineralojik İncelemesi	22
2.2.2.2. Göl Sedimanlarının Kimyasal İncelemesi	22
3. ULUABAT GÖLÜ ve CİVARININ JEOLJİSİ	25
3.1. Litostratigrafi	25
3.1.1. Paleozoyik	26

3.1.1.1. Serkedere Metamorfitleri (Ps)	26
3.1.1.2. Dikmentepe Kireçtaşı (Pd)	26
3.1.1.3. Kızıltepe Metamorfitleri (Pk)	26
3.1.1.4. Paşalar Mermerleri (Pp)	26
3.1.2. Meozozoyik	27
3.1.2.1. Triyas	27
3.1.2.2. Jura	27
3.1.2.3. Kretase	28
3.1.3. Senozoyik	29
3.1.3.1. Paleosen	29
3.1.3.2. Miyosen	29
3.1.3.3. Pliosen	30
3.1.3.4. Kuvaterner	31
3.2. İnceleme Alanının Yapısal Jeolojisi	32
4. ULUABAT GÖLÜ SU ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ	34
4.1. Gölde Yerinde Yapılan Ölçümler	34
4.1.1. Türbidite ve Derinlik	34
4.1.2. pH	36
4.1.3. Çözünmüş Oksijen	39
4.1.4. Elektriksel İletkenlik	41
4.2. Laboratuvar İncelemeleri	43
4.2.1. Göl ve Akarsu Örneklerinin Kimyasal Bileşimi	43
4.2.1.1. Kalsiyum	46
4.2.1.2. Magnezyum	48
4.2.1.3. Sodyum	50
4.2.1.4. Potasyum	51
4.2.1.5. Silisyum	53
4.2.1.6. Bor	55
4.2.1.7. Klor	57
4.2.1.8. Karbonat-Bikarbonat	59
4.2.1.9. Sülfat	63
4.2.1.10. Fluor	65
4.2.1.11. Nitrat-Nitrit	67
4.2.1.12. Fosfat	69
4.2.2. Göl Sularının Minör ve İz Element Bileşimi	70
4.2.3. Jeolojik Birimlerin Su Kimyası Üzerine Etkisi	73
4.2.3.1. Mağmatik Kayalardan Gelen Sular	73
4.2.3.2. Metamorfik Kayalardan Gelen Sular	76
4.2.3.3. Tortul Kayalardan Gelen Sular	77
4.3. Uluabat Gölü Su Kimyasının Jeostatistiksel Açısından Yorumu	86
4.3.1. Su Analiz Sonuçlarına Cluster Analizinin Uygulanması	86

4.3.2. Su Analiz Sonuçlarına PCA Analizinin Uygulanması	88
5. ASKIDA KATI MADDE JEOKİMYASI	92
5.1. Askıda Katı Maddede Metal Zenginleşmesi	97
6. ULUABAT GÖLÜ'NÜN HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ	99
6.1. Uluabat Gölü ve M.Kemalpaşa Çayı Hidrojeokimyasal Modellemesi	99
6.1.1. Uluabat Gölü ve M.Kemalpaşa Çayı Sularının Kimyasal Sınıflaması	99
6.1.1.1. Toplam Çözünmüş Madde Miktarına Göre Sınıflama	99
6.1.1.2. Schoeller (1955) Sınıflaması	100
6.1.1.3. Piper (1955) Sınıflaması	101
6.1.1.4. Sulin (1946) Sınıflaması	103
6.1.2. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Sularının Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi	103
6.1.2.1. Sodyum Tehlikesi	104
6.1.2.2. Bor Tehlikesi	104
6.1.2.3. Klorür Tehlikesi	105
6.1.3. Suların Doyma Endeksleri	105
6.1.3.1. Kalsit Doyma Endeksi (Sc)	105
6.1.3.2. Karbonat Doyma Endeksi	108
6.1.3.3. Dolomit Doyma Endeksi (Sd)	109
6.1.3.4. Sülfat Doyma Endeksi (Ss)	110
6.1.4. Toplam Sertlik	111
6.2. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Sularının Kökensele İncelemesi	112
6.2.1. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Su Kimyasının Dünya Ortalamalarıyla Karşılaştırılması	114
7. GÖL VE AKARSU SEDİMANLARININ MİNERALOGİK İNCELEMESİ	119
7.1. Binoküler Mikroskop İncelemeleri	119
7.1.1. Göl Sedimanları	119
7.1.2. Akarsu Alüvyon Örnekleri	121
7.2. X-Işınları Difraksiyonu İncelemeleri	123
7.2.1. Akarsu Sediman Örneklerinin X-Işınları Difraksiyon İncelemeleri	123
7.2.2. Göl Sedimanlarının X-Işınları Difraksiyon İncelemeleri	129
7.3. Diferansiyel Termik Analiz (DTA) İncelemeleri	135

8. ULUABAT GÖLÜ DİP SEDİMANLARININ JEOKİMYASI	137
8.1. Majör Elementler	140
8.1.1. Silisyum	141
8.1.2. Alüminyum	145
8.1.3. Demir	148
8.1.4. Kalsiyum	151
8.1.5. Magnezyum	153
8.1.6. Sodyum	155
8.1.7. Potasyum	157
8.2. Minör Elementler	160
8.2.1. Titanyum	161
8.2.2. Fosfor	163
8.2.3. Mangan	166
8.2.4. Baryum	170
8.2.5. Stronsiyum	172
8.2.6. Vanadyum	174
8.2.7. Krom	176
8.3. İz Elementler	179
8.3.1. Bakır	181
8.3.2. Nikel	184
8.3.3. Çinko	186
8.3.4. Kobalt	189
8.3.5. Kurşun	192
8.3.6. Arsenik	195
8.3.7. Kadmiyum	196
8.3.8. Bor	198
8.4. Diğer Bileşenler	200
8.4.1. Kızdırma Kaybı	200
8.4.2. Toplam Organik Karbon	203
8.4.3. Toplam karbonat	206
8.5. Uluabat Gölü Dip Sedimanlarının Jeoistatistiksel Açıdan Yorumu	208
8.5.1. Dip Sedimanları Analiz Sonuçlarına Cluster Analizinin Uygulanması	209
8.5.2. Dip Sedimanları Analiz Sonuçlarına PCA Analizinin Uygulanması	211
9. GÖL SINIFLAMALARI	216
9.1. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre	216
9.1.1. Kırıntılı (Klastik) Göller	216
9.1.2. Kimyasal (Tuzlu) Göller	218
9.2. Organik Çevrime Göre Yapılan Sınıflama	218
9.2.1. Az Beslenmiş (Oligotrofik) Göller	218

9.2.2. Orta Derecede Beslenmiş Göller	218
9.2.3. Aşırı Beslenmiş (Ötrofik) Göller	218
9.2.4. Kötü Beslenmiş (Distrofik) Göller	219
9.3. Kökenine Göre (Jenetik) Yapılan Sınıflama	220
9.3.1. Tektonik Göller	220
10. ULUABAT GÖLÜ GÜNCEL DİP SEDİMANLARININ METAL ZENGİNLEŞMESİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI	221
10.1. Sediman Kalite Sınıflamaları	222
10.1.1. Uluabat Gölü Dip Sedimanlarının Sediman Zenginleşme Faktör (SEF) Sınıflaması	225
10.1.2. Uluabat Gölü Dip Sedimanlarının Jeokümülyasyon İndeks Sınıflaması	240
10.1.3. Metal / Al Değişimleri	243
11. SONUÇLAR	246
KAYNAKLAR	253
EKLER	258
ÖZGEÇMİŞ	261

KISALTMALAR

ppm	: Part per million
ppb	: Part per billion
mek	: Miliekivalen
XRD	: X-ray diffraction
µg	: Mikrogram
TÇM	: Toplam çözünmüş madde
AKM	: Askıda katı madde
GPS	: Global Positioning System
I-geo	: Index of Geoaccumulation
SEF	: Sediment Enrichment Factor
PCA	: Principal Component Analysis

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Uluabat Gölü'nden yapılan su çekişleri 6
Tablo 1.2	M.Kemalpaşa ve Bursa bölgelerine ait yıllık ortalama sıcaklıklar 7
Tablo 1.3	M.Kemalpaşa ve Bursa bölgelerinin aylık yağış değerleri 8
Tablo 1.4	Uluabat Gölü'nden aylık ortalama net buharlaşmalar 8
Tablo 2.1	Göl suyu kimyasal analizlerinde kullanılan yöntemler 21
Tablo 2.2	Göl dip sedimanlarında yapılan analizler ve kullanılan yöntemler..... 24
Tablo 4.1	Gölde yerinde yapılan türbidite ve derinlik ölçümleri 34
Tablo 4.2	Eh ve pH etkisinde majör ve iz elementlerin mobiliteleri 36
Tablo 4.3	Yüzey ve yeraltı sularının CO ₂ içeriği ve pH'ını kontrol eden bazı prosesler ve reaksiyonlar 39
Tablo 4.4	Uluabat gölü sularının mg/l cinsinden kimyasal analiz sonuçları..... 44
Tablo 4.5	Göl suyu analiz sonuçlarının mek/l cinsinden değerleri 45
Tablo 4.6	M. Kemalpaşa ve Uluabat Çayı su örneklerine ait kimyasal parametreler..... 46
Tablo 4.7	M. Kemalpaşa ve Uluabat Çayı'na ait analiz sonuçlarının mek/l değerleri 46
Tablo 4.8	Uluabat Gölü suları minör ve iz element analiz sonuçlarının dünya ortalamaları ile karşılaştırılması 71
Tablo 4.9	32 adet göl suyuna ait verilerin oluşturduğu Pearson korelasyon matrisi 87
Tablo 4.10	Uluabat Gölü su analizlerine ait hesaplanan faktör yükleri 89
Tablo 5.1	Uluabat Gölü'nden alınan askıda katı maddede yapılan kimyasal analizler ve sonuçları 93
Tablo 5.2	Sedimanlardaki metaller için I-geo sınıflaması (Müller, 1979) 97
Tablo 5.3	Uluabat Gölü askıda katı maddede jeoakümülyasyon indeksi sınıflaması 98
Tablo 5.4	Askıda katı madde ve ortalama şeyildeki metal/Al oranları 98
Tablo 6.1	Bor konsantrasyonuna göre değişik bitkiler için sulama sularının Wilcox sınıflaması 105
Tablo 6.2	Bazı sıcaklık değerlerinde A sabitinin aldığı değerler 107
Tablo 6.3	Bazı kimyasal tepkimelerin denge sabiteleri 107
Tablo 6.4	Suların sertlik sınıflandırılması 112
Tablo 6.5	Yüzey ve yeraltı sularında pH,TÇM ve majör bileşenlerin ortalama değerlerinin Uluabat Gölü ve M.K.Ç verileri ile karşılaştırılması (mg/l) 115
Tablo 6.6	Uluabat Gölü ve diğer bazı tatlı su göllerinin kimyasal verileri ... 116
Tablo 6.7	Bazı doğal sularda SiO ₂ olarak bulunan çözünmüş silis konsantrasyonları 118

Tablo 7.1	Göl sediman örneğinin değişik boyut aralıklarına göre mineral bileşimi	120
Tablo 7.2	M KP Çayı bölgesinden alınan alüvyon örneğinin mineralojik bileşimi	122
Tablo 8.1	Dünyanın değişik yerlerindeki tatlı su göl sedimanlarında bulunan mineraller ve kaynak tipleri	139
Tablo 8.2	Yerkabuğu ve değişik türdeki sedimanların majör element bileşimi	140
Tablo 8.3	Uluabat Gölü tüm sediman majör element değer aralıkları ve ortalamaları	140
Tablo 8.4	Yerkabuğu ve değişik türdeki sedimanların minör element bileşimi	160
Tablo 8.5	Bazı maddelerin pH=7 deki kation değiştirme kapasiteleri ve pH bağımlılığı	179
Tablo 8.6	Yerkabuğu ve değişik türdeki sedimanların iz element bileşimi ..	180
Tablo 8.7	16 adet karot sedimanına ait verilerin Pearson korelasyon matrisi	209
Tablo 8.8	Uluabat Gölü dip sedimanlarına ait hesaplanan faktör yükleri	212
Tablo 10.1	Sedimanlardaki metaller için Müller (1979) tarafından ileri sürülen Jeokümülyasyon İndeks (I-geo) sınıflaması	223
Tablo 10.2	Yerkabuğu ve sedimanların elementel bileşimi	224
Tablo 10.3	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının majör element analiz sonuçları	225
Tablo 10.4	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının minör ve iz element analiz sonuçları	226
Tablo 10.5	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının majör elementlere ait SEF değerleri	226
Tablo 10.6	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının minör ve iz elementlere ait SEF değerleri	227
Tablo 10.7	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının majör element analiz sonuçları	227
Tablo 10.8	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının minör ve iz element analiz sonuçları	228
Tablo 10.9	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının majör elementlere ait SEF değerleri	228
Tablo 10.10	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının minör ve iz elementlere ait SEF değerleri	229
Tablo 10.11	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının majör element analiz sonuçları	230
Tablo 10.12	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının minör ve iz element analiz sonuçları	230
Tablo 10.13	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının majör elementlere ait SEF değerleri	231
Tablo 10.14	Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının minör ve iz elementlere ait SEF değerleri	231
Tablo 10.15	Bazı ağır metal iyonlarının ortalama şeyl bileşimindeki değerleri	241
Tablo 10.16	Uluabat Gölü dip sedimanlarında bazı ağır metaller için I-geo değerleri	241
Tablo 10.17	Uluabat Gölü dip sedimanlarında yüzeyden derine doğru ağır metal kontaminasyon değerlerinin değişimi	241
Tablo 10.18	Uluabat Gölü'nde B-D ve G-K yönlerinde metal/Al oranları	243

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	İnceleme alanı yer bulduru haritası..... 4
Şekil 1.2	Uluabat Gölü'nün güneyinde geniş alanlar kaplayan tarım arazisi..... 10
Şekil 1.3	Kestelek'te bulunan Etibank'a ait bir bor tuzu madeni açık işletmesi 11
Şekil 1.4	Uluabat Gölü civarındaki endüstri kuruluşlarının yerleşim planı. 12
Şekil 1.5	Uluabat Gölü batımetri haritası ve taban topoğrafyası 13
Şekil 1.6	Güney-kuzey yönünde göl taban topoğrafyasının kesiti 14
Şekil 1.7	Batı-doğu yönünde göl taban topoğrafyasının kesiti 14
Şekil 2.1	Gölde su ve sediman örnekleme çalışmasında kullanılan sürat botu 12 17
Şekil 2.2	Uluabat Gölü su ve karot sediman örnekleme planı..... 17
Şekil 2.3	Gölden karot örnek almak amacıyla kullanılan karotiyer..... 18
Şekil 2.4	Göl üzerinde nokta tayininde kullanılan Magellan marka GPS aleti 19
Şekil 3.1	Göldeki adalardan Halilbey Adası'ndaki İnaltı kireçtaşları ve su izleri 28
Şekil 3.2	M. Kemalpaşa Çayı boyunca gözlenen akarsu taraçaları..... 31
Şekil 3.3	Gölün güneyindeki Uluabat Fayı'nın oluşturduğu fay topoğrafyası 32
Şekil 4.1	Uluabat Gölü'nde yerinde türbidite ve derinlik ölçümleri 35
Şekil 4.2	Uluabat Gölü'nde türbidite değerlerinin dağılımı 35
Şekil 4.3	Uluabat Gölü sularında pH değerlerinin dağılımı 37
Şekil 4.4	M. Kemalpaşa Çayı'nda HCO ₃ ile pH arasındaki ilişki..... 38
Şekil 4.5	Uluabat Gölü'nde çözünmüş oksijen değerlerinin dağılımı 40
Şekil 4.6	Uluabat Gölü sularında elektriksel iletkenlik değerlerinin dağılımı 33 42
Şekil 4.7	Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı su örneklerinde EC-TÇM ilişkisi 42
Şekil 4.8	Ca ve pH değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren ikili diyagramlar .. 47
Şekil 4.9	Uluabat Gölü sularında Ca kationunun dağılımı 48
Şekil 4.10	Uluabat Gölü sularında Mg kationunun dağılımı 49
Şekil 4.11	Uluabat Gölü sularında Mg ve Ca arasındaki ilişki 50
Şekil 4.12	M. Kemalpaşa Çayı su örneklerinde Na ve SO ₄ değerleri arasındaki uyumlu ilişki 50
Şekil 4.13	Uluabat Gölü sularında Na kationunun dağılımı 51
Şekil 4.14	Uluabat Gölü sularında K kationunun dağılımı 52
Şekil 4.15	Uluabat Gölü sularında K-Ca ve K-pH ilişkisi 53
Şekil 4.16	SiO ₂ nin pH etkisinde çözünürlüğü 54
Şekil 4.17	Uluabat Gölü sularında Si kationunun dağılımı 55

Şekil 4.18	Uluabat Gölü sularında B katyonunun dağılımı	56
Şekil 4.19	Uluabat Gölü sularında Cl anyonunun dağılımı	59
Şekil 4.20	Uluabat Gölü sularında karbonat anyonunun dağılımı	60
Şekil 4.21	CO ₃ ve HCO ₃ arasındaki negatif korelasyonu gösteren ikili diyagram	60
Şekil 4.22	Uluabat Gölü sularında bikarbonat iyonunun dağılımı	61
Şekil 4.23	Ca ve Mg'un toplam karbonat ile arasındaki pozitif korelasyon	62
Şekil 4.24	Toplam karbonat ile elektriksel iletkenlik arasındaki pozitif korelasyon	62
Şekil 4.25	Uluabat Gölü sularında sülfat değerlerinin dağılımı	64
Şekil 4.26	Na ve SO ₄ arasında ve Na+K ile Cl+SO ₄ arasındaki pozitif korelasyon	64
Şekil 4.27	Uluabat Gölü sularında flor değerlerinin dağılımı	66
Şekil 4.28	M. Kemalpaşa Çayı flor değerleri ile pH arasındaki pozitif korelasyon	66
Şekil 4.29	M. Kemalpaşa Çayı Ca ve F değerleri arasındaki ilişki	67
Şekil 4.30	Uluabat Gölü sularında nitrat anyonu dağılımı	68
Şekil 4.31	Uluabat Gölü sularında fosfat (PO ₄) değerleri	70
Şekil 4.32	Uluabat Gölü sularının minör ve iz element kimyasal analiz sonuçlarının dünya ortalamalarıyla karşılaştırılması	71
Şekil 4.33	Uluabat Gölü su analiz sonuçlarının cluster diyagramı	87
Şekil 4.34	Su analiz sonuçlarına ait 1 nolu faktör yüklerinin dağılımı	89
Şekil 4.35	Su analiz sonuçlarına ait 2 nolu faktör yüklerinin dağılımı	90
Şekil 4.36	Su analiz sonuçlarına ait 3 nolu faktör yüklerinin dağılımı	90
Şekil 4.37	Su analiz sonuçlarına ait 4 nolu faktör yüklerinin dağılımı	91
Şekil 5.1	Uluabat Gölü'ndeki askıda katı maddenin ağır metal konsantrasyonları	94
Şekil 5.2	Askıda katı madde ve suda Fe ve Mn miktarları ile Fe/Mn oranları	95
Şekil 5.3	Uluabat Gölü askıda katı madde ve dip sedimanlarında bazı metallerin karşılaştırılması	96
Şekil 6.1	Uluabat Gölü sularının Piper diyagramında dağılımı	102
Şekil 6.2	M. Kemalpaşa Çayı sularının Piper diyagramındaki dağılımı	102
Şekil 6.3	Yüzey sularının kimyasal bileşimini kontrol eden proseslerin şematik gösterimi	113
Şekil 6.4	Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı'nın Gibbs (1970) diyagramındaki konumu	114
Şekil 6.5	Uluabat Gölü ile bazı göllerin majör iyonlar açısından karşılaştırılması	115
Şekil 7.1	Gölden alınan dip sedimanlarının +40 meş boyutuna ait binoküler mikroskop görüntüsü	120
Şekil 7.2	Uluabat Gölü dip sedimanlarının -60/+80 meş boyutuna ait binoküler mikroskop görüntüsü	121
Şekil 7.3	M. Kemalpaşa mevkiinden alınan akarsu sediman örneğinin -100/+120 meş boyutuna ait binoküler mikroskop görüntüsü	122
Şekil 7.4	Kestelek bölgesinden alınan akarsu örneğinin -200 meş boyutunun XRD çözümlemesi	125
Şekil 7.5	M. Kemalpaşa bölgesinden alınan akarsu örneğinin -200 meş boyutunun XRD çözümlemesi	127

Şekil 7.6	Uluabat Çayı'ndan alınan akarsu örneğinin -200 meş boyutunun XRD çözümlemesi	128
Şekil 7.7	XRD incelemesi yapılan sediman örneklerinin yerleşimi	129
Şekil 7.8	YS-4 nolu yüzey sediman örneğinin XRD çözümlemesi	130
Şekil 7.9	YS-28 nolu sediman örneğinin XRD çözümlemesi	131
Şekil 7.10	KS-8 nolu sediman örneğinin XRD çözümlemesi	133
Şekil 7.11	KS-23 nolu sediman örneğinin XRD çözümlemesi	134
Şekil 7.12	Uluabat Gölü dip sedimanlarından 4,17 ve 26 nolu örneklerle ait DTA eğrileri	135
Şekil 8.1	Metal iyonlarının kaynakları ve göllerdeki çevrimi	137
Şekil 8.2	Uluabat Gölü dip sedimanlarının majör element ortalama değerlerinin literatür verileriyle karşılaştırılması	141
Şekil 8.3	Uluabat Gölü tüm sediman SiO_2 ortalamaları	142
Şekil 8.4	Dip sedimanlarında ortalama SiO_2 değerlerinin derinliğe göre değişimi	142
Şekil 8.5	Karot örneklerinde yanal ve düşey olarak SiO_2 değişimi	143
Şekil 8.6	Dip sedimanlarında ortalama SiO_2 dağılımı	143
Şekil 8.7	Dip sedimanlarında ortalama Si/Al oranının derinliğe göre değişimi	144
Şekil 8.8	Karot örneklerine ait Si/Al değerlerinin yanal ve düşey değişimi	145
Şekil 8.9	Dip sedimanlarına ortalama Si-Al ve Si-AZ ilişkisi	145
Şekil 8.10	Tüm sediman Al_2O_3 ortalamaları	146
Şekil 8.11	Dip sedimanlarında ortalama Al_2O_3 dağılımı	146
Şekil 8.12	Dip sedimanlarında ortalama Al_2O_3 değerlerinin derinliğe göre değişimi	147
Şekil 8.13	Dip sedimanlarında yanal ve düşey olarak Al_2O_3 değişimi	148
Şekil 8.14	Uluabat Gölü tüm sediman Fe_2O_3 ortalamaları	149
Şekil 8.15	Dip sedimanlarında ortalama Fe_2O_3 değerlerinin derinliğe göre değişimi	149
Şekil 8.16	Dip sedimanlarında ortalama Fe_2O_3 değerlerinin dağılımı	150
Şekil 8.17	Uluabat Gölü tüm sediman örneklerinde derinliğe bağlı Fe_2O_3 değişimi	150
Şekil 8.18	Fe_2O_3 değerlerinin SiO_2 ve TiO_2 değerleri ile değişimi	151
Şekil 8.19	Dip sedimanlarında ortalama CaO değerlerinin dağılımı	152
Şekil 8.20	Tüm sediman örneklerinde CaO değerlerinin yanal ve düşey değişimi	152
Şekil 8.21	Dip sedimanlarında ortalama CaO değerlerinin derinliğe göre değişimi	153
Şekil 8.22	Dip sedimanlarında ortalama MgO dağılımı	154
Şekil 8.23	Dip sedimanlarında ortalama MgO değerlerinin derinliğe göre değişimi	154
Şekil 8.24	Tüm karot sediman örneklerinde derinliğe göre MgO değişimi ..	154
Şekil 8.25	Uluabat gölü dip sedimanlarının ortalama Na_2O içeriği	156
Şekil 8.26	Dip sedimanlarında ortalama Na_2O dağılımı	156
Şekil 8.27	Dip sedimanlarında ortalama Na_2O değerlerinin derinliğe göre değişimi	157
Şekil 8.28	Dip sedimanlarında Na_2O değerlerinin yanal ve düşey değişimi ..	157
Şekil 8.29	Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama K_2O içeriği	158
Şekil 8.30	Dip sedimanlarında ortalama K_2O değerlerinin derinliğe göre değişimi	158

Şekil 8.31	Dip sedimanlarında K_2O değerlerinin yanal ve düşey değişimi ...	159
Şekil 8.32	Dip sedimanlarında ortalama K_2O değerlerinin dağılımı	159
Şekil 8.33	Uluabat Gölü dip sedimanlarındaki minör elementlerin yerkabuğu ve sığ su sedimanı ortalamalarıyla karşılaştırılması	161
Şekil 8.34	Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama TiO_2 içeriği	162
Şekil 8.35	Dip sedimanlarında ortalama TiO_2 değerlerinin derinliğe göre değişimi	162
Şekil 8.36	Dip sediman örneklerinde TiO_2 değerlerinin yanal ve düşey değişimi	163
Şekil 8.37	Dip sedimanlarının ortalama TiO_2 dağılımı	163
Şekil 8.38	Dip sedimanlarında ortalama P_2O_5 dağılımı	164
Şekil 8.39	Dip sedimanlarında ortalama fosfat değerlerinin derinliğe göre değişimi	165
Şekil 8.40	Dip sedimanlarında fosfat değerlerinin yanal ve düşey değişimi ..	165
Şekil 8.41	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama fosfat dağılımı	166
Şekil 8.42	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama Mn dağılımı	167
Şekil 8.43	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Mn dağılımı	168
Şekil 8.44	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Mn değişimi	168
Şekil 8.45	Dip sediman örneklerinde Mn değerlerinin yanal ve düşey değişimi	169
Şekil 8.46	Uluabat Gölü dip sedimanlarında Mn-Ni ve Mn-Co ilişkisi	169
Şekil 8.47	Ortalama Ba değerlerinin dip sedimanlarında yanal dağılımı	171
Şekil 8.48	Üç ayrı karot örneğinde Ba değerlerinin derinliğe göre değişimi ..	171
Şekil 8.49	Dip sedimanlarında ortalama Ba değerlerinin derinliğe göre değişimi	172
Şekil 8.50	Üç ayrı karot sediman örneğinde Sr değerlerinin yanal dağılımı ..	173
Şekil 8.51	Üç karot sediman örneğinde Sr değerlerinin derinliğe göre değişimi	173
Şekil 8.52	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Sr değişimi	174
Şekil 8.53	Üç ayrı karot sediman örneğinde V değerlerinin yanal dağılımı ..	175
Şekil 8.54	Uluabat Gölü dip sedimanlarında V değerlerinin derinliğe göre değişimi	175
Şekil 8.55	Üç ayrı karot sediman örneğinde V değerlerinin derinliğe göre değişimi	176
Şekil 8.56	Uluabat Gölü dip sedimanlarının karot bazında Cr ortalamaları ..	177
Şekil 8.57	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Cr değerlerinin yanal dağılımı	177
Şekil 8.58	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Cr değerlerinin değişimi	178
Şekil 8.59	Dip sedimanlarında ortalama Cr değerlerinin yanal ve düşey değişimi	178
Şekil 8.60	Uluabat Gölü dip sedimanlarındaki iz elementlerin yerkabuğu ve sığ su sediman ortalamalarıyla karşılaştırılması	180
Şekil 8.61	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Cu ortalamaları ..	181
Şekil 8.62	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Cu dağılımı	182
Şekil 8.63	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Cu değişimi	182
Şekil 8.64	Dip sedimanlarında Cu değerlerinin yanal ve düşey değişimi	183

Şekil 8.65	Uluabat Gölü dip sedimanlarında Cu-Fe ve Cu-Si ilişkisi	183
Şekil 8.66	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Ni ortalamaları .	184
Şekil 8.67	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Ni dağılımı	185
Şekil 8.68	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Ni değerlerinin değişimi	185
Şekil 8.69	Dip sedimanlarında ortalama Ni değerlerinin yanal ve düşey değişimi	186
Şekil 8.70	Ni-Mn ve Ni-Cr arasındaki ikili ilişkiler	186
Şekil 8.71	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Zn ortalamaları .	187
Şekil 8.72	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Zn değerlerinin dağılımı	188
Şekil 8.73	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Zn değerlerinin değişimi	188
Şekil 8.74	Dip sedimanlarında ortalama Zn değerlerinin yanal ve düşey değişimi	189
Şekil 8.75	Zn-Fe arasındaki pozitif korelasyonu gösteren ikili diyagram	189
Şekil 8.76	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Co ortalamaları	190
Şekil 8.77	Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama Co dağılımı	191
Şekil 8.78	Dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Co değişimi	191
Şekil 8.79	Uluabat Gölü dip sedimanlarında Co değerlerinin yanal ve düşey değişimi	192
Şekil 8.80	Co ve Mn arasında negatif korelasyonun grafiksel gösterimi	192
Şekil 8.81	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Pb içeriği	193
Şekil 8.82	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Pb dağılımı	194
Şekil 8.83	Dip sedimanlarında derinliğe göre Pb değerlerinin değişimi	194
Şekil 8.84	Uluabat Gölü karot sedimanlarında derinliğe bağlı Pb değişimi ..	194
Şekil 8.85	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama As değişimi	195
Şekil 8.86	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre As değişimi	196
Şekil 8.87	Üç ayrı örneğinde As değerlerinin As yanal ve düşey değişimi	196
Şekil 8.88	Üç ayrı karot örneğinde Cd değerlerinin yanal ve düşey değişimi .	197
Şekil 8.89	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe bağlı Cd değişimi	197
Şekil 8.90	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama Cd değişimi	198
Şekil 8.91	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama B değişimi	199
Şekil 8.92	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama B değişimi	199
Şekil 8.93	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında B değişimi	200
Şekil 8.94	Uluabat Gölü dip sedimanlarının KK ortalamaları	201
Şekil 8.95	Dip sedimanlarında ortalama KK değerlerinin derinliğe göre değişimi	202
Şekil 8.96	Dip sedimanlarında KK değerlerinin yanal ve düşey değişimi	202
Şekil 8.97	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama KK değerlerinin yanal dağılımı	203
Şekil 8.98	KK-Al ₂ O ₃ ve KK-top CO ₃ arasındaki ilişkiler	203
Şekil 8.99	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama TOK değerleri	204
Şekil 8.100	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama TOK dağılımı .	205
Şekil 8.101	Dip sedimanlarında ortalama TOK miktarının derinliğe göre değişimi	205

Şekil 8.102	Dip sedimanlarında TOK değerlerinin yanal ve düşey değişimi	206
Şekil 8.103	Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında top CO ₃ değişimi	207
Şekil 8.104	Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama toplam CO ₃ dağılımı ..	207
Şekil 8.105	Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre toplam CO ₃ değişimi	207
Şekil 8.106	Top CO ₃ –Ca ve top CO ₃ –KK değerleri arasındaki pozitif korelasyonlar	208
Şekil 8.107	Uluabat Gölü dip sedimanları analiz sonuçlarının cluster diyagramı	210
Şekil 8.108	Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 1 nolu faktör yüklerinin dağılımı	212
Şekil 8.109	Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 2 nolu faktör yüklerinin dağılımı	213
Şekil 8.110	Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 3 nolu faktör yüklerinin dağılımı	213
Şekil 8.111	Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 4 nolu faktör yüklerinin dağılımı	214
Şekil 8.112	Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 5 nolu faktör yüklerinin dağılımı	214
Şekil 8.113	Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 6 nolu faktör yüklerinin dağılımı	215
Şekil 9.1	Güncel ve eski göllerdeki kil mineralleri birlikteliği	217
Şekil 9.2	Uluabat Gölü’ndeki yoğun alg gelişimini gösteren bir panorama ..	219
Şekil 10.1	Silisyumun sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi	232
Şekil 10.2	Demir sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi ...	232
Şekil 10.3	Demir’e ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	232
Şekil 10.4	Magnezyumun sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi	233
Şekil 10.5	Magnezyum’a ait SEF değerlerinin gölde yanal dağılımı	233
Şekil 10.6	Potasyum sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi	234
Şekil 10.7	Titanyum’un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi	234
Şekil 10.8	Sodyum’un sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi	234
Şekil 10.9	Sodyuma ait SEF değerlerinin gölde yanal dağılımı	235
Şekil 10.10	Bakırın sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi	236
Şekil 10.11	Bakıra ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	236
Şekil 10.12	Manganın sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi	236
Şekil 10.13	Mangana ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	237
Şekil 10.14	Nikelin sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi	237
Şekil 10.15	Nikele ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	238
Şekil 10.16	Kurşunun sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi	238
Şekil 10.17	Kurşuna ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	238
Şekil 10.18	Çinkonun sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi	239
Şekil 10.19	Çinkoya ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	239
Şekil 10.20	Kobaltın sediman tabakasında zaman bağlı olarak zenginleşmesi ..	240
Şekil 10.21	Kobalta ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi	240

Şekil 10.22	Derinliğe bağlı olarak Igeo-Cu ve Igeo-Pb değerlerinin değişimi ...	242
Şekil 10.23	Derinliğe bağlı olarak Igeo-Ni ve Igeo-As değerlerinin değişimi ...	242
Şekil 10.24	Derinliğe bağlı olarak Igeo-Fe ve Igeo-Cd değerlerinin değişimi ...	242
Şekil 10.25	Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında B-D yönünde Cu, Pb, Cr, Zn ve Ni metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi	243
Şekil 10.26	Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında B-D yönünde Fe ve Mn metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi	244
Şekil 10.27	Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında G-K yönünde Zn, Ni, Cu, Pb ve Cr metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi	245
Şekil 10.28	Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında G-K yönünde Fe, Co ve Mn metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi	245



ULUABAT GÖLÜ ÇEVRE JEOKİMYASI

ÖZET

Uluabat Gölü Marmara Denizi'nin 15 km güneyinde ve Bursa'nın 30 km batısında yer alan bir tatlı su gölüdür. Yapısal jeoloji bakımından tektonik bir göl olan Uluabat Gölü, organik çevrim göz önüne alındığında ötrofik göller, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre ise kırıntılı göller sınıfında değerlendirilmiştir. Gölün yakın çevresindeki jeolojik istif tabandan tavana doğru Paleozoyik yaşlı Serkedere metamorfileri, Mesozoyik yaşlı bazik volkanikler, metadetritik radyolaritler, sıg deniz çökelleri ve kireçtaşlarından oluşan sedimanlar, kumtaşı, radyolarit, grovak ve çörtle birlikte bazik-ultrabazik kayaç grubu, daha sonra Senozoyik yaşlı Çataldağ graniti ile karasal çökellerden oluşmaktadır. Uluabat Gölü Miyosen sonrası tektonik aktiviteye bağlı olarak çek-ayır havza tipindeki bir ortamda faylara bağlı olarak oluşmuştur. Yapılan batımetrik harita ve kesitlerden gölün Kuzey ve Güney kıyılarının orta kesimlere göre daha derin oldukları görülmüştür.

M. Kemalpaşa Çayı vasıtasıyla göle aşırı miktarda askıda katı madde ve detritik malzeme taşınması, gölün son derece sığlaşmasına, dolayısıyla suyun sıcaklığının artmasına, çözünmüş oksijenin azalmasına ve gölde aşırı miktarda alg ve diğer bitkilerin çoğalmasına neden olmuştur. Alg populasyonunun artması nedeniyle, bitkilerin fotosentezi için gerekli olan CO₂ bikarbonat iyonunun ayrışmasıyla sağlanmakta, dolayısıyla bikarbonat iyonu azalıp, karbonat iyonu artış göstermektedir. Karbonat ve bikarbonat değerleri arasındaki yüksek negatif korelasyon bunu açıkça göstermektedir.

Göl suyu genel olarak alkali karakterde olup, pH özellikle gölün kuzey kesimlerinde artarak yer yer 10 dan büyük değerlere ulaşmaktadır. pH değerlerinin bu denli yüksek oluşu, özellikle ağır metallerin çözünmesinden çok çökelmesine sebep olmuştur. Yapılan kimyasal analizlerde ağır metal iyonlarının sediman ve askıda katı maddede birikmesi bunu kanıtlamaktadır. Ayrıca göl suyunda fotosentez olayının gerçekleştiğini de açıkça ortaya koymaktadır.

Elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde miktarı değerleri gölün güney kesimlerine doğru artarken çözünmüş oksijen kuzeydoğusuna doğru artmaktadır. Göl ve gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı sularında toprak alkali elementler alkali elementlerden, bikarbonat+karbonat iyonları da klor+sülfat iyonlarından fazladır. Göl ve nehir suyundaki katyonlar konsantrasyon değerlerine göre; Mg>Ca>Na>K>B>Si şeklinde sıralanırken, anyonlar ise HCO₃-CO₃>SO₄>Cl>F>NO₃ şeklinde sıralanmaktadır. Gerek göl, gerekse akarsu kimyasının kayaç ayrışmasının kontrolünde olduğu, sudaki iyon aktivitelerine bağlı olarak kalsit ve dolomit çökeliminin gerçekleşebileceği, buna karşın sülfat minerallerinin ise çözünebileceği anlaşılmaktadır. Sudaki sodyum değerleri belirgin bir biçimde gölün batısına doğru artış göstermektedir, çünkü zaman zaman Uluabat

Çayı ters akmakta ve göle nispeten tuz oranı yüksek su girişi olmaktadır. Ca ve Mg iyonları Jura yaşlı kireçtaşlarının büyük alanlar kapladığı güney kesimlerine doğru artış göstermektedir. Çözünmüş silis miktarı oldukça düşük konsantrasyonlardadır. Uluabat Gölü sularındaki bor konsantrasyonu 0.239 mg/l ile 1.15 mg/l arasında değişmekte ve gölün boşaldığı Batı ucuna doğru artmaktadır. M. Kemalpaşa Çayı'nın Orhaneli kolu üzerindeki Kestelek bor tuzu yatakları işletmesinin menba tarafında 0.68 mg/l olan bor, mansab tarafında 1.37 mg/l ye yükselmektedir. Bu nedenle göl suyundaki çözünmüş borun, Orhaneli ve Emet çaylarına çok yakın olan kolemanit işletmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bor elementinin mobilitesi yüksek olup suyun asiditesinden etkilenmediğinden gerek akarsu gerekse göl suyunda belirgin bir trend göstermemektedir. Ancak çözünmüş bor ile sodyum değerleri arasında bölgesel olarak benzerlikler tespit edilmiştir. Bu bor konsantrasyonu ile tuzluluk arasında yakın bir ilişki olduğunu ortaya koyar. Çözünmüş borun az olmasına karşın dip sedimanlarındaki bor konsantrasyonu 30 ppm'e kadar yükselmektedir. Bor elementinin dip sedimanlarında fazla olması tamamen organik madde ve illit minerallerinin boru bağlamasından kaynaklanmaktadır. Klor konsantrasyonu M. Kemalpaşa Çayı sularında yüksek değerlerde iken göl suyunda belirgin bir biçimde azalmaktadır. Bunda dip sedimanlarında ve askıda katı madde içerisindeki pozitif yüklü demir ve alüminyum oksit/hidroksitlerinin negatif yüklü klor iyonunu güçlü bir şekilde bağlamasının etkisi olmuştur. $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ değerlerinin Mg ve Ca ile aralarındaki yüksek pozitif korelasyon, bu iyonların karbonatlı kayaçların ayrışmasına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. M. Kemalpaşa Çayı nda sülfat değerlerinin göle ulaştığında düşüş göstermesi, sülfatın gölde sülfat indirgeyen bakteriler tarafından indirgendiğine işaret etmektedir.

Uluabat Gölü ile dünyadaki bazı göller su kimyası açısından karşılaştırılmış, sonuçta Uluabat Gölü'nün toplam çözünmüş madde (TÇM) ve potasyum açısından Erie ve Ontario göllerine, sodyum açısından Malawi, Ontario ve Erie göllerine, kalsiyum açısından Malawi gölüne, klor ve bikarbonat açısından Malawi ve Michigan göllerine benzediği anlaşılmıştır.

Göl suyunun buharlaşma kalıntısında yapılan kimyasal analizlerde, Al ve bazı ağır metal değerlerinin $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu} = \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cr} = \text{Mn} > \text{Al} = \text{Ti}$ şeklinde sıralandığı görülmüştür. Göl suyunda ppb mertebesindeki Fe, Ni, Cu ve Pb gibi ağır metal iyonlarının konsantrasyonu doğal sular ortalamalarından yüksektir. Mn, Zn, Ni ve Cu gibi ağır metal iyonları ise organik madde bakımından zengin, kil mineralleri bakımından fakir olan askıda katı maddede konsantre olmuştur. Fe, Cr, Pb, Co, As, Ba ve V gibi diğer ağır metal iyonları ise dip sedimanlarında konsantre olmuşlardır. Yapılan istatistiksel hesaplamalarda askıda katı maddede orta-kuvvetli derecede Zn ve Ni kontaminasyonu olduğu belirlenmiştir.

Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sedimanlarının mineralojik bileşimi hem binoküler, hem de X-ışınları incelemeleriyle ortaya konmuştur. Binoküler mikroskop incelemelerinde Uluabat Gölü sedimanlarının kuvars + amfibol / piroksen + klorit + gröna + epidot + hematit + manyetit + güncel kafadan bacaklılara ait kavkı bileşiminde olduğu, M. Kemalpaşa Çayı sedimanlarının ise biraz farklı olarak kuvars + amfibol / piroksen + klorit + gröna + epidot + hematit + manyetit + rutil + turmalin'den meydana geldiği görülmüştür. X-ışınları difraksiyonu ile yapılan incelemelerde Uluabat Gölü yüzey sedimanlarında kuvars + feldspat + smektit + klorit + muskovit + illit olmasına karşın karot sedimanlarında ve akarsu örneklerinde

bunlara kalsit ve dolomit minerallerinin eşlik ettiği belirgin bir biçimde ortaya çıkmıştır.

Dip sedimanlarının jeokimyasını, kimyasal parametrelerin sediman tabakasının derinliği boyunca değişimini ve ağır metal kontaminasyonunu ortaya koymak amacıyla gölden sistematik olarak alınan 15 cm uzunluğunda 16 adet karot sediman örneklerinin majör, minör ve iz element içerikleri aletsel analiz teknikleriyle ortaya konmuştur. Bunun için 15 cm lik karot örnekleri 5'er cm lik dilimlere ayrılmış ve her birinin kimyasal parametreleri ayrı ayrı incelenmiştir. Si, Mg, Na, K, B, ve toplam organik karbon (TOC) değerlerinin derine doğru azalırken Ca, Sr, Fe, Mn, Ni, toplam karbonat ve kızdırma kaybı (KK) değerlerinin derine doğru arttığı saptanmıştır. Diğer yandan Al, Ti, P, Ba, V, Cd, As, Pb, Cu, Co, Cr değerlerinin ise genelde derine artmakla birlikte karot sediman tabakasının orta kısmında daha çok konsantre olduğu görülmüştür.

Ayrıca sedimanlardaki tüm parametrelerin göldeki yanal dağılımları Surfer programında Kriging yöntemiyle haritalanmıştır. Buna göre, Na_2O ve SiO_2 değerlerinin gölün batısında, T- CO_3 , Cu ve KK değerlerinin kuzeyde, Zn, Pb ve Fe_2O_3 'ün güneydoğuda, Al_2O_3 ün kuzeydoğuda, CaO'nin kuzey ve güneyde, MgO'nin kuzeydoğu ve güneybatıda, Ni, Cr, Co, P_2O_5 , TiO_2 , K_2O ve C_{org} 'un kuzeybatı ve güneydoğuda, Mn'nin ise gölün güney kesimlerinde konsantre oldukları görülmüştür.

Dip sedimanlarının ağır metaller açısından ne derece kontamine olduğunun belirlenmesi amacıyla Jeoakümülayon İndeksi, Sediman Zenginleşme Faktörü ve metal/Al oranları gibi sınıflamalar kullanılmıştır. Jeoakümülayon indeks. tasnifine göre, Uluabat Gölü dip sedimanlarında orta derecede Ni ve As kirlenmesi (kontaminasyonu) belirlenmiştir. Sediman zenginleşme faktörü sınıflamasına göre yapılan değerlendirmelerde ise Cr dışında Ni, Pb, Zn, Cu, Mn ve Co elementlerinin sediman tabakasında zenginleştiği sonucuna varılmıştır. Doğu-batı ve kuzey-güney yönlerindeki profillerde Metal/Al oranları kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru tüm ağır metallerin metal/Al oranlarında artış gözlenmiştir.

Göl suyu ve dip sedimanlarında analizi yapılan parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve gruplaşmalarını jeoistatistiksel olarak ortaya koymak ve yorumlamak amacıyla SYSTAT 5.01 programı altında Cluster analizi ve PCA analizleri uygulanmıştır. Su örneklerine ait verilere uygulanan Cluster analizinde suda hakim olan bileşenlerin bir grup, B ve F gibi uçucu bileşenlerin de ayrı bir grup oluşturdukları görülmüştür. Dip sedimanlarının cluster analizinde ise 3 ayrı gruplaşma dikkati çekmiştir. İlk grupta Mn, Ni, Cr, Pb ve Zn gibi ağır metal iyonlarının, Ca, toplam karbonat ve organik karbonla birlikteliği belirgindir. İkinci grupta ise Si, Na ve K gibi litofil elementlerin kendi aralarında bir grup oluşturdukları müşahade edilir. Üçüncü olarak Fe, Ti, Cu gibi siderofil elementlerin Al ve Mg ile bir cluster grubu oluşturduğu saptanmıştır.

ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY OF LAKE ULUABAT

SUMMARY

Lake Uluabat, a fresh water lake, is situated at 15 km south of the Marmara Sea and 30 km west of Bursa city. In structural geologic point of view, it is categorized as tectonic lake. It can also be named as eutrophic lake based on organic cycle, and detritic lake due to its physical and chemical characteristics. The surrounding geologic formations, from bottom to top, comprise Paleozoic Serkedere metamorphic units, Mesozoic units including basic volcanic rocks, meta-detritic radiolarite, shallow sea sediments, limestone, sandstone, greywacke and chert, and Cenozoic granite and terrestrial sediments. The lake had formed in a pull-apart basin depending on normal faults. Bathymetric map and cross sections of the lake indicate that northern and southern coasts of the lake is deeper compared to central parts.

Excessive suspended solids and detrital materials, which have been carried by the stream of M. Kemalpaşa, have caused an increase in water temperature, and plant and algal population, a decrease in dissolved oxygen level and depth of lake water. Because of increasing of the algal population, the carbon dioxide required for photosynthesis of plants is mostly provided by the decomposition of bicarbonate ion and therefore the quantity of carbonate ion increases depending on the decrease of bicarbonate ion. High negative correlation coefficient between carbonate and bicarbonate values clearly proves this fact.

In-situ measurements suggest that the lake water is considerably alkaline, and the pH values increase towards northern parts of the lake and reach higher pH values exceeding 10. The chemical data of core sediments and suspended matter revealed that the high pH values caused especially precipitation of the heavy metal ions rather than their dissolution.

The values of electrical conductivity and total dissolved solids increase southward while dissolved oxygen values increase northeast side. In both lake and the stream of M. Kemalpaşa waters, the contents of alkali earth elements and weak acid anions are higher than alkali and strong acid anions. Cations in the Uluabat lake waters, from higher to lower, arrange in order as $Mg > Ca > Na > K > B > Si$ and anions as $HCO_3 - CO_3 > SO_4 > Cl > F > NO_3$. Taking into consideration the ionic activities of elements, the lake and the stream of M. Kemalpaşa waters are significantly controlled by rock alteration, and calcite and dolomite may precipitate but sulfate minerals will dissolve within the lake and the stream of M. Kemalpaşa waters. Dissolved sodium content apparently rises towards the west direction of the lake. This may have resulted from an opposite flow of the Uluabat stream having relatively higher salt ratio. The concentration of Ca and Mg cations exhibit an increase at southern parts of the lake where Jurassic limestone units cover very large areas. Dissolved silica was measured in quite low quantities. Boron concentrations of the lake water ranges between 0.239

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Yerüstü doğal su kaynaklarının en önemlilerinden birisi olan göller, bu gölleri dolduran ve/veya boşaltan akarsular ve bunların aktığı denizler, jeolojik anlamda bir sedimantasyon havzasıdır ve gerek litolojik, gerekse antropojenik (insan kaynaklı) malzemelerle sürekli olarak doldurulmakta, bir başka deyişle kirletilmektedir. Ancak göllerin diğer yerüstü su ortamlarına göre farklı bir durumu vardır; o da göllerin denizler ve akarsulara göre çok daha durgun ve dolayısıyla sedimantasyonun daha hızlı gerçekleştiği ortamlar olması, buna bağlı olarak da ekolojik ve biyolojik koşulların o oranda hızla değiştiği havzalar olmasıdır.

Endüstrileşmenin hızlı ve kontrolsüz olarak gelişmesi sonucunda diğer kaynaklar gibi su kaynakları da olumsuz etkilenmiş ve hatta bazıları tamamen elimizden çıkmıştır. Mevcut kaynaklar da acil önlemler alınmazsa çok yakın bir gelecekte aynı akibete maruz kalacaklardır. Çevresinde kömürden bor madenlerine kadar birçok sanayi ve endüstri kuruluşunun faaliyet gösterdiği ve hızla kirlenen bir tatlı su gölü olan Uluabat Gölü de bunlardan birisidir. M. Kemalpaşa Çayı'nın getirdiği detritik bileşenlerle doldurulan ve endüstriyel atıklarla sürekli olarak kirletilen Uluabat Gölü (önceki adı Apolyont Gölü) uzun yıllar süren bir ihmalin sonucunda bugün yok olmaya yüz tutmuş bir tatlı su gölüdür. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada, çevresi için büyük önemi olan Uluabat Gölü'nün hidrojeokimya ve çevre jeokimyası açısından incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu kapsamda gölden 2 km² de bir su örneği ve 4 km² de bir karot sediman örneği alınıp su ve sedimanların kimyasal ve fiziksel karakteristikleri ortaya konarak, su ve sedimanların kimyasal kirlilik düzeyleri incelenmiştir. Ayrıca söz konusu parametrelerin yanal ve düşey değişimleri incelenmiş ve bunların çevredeki litolojik birimlerle ve/veya antropojenik kaynaklarla ilişkileri ortaya konmaya çalışılmıştır.

1950'li yıllardan başlayarak modern jeokimya konsept olarak yoğun bir şekilde kimyasal reaksiyonlar ve prosesler ile ilgili çalışmalara kaymıştır ve bugün Jeokimya bilimi çeşitli alt dallara ayrılmıştır. Bunların arasında İnorganik Jeokimya, Organik Jeokimya, Hidrojeokimya, Çevre Jeokimyası, Biyojeokimya, Medikal Jeokimya, İz Element Jeokimyası, İzotop Jeokimyası ve Kozmokimya gibi alt bölümler sayılabilir. Jeokimya'nın sayılan bu alt bölümlerinin ilgi alanıyla ilgili literatürde sayıları hızla artan ciddi, özgün araştırmaların yayımlandığı çok sayıda periyodik dergiler vardır.



1.2. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve çevresinde bugüne değin bir çok araştırma yapılmıştır. Bunlardan ilki İstanbul Üniversitesi tarafından 1947 yılında yayımlanan Türkiye'de Jeolojik ve Jeomorfolojik Tetkik Seyahatları adlı çalışmadır. Yazar Ernest Chaput'un Ali Tanoğlu tarafından Türkçe'ye çevrilen eserinde, tüm Türkiye genelinde bölgesel anlamda jeolojik ve jeomorfolojik yönden yapmış olduğu etütlerini anlatmaktadır.

MTA Enstitüsü tarafından yayımlanan Türkiye Göllerinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Etüt (Lahn, 1948) başlıklı yayında Uluabat Gölü'nü de içine alan tüm Türkiye göllerinin jeolojisi ve jeomorfolojisi detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

İlgüz (1955) M. Kemalpaşa Çayı havzasında erozyon şiddeti ve Uluabat Gölü'nün buna etkisini incelemiştir.

Emre, Kazancı ve Erkol tarafından "Güney Marmara bölgesi Kuvaterner olayları ve muhtemel tarihçesi" adlı bir çalışma 1998 yılında Türkiye Deniz Araştırmaları konulu Workshop'da sunulmuştur.

1980 yılında yayımlanan 6717 sayılı MTA Raporu'nda Uluabat gölü'nü de içine alan M. Kemalpaşa bölgesi çevresinin jeolojisi 1/50.000 ölçekli jeoloji haritasıyla birlikte ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

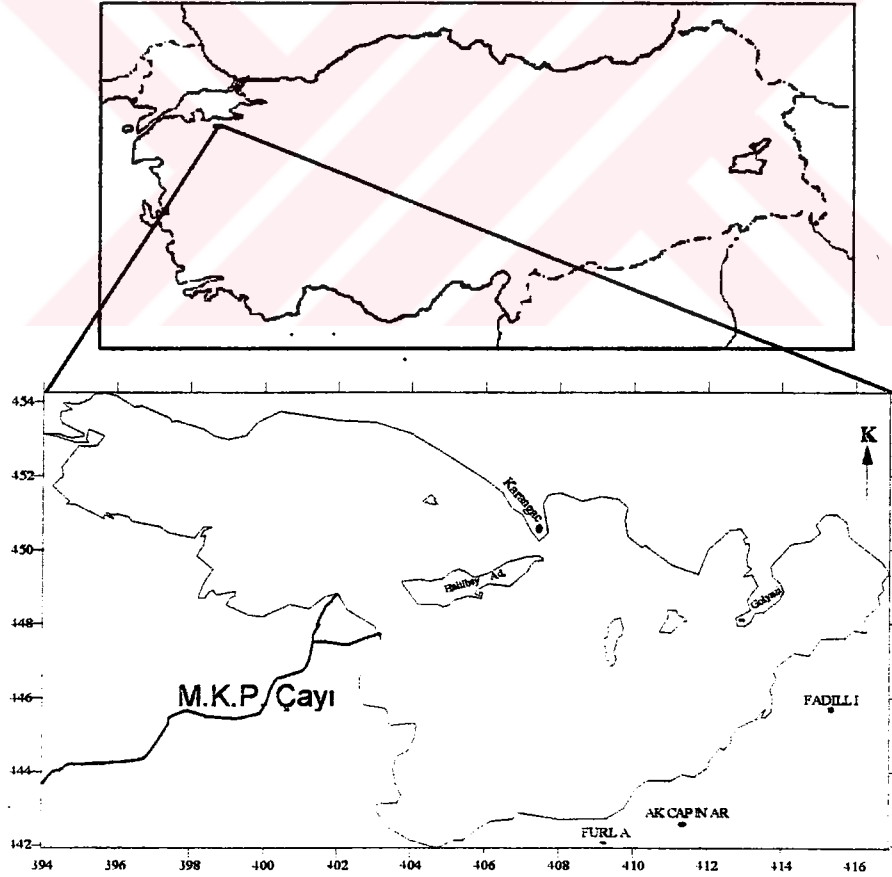
Enver Altınlı' nın bölgenin bir kısmını içine alan "Bandırma-Gemlik arasındaki kıyı sıradağlarının incelenmesi (1943)" adlı bir çalışması vardır.

DSİ tarafından bölgede yapılan detaylı hidrojeolojik etütler 1980 yılında bir rapor şeklinde yayımlanmıştır. Ayrıca Lisenbee (1971), Bingöl (1973), Özkoçak (1969), Okay (1998) gibi araştırmacıların da bölgede yapmış araştırmaları mevcuttur.

1.3. Coğrafi Konum

Uluabat Gölü Marmara Denizi'nin yaklaşık 15 km güneyinde ve Bursa kentinin 30 km kadar batısında Bursa-Balıkesir karayolunun güneyinde yer almaktadır. Kuzeyi Karaağaç, Gölyazı ve Kirmikir, batısı Mustafakemalpaşa, doğusu Akçalar, güneyi ise Akçapınar, Fadıllı ve Furla köyleri ile sınırlandırılmıştır (Şekil 1.1). Gölle ait bazı tanıtıcı bilgiler aşağıda verilmiştir :

Ortalama su yüzeyi alanı	: 160 km ²
Taban kotu	: + 2 m
Minimum derinlik	: 2.5 m
Maksimum derinlik	: 7.5 m
Ortalama su depolama hacmi	: 300 Milyon m ³
Toplam drenaj alanı	: 10413 km ²



Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

Göl, güneyden kuzeye doğru akan Orhaneli ve Emet Çayları ve bu ikisinin birleşmesiyle meydana gelen Mustafakemalpaşa Çayı ile beslenmekte, Uluabat Çayı ile boşalarak Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır.

Orhaneli Çayı : Orhaneli Çayı, Gediz ilçesinin yaklaşık 8 km kuzey ve kuzeydoğu kesiminde, Tavşan Dağı (1520 m) Murat Dağı (1800 m) ve Kocadağ'ın (1850 m) kuzeyinde, yaklaşık 1100-1300 m kotlarında başlamakta ve başlıca 3 koldan oluşmaktadır. Çayın boyu yaklaşık 276 km dir. Örencik ovasını drene eden memba kolları olan Barağı deresi üzerindeki İlcik baraj yerinde yağış alanı 108 km², yıllık ortalama suyu 12 milyon m³ tür. Bedir deresi üzerindeki Çavdarhisar baraj yerinde ise yağış alanı 137 km² ve yıllık ortalama suyu 15.6 Milyon m³ tür. Çayın Tavşanlı ovasına yaklaştığı kesimde yağış alanı 1051 km² ve yıllık ortalama suyu 94 Milyon m³ olarak tahmin edilmiştir. Orhaneli Çayı, Tavşanlı ovasını geçtikten sonra oldukça geniş bir vadi içinden akar. Emet Çayı'na birleşmeden önceki kesimde yer alan Kestelek akım rasat istasyonunda, çayın yağış alanı 4665 km² ve yıllık ortalama suyu ise 977 Milyon m³ tür.

Emet Çayı : Gediz ilçesinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında yer alan Şaphane Dağı'nın (2121 m) 1100 m koyundan doğan Emet Çayı, memba kesimindeki Hamamköy Emet ovacığını drene ettikten sonra genel olarak dar bir vadi içinde akar. Emet ilçesinin 4 km batısından ve Devecikonağı bucağının yaklaşık 5 km güneyinde M. Kemalpaşa vadisine giren çay, Devecikonağı' nı geçerek Camandar köyü yakınında Orhaneli çayı ile birleşir. Emet Çayı'nın boyu yaklaşık 179 km olup, Orhaneli Çayı'na birleşmeden önceki Devecikonağı akım rasat istasyonunda yağış alanı 4853 km² ve yıllık ortalama suyu da 1213.6 Milyon m³ tür.

M. Kemalpaşa Çayı : Orhaneli ve Emet Çaylarının Camandar köyü yakınında birleşmesinden oluşan M. Kemalpaşa Çayı, Döllük-M. Kemalpaşa arasındaki vadi ovasını kuzeybatıya doğru drene ederek M. Kemalpaşa ilçe merkezinin içinden geçer. Daha sonra kuzeydoğuya doğru yönelerek Karaoğlan köyünün kuzeyinde Uluabat Gölüne karışan çayın toplam uzunluğu 43 km dir. M. Kemalpaşa Çayının başında bulunan Döllük akım rasat istasyonunun yağış alanı 9624 km² , yıllık ortalama suyu ise 2190 Milyon m³ tür. Döllük, Güllü ve M. Kemalpaşa ovasının güney bölgesini drene eden çayın en düşük debisi 8 m³/sn olmakla birlikte, aylık

ortalama debisi 12 m³/sn nin altına düşmez. Böylece herhangi bir depolamaya gerek görülmeden yaklaşık 1500 hektarlık arazinin sulanması mümkün olmaktadır.

Yaz aylarında gölde su seviyesi önemli ölçüde düştüğünde Simav Çayı'ndan göle ters istikamette su akmaktadır. Gölün drenaj alanı başlıca üç kısma ayrılabilir :

1. Güneydeki Mustafakemalpaşa havzası 9913 km² lik yüzölçümü ile toplam alanın % 95.2 sini oluşturur. Havzanın kuzeyinde Nilüfer çayı baseni, doğusunda Yukarı Sakarya havzası, güneyinde Gediz havzası, batısında da Susurluk havzası bulunmaktadır.
2. 160 km² lik göl alanı toplam drenaj alanının % 1.5 ini oluşturur.
3. Bunların dışında kalan 343 km² lik alan ise % 3.3 lük bir paya sahiptir.

Uluabat gölünden yararlanma genelde sulama, su ürünleri üretimi ve gelecekte içme ve kullanma suyu temini şeklinde sıralanabilir. Gerek Uluabat gölünden, gerekse M. Kemalpaşa çayından alınan su ile Akçalar Kırmikir ve M. Kemalpaşa Sol ve Sağ Sahil' de yaklaşık 27 bin hektarlık alan yılda 198 milyon metreküp su ile sulanmaktadır. Uluabat Gölü'nden bu amaçla yapılan su çekişleri Tablo 1.1 de verilmiştir.

Tablo 1.1. Uluabat Gölü'nden yapılan su çekişleri (buharlaşımlar hariç, DSİ, 1984)

Aylar	M.KP Çayı Sol Sahil Sulaması (Milyon m ³)	M.KP Çayı Sağ Sahil Sulaması (Milyon m ³)	Akçalar Kırmikir Ovaları (Milyon m ³)	Toplam (Milyon m ³)
Mart	—	—	1.65	1.65
Nisan	6.39	1.34	1.65	14.66
Mayıs	16.41	3.38	14.62	34.41
Haziran	23.17	4.83	14.21	42.21
Temmuz	32.06	6.62	12.90	51.58
Ağustos	19.66	4.05	13.32	37.03
Eylül	9.27	1.90	2.95	14.12
Ekim	1.09	0.24	0.76	2.09
Kasım	—	—	0.21	0.21
TOPLAM	108.05	22.36	67.55	197.96

1.4. İklim, Bitki Örtüsü ve Meteorolojik Özellikler

Bölgede Akdeniz iklimi özellikleri görülmektedir. Mustafakemalpaşa bölgesinde yapılan 7 yıllık ölçümlerde ortalama sıcaklık Ocak ayında 4,8 °C ile en düşük değerini almakta, Temmuz ayında ise 23,3 °C ile en yüksek değerine ulaşmaktadır (Tablo 1.2).

Tablo 1.2 M. Kemalpaşa ve Bursa bölgelerine ait aylık ortalama sıcaklıklar (°C)

Aylar	M. Kemalpaşa (7 yıllık ortalama)	Bursa (36 yıllık ortalama)
Ocak	4.8	5.3
Şubat	6.9	5.9
Mart	8.6	8
Nisan	13.4	12.6
Mayıs	17.8	17.3
Haziran	21.7	21.6
Temmuz	23.3	24.2
Ağustos	22.8	23.9
Eylül	19.6	19.7
Ekim	15.4	15.5
Kasım	12.1	11.4
Aralık	9	7.5

Yıllık yağış ortalaması ise 650 mm olarak belirlenmiştir. Yapılan 33 yıllık ölçümlerde en az yağış 10,6 mm ile Ağustos ayında, en fazla yağış 104,9 mm ile Aralık ayında gerçekleşmiştir (Tablo 1.2). Diğer yandan DSİ tarafından yapılan yıllık istatistiklerde Tablo 1.3 de görüldüğü gibi, gölde buharlaşmanın en fazla Ağustos ayında 172.1 mm, en az ise Mart ayında 1.2 mm ile gerçekleştiği ifade edilmektedir (DSİ, 1984).

Tablo 1.3. M. Kemalpaşa ve Bursa bölgelerinin aylık yağış değerleri (mm)

Aylar	M.Kemalpaşa 33 yıllık ortalama	Bursa 36 yıllık ortalama
Ocak	100.6	91
Şubat	78.5	84.8
Mart	75.6	72.2
Nisan	51.4	56.8
Mayıs	46.4	55.9
Haziran	33.8	30.2
Temmuz	13.6	29.6
Ağustos	10.6	15.6
Eylül	38.4	42.2
Ekim	58.3	56.9
Kasım	71.6	77.5
Aralık	104.9	96.6

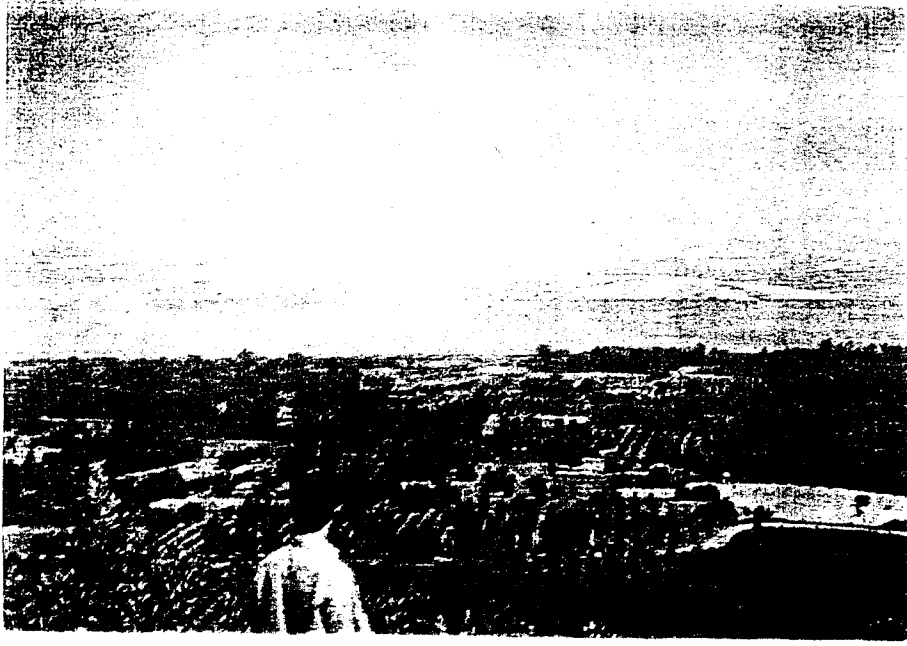
Tablo 1.4. Uluabat gölünden aylık ortalama net buharlaşmalar

Aylar	Uluabat gölü Aylık net buharlaşmalar	
	mm	Milyon m ³
Ocak	32.3 (-)	5.81 (-)
Şubat	13.0 (-)	2.34 (-)
Mart	1.2 (+)	0.22 (+)
Nisan	37.2 (+)	6.70 (+)
Mayıs	81.9 (+)	14.74 (+)
Haziran	112.3 (+)	20.21 (+)
Temmuz	128.1 (+)	23.06 (+)
Ağustos	172.1 (+)	30.98 (+)
Eylül	97.1 (+)	17.48 (+)
Ekim	12.6 (+)	2.27 (+)
Kasım	32.8 (-)	5.90 (+)
Aralık	60.4 (-)	10.87 (-)
Toplam	504 (+)	90.74 (+)

1.5. Sosyal ve Ekonomik Yapı

İnceleme alanına en yakın olan en büyük yerleşim merkezi, organize sanayiın hakim olduğu Bursa kentidir. Mustafakemalpaşa ve Karacabey ilçeleri ile birlikte toplam 1.000.000 nüfusun yaşadığı bir bölgedir. Uzun yıllar tarım ve turizm merkezi olmuş olan Bursa'nın nüfusu organize sanayi bölgesinin kurulmasıyla hızla artmıştır. Tarım ve hayvancılık modern yöntem ve araçların kullanılmasıyla oldukça gelişme kaydetmiştir. Bölgede en çok yetiştirilen tarım ürünleri; buğday, arpa, mısır, tütün, ayçiçeği ve her türlü mevsim sebzesi ile başta şeftali olmak üzere çeşitli meyvelerdir. Uluabat gölünün en önemli kullanım alanlarından biri, belki başlıcası su ürünleri üretimidir. Dünya kerevit üretiminde % 20-30 payla birinci sırayı alan Türkiye'nin kerevit üretiminin yaklaşık üçte biri Uluabat gölünden sağlanmaktadır. En önemli kerevit üretim merkezi eski adı ile Abulyant köy, yeni adıyla Gölyazı beldesidir. Gölde toplanan kerevit ve diğer su ürünleri (sazan, kefal, turna, mersin, kızkıranat) her gün öğlenden önce köy meydanında mezat usulü TURBEL Kooperatifi tarafından satışa sunulmaktadır. Çok az bir kesimin dışında köylünün geçimi büyük ölçüde kerevit ve balığa bağlıdır. Ancak yıllar önce göldeki kerevit ve balığı bolluğundan dolayı toplamakta zorlanan köylü, son 20-25 yılda çevredeki sanayi ve endüstriyel kuruluşlarının atıklarının göldeki canlı yaşamı olumsuz etkilemesi nedeniyle şu anda geçimini zor sağlamaktadır. Bunun dışında gölün doğusunda ve güneyinde Akçalar köyü başta olmak üzere Fadıllı, Furla ve Akçapınar köyleri de diğer önemli yerleşim merkezleridir. Bu kesimde yaşam, çok geniş ve verimli tarım alanları nedeniyle balıkçılıktan çok tarıma ve ormancılığa dayalıdır (Şekil 1.2).

İnceleme alanı ve yakın çevresinde gölün ekolojik ve biyolojik yönden olumsuz etkilenmesine neden olan bir çok sanayi ve değişik endüstri kuruluşları bulunmaktadır. Bunların önemli bir kısmı üretim sırasında ve sonrasında ürettikleri atıkları yerüstü su kaynaklarına vermektedirler. Söz konusu işletmeler aşağıda kısaca tanıtılmaktadır.



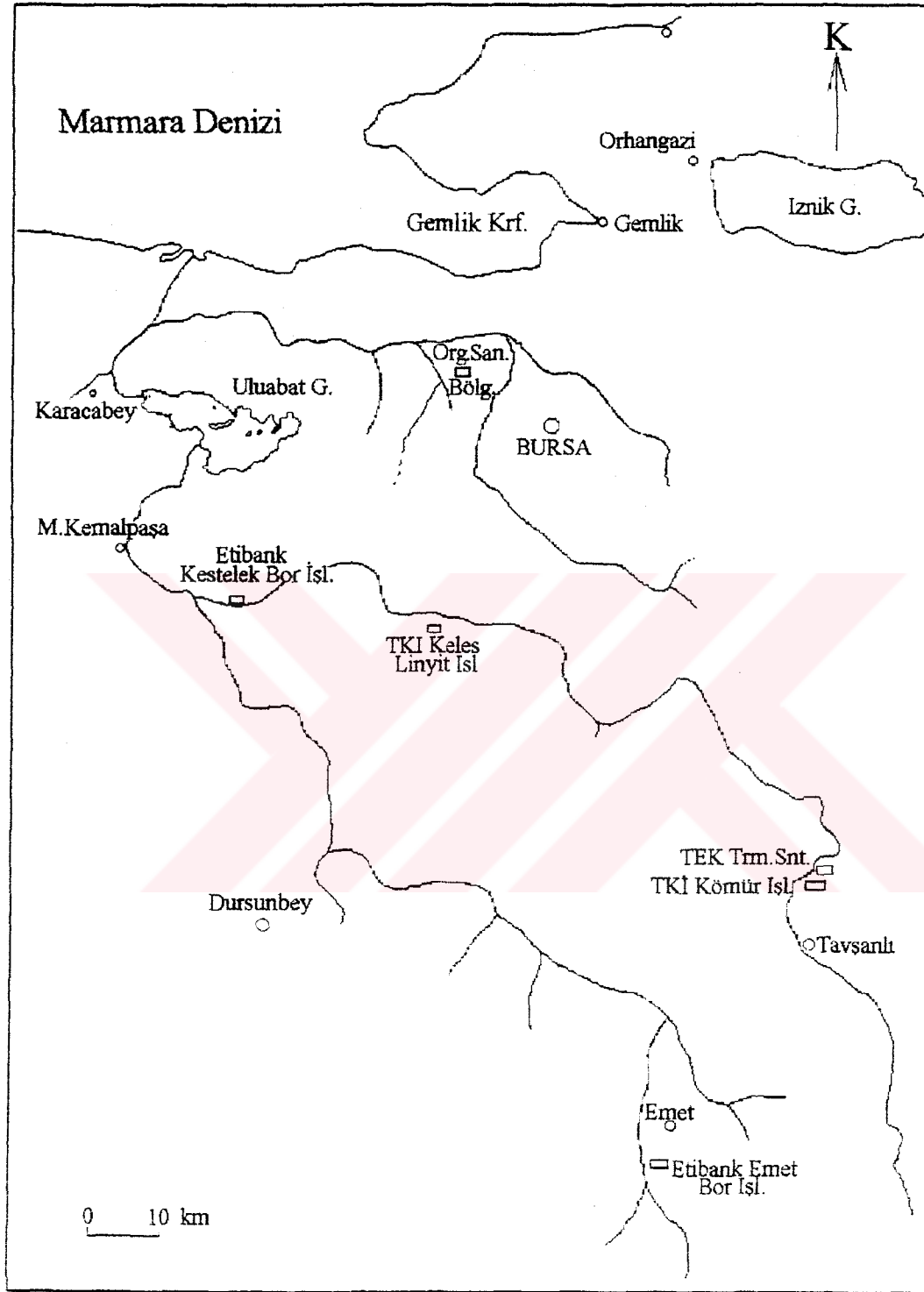
Şekil 1.2. Uluabat Gölü'nün güneyinde geniş alanlar kaplayan tarım arazisi

- 1- Bursa Organize Sanayi Bölgesi : Bu bölgede başta tekstil olmak üzere, iplik, otomobil ve otomotiv yan sanayi dalları, boya, lastik, elektrik ve kimya gibi büyük sanayi dallarını kapsamaktadır. Bu bölgeden yılda 3.5 milyon ton atık su tek kanalla Ayvalı deresi üzerinden Nilüfer çayı' na verilmektedir.
- 2- Etibank Emet Bor Tuzu Yatakları : M. Kemalpaşa çayının Emet kolu üzerinde ve Emet ilçesi yakınında yer alan tesislerde yılda 400 bin ton bor tuzu cevheri çıkarılmakta ve cevher zenginleştirme işlemleri yapılmaktadır. Türkiye'deki belli başlı bor yatakları bulunan dört bölgeden birini oluşturan Emet bölgesinde bor tuzu yatağının kalınlığı ortalama 15 m. civarındadır. Açık ve kapalı olarak çalışan işletmelerde atık su özellikle cevherin zenginleştirilmesi esnasında ortaya çıkmakta ve çıkan bu atık su Emet çayı' na verilmektedir. Bölgede üretilen bor tuzu mineralleri ile birlikte aynı zamanda arsenik minerallerine de az da olsa tesadüf edilmektedir. Söz konusu arsenik mineralleri yığılan pasaların ve yıkama suyunu tekrar kullanmak amacıyla yapılmış basit göletlerin taşkın suları ile zaman zaman yeraltı ve yerüstü suyuna karışabilmektedir.

- 3- TKİ Tunçbilek Garb Linyitleri İşletmeleri (GLİ) : Tavşanlı ilçesinin 9 km kuzeybatısında yer alan kömür ocaklarından elde edilen kömürün önemli bir kısmı hemen yanındaki termik santralde elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Kömürün çıkarıldıktan sonra parça büyüklüğüne göre ayrılması, elenmesi ve yıkanması sonucunda ortaya çıkan ve partiküler çapta kömür tozu, marn, şist, kil içeren sıvı atıklar Orhaneli ayına verilmektedir. Yıkama işlemi sonucunda ortaya çıkan atıklarda kalsiyum, magnezyum, sülfat ve demir gibi elementleri içeren kimyasal unsurlar da bulunmaktadır.
- 4- TEK Tunçbilek Termik Santrali : Santralde sarf edilen suyun arıtımında katkı maddesi olarak kullanılan yılda yaklaşık 11 bin ton kimyasal madde, bacalardan çıkan yaklaşık 150 bin ton uçucu kül ve cüruf Orhaneli ayı' na kısmen karışabilmektedir.
- 5- Etibank'ın Kestelek'te bulunan bor tuzu işletmeleri : M. Kemalpaşa ayı'nın Orhaneli kolu üzerinde ve Kestelek köyü yakınlarında bulunmaktadır. Bu işletmede yılda 65 bin ton üretim yapılmaktadır. İşletmede kullanılan yıkama suları doğrudan çaya verilmeyip çökeltme havuzlarında toplanmakta ve devir daim sistemiyle tekrar kullanılmaktadır. Ancak işletmeden çıkan 70 lt/sn debiye sahip drenaj suları Orhaneli ayı' na karışmaktadır (şekil 1.3).
- 6- TKİ'nin Keles' de bulunan linyit işletmesi : Bu bölgedeki linyit ocakları açık işletme olarak işletildiğinden kömür üstü kil ve marnlı formasyonlar kaldırılarak akarsu yatağına atılmaktadır (şekil 1.4).



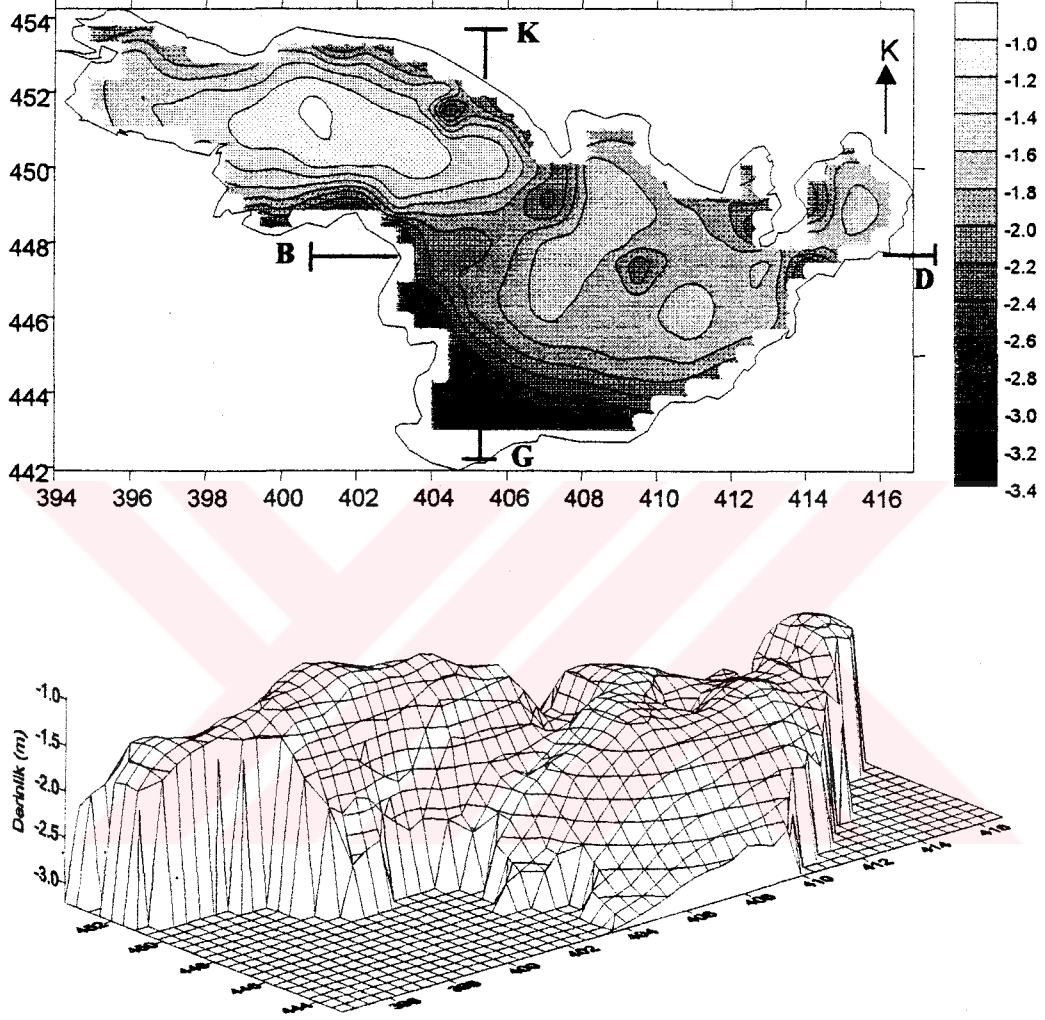
şekil 1.3. Kestelek'te bulunan Etibank'a ait bir bor tuzu madeni açık işletmesi



Şekil 1.4.Uluabat gölü civarındaki endüstri kuruluşlarının yerleşim planı

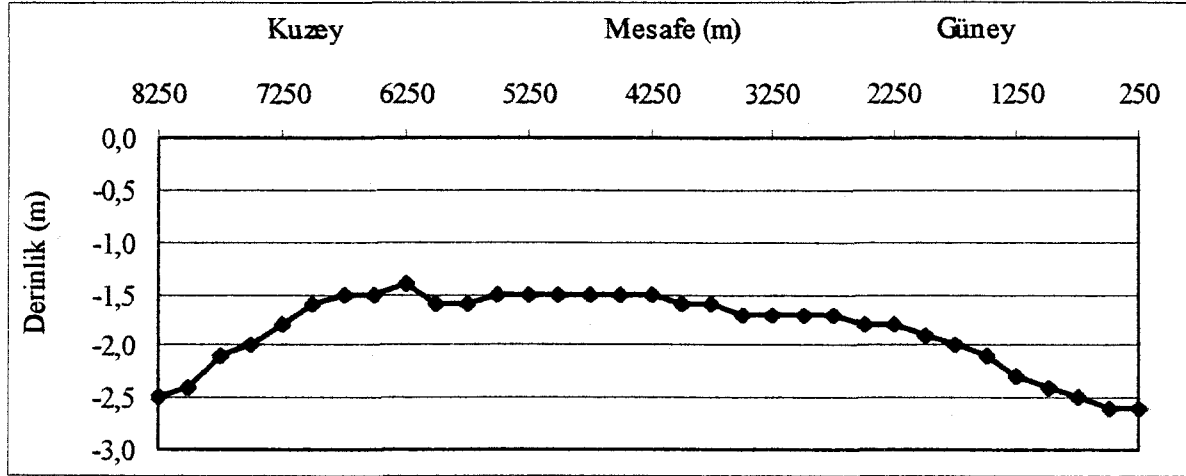
1.6. Gölün Batımetrisi

Gölün batımetrik yapısını ortaya koymak amacıyla DSİ tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli hidrografi haritasından yararlanılmıştır (Şekil 1.5).

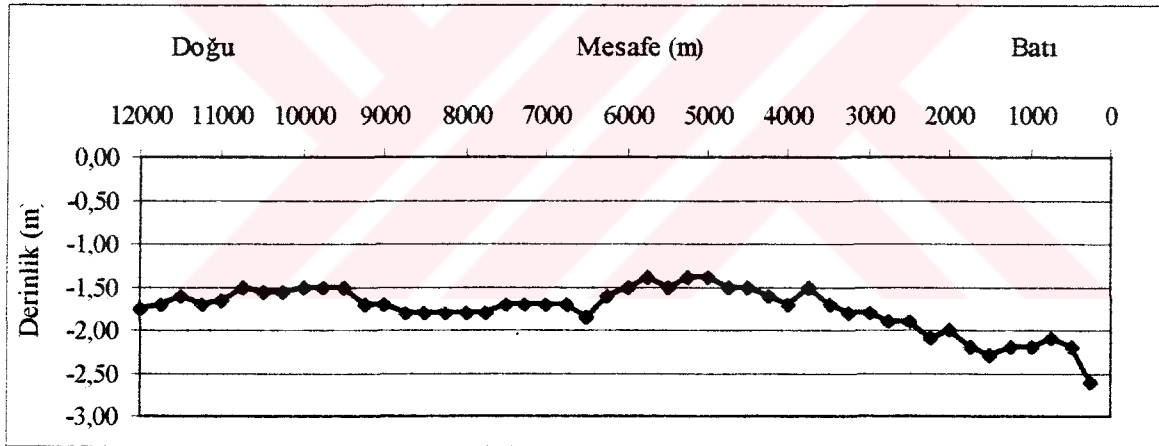


Şekil 1.5. Uluabat Gölü batımetri haritası ve taban topoğrafyası

Oluşturulan batımetri haritasında gölün genellikle kenar zonlarının iç kesimlere nazaran daha derin olduğu görülmektedir. Göl taban topoğrafyasındaki bu yapı gölün kenar zonlarının faylarla sınırlandığının bir işareti olarak değerlendirilebilir. Bu durum, kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde alınan iki adet göl taban topoğrafyası kesitinde daha açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 1.6 ve 1.7).



Şekil 1.6. Güney-kuzey yönünde göl taban topoğrafyasının kesiti



Şekil 1.7. Batı-doğu yönünde göl taban topoğrafyasının kesiti

Yukarıdaki şekillerden, gölün kuzey-güney yönünde taban topoğrafyasındaki kot farkı, doğu-batı yönündeki taban topoğrafyasının kot farkından daha büyük olduğu açıkça görülmektedir.

1.7. Göl Suyunun Yenilenme Zamanı

Göle gelen akımlar ve gölün toplam depolama hacmi göz önüne alınarak “Göl Suyunun Yenilenme Zamanı” hesaplanmaktadır. Göle gelen toplam akışların hesaplanması için, göle düşen yıllık yağış miktarı, yüzeysel akış, sulama suyu dönüşleri ve M. Kemalpaşa Çayı’ndan meydana gelen akış göz önüne alınacaktır.

Sulama Suyu Dönüşleri : M. Kemalpaşa Ovası sulamasından dönen sulama suları ve taşkın suları Uluabat ve Atabay Pompa İstasyonları ile göle verilmektedir. Bu istasyonlar bütün yıl günde 12 saat çalışmaktadırlar.

Uluabat istasyonundan gelen akım- Q_U Atabay istasyonunda gelen akım- Q_A

$$Q_U = 6.5 \text{ m}^3/\text{sn}; Q_U = 204.984 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \quad Q_A = 3.5 \text{ m}^3/\text{sn} = 110.376 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Göl Yüzeyine Düşen yağmur : Göl yüzeyine düşen yıllık ortalama yağış miktarının bulunmasında DSİ tarafından işletilen Karacabey ve Gölyazı Meteoroloji İstasyonlarından elde edilen ortalama yağış değerleri kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Karacabey İst. Ort. Yağış} &= 609.1 \text{ mm} \\ \text{Gölyazı İst. Ort. Yağış} &= 720.2 \text{ mm} \\ \text{Göle Düşen Ort. Yağış} &= (609.1 + 720.2) / 2 = 664.7 \text{ mm/yıl} = 106.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

Yüzeysel Akış Suları : M. Kemalpaşa havzası dışındaki 343 km² lik göl su toplama havzasından gelen yüzeysel akış sularının hesaplanmasında ortalama yağış miktarı olarak yine yukarıda hesaplanan 664.7 mm lik yağış değeri ile ortalama akış katsayısı olarak da Türkiye ortalaması olan 0.36 katsayısı kullanılmıştır.

$$\text{Yüzeysel akış suları} - Q_{YA} = 664.7 \text{ mm} (343 \text{ km}^2)(0.36) = 82.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

M. Kemalpaşa Çayı Suyu : Aylık ortalama debisi 12 m³/sn den aşağı düşmeyen M. Kemalpaşa Çayı ‘nın göle sağladığı yıllık toplam su miktarı 378432000 m³ tür. Bu verilere göre göle gelen toplam akış miktarı tüm akış miktarlarının toplamıdır. Bu da,

$$\Sigma Q_T = 882.292 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} \text{ dır.}$$

Göl suyunun yenilenme zamanı (t_w) ise gölün toplam su depolama hacminin göle gelen toplam akış miktarına bölünmesiyle elde edilir.

$$t_w = 300 \times 10^6 \text{ m}^3 / 882.292 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} = 0.34 \text{ yıl}$$

Bu veriye göre Uluabat Gölü’nün suyu yaklaşık 4 ayda tamamen yenilenmektedir.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

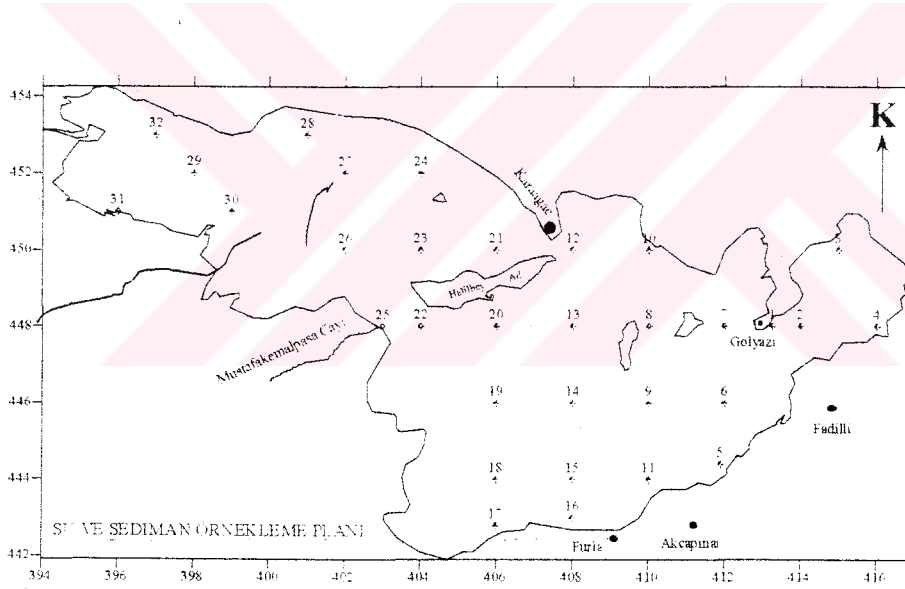
Bu tez kapsamında Uluabat gölü ve gölü besleyen M. Kemalpaşa çayı sularının hidrojeokimyasal özellikleri ile göl tabanında yer alan sedimanların mineralojik ve jeokimyasal karakteri ve bütün bu verilerin çevredeki jeolojik birimlerle ve diğer kaynaklarla olan ilişkileri gözlemsel, deneysel ve istatistiksel yöntemlerle ortaya konmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla çalışmalar, arazi, laboratuvar ve ofis çalışmaları olmak üzere 3 aşamada tamamlanmıştır. Bu aşamalarla ilgili ayrıntılı bilgiler gelecek bölümlerde verilecektir.

2.1. Arazi Çalışmaları

Araştırmaya konu olan göl ve çevresinde iki yıl ardarda arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk yılda göl çevresinin jeomorfolojisi, litolojisi ve kentsel ve endüstriyel yerleşim yapısı hakkında bilgi edinmek için 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ile MTA (1980) tarafından hazırlanan 1/50.000 ölçekli jeolojik haritalar eşliğinde arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu incelemeler sırasında MTA'nın hazırladığı jeolojik harita litolojik ve yapısal unsurlar açısından arazi üzerinde bir kez daha denetlenmiştir. Diğer yandan gölde yapılacak olan çalışmaların sistematikliğini belirlemek amacıyla ön çalışma olarak gölün değişik kesimlerinden su ve dip sedimanı örnekleri alınmıştır. Alınan su ve sediman örnekleri İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı bünyesindeki Jeokimya Laboratuvarı'nda analizlere tabi tutulmuştur. Yapılan ön etütler sonucunda göl suyunun ve dip sedimanlarının fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakterinin değişkenlik göstermesi dolayısıyla gölden sistematik su ve sediman örnekleri alınması planlanmıştır. Bu doğrultuda 1996 yılı Temmuz-Ağustos aylarında gölde motor kiralamak suretiyle sistematik örnekleme çalışması yapılmıştır (Şekil 2.1). Yapılan çalışmada karelej yöntemi kullanılarak iki kilometrede bir su ve dip sedimanı örneği (toplam 32 adet) alınmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Gölde su ve sediman örnekleme çalışmasında kullanılan sürat botu



Şekil 2.2. Uluabat gölü su ve silindirik (karot) sediman örnekleme planı

Su örneklerinin alınmasında 1 litrelik polietilen kaplar kullanılmıştır. Su örnekleri su yüzeyinden yaklaşık 50 cm derinlikten tek bir örnek alınmıştır, çünkü gölün derinliği çalışma mevsiminde ortalama 1.5-2 m olduğundan derinliğe bağlı su numunesi almada kullanılan "Nansen şişesi" kullanılamamış dolayısıyla düşey ölçekte tek bir su örneği alınabilmektedir. Alınan su örnekleri pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik değerleri yerinde okunduktan sonra, yapılacak olan kimyasal analizlerin

sağlığı açısından aynı gün nitrik asitle (HNO_3) $\text{pH} < 2$ olacak şekilde muamele edilmiş ve ağzı sıkıca kapatılarak en kısa sürede laboratuvara taşınmış ve serin bir ortamda analizler için beklemeye alınmıştır.

Göl dibindeki kırıntılı malzemenin niteliğini anlamak amacıyla ilk önce değişik noktalarda dipten yaklaşık 500 gram ağırlığında sediman örnekleri alınmıştır. Bu örnekler boyut analizi ile mineralojik bileşimi incelenmiş ve bu ön incelemelerden sonra sedimantasyon sürecinin kimyasal olarak nasıl geliştiğini anlamak amacıyla silindirik karot sediman örneği alma gereği duyulmuştur ve bunun için dizaynı tarafımızdan yapılan 5 cm yarıçap ve 15 cm uzunluğa sahip el karotiyeri (Şekil 2.3) kullanılmıştır. Karotiyer, sedimanı kirletmemesi için PTFE (politetrafloroetilen) malzemesinden imal edilmiştir. Karotiyerin arka kısmına birbirine eklenip çıkarılabilen 1 m'lik 4 adet alüminyum profil sap monte edilmiştir. Değinilen tarzda göl dibine indirilen karotiyer kol kuvvetiyle bastırılarak dipteki sedimanın karotiyerin içerisine girmesi sağlanmıştır. Daha sonra piston yardımıyla karotiyerden çıkarılan sediman örneği (Şekil 2.4) 5'er cm'lik üst-orta-alt şeklinde üç adet kısma ayrılıp kimyasal ve mineralojik incelemeler için ağzı kapaklı plastik kutularda muhafaza altına alınmış ve numaralanmıştır.



Şekil 2.3. Gölde karot örnek almak amacıyla kullanılan karotiyer

Örnekleme çalışmasında daha önceden belirlenen örnek noktaları, 5 uydu ile bağlantı kurabilen azami 25 m. hata payına sahip Magellan marka GPS (Global Positioning System) cihazı kullanarak tespit edilmiştir (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Göl üzerinde nokta tayininde kullanılan GPS aleti ile nokta tayini

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Yapılan tez çalışmasının önemli bir bölümünü oluşturan, arazi faaliyeti sonucunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar üç ana grupta toplanabilir :

1. Göl ve M. Kemalpaşa Çayı'ndan alınan su örneklerinin kimyasal karakterinin birincil, ikincil ve iz elementleri belirlemek suretiyle ortaya konması,
2. Göl ve M. Kemalpaşa Çayı sedimanlarının;
 - a) Kil boyutlu kısmının mineralojik bileşiminin X-ışınları difraksiyon (XRD) metodu ile belirlenmesi, silt, kum ve çakıl boyutlu kısmının ise binoküler mikroskop incelemeleri ile tanımlanması
 - b) Üst, orta ve alt kısım karot örneklerinin her birinin ayrı ayrı kimyasal analizlerinin yapılması

2.2.1 Su Örneklerinin İncelenmesi

Gölden sistematik olarak alınan su örnekleri fiziksel ve kimyasal incelemeler olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.2.1.1 Fiziksel İncelemeler.

Uluabat Gölü'nde pH, çözünmüş oksijen, sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve türbidite gibi fiziksel parametreler portatif aletler kullanarak yerinde tayin edilmiştir. Gölün çalışılan mevsimde çok sığ (1-2 m) olması nedeniyle ölçümler yaklaşık 50-60 cm derinlikten alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Suyun pH ölçümleri, pH metrenin pH-4, pH-7 ve pH-10 ayarındaki standart tampon çözeltilerle kalibrasyonundan sonra WTW- pH 96 marka pH metre cihazı ile, sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri WTW-OXI 96 marka oksimetre cihazı ile, elektriksel iletkenlik değerleri de, WTW-LF 92 marka kondüktivitimetre cihazı ile örnek alımının hemen akabinde ölçülmüştür. Ayrıca gölde MEX-P marka türbidimetre cihazı ile yerinde türbidite ölçümleri yapılmıştır.

2.2.1.2 Kimyasal İncelemeler

Gölden sistematik olarak alınan 1 lt hacmindeki su örneklerinin;

- a) askıda maddenin kimyasal bileşimi
- b) anyon-kasyon bazında kimyasal bileşimi
- c) ağır metal konsantrasyonu gibi parametreleri belirlenmiştir.

Askıda maddenin kimyasal bileşimi: Öncelikle askıda maddelerin (suspended material) ayrılarak toplanması amacıyla İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü' nün laboratuvarlarında bulunan Sartorius marka Alman yapımı çelikten yapılmış vakumlu filtre cihazından yararlanılmıştır. Sudan vakumlu filtre yardımıyla süzülerek darası önceden alınmış selüloz asetat filtre kağıdı üzerinde toplanan askıda madde, etüvde 90 °C de kurutulmuş ve daha sonra tekrar tartılarak askıda maddenin ağırlığı hesaplanmıştır. Göl suyundaki askıda maddenin kimyasal bileşimini belirlemek için gölün değişik yerlerinden alınan örneklerden bazıları seçilmiş ve bunlar tek bir örnek olarak analize alınmıştır.

Cl⁻ iyon spesifik elektrot yardımıyla,

B spektrofotometrik olarak, Fluor ise iyon selektif elektrod vasıtasıyla,

Si ise kolorimetrik olarak tayin edilmiştir.

2.2.2. Göl Sedimanlarının İncelenmesi

Gölden sistematik olarak alınan 32 adet silindirik dip sediman örneğinden 16 adet seçilmiş ve dip sedimanlarının mineralojik ve jeokimyasal karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli analizlere tabi tutulmuştur.

2.2.2.1. Göl Sedimanlarının Mineralojik İncelemesi

Daha önce de belirtildiği gibi, alınan 15 cm lik silindirik karot örneği yüzeyden derine doğru olmak kaydıyla 5'er cm lik üç kısma ayrılmıştır. Burada amaç kimyasal parametrelerin gölde meydana gelen sedimantasyon sürecine bağlı olarak değişimini incelemektir. Laboratuvara getirilen sediman örnekleri makroskopik olarak incelendiğinde, çok azının kum boyutlu malzeme olduğu, büyük çoğunluğunun ise kil ve silt boyutunda olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle iri boyutlu malzemedan (çakıl, kum) oluşan örneklerde, su ortamında tane serbestleşmesi sağlanarak elek analizi ve ardından binoküler mikroskopta mineral bileşimlerini belirlemek amacıyla mineralojik incelemeler yapılmıştır.

Kil ve silt boyutlu malzeme ise öncelikle kızıl ötesi (IR) dalga boyuna sahip lamba altında kurutulmuş ve daha sonra agat havanda öğütülerek kimyasal analizlere geçilmiştir.

2.2.2.2. Göl Sedimanlarının Kimyasal İncelemesi

Sedimanların ve askıda katı maddenin kimyasal karakterini ortaya koymak amacıyla büyük ölçüde İTÜ Maden Fakültesi Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı Jeokimya Laboratuvarı'nda mevcut olan olanaklardan yararlanılmıştır.

Silikat Analizi : Silis dışındaki majör oksitlerin (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO , MgO , TiO_2 , MnO , P_2O_5) çözünleştirilmesinde 20 ml HF (% 37 lik Merck kalite) + 10 ml HNO_3 + 1-2 damla H_2SO_4 karışımı kullanılmıştır.

Söz konusu analizlerde Al_2O_3 , alüminon yöntemiyle, Fe_2O_3 phenonthrioline yöntemiyle, TiO_2 tiron yöntemiyle, P_2O_5 amonyum fosfat ve amonyum molibdat yöntemiyle kolorimetrik olarak tayin edilmiştir (Bürküt, 1986).

Ağır Metal Analizleri : Sediman örneklerinde ağır metallerin (Pb, Zn, Cu, Mn, Co, Ni) tayini için, askıda madde analizlerinde olduğu gibi, 15 ml % 65 lik Merck kalite nitrik asit (HNO_3) çözünleştirilen numune kuruluğa kadar bekletildikten sonra 3 ml nitrik asitle çözeltiye alınmış ve atomik absorpsiyon spektrometresinde okumalar gerçekleştirilmiştir.

Toplam Organik karbon : Toplam Organik Karbon (TOK) analizleri Gaudette ve diğ. (1974) adlı kaynakta belirtildiği gibi, Walkley-Black Titration yönteminde anlatıldığı şekilde titrimetrik olarak gerçekleştirilmiştir. Numunedeki organik karbon miktarı, potasyum kromat, sodyum florür, ortofosforik asit, sülfürik asit ve difenilamin indikatör bileşimiyle reaksiyona maruz bırakılan toz halindeki numunenin, demir-amonyum sülfat ile titre edilmesi ve sonuçta çözeltide yeşil rengin görüldüğü andaki rakamın formülde yerine konması sonucunda belirlenmiştir.

Toplam Karbonat : Uluabat Gölü dip sedimanlarının toplam karbonat tayinlerinde, Normschliff firması tarafından dizayn edilmiş CO_2 gazı ölçüm aparatı kullanılmıştır. Yöntem hassas tartılmış 1 gr numunenin 1:1 sülfürik asit ile reaksiyonu sonucu meydana gelen karbondioksit gazı çıkışının neden olduğu kütle kaybının tekrar hassas terazi ile belirlenip formülde yerine konarak karbonat şeklinde hesaplanması esasına dayanır (Bürküt, 1984). Sedimanlarda yapılan kimyasal analizler ve kullanılan yöntemler Tablo 2.2 de verilmiştir.

Bor : Dip sedimanlarındaki bor konsantrasyonlarının tayinin için numuneler önce seyreltik sülfürik asit (Merck kalite) ile çözeltiye alınmış ve bor miktarları iyon selektif fotometre ile kolorimetrik olarak belirlenmiştir.

Tablo 2.2. Göl dip sedimanlarında yapılan analizler ve kullanılan yöntemler

Parametre	AAS	Alev Fotometresi	Kolorimetrik	Titrimetrik	Spekto Fotometrik	Gravimetrik
Na ₂ O						
K ₂ O						
CaO						
MgO						
SiO ₂						
P ₂ O ₅						
Al ₂ O ₃						
Fe ₂ O ₃						
Org-C						
T-CO ₃						
Cu,Pb,Zn,Ni Cr,Co,Mn						
B						

3. ULUABAT GÖLÜ ve CİVARININ JEOLojİSİ

Günümüze değin Uluabat Gölü'nü de içine alan bölgede bir çok jeolojik inceleme (Özkoçak; 1969, Lisenbee; 1971; Ürgün, 1972; Bingöl; 1973, Okay; 1998, 6717 sayılı MTA Raporu; 1980) yapılmıştır. Bu çalışmada ise Uluabat Gölü (Bursa) civarının litolojisi, stratigrafisi ve tektoniği 6717 sayılı MTA Raporu, 1980 referans alınarak özet olarak tanıtılacaktır (Ek-A1 ve A2).

3.1. Litostratigrafi

İnceleme alanının bu çalışmanın amacına uygun olarak seçilmiş kesiminde başlıca Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Bu birimler alttan üste doğru;

1. Paleozoyik yaşlı Serkedere metamorfikleri, Dikmentepe kireçtaşı, Kızıltepe metamorfikleri, Paşalar mermerleri
2. Triyas yaşlı Karakaya Grubu
3. Jura yaşlı Dağakçe Formasyonu, İnalar kireçtaşı
4. Üst Kretase yaşlı Göktepe Formasyonu, Kocasu melanji
5. Çataldağ granitoyidi
6. Miyosen yaşlı Değirmendere Formasyonu, Tültepe tuf ve aglomeraları ve Mudamköy volkanitleri
7. Pliyosen yaşlı Hamamlı Formasyonu, Karacaoba tuf ve aglomeraları
8. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve taraçalar şeklindedir.

3.1.1 Paleozoyik

Paleozoyik yaşı kayaçlar gölün güney kısmında fakat inceleme alanının dışında kalır ve çok dar alanlar kaplarlar. Alt-üst ilişkileri referans alınan çalışmada tam ayırtlanamamış, fakat litolojik farklılıklar gözönüne alınarak dört bölümde toplanmışlardır.

3.1.1.1 Serkedere Metamorfitleeri (Ps)

İnceleme alanının dışında kalmakla birlikte stratigrafik istifte yer alan yeşilimsi gri renkli mika şistlerden oluşan birim sahanın güneydoğusunda yüzeyleir. Litolojik olarak kuvars-tremolit-aktinolit şist, kloritoid -muskovit-kuvars şist, albit-biyotit-kuvars şist, muskovit-biyotit-kuvars şist, albit-muskovit-kuvars şist, muskovit-kuvars şist ve mikali kuvars şistlerden meydana gelmiştir. İlk sel konumda sığ deniz çökelleri olarak oluşan kayaçlar daha sonra metamorfizma geçirmişlerdir.

3.1.1.2 Dikmentepe Kireçtaşı (Pd) :

İnceleme alanının dışında kalan siyahımsı gri renkli, alt seviyeleri çört ve sileks yumrulu, orta tabakalanmalı, Serkedere metamorfitleeri üzerine uyumlu olarak gelen kristalize kireçtaşlarıdır.

3.1.1.3 Kızıltepe Metamorfitleeri (Pk) :

Uluabat gölünün güneybatısında fakat inceleme alanının dışında kalan şistlerden oluşmuş birim sarı, beyaz ve bej renklerde olup Çataldağ granitoyidi boyunca yayılım gösterir. Kayaç kompozisyonu, albit-epidot-klorit şist, albit-epidot şist, amfibolit, kuvars-biyotit şist, biotit-muskovit-kuvars şist, biyotit-muskovit-albit-kuvars şist, muskovit-kuvars şist, albit-epidot-klorit şist, albit-klorit-kuvars şist, muskovit-kuvars-klorit şist, kalk şist ve meta bazit şeklindedir.

3.1.1.4 Paşalar Mermerleri (Pp) :

Gölün güneybatısında, Çataldağ granitini çevreleyen, Kızıltepe metamorfitleerinin üzerine uyumlu olarak gelen ve granit tarafından kesilen, beyaz, beyazımsı gri, açık sarı renkli, bol eklemlili, kırıklı yapıya sahip olan mermerlerdir.

3.1.2 Mesozoyik

Mesozoyik: bölgede Triyas yaşlı Karakaya Grubu, Jura yaşlı Dağakçe Formasyonu ve İnatlar Kireçtaşı, Kretase yaşlı Göktepe Formasyonu ve Kocasu Melanjı ile temsil edilmektedir ve oldukça geniş alanlar kaplar.

3.1.2.1 Triyas

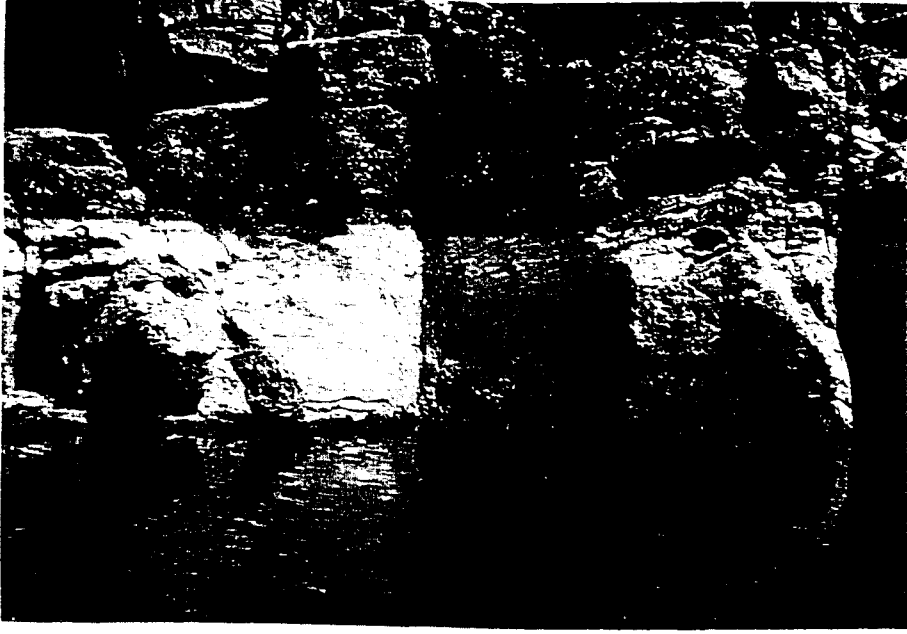
Triyas, bölgede Karakaya Grubu olarak adlandırılan olistrostromal özelliğe sahip kayalar ile temsil edilir.

Karakaya Grubu (Trk) : Birim Uluabat Gölü'nün güneyinden itibaren doğuya doğru en geniş yayılıma sahip, olistrostromal fasiyes özellikleri taşıyan kayalar topluluğudur. Yaklaşık kalınlığı 250 m. yi bulmaktadır. Çok az meta-kumtaşı, konglomeratik kumtaşı, konglomera, grovak, arkoz, arkozik kumtaşı, fillit, radyolarit'ten oluşmuş detritikler, bunlarla yanal ve düşey geçişli meta-spilit, spilit, meta-bazalt, bazalt, bazik tüf ve meta-tüflerden oluşan az metamorfik bazik volkanikler, bu volkanikler ile ilksel ilişkili kireçtaşları birbirleriyle karışık durumda yayılım gösterirler. İçlerinde değişik boyutta Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları ve mercekssel kireçtaşları vardır.

3.1.2.2 Jura

Dağakçe Formasyonu (Jd) : Karakaya grubu üzerine uyumsuz olarak gelen birim inceleme alanında gölün kuzeyinde Bursa-Karacabey yolunun kuzeyindeki Karakoca köyü civarı ile gölün güney ve güneydoğusunda ince uzun bir yayılıma sahiptir. Alttan üste doğru kuvarsit, şist ve şeylden oluşan taban konglomerası ile başlayıp konglomeratik kumtaşı, kumtaşı-marn ardalanması şeklinde devam eden, tabakalanmalı, gevşek tutturulmuş detritiklerden oluşan birim İnatlar Kireçtaşının uzanımına uygun bir yayılım göstermektedir. Formasyonun kalınlığı 90 m. olarak ölçülmüştür.

İnatlar Kireçtaşı (Ji) : Sahada geniş yer kaplayan ve göl içindeki adaları da oluşturan birim genelde D-B uzanımlıdır ve yayılımı gölün kuzeyi ile güneyinden doğuya doğrudur. Orta tabakalanmalı, eklemlili ve bol kıvrımlı, genelde gri ve bej renkli birimin orta seviyeleri çört ve sileks yumrulu, konkoidal kırıklıdır, bol makro ve mikro fosil içerir. Birimin kalınlığı ortalama 220 m. dir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Göldeki adalardan Halilbey Adası'ndaki İnaltı Kireçtaşları ve su izleri

3.1.2.3. Kretase

Kretase, Göktepe Formasyonu ve Kocasu Melanjıyla temsil edilmektedir. İnceleme alanında yalnızca Kocasu Melanjının küçük bir kısmı yer almaktadır.

Göktepe Formasyonu (Kg) : İnceleme alanı dışında gölün güneydoğusunda kahverengi, boz ve kırmızımsı renklerde görülen ve litolojik olarak kumtaşı, radyolarit, çört ve grovak ile birlikte bazik-ultrabazik kayaç parçaları içeren ve Karakaya grubu ile benzerlik gösteren formasyon Göktepe formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Kocasu Melanjı (Kk) : İnceleme alanının güneyinde geniş bir alanda yayılım gösteren ve içerisinde civardaki formasyonlardan kaya parçaları bulunduran bazik-ultrabazik kayaç topluluğundan oluşan, genelde yeşil rengin hakim olduğu seridir ve inceleme alanının güneydoğusunda yayılım gösterir. Litolojisi çeşitli boyutlarda kireçtaşı-şist bloğu bulunduran ve sınırı çizilemeyecek şekilde piroksenit, serpantin, uralit gabro, diyabaz, mela-diyorit, limonitleşmiş tuf, şist, serpantin talk şist gibi bazik-ultrabazik kaya türü karmaşası ile radyolarit ve tüflerden oluşmaktadır. Kayaç bileşimine bakarak birimin manto malzemesinden oluştuğu ve tektonik hareketlerle kıta üzerine itildiği söylenebilir.

3.1.3 Senozoyik

Çalışma alanında çok geniş yayılım gösteren ve tüm temel kaya birimlerini örten Neojen çökelleri, karasal fasiyes özelliklerini taşır. Bu zaman sürecinde oluşan, asit volkanikler ve bunların tuf ve aglomeraları karasal çökellerle giriftlik gösterir.

Söz konusu bu çökeller ve volkaniklerde fosil ve polen analizleriyle elde edilen sonuçlara göre bölgede iki ayrı havzanın varlığından söz edilebilir. Bunlardan birincisi; içeriğinde Miyosen yaşını veren bulguların yoğun olduğu, Uluabat Gölü güneyinde yayılım gösteren karasal çökeller ve bunlarla ilişkili volkaniklerin oluşturduğu Miyosen havzası, diğeri ise; Uluabat Gölü' nün güneyinden geçen ve gölü oluşturan tektonik hat ile, M. Kemalpaşa'dan geçerek batıya doğru uzanan tektonik hattın kuzeyinde yayılım gösteren, içeriğinde Pliyosen yaşını veren bulguların yoğun olduğu karasal çökeller ile bunlarla ilişkili volkanik faaliyetlerin başlangıç malzemesini meydana getiren Pliyosen havzasıdır. Bu havzaların çökellerinin birbirleriyle olan stratigrafik ilişkilerini sahada görmek mümkün olmamıştır. Bunun nedeni bölgede Miyosen sonunda başlayan genç tektoniğin çok etkin oluşu ve buna bağlı olarak çalışma alanının güney bölümünün yükselmesidir. Güneydeki havza yükselmeye devam etmiştir ve gölün oluşmasına da sebep olmuştur.

3.1.3.1 Paleosen

Çataldağ Granitoyidi (Paç) : Yeşilimsi, grimsi ve beyazımsı renklerde bol eklemlili, kenar zonları migmatitik ve anateksitik karakterde, ortalama petrografik bileşimi monzonitik, bazen porfiri yapı gösteren aplit ve pegmatit damarları ile kesilmiş, dokanakta kontakt metamorfizma zonu oluşturmuş olan muhtemelen Paleosen yaşlı Çataldağ granitoyidi inceleme alanının dışında güneybatıda yer almaktadır (Bürküt, 1966).

3.1.3.2 Miyosen

Değirmendere Formasyonu (Mid-Midb) : Karasal fasiyes özellikleri taşıyan formasyon, altta temel birimlerin malzemesinden oluşan taban konglomerasıyla başlayan, üste doğru kumtaşı, kömürlü seviyeler ve üzerinde mil taşı, kil taşı, marn, tuf ardalanması şeklinde devam eden, genelde beyaz, bejimsi renklerin hakim

olduğu orta tabakalanmalı karasal çökellerden ibarettir. Birimin genel yayılımı Uluabat Gölü'nün güneyidir. Tüfler andezitik, dasitik ve riyolitik karakterdedir. Tüm birim ortamsal olarak tipik karasal fasiyes özelliklerini yansıtan akarsu malzemesi ve tatlı su formları içeren gölsel sedimanlardan oluşmuştur. Bu malzeme Paleosen'de başlayan bölgesel yükselim sonrasında bölgede etkisini gösteren genç tektoniğin temel birimler üzerinde oluşturduğu yapısal çanaklarda depolanmıştır.

Tültepe Tüf ve Aglomeraları (Mit) : Çeşitli boyutlarda andezit, bazalt, dasit, riyodasit parçalarının, belirgin katmanlanmalı, tüf matriks ile tutturulmuş aglomeralar ile yer yer girift halde bulunduğu birim inceleme alanının dışında, gölün güney kesiminde çok dar alanlarda gözlenir. Kayaçların incelemesinden, Miyosen başında başlayan volkanizmanın Miyosen ortalarına doğru daha aktif hale geldiği kanısına varılmıştır.

Mudamköy Volkanitleri (Mim) : Andezit, bazalt, dasit ve riyodasitten oluşan ve Uluabat Gölü'nün çevresinde serpiştirilmiş olarak bulunan asit volkanik lav akıntılarıdır. Sahada riyodasitler sarı, bej, dasitler kirli sarı, bazaltlar koyu yeşilimsi ve siyahımsı, andezitler kırmızımsı ve kahverengimsi renklerde gözlenir. Tüm bu kayaçlar volkanizmanın son aşaması olan lav akıntılarını göstermektedir.

3.1.3.3 Pliyosen

Hamamlı Formasyonu (Plh) : İnceleme alanında Mustafakemalpaşa'dan geçip batıya uzanan kırık hattı ile Uluabat Gölü'nün güneyinden geçen kırık hattının kuzeyinde ve gölün kuzeyinde gözlenen Pliyosen yaşlı birim litolojik olarak Mudamköy volkanitlerinin parçalarından oluşan taban konglomerası ile başlar ve üste doğru, kumtaşı, kömürlü seviye, kıltaşı, miltaşı, çamurtaşı, marn, tüf, göl kalkerleri ardalanması şeklinde devam eder. Yaklaşık kalınlığı 100 m. dir. Birim karasal fasiyesi ortamını göstermektedir.

Karacaoba Tüf ve Aglomeraları (Plk) : Hamamlı formasyonu içerisindeki tüfler kalınlığını artırarak devam eder ve içerisinde değişen boyutta volkanik kayaç parçaları içeren aglomeralar ile karışmış bir durumdadır. İnceleme alanının biraz dışında gölün güneybatısında ve kuzeyinde küçük alanlar kaplar.

3.1.3.4. Kuvaterner

Alüvyon ve Taraça (Qa) : Tutturulmamış kum, kil, çakıl ve bloklardan oluşmuş alüvyon ve askıda kalmış akarsu yataklarından oluşan taraçalar Uluabat gölü çevresinin özellikle batısında ve güneyinde yer yer yatak değiştirmiş olan Mustafakemalpaşa Çayı boyunca gözlenirler (Şekil 3.2).

Kuvaterner malzemesi içerisinde değişik yaşların (Oligosen-Miyosen-Pliyosen) ve değişik ortamların (denizel-karasal) formları bir araya gelmiştir. Bulunan formlar, öz şekillerini çok iyi bir şekilde korumuşlardır.



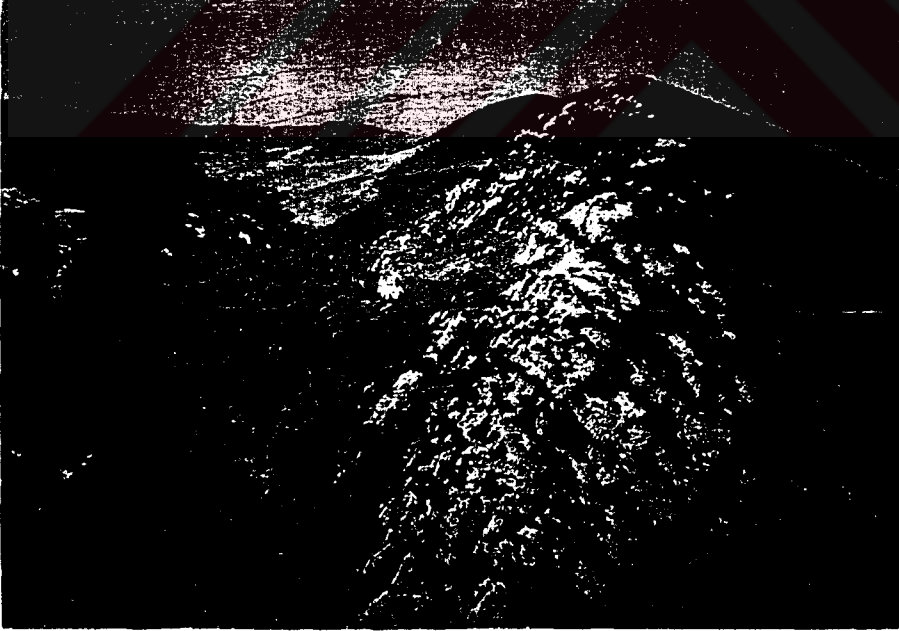
Şekil 3.2. M. Kemalpaşa Çayı boyunca gözlenen akarsu taraçaları

Bu bulgular Marmara Denizi'nin Miyosen zamanında inceleme alanına kadar genişlik gösterip, zamanla bugünkü yerini aldığını düşündürmektedir.

Bölge civarındaki en yakın denizel Miyosen mostrasının Yalova civarında oluşu, bu birimin akarsularla taşınmak yerine Marmara Denizi'nin bir kalıntısı olarak gelişmiş olduğu fikrini vermektedir. Gölün tektonik bir göl olduğu hakkında bazı veriler olsa da gölün ilk oluşumunun Marmara Denizi ile ilişkili olmasını engellemez. Çünkü bölgedeki tektonik çok genç olup, zamanımızda da etkilerini hissettirmektedir.

3.2. İnceleme Alanının Yapısal Jeolojisi

Bölgede gözlenen yapısal doğrultuların genel gidişi KD-GB yönündedir. Ancak bölgenin yükselimi sırasında ve genç tektonikle oluşmuş düşey faylar genel yapısal doğrultuya dik olarak gelişmiştir. Miyosen başlarına kadar kara halinde jeolojik evrimini geçiren bölge, yine bu zaman başında yükselmeye, buna bağlı olarak gelişen çanaklarda, karasal malzemenin depolanmasına olanak verecek şekilde, genç tektoniğin etkisi altında kalmıştır. Bunun sonucunda, bölgede doğrultu atımlı ve düşey fay sistemleri gelişmiştir. Bu arada volkanizma da bölgede belirtilerini göstermeye başlamıştır. Tüm temel birimlerin ilksel koşullarını değiştiren genç tektonik, oluşturduğu düşey fayların önünde, karasal Miyosen çökellerinin depolanmasına olanak tanımıştır. Miyosen sonlarında, gerek volkanizma ve gerekse tektonik hareketlenmiş ve bunun sonucunda uzun mesafeler kat eden kırıkların oluşmasına neden olmuştur (Uluabat Gölü'nün güneydoğusundan başlayıp, batıya doğru uzanan kırık, Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Gölün güneyindeki KD-GB yönlü Uluabat Fayı'nın oluşturduğu fay topoğrafyasından bir görünüm

Oluşan bu hatlar yükselen bölgenin güneyinde erozyon koşullarının, kuzeyinde ise, Pliyosen'in karasal malzemesini depolayabilecek çanakların oluşmasını sağlamıştır. Uluabat Gölü'nün oluşumu da buna bağlıdır. Pliyosen sonrasında genç tektonik işlevine devam etmiş, bunun sonucunda gerek genç çökellerin, gerekse temel birimlerin kırılmasını ve kıvrımlanmasını sağlamıştır. Bu kırık hatları ve kıvrımlar bölgenin bugünkü morfolojisini kazanmasını sağlamıştır. Bugünkü morfolojisi içerisinde tabakalanma gösteren , Jura klastik ve karbonatları genel olarak 35-45 dereceler arası eğimli ve yaklaşık K-G doğrultulu yapısal elemanlarla kontrol edilmiş, D-B uzanımlı kıvrım eksenlerini oluşturmuşlardır.



4. ULUABAT GÖLÜ SU ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde Uluabat Gölü ile gölü besleyen ve dolayısıyla göl suyu kimyası üzerinde çok önemli etkisi olan M. Kemalpaşa Çayı sularının fiziksel ve kimyasal karakteristikleri kantitatif ve kalitatif olarak anlatılmıştır. Su örneklerinin incelenmesi yerinde ölçümler ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi için çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, pH ve türbidite gibi parametreler yerinde ölçümlerle belirlenmiştir.

4.1. Gölde Yerinde Yapılan Ölçümler

4.1.1. Türbidite ve Derinlik

Sulardaki türbidite; ışığı dağıtma ve absorblama kabiliyeti olarak tanımlanır. Sıvı bir ortamda ışığın dağıtılma özelliği, ortamdaki partikül büyüklüğü ve şekline bağlı olduğu kadar askıda madde içeriği ile de çok yakından ilişkilidir. Wang ve Brabec (1969) Illinois nehrinde yaptıkları incelemelerde türbidite ve askıda madde arasında çok yüksek bir korelasyon olduğunu ortaya koymuşlardır. Toprak erozyonundan kaynaklanan silt ve kil türü malzemeler türbiditenin başlıca bileşenlerini oluştururlar.

Uluabat Gölü'nde türbidite ve derinlik değerleri gölün 14 ayrı noktasında MEX-P marka portatif türbidimetre cihazı ile yerinde ölçülmüştür (Şekil 4.1). Ölçümlerde elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 de sunulmuştur.

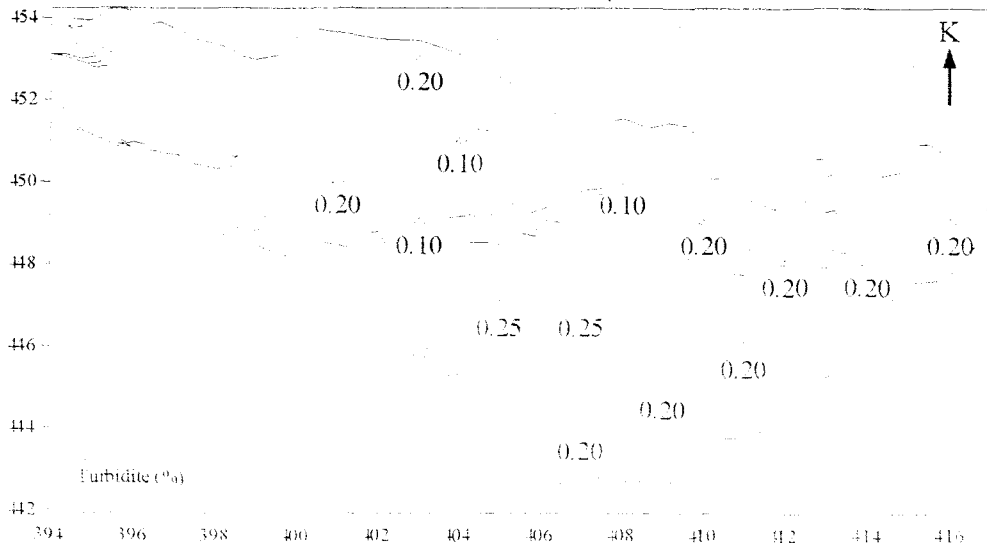
Tablo 4.1. Gölde yerinde yapılan türbidite ve derinlik ölçümleri

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
Türbidite (‰)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2
Su Derinliği	1.55	1.6	1.75	1.6	1.6	1	2	1.1	1.4	1.85	1.45	2.45	1.65	1.55
X (m)	416	414	412	410	408	404	403	401	403	405	407	407	409	411
Y (m)	449	448	448	449	450	451	453	450	449	447	447	444	445	446



Şekil 4.1. Uluabat Gölü'nde yerinde türbidite ve derinlik ölçümleri

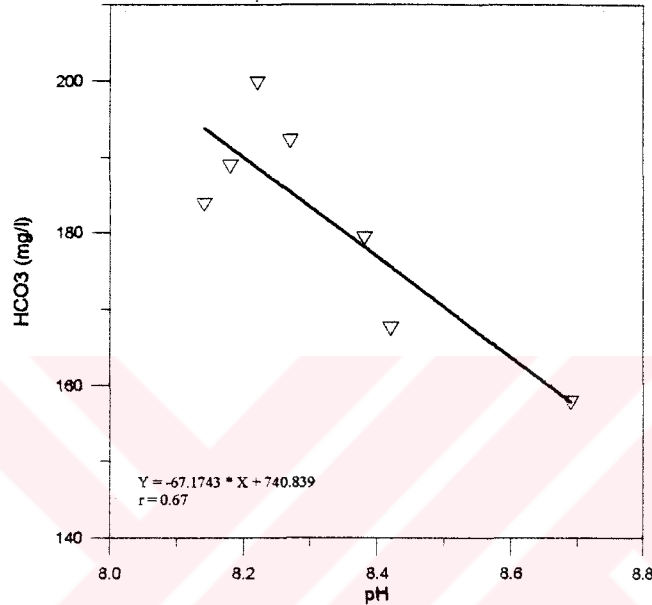
Şekil 4.2 de ise gölde yerinde yapılan türbidite ölçümlerinin sonuçları harita üzerinde gösterilmektedir. Yapılan ölçümlerde türbidite değerlerinin % 0.1 ile % 0.25 arasında değiştiği ve M. Kemalpaşa Çayı'nın göle giriş yaptığı noktaya yakın kesimde nispeten yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.2. Uluabat Gölü'nde türbidite değerlerinin dağılımı

gerçekleşecektir. Bu da daha fazla karbondioksit gazı ihtiyacı demektir ki , su içinde yeterli çözünmüş CO_2 gazı olmadığı durumda bitkiler ihtiyacı olan CO_2 'i sudaki bikarbonat iyonunu dekompoze ederek sağlarlar.

Bu reaksiyonlar sonucunda bikarbonat konsantrasyonu azalmaya ve karbonat konsantrasyonu ve pH ise artmaya başlar. M. Kemalpaşa Çayı'nda bu durum Şekil 4.4 de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.4. M. Kemalpaşa Çayı'nda HCO_3^- ile pH arasındaki ilişki

Cole ve diğerleri (1994) tarafından yapılan araştırmada, dünyadaki 1835 göle ait toplam 4665 su örneğinde pH'nın 4-10 değerleri arasında değiştiği, CO_2 basıncının $10^{-1.7}$ ile $10^{-6.0}$ bar arasında olduğu ifade edilmektedir.

Göllerdeki karbon dioksitin kaynağı da, yüzey ve yer altı sularının akıntısı ile göl sedimanları, bitki flora ve faunasının yaptığı solunum ve ayrıştırma prosesleridir. Tablo 4.3, yüzey ve yer altı sularının karbon dioksit içeriği ve pH'sını kontrol eden bazı önemli prosesleri ve reaksiyonları göstermektedir.

Tablo 4.3. Yüzey ve yer altı sularının karbon dioksit içeriği ve pH'sını kontrol eden bazı önemli prosesler ve reaksiyonlar (Morel & Hering, 1993)

Prosesler ve reaksiyonlar	pH (artma-azalma)
1. $\text{CO}_2(\text{g})$ çözünmesi $\rightarrow$ / $\text{CO}_2(\text{aq})$ eksolüsyon $\leftarrow$ $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3^0$	$\rightarrow$ azalma / $\leftarrow$ artma
2. Fotosentez $\rightarrow$ / solunum ve aerobik bozunum $\leftarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \frac{1}{6} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{glukoz}) + \text{O}_2$	$\rightarrow$ artma / $\leftarrow$ azalma
3. Metan fermentasyonu (anaerobik bozunum) $\rightarrow$ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (\text{glukoz}) \rightarrow 3 \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	$\rightarrow$ azalma
4. Nitrat soğurma ve indirgenme $\rightarrow$ $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$ artma
5. Denitrifikasyon (Azot indirgenmesi) $\rightarrow$ $5 \text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 5\text{CO}_2 + 2\text{N}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$ artma
6. Sülfat indirgenmesi $\rightarrow$ $2 \text{CH}_2\text{O} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{HS}^- + 7\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$ artma
7. Karbonat mineral çözünmesi $\rightarrow$ veya çökmesi $\leftarrow$ $\text{CaCO}_3 (\text{kalsit}) + \text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $\text{NaHCO}_3 (\text{nahkolit}) + \text{H}^+ = \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	$\rightarrow$ artma / $\leftarrow$ azalma
8. Kalsit çökeline zorlanan iyon $\rightarrow$ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	$\rightarrow$ azalma
9. Al-silikat minerallerinin kimyasal ayrışması $\rightarrow$ $2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2 \text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 + 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^-$ (K-feldspat) (kaolinit)	$\rightarrow$ artma

4.1.3. Çözünmüş Oksijen

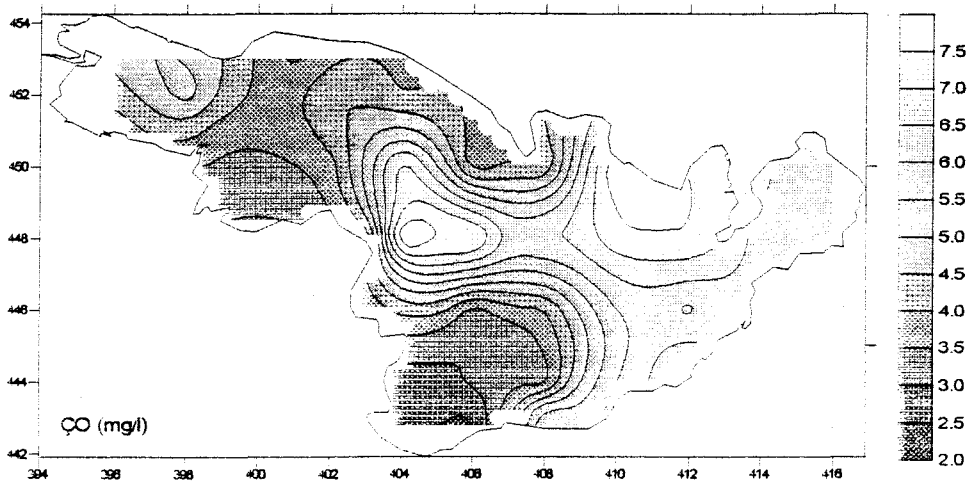
Suların temizliğinde, dolayısıyla sudaki canlı yaşamı için önemli bir parametre olan çözünmüş oksijen, normal atmosfer basıncında dengededir ve suyun sıcaklığı ve çözünmüş madde miktarının bir fonksiyonudur. Uluslararası standartlar suda çözünmüş oksijenin günün 16 saatinde en az 6 mg/l olmasını ve hiçbir şekilde 5 mg/l den az olmamasını öngörmektedir.

Normal atmosfer basıncı ve 0 °C sıcaklıkta suda 29 mg/l kadar hava çözünür ve bunun 10 mg/l kadarı oksijendir. 30 °C sıcaklıkta bu değer 7.8 mg/l ye inmektedir. Havanın suda çözünmesi sıcaklıkla azalır ve kaynama noktasında sıfır olur. Genellikle asit ortamlarda oksitleme gücü, bazik ortamdakine nazaran daha fazladır. Suyun elektriksel iletkenliği yüksek ve ortamda çözünmüş oksijen bulunuyorsa, pH=8 in üzerinde bile çürütme etkindir. Çözünmüş oksijen doğal sularda genelde derinlikle ters orantılıdır. Fotosentez nedeniyle, tatlı göl sularının üst kısımlarında hemen tüm karbon dioksit kullanılır ve ortama bol miktarda oksijen girer, pH yükselerek 9-10 düzeyine ulaşabilir. Gölün tabanında ise fotosentez olayı önemsizdir ve bol miktarda çürümüş organik madde bulunur. Bu ortamda oksijen miktarı az,

karbon dioksit miktarı fazladır ve pH azalır. Böylece tatlı ve tuzlu göl sularının üst kısımlarında oksidasyon (yükseltgenme), tabanda ise redüksiyon (indirgenme) egemendir.

Doğal sular genellikle dengede ya da doyma noktasında değildir, çünkü sıcaklık değişmekte, fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkinliklerde oksijen tüketilmekte ya da üretilmektedir.

Uluabat Gölü'nde ortalama çözünmüş oksijen miktarı 5.2 mg/l olup, değerler 2.4 mg/l ile 8 mg/l arasında değişir. Canlı yaşamı açısından değerlendirildiğinde göldeki ortalama çözünmüş oksijen miktarının genelde yeterli olmakla birlikte, bazı kesimlerde sınır değerlerde olduğu ve dolayısıyla canlı yaşamı için risk oluşturduğu söylenebilir. Çözünmüş oksijenin yanal dağılımına baktığımızda (Şekil 4.5), en yüksek değerler Halilbey Adası'nın güneyi ile Manastır ve Terzioğlu adalarının kuzeyinde ölçülmüştür. En düşük değerler ise sazlık kesimlerin bol bulunduğu gölün güney ve güneybatısında belirlenmiştir. Dikkat edilirse Halilbey Adası'nın güney batısında çözünmüş oksijen 8 mg/l değeri ölçülmüşken, adanın hemen kuzey kesiminden alınan örnekteki çözünmüş oksijen 6.7 mg/l dir. Diğer bir deyişle çok kısa bir mesafede oksijen değerinde büyük bir artış meydana gelmektedir. Aynı durum Manastır ve Terzioğlu adaları ve civarı için de geçerlidir. Bu verilere bakarak çözünmüş oksijen değerlerinin yüksek olduğu bu yerler için yöre halkı tarafından da dile getirildiği üzere tabandan bir yer altı suyu çıkışının olduğu söylenebilir.



Şekil 4.5. Uluabat gölünde çözünmüş oksijen değerlerinin dağılımı

Çözünmüş oksijen değeri M. Kemalpaşa Çayı'nda ise 4.0 mg/l ile 4.6 mg/l arasında değişmektedir. Göl suyu ile kıyaslandığında çözünmüş oksijen değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, gölde yaygın olan fotosentezin M. Kemalpaşa Çayı'nda nispeten daha düşük olduğu şeklinde ifade edilebilir. Bunun yanı sıra civardaki endüstri kuruluşlarından ve yerleşim birimlerinden akarsuya verilen atıkların da bunda etkili olduğu ileri sürülebilir.

4.1.4. Elektriksel iletkenlik

Kabaca cisimlerin elektrik akımını iletme özelliği olarak tanımlanır ve mikro-ohm (mho), mikrosiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ya da milisiemens (mS/cm) ile gösterilir. Bu çalışmada elektriksel iletkenlik $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Yeni damıtılan saf suyun iletkenliği 0.5-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dir, ancak zamanla havadaki karbon dioksit su tarafından soğurulduğu için bu değer artmaktadır. Ayrıca sıcaklık arttıkça elektriksel iletkenlik arttığından, karşılaştırma yaparken değerler 25 °C ye indirgenerek verilir. Suların elektriksel iletkenlikleri içerisinde çözünmüş olan toplam madde miktarı ile doğru orantılıdır. Saf suya yakın sularda toplam çözünmüş madde miktarının miliekivalan litre değeri 100 ile çarpıldığında % 5 hata ile elektriksel iletkenlik değeri bulunabilir. Ancak farklı konsantrasyonlara sahip sularda aşağıdaki bağıntılar geçerlidir. Bağıntılarda (B) miliekivalan litre olarak toplam çözünmüş maddeyi gösterir (Şahinci, 1986).

a) İyon konsantrasyonu 1 meq/l den küçük sular;

$$EC = 100B \quad (4.1)$$

b) İyon konsantrasyonu 1-3 meq/l olan sular;

$$EC = 12.27 + 86.38B + 0.835B^2 \quad (4.2)$$

c) İyon konsantrasyonu 3-10 meq/l olan sular;

$$EC = B(95.5 - 5.54 \log B) \quad (4.3)$$

d) İyon konsantrasyonu 10 meq/l den fazla ve HCO_3^- iyonu hakim olan sular;

$$EC = 90B \quad (4.4)$$

e) İyon konsantrasyonu 10 meq/l den fazla ve Cl^- iyonu hakim olan sular;

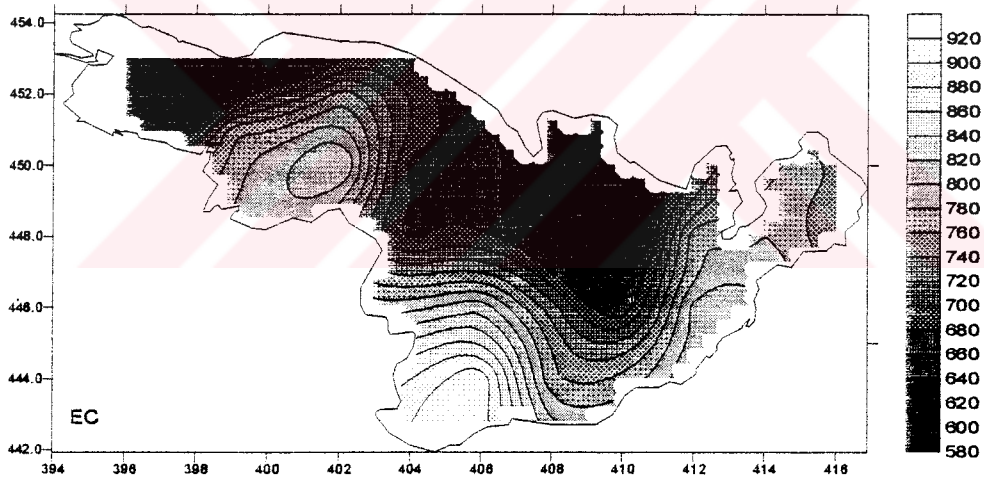
$$EC = 123B^{0.939} \quad (4.5)$$

f) İyon konsantrasyonu 10 meq/l den fazla ve SO_4^{2-} iyonu hakim olan sular

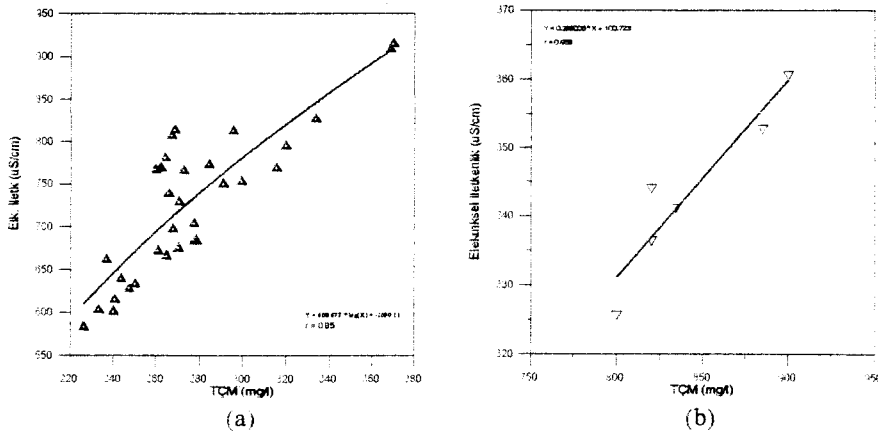
$$EC = 101B^{0.949} \quad (4.6)$$

Uluabat Gölü'nde elektriksel iletkenlik değerleri 583 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 915 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında ölçülmüştür. Ortalama değer ise 734.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dir. Ölçüm anındaki sıcaklık 25 $^{\circ}\text{C}$ olduğundan ve tek bir derinlikten örnek alındığından değerlerde herhangi düzeltme ihtiyacı görülmemiştir. Ölçülen değerleri kontrol etmek amacıyla gölden ve akarsudan alınan örneklerin toplam çözünmüş madde miktarı (genelde 10 mek/l civarında veya daha az) ile elektriksel iletkenlik arasında c maddesinde verilen (4.3) denklemi esas alınmış, sonuçta bu iki değer arasında bağıntıda verilen değerlere yaklaşık değerler elde edilmiştir.

Elektriksel iletkenliğin göl suyundaki dağılımı Şekil 4.6 da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi gölün güney kesimlerine gittikçe elektriksel iletkenlik değeri artmaktadır. Göl ve akarsu örneklerinin elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde miktarı arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla ikili diyagramlar oluşturulmuştur. Oluşturulan diyagramlarda iki değer arasında $r = 0.85$ ve $r = 0.94$ gibi oldukça yüksek pozitif bir korelasyon saptanmıştır (Şekil 4.7 a,b).



Şekil 4.6. Uluabat Gölü sularında elektriksel iletkenlik değerlerinin dağılımı



Şekil 4.7 Uluabat Gölü (a) ve M. Kemalpaşa Çayı (b) su örneklerinde EC-TÇM ilişkisi

4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Bu bölümde Uluabat Gölü'nden ve M. Kemalpaşa Çayı'ndan alınan su örneklerinin kation ve anyon bazında kimyasal analizleri kapsamında Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , B^{3+} , Si^{4+} , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- ve NO_3^- iyonlarının konsantrasyonları, dağılımları, iyonların birbirleriyle olan ilişkileri ve bunları etkileyen muhtemel kaynaklar tartışılacaktır. Gölden sistematik olarak alınıp 1 litrelik polietilen kaplar içerisinde en kısa sürede laboratuvara getirilen su örneklerinin kimyasal incelemeleri İTÜ Maden Fakültesi Jeokimya Laboratuvarı'nda mevcut bulunan olanaklarla gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Göl ve Akarsu Örneklerinin Kimyasal Bileşimi

Uluabat Gölü'nden alınan 32 adet su örneği ile M. Kemalpaşa Çayı ve Uluabat Çayı'ndan alınan toplam 7 adet su örneğinin kimyasal karakteristikleri aletsel analiz teknikleri yardımıyla ortaya konmuştur. Yapılan analizler ve kullanılan yöntemler Bölüm 2 de belirtilmiştir. Analizlerde elde edilen sonuçlar ise mg/l ve mek/l olarak Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 de verilmiştir.

Su jeokimyası çalışmaları kapsamında yapılan değerlendirmelerde genellikle analiz sonuçları litrede miliekivalen (mek/l) olarak kullanılır. Bunun için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır:

$$\text{mek/l} = (\text{mg/l değeri} \times \text{İyon değeri}) / \text{Atom ağırlığı} \quad (4.7)$$

Suların kimyasal bileşimini meydana getiren anyon ve kationların litrede miliekivalen gram toplamları ideal olarak birbirine eşit olmalıdır. Asılı maddeler, süspansiyon halindeki kolloidler, bazı organik bileşikler ve moleküller iyonizasyona uğramadıkları için mek/l değerleri hesaba katılmaz. Pratikte suların kimyasal analiz sonuçlarında anyon ve kationların toplam miktarları her zaman eşit olmayabilirler. Bu eşitsizlik, analizi yapılmayan bileşenlerden ya da analizlerde yapılan hatalardan kaynaklanmış olabilir. Bu durumda anyon ve kationların mek/l değerleri arasında izin verilebilecek bir hata olup olmadığını belirlemek için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$e = 100 \times (r_{\text{kasyon}} - r_{\text{anyon}}) / (r_{\text{kasyon}} + r_{\text{anyon}}) \quad r; \text{mek/l} \quad (4.8)$$

Burada elde edilecek sayının mutlak değeri 2 den küçük ya da 2 ye eşit olmalıdır, eğer 2 den büyük bir değer elde edilmişse analizlerin sağlığından söz edilemez ve tekrarı gerekir. Bu çalışmada yapılan kimyasal analizlerde bu konu üzerinde hassasiyetle durulmuş, gerektiğinde bazı okumalar tekrar yapılmıştır.

Tablo 4.4. Uluabat Gölü sularının mg/l cinsinden kimyasal analiz sonuçları

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	B ³⁺	Si	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	TÇM	PH	ÇO	EC
1	16.7	2.5	24	24	0.675	0.93	52.6	93.9	5.8	40.3	0.6	0.070	262.1	8.39	6,9	769
2	16.7	3	27	25	0.523	0.93	48.9	93.2	5.6	42.3	0.6	0.035	263.9	8.35	6,1	781
3	22.7	2	27	21	0.75	0.93	0	205	5.3	30.1	0.6	0.015	315.4	7.82	6,3	769
4	18.7	2.5	21	26	0.75	0.05	30.6	121.3	5.5	38.6	0.7	0.016	265.6	8.49	6,2	739
5	17.3	3	26	29	0.78	0.05	55.3	81.3	6.5	48.3	0.7	0.036	268.2	8.14	7	814
6	16.7	3	25	29	0.83	0.09	54.9	83.4	5.6	47.8	0.6	0.002	267	8.2	5,9	807
7	16.7	1.5	18	29	0.81	0.47	28.8	139	5.7	43.7	0.5	0.002	284.2	9.2	7,4	773
8	16	1	11	21	0.81	0.93	0	142	6.5	40.2	0.5	0.028	240	9.56	7,3	601
9	15	2.5	20	23	0.85	0.23	22.5	97.4	5.7	48.9	0.6	0.035	236.8	8.23	6	662
10	15.3	1	10	23.5	0.765	0.7	4.6	137.3	5.6	41.2	0.6	0.003	240.6	10.17	8	615
11	17.4	2.3	23	27	0.8	0.06	46.8	88.1	5.7	47.9	0.6	0.035	259.7	8.21	6	767
12	16.3	1.5	13	21	0.75	0.23	7.2	118.2	6.5	47.8	0.6	0.035	233	8.65	4,1	603
13	16.4	1.5	15	22.5	0.477	0.25	13.2	121.8	6.5	45.1	0.6	0.032	243.4	8.87	6,5	639
14	14.5	2	25	23.5	0.513	0.32	25.2	125	6.6	47.4	0.6	0.033	270.5	8.53	4	729
15	17.5	2.8	24	26	0.754	0.42	32.3	112.9	6.4	48.6	0.6	0.035	272.4	8.19	3,3	766
16	18.5	2.5	25	27	0.278	0.57	0	191.2	5.9	47.9	0.6	0.035	319.6	8.14	6	795
17	18.7	2	29	32	0.493	0.93	0	238	6.1	40.7	0.7	0.040	368.6	7.82	2,4	909
18	19	2.5	29	31	0.676	1.4	0	234	5.6	46	0.7	0.037	370	8.24	3,1	915
19	18	2.7	27	26.5	0.672	0.84	30.5	135	6	47.6	0.6	0.003	295.3	8.26	3,3	813
20	16.5	1.7	17	24	0.75	0.25	0	170.7	5.6	40.3	0.5	0.023	277.3	10.39	7,6	683
21	17.3	1.65	18	23	0.69	0.28	0	171	5.7	40.3	0.5	0.029	278.4	10.54	3,7	684
22	17.3	1	13	26	0.595	0.23	0	160	5.6	45.8	0.5	0.014	270	9.47	8	675
23	16	1.25	16	24.5	0.239	0.47	9.3	142.4	6.2	43.7	0.5	0.037	260.6	9.27	6,7	672
24	15.8	1.15	15	26	0.435	0.55	13.9	145	6.3	43	0.4	0.036	267.6	9.47	4	697
25	16.7	2	16	28	0.462	0.05	0	158	5.6	49.9	0.5	0.068	277.3	8.7	3,4	704
26	19.5	2.5	25	29	0.33	0.47	0	203.9	5.7	46.6	0.5	0.002	333.5	8.57	3,8	827
27	15.7	1	22	26	0.565	0.55	12.4	161	5.9	45.2	0.5	0.030	290.9	10.35	4,5	750
28	18.7	2.5	11	23	0.785	0.75	0	143.5	5.6	43.7	0.5	0.035	250.1	8.42	3,4	633
29	18.3	1	9	20	0.85	0.93	5.6	122.4	5.8	41.6	0.7	0.020	226.3	9.68	5,2	583
30	17.9	2	19	27	0.875	0.93	0	181	5.6	44.4	0.7	0.001	299.5	8.77	3,7	753
31	18.6	2	18	21	0.95	1.03	0	155.3	5.6	41.3	0.7	0.068	264.6	8.68	3,6	666
32	19	1.4	12	20	1.15	1.03	5.6	140.8	5.8	39.9	0.7	0.035	247.4	9.82	5	628
Ort	17.4	2	20	25.1	0.676	0.558	15.6	144.2	5.9	43.9	0.6	0.029	275.6	8.86	5,3	734.7

Tablo 4.5 Göl suyu analiz sonuçlarının mek/l cinsinden değerleri.

mek/l	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	B ³⁺	Si	Σ Kat	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	Σ Any	TÇM
U1	0.73	0.06	1.20	2.00	0.19	0.13	4.31	1.75	1.54	0.16	0.84	0.03	0.0011	4.33	8.64
U2	0.73	0.08	1.35	2.08	0.15	0.13	4.51	1.63	1.53	0.16	0.88	0.04	0.0006	4.23	8.74
U3	0.99	0.05	1.35	1.75	0.21	0.13	4.48	0.00	3.36	0.15	0.63	0.03	0.0002	4.17	8.65
U4	0.81	0.06	1.05	2.17	0.21	0.01	4.31	1.02	1.99	0.15	0.80	0.03	0.0003	4.00	8.31
U5	0.75	0.08	1.30	2.42	0.22	0.01	4.77	1.84	1.33	0.18	1.00	0.03	0.0006	4.40	9.17
U6	0.73	0.08	1.25	2.42	0.23	0.01	4.71	1.83	1.37	0.16	1.00	0.03	0.0000	4.38	9.09
U7	0.73	0.04	0.90	2.42	0.22	0.07	4.37	0.96	2.28	0.16	0.91	0.03	0.0000	4.33	8.71
U8	0.70	0.03	0.55	1.75	0.22	0.13	3.38	0.00	2.33	0.18	0.84	0.03	0.0005	3.38	6.75
U9	0.65	0.06	1.00	1.92	0.24	0.03	3.90	0.75	1.60	0.16	1.02	0.03	0.0006	3.56	7.46
U10	0.67	0.03	0.50	1.96	0.21	0.10	3.46	0.15	2.25	0.16	0.86	0.03	0.0000	3.45	6.91
U11	0.76	0.06	1.15	2.25	0.22	0.01	4.45	1.56	1.44	0.16	1.00	0.03	0.0006	4.19	8.64
U12	0.71	0.04	0.65	1.75	0.21	0.03	3.39	0.24	1.94	0.18	1.00	0.03	0.0006	3.38	6.77
U13	0.71	0.04	0.75	1.88	0.13	0.04	3.54	0.44	2.00	0.18	0.94	0.03	0.0005	3.59	7.14
U14	0.63	0.05	1.25	1.94	0.14	0.04	4.06	0.84	2.05	0.19	0.99	0.03	0.0005	4.09	8.15
U15	0.76	0.07	1.20	2.17	0.21	0.06	4.47	1.08	1.85	0.18	1.01	0.03	0.0006	4.15	8.62
U16	0.80	0.06	1.25	2.25	0.08	0.08	4.53	0.00	3.13	0.17	1.00	0.03	0.0006	4.33	8.86
U17	0.81	0.05	1.45	2.67	0.14	0.13	5.25	0.00	3.90	0.17	0.85	0.03	0.0006	4.95	10.21
U18	0.83	0.06	1.45	2.58	0.19	0.20	5.31	0.00	3.84	0.16	0.96	0.03	0.0006	4.99	10.30
U19	0.78	0.07	1.35	2.21	0.19	0.12	4.72	1.01	2.21	0.17	0.99	0.03	0.0001	4.42	9.13
U20	0.72	0.04	0.85	2.00	0.21	0.04	3.85	0.00	2.80	0.16	0.84	0.03	0.0004	3.82	7.68
U21	0.75	0.04	0.90	1.92	0.19	0.04	3.84	0.00	2.80	0.16	0.84	0.02	0.0005	3.83	7.67
U22	0.75	0.03	0.65	2.17	0.17	0.03	3.79	0.00	2.62	0.16	0.95	0.02	0.0002	3.76	7.55
U23	0.70	0.03	0.80	2.04	0.07	0.07	3.70	0.31	2.33	0.18	0.91	0.03	0.0006	3.76	7.46
U24	0.69	0.03	0.75	2.17	0.12	0.08	3.83	0.46	2.38	0.18	0.90	0.02	0.0006	3.94	7.77
U25	0.73	0.05	0.80	2.33	0.13	0.01	4.05	0.00	2.59	0.16	1.04	0.03	0.0011	3.81	7.86
U26	0.85	0.06	1.25	2.42	0.09	0.07	4.74	0.00	3.34	0.16	0.97	0.02	0.0000	4.50	9.23
U27	0.68	0.03	1.10	2.17	0.16	0.08	4.21	0.41	2.64	0.17	0.94	0.03	0.0005	4.19	8.40
U28	0.81	0.06	0.55	1.92	0.22	0.11	3.67	0.00	2.35	0.16	0.91	0.03	0.0006	3.45	7.12
U29	0.80	0.03	0.45	1.67	0.24	0.13	3.31	0.19	2.01	0.16	0.87	0.03	0.0003	3.26	6.57
U30	0.78	0.05	0.95	2.25	0.24	0.13	4.41	0.00	2.97	0.16	0.92	0.04	0.0000	4.09	8.49
U31	0.81	0.05	0.90	1.75	0.26	0.15	3.92	0.00	2.55	0.16	0.86	0.04	0.0011	3.60	7.52
U32	0.83	0.04	0.60	1.67	0.32	0.15	3.59	0.19	2.31	0.16	0.83	0.04	0.0006	3.53	7.12
ORT	0.75	0.05	0.98	2.09	0.19	0.08	4.15	0.52	2.36	0.17	0.92	0.03	0.0005	3.99	8.15

Göle akan tek akarsu Orhaneli ve Emet çaylarının birleştirilerek oluşturduğu Mustafakemalpaşa Çayı' dır ve gölün fiziksel, kimyasal ve ekolojik özelliklerini en çok etkileyen kaynaktır. Çünkü gerek çevredeki jeolojik formasyonların, gerekse çaya değişik noktalardan yapılan boşalımların etkisiyle göle hem kırıntılı malzeme hem de kimyasallar ve mikrokirleticilerin getirimi söz konusudur. Gelen kırıntılı malzemeye göl güney kesiminden itibaren gittikçe dolmakta, su derinliği azalmakta ve dolayısıyla canlı yaşamı olumsuz yönde etkilenmektedir. Özellikle sıcak aylarda göldeki su seviyesinin yarı yarıya düşmesi ve çayın debisinin azalmasıyla mikrokirleticilerin miktarı ve etkisi daha fazla olmaktadır. Mustafakemalpaşa Çayı'nın değişik kesimlerinden ve Ulubat çayından alınan su örneklerinde göl

sularında yapılan aynı analizler gerçekleştirilmiş, sonuçlar Tablo 4.6 ve 4.7 de verilmiştir.

Tablo 4.6. Mustafakemalpaşa ve Ulubat Çayı su örneklerine ait kimyasal parametreler (mg/l, EC: $\mu\text{S/cm}$)

Örnek yeri	PH	ÇO	EC	Na	K	Ca	Mg	NO3	HCO3	SO4	Cl	F	B	TÇM
Kst.Menba	8.27	4	820	7.5	1.9	19	41	0.61	192.3	64.24	7.81	0.74	0.89	336
Kst.Mansab	8.38	4.2	800	8.5	1.9	18	38	0.52	179.5	64.22	12.43	0.74	1.37	325
Çardakbelen	8.22	4	900	10.9	2.5	20	42	0.45	200	71.62	10.65	0.7	1.10	360
Karaorman	8.14	4.6	885	12.9	3.5	20	41	0.43	184	76.61	12.43	0.68	0.68	352
Orhaniye	8.18	4.1	820	11.5	1.9	22	39	0.40	189	66.67	11.36	0.72	0.73	343
MKPasha	8.42	4.2	834	12	2.5	16	42	0.35	167.8	88.8	9.59	0.74	0.85	341
Ulubat Çayı	8.69	3.9	750	12	1	17	31	0.23	158	43.68	15.27	0.72	0.38	279

Tablo 4.7. Analiz sonuçlarının mek/l değerleri.

Örnek yeri	Na	K	Ca	Mg	B	KAT	NO3	HCO3	SO4	Cl	F	ANY	TOP
Kst.Menba	0.33	0.05	0.95	3.45	0.25	5.03	0.0098	3.15	1.34	0.22	0.039	4.76	9.78
Kst.Mansab	0.37	0.05	0.90	3.21	0.38	4.91	0.0084	2.94	1.34	0.35	0.039	4.68	9.58
Çardakbelen	0.48	0.06	1.00	3.54	0.30	5.38	0.0073	3.28	1.49	0.3	0.037	5.12	10.49
Karaorman	0.57	0.09	1.00	3.45	0.19	5.30	0.0069	3.02	1.60	0.35	0.036	5.00	10.29
Orhaniye	0.50	0.05	1.10	3.29	0.20	5.14	0.0064	3.10	1.39	0.32	0.038	4.85	9.99
MKPasha	0.52	0.06	0.80	3.54	0.24	5.16	0.0056	2.75	1.85	0.27	0.039	4.91	10.07
Ulubat Çayı	0.52	0.04	0.85	2.55	0.10	4.06	0.0037	2.59	0.91	0.43	0.038	3.97	8.03

4.2.1.1. Kalsiyum

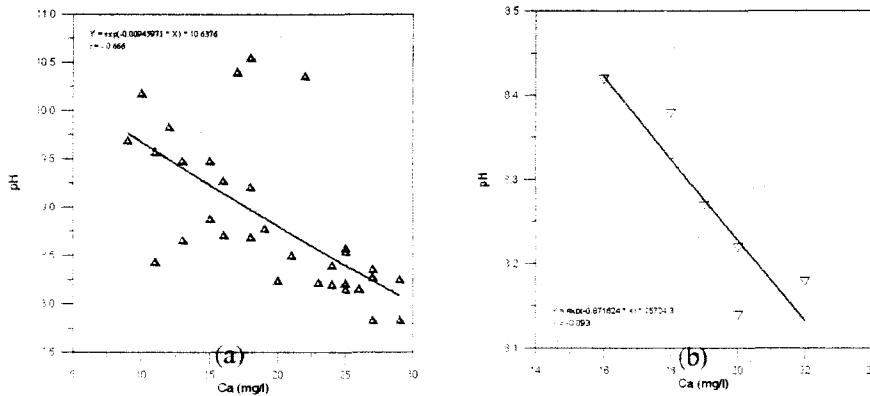
Kalsiyum ağırlık yüzdesine göre, deniz suyunda yedinci, tatlı sularda üçüncü sırayı alır. Sulu ortamda göçü büyük ölçüde iyon yarıçapı (0.99 Å) ile elektriksel yüküne (+2) bağlıdır. Sudaki kalsiyum, kil minerallerinde olduğu gibi negatif yüklü kolloidler tarafından soğurulur. Suda çözünmüş CO_2 miktarı arttıkça Ca un çözünürlüğü yükselir. Kalsiyum suda genellikle Ca^{2+} iyonu şeklinde bulunur, ancak kalsiyum bikarbonat veya sülfat derişimleri yüksek (1000 mg/l) olan çözeltilerde CaHCO_3^- , $\text{CaSO}_4(\text{aq})$ gibi kompleks iyon ve molekülleri bulunabilir. Sudaki kalsiyum genellikle karbonatlı kayaçların ve/veya minerallerin suyla teması sonucunda ayrışması ile, daha az olarak da canlı organizmalardan sağlanmaktadır. Canlıların önemli bileşenlerinden biri olan kalsiyum, magnezyumla birlikte suyun sertliğine neden olan en önemli elementlerden biridir.

Suyun pH derecesi ve CO_3/HCO_3 oranının değişmesine bağlı olarak kalsit çökeli mi ya da çözünmesi meydana gelir. Suyun pH derecesi arttığında CO_3/HCO_3 oranında

artış meydana gelir ve kalsiyum kalsit (CaCO_3) olarak çökmeye başlar. Kalsitin çökmesi suda çözünmüş kalsiyum katyonunun da azalması anlamına gelir. Gerçekten de bu çalışmada, Ca ve pH değerleri ikili diyagramlarda değerlendirildiğinde negatif bir korelasyon olduğu görülmüştür. Suyun pH değeri arttığında sudaki Ca miktarı düşmekte, tam tersine pH değeri düştüğünde Ca miktarı fazlalaşmaktadır. Uluabat Gölü sularında Ca ve pH değerleri arasında $r = -0.67$, M. Kemalpaşa Çayı sularında ise $r = -0.83$ lük bir negatif korelasyon açıkça görülmektedir (Şekil 4.8 a,b).

Uluabat Gölü sularında kalsiyum (Ca) katyonu 9 mg/l ile 29 mg/l arasında değişen değerlerde belirlenmiştir. Ortalama değer ise 20 mg/l dir. M. Kemalpaşa Çayı su örneklerinde ise Ca miktarı en düşük olarak 16 mg/l ile M. Kemalpaşa noktasında, en yüksek olarak da 22 mg/l ile Orhaniye noktasında olmak üzere ortalama 19 mg/l değerinde belirlenmiştir.

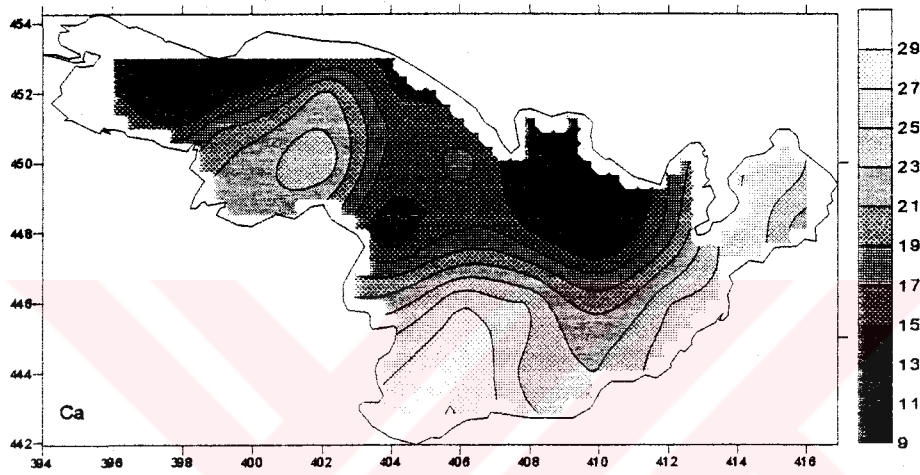
İçme suları için izin verilen kalsiyum miktarı Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1984) standartlarında 200 mg/l, Türk Standartlarında (TS, 1966) ise 75-200 mg/l değerleri arasında belirtilmiştir. Söz konusu standartlara göre değerlendirildiğinde Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularının düşük kalsiyum oranına sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Ca değerinin düşük çıkması, kayalardan ayrışma yoluyla suya geçen kalsiyumun çok az olduğu ya da mevcut kalsiyumun göldeki bazik ortam sebebiyle çökeldiği şeklinde yorumlanabilir. Gerçekten de daha önceki bölümde, Uluabat Gölü suları gerek kalsit, gerekse karbonat açısından doymun olduğu ve gölde hem kalsit, hem de karbonat çökelinin beklenebileceği ifade edilmişti.



Şekil 4.8. Ca^{2+} ve pH değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren ikili diyagramlar.

(a) Uluabat Gölü (b) M. Kemalpaşa Çayı

Surfer 6.01 programı altında Kriging yöntemiyle yapılan eş konsantrasyon haritasında kalsiyumun gölün kuzeyindeki 10 numaralı örnekten güney ve güneydoğu kıyıları ile, batı yönünde 26 numaralı örneğe doğru artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.9). Kalsiyumdaki bu yönelim büyük bir benzerlikle magnezyum’ da ve daha az oranda da bikarbonat’ ta da görülmektedir. Şekil 4.8 deki grafikten de görüldüğü gibi Ca konsantrasyon değerleri litolojik etkilerden çok pH ve buna bağlı olan karbonat sistemine bağlı olarak değişmektedir.



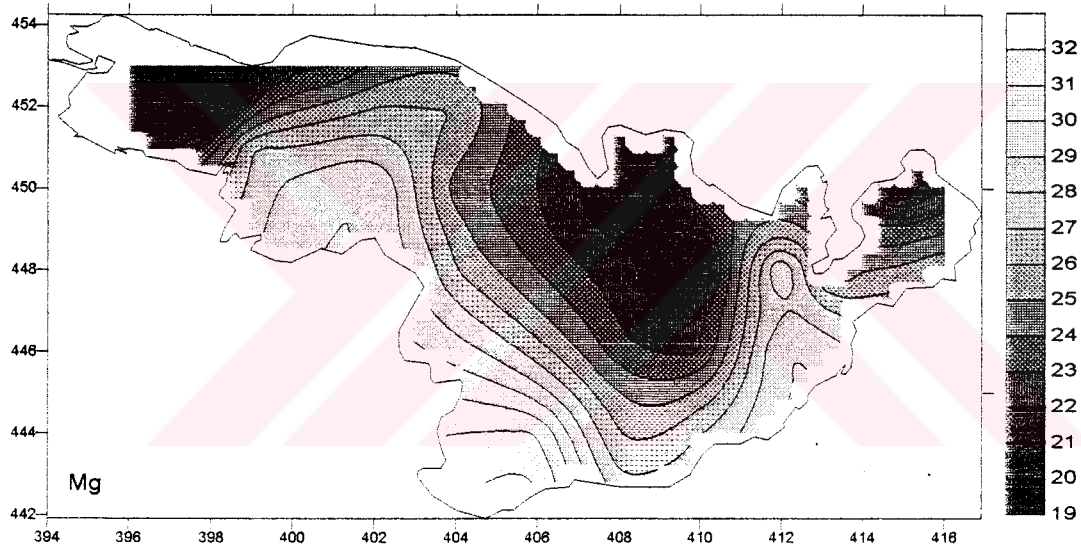
Şekil 4.9. Uluabat Gölü sularında Ca^{2+} kationunun dağılımı

4.2.1.2. Magnezyum

Tatlı sularda miktar bakımından sekizinci sıradadır. Kalsiyumla birlikte suya sertlik veren ikinci önemli katyondur ve kalsiyum gibi kolay çözünen tuzların katyonlarından birisini teşkil eder. Ancak magnezyumun kimyasal özellikleri kalsiyumunkinden çok farklıdır. Magnezyumun iyon yarıçapının ($0.66 \text{ \AA}$) kalsiyum ve sodyuma göre küçük olmasına karşın, elektriksel yükünün büyük olması nedeniyle su molekülleri tarafından hidratlaşması güçlüdür. Bu nedenle bir yandan diğer toprak alkali elementlerden (Ca, Sr, Ba) farklılık gösterirken, diğer yandan hareketli elementlerin (Na, Cl, K, Br, I) özelliğini taşır. Diğer +2 yüklü katyonlar gibi, magnezyum da negatif yüklü kolloidler tarafından güçlü bir şekilde soğurulur ve kalsiyumla birlikte iyon değişimi yoluyla kolloidleri terk ederken kolloidin bünyesinde kalsiyumdan daha fazla kalır. Magnezyumun çökmesi manyezit’ten daha çok bazik karbonat $Mg(OH)_2$ ve çift karbonat $CaCO_3.MgCO_3$ yani dolomit

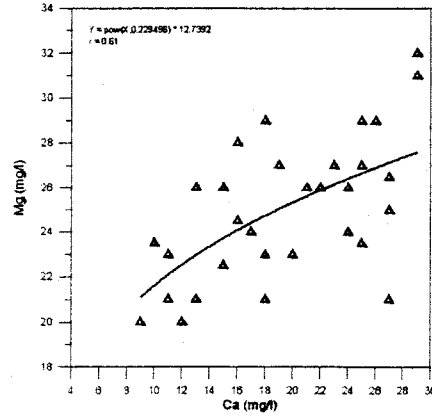
şeklindedir. Bu yüzden karbonatlı kayaçların % 40' ı dolomittir. Bu nedenle magnezyumun kaynağı genellikle magnezyum oranı yüksek dolomitik kireçtaşları ve dolomitler gibi suyla kolay reaksiyona girebilen kayaçlardır.

TS-1966' ya göre suda izin verilen Mg konsantrasyonu 50-150 mg/l arasında öngörülmüştür. Uluabat Gölü sularının Mg oranı ise 20 mg/l ile 32 mg/l arasında değişmektedir. Yapılan kimyasal analizlerde en düşük Mg değeri 20 mg/l ile 29 numaralı örnekte, en yüksek Mg değeri ise 32 mg/l ile 17 numaralı örnekte olduğu belirlenmiştir. Kriging yöntemiyle yapılan eş konsantrasyon haritasında Mg değerlerinin genelde gölün kuzey kesimlerinde en düşük seviyede olduğu, Ca ve SO₄ da olduğu gibi güney ve güneydoğuya doğru gittikçe artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Uluabat Gölü sularında Mg²⁺ kationunun dağılımı

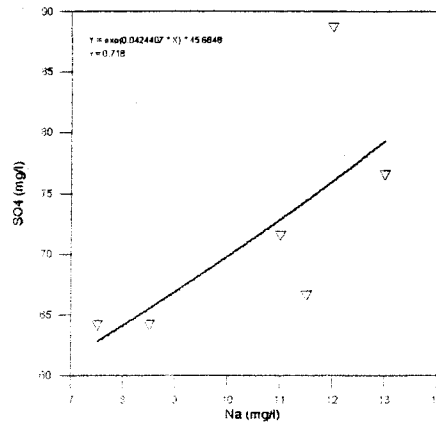
Magnezyum değerlerinin kalsiyum gibi gölün güney kesimlerinde artış göstermesi, bu iki kationun kaynağının gölün güneyindeki karbonatlı kayaçlar olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak iki kation arasında birebir karşılaştırma yapıldığında, magnezyum-kalsiyum arasında $r = + 0.61$ gibi vasat bir pozitif korelasyon olduğu görülebilir (Şekil 4.11). Bu vasat korelasyon, yukarıda anlatıldığı gibi, magnezyumun kimyasal davranışının kalsiyumdan farklı olması nedeniyledir.



Şekil 4.11. Uluabat Gölü sularında Mg^{2+} ve Ca^{2+} arasındaki ilişki

4.2.1.3. Sodyum

Alkali metal grubundan olan sodyum, tatlı sularda miktar bakımından yedinci sıradadır. Sodyum iyonik bağ kurar ve kolay çözünen tuzlar oluşturur. İyon yarı çapının (0.98 Å^0) diğer alkali metallere ($Li-0.68 \text{ Å}^0$, $K-1.33 \text{ Å}^0$) farklı olması dolayısıyla izomorf yer değiştirmesi sınırlıdır. Sodyum, Cl^- , SO_4^{2-} ve HCO_3^- gibi tek değerli anyonlarla sık olarak tuz oluşturur. En fazla rastlanan mineraller de klorür ve sülfat mineralleridir. Nitekim M. Kemalpaşa Çayı sularında Na ve SO_4^{2-} arasında $r = +0.72$ lik bir pozitif korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 4.12).

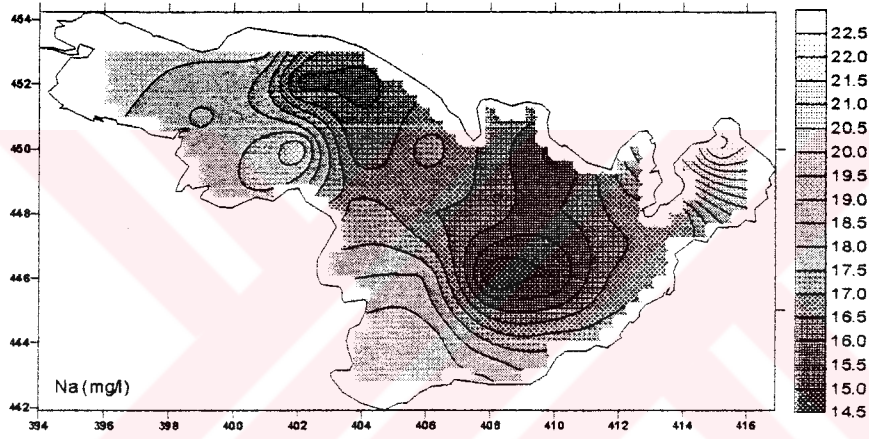


Şekil 4.12. M. Kemalpaşa Çayı su örneklerinde Na^+ ve SO_4^{2-} değerleri arasındaki uyumlu ilişki

Doğada çökelmiş evaporitler ve kayalar içinde bulunan bazı mineraller yağış suları tarafından kimyasal bozunuma uğratarak sodyum iyonları, yer altı ve yüzey sularına

karışır. Bunlar sodyum içeren feldspat, plajiyoklaz, nefelin, sodalit, stilbit, natrolit, jadeit, glokofan ve benzeri minerallerdir.

Uluabat Gölü sularındaki Na miktarı 14.5-22.7 mg/l arasında değişmekte olup, ortalama değer 17.4 mg/l düzeyindedir. Şekil 4.13 de görüldüğü gibi, göldeki Na miktarı Manastır adasının güneyinde en düşük değerde olup, gölün batı, güney ve kuzeydoğu kesimlerine doğru artış göstermektedir. Diğer yandan gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı'na ait sodyum değerleri 7.5 mg/l ile 14 mg/l arasında değişim göstermektedir ki bu göl suyundaki sodyumun yaklaşık iki katı kadardır. Göle M. Kemalpaşa Çayı ile taşınan sodyum miktarı daha az olduğuna göre, göl suyundaki sodyum fazlalığı, gölde özellikle yaz aylarında artan buharlaşma ile açıklanabilir.



Şekil 4.13. Uluabat Gölü sularında Na⁺ katyonunun dağılımı

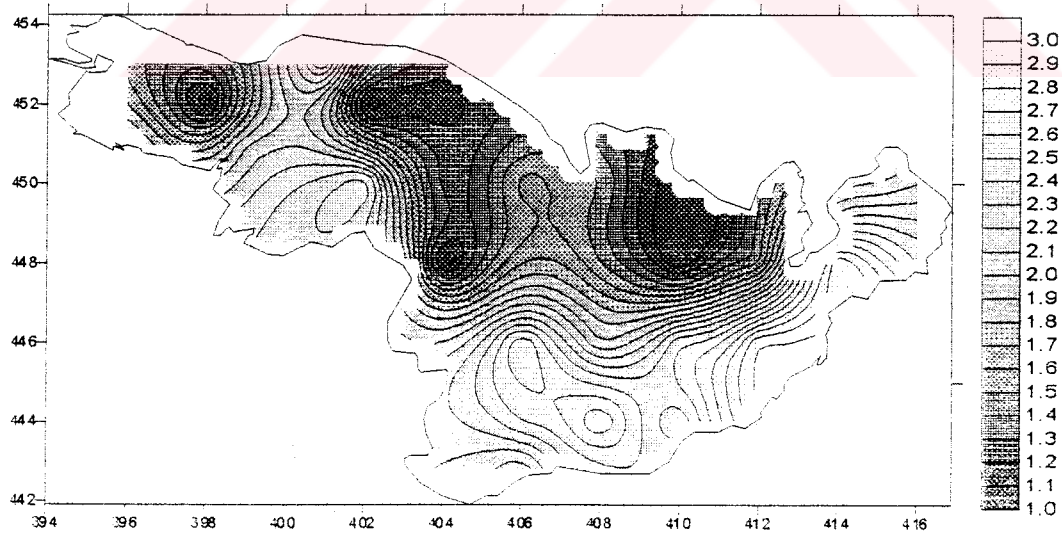
4.2.1.4. Potasyum

Sodyum gibi alkali bir element olan potasyum, yüzey sularında miktar bakımından sodyuma göre çok daha azdır. Litolojik olarak magmatik kayalarda sodyum, sedimanter kayalarda ise potasyum daha fazladır. Ancak iyon yarıçapının büyüklüğü ($1.33 \text{ \AA}$) nedeniyle silikat ve alüminosilikat minerallerinden suya geçmesi çok zordur. Bununla beraber potasyumu verme oranı göz önüne alındığında mineraller biyotit > muskovit > nefelin > feldspat şeklinde sıralanabilir. Potasyum iyonları bazı kil mineralleri (özellikle hidromikalar) ve bitkiler tarafından büyük miktarda soğurulur. Mika, zeolit ve kil minerallerinde K⁺ ile H₃O⁺ arasında izomorf değişimler sıklıkla görülür. Çökel oluşuklarla kimyasal ilişkiler yönünden K⁺ iyonunun güçlü bir şekilde kolloidler tarafından soğurulması (Al(OH)₃, Fe(OH)₃ gibi) ve katyon iyon değişiminde tercih edilmesi K⁺ un Na⁺ ve Ca⁺⁺ a oranla daha az hidratlaşması ve

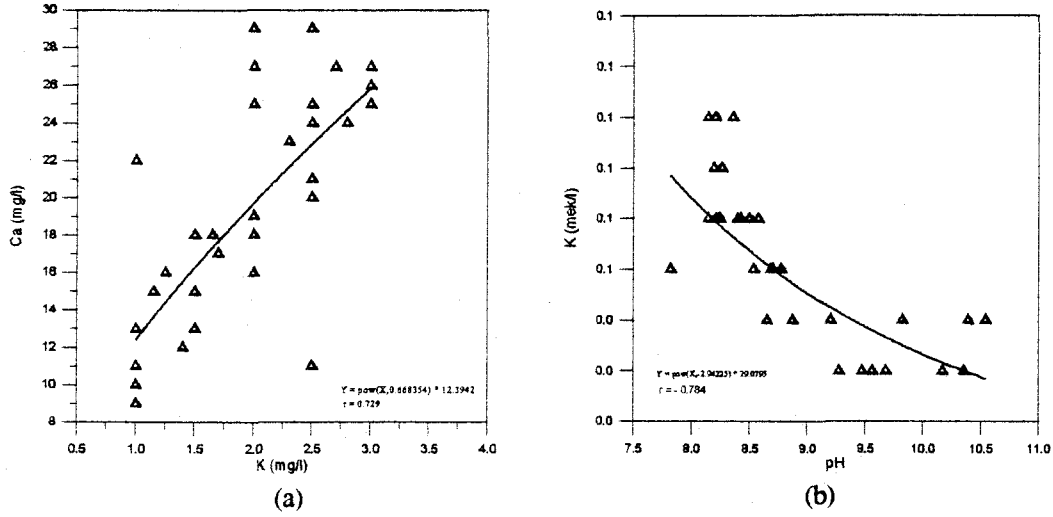
iyon yarıçapının büyük olmasındandır. Bu nedenle tüm bitkilerde ve toprakta K^+ iyonu Na^+ ve Ca^{++} ' dan daha fazladır. Ancak potasyum tekrar biyolojik devreye girerken killere tarafından güçlü bir şekilde soğurulduğu için suya çok az geçer. Soğurulan potasyum ikinci bir kez iyon değişimine uğramaz ve soğuran maddenin yapısında yer alır. Bu nedenle potasyum daha çok kara kesiminde tutulur, su ortamına az oranda taşınır.

Uluabat gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularının potasyum içeriğine bakıldığında, göl suyu K değerleri 1 mg/l ile 3 mg/l arasında, M. Kemalpaşa Çayı K değerleri de 1.5 mg/l ile 3.5 mg/l değerleri arasında değiştiği görülür. K değerlerinin göl suyundaki yüzeysel dağılımına bakıldığında, Mg ve Ca dağılımına benzer olarak kuzeyden itibaren gölün güney, doğu ve batı kesimlerine doğru artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.14).

Potasyumun suyun diğer elemanları ile olan ilişkilerini göstermek amacıyla oluşturulan ikili diyagramlarda, Ca ile yaklaşık $r = + 0.73$ lük bir pozitif korelasyon, pH ile de $r = -0.78$ lik bir negatif korelasyon gösterdiği dikkati çekmektedir (Şekil 4.15 a,b). M. Kemalpaşa suyundaki potasyumun nispi fazlalığı, akarsuyun geçtiği bölgelerdeki potasyum içeren silikat minerallerinin ayrışması ile izah edilebilir.



Şekil 4.14. Uluabat Gölü sularında K^+ katyonunun dağılımı



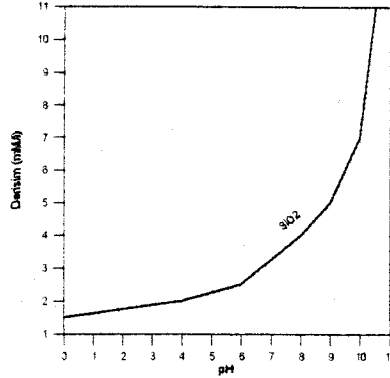
Şekil 4.15. Uluabat Gölü sularında K^+ - Ca^{2+} (a) ve K^+ -pH ilişkisi (b)

4.2.1.5. Silisyum

Silisyum oksijenden sonra yerkürede ikinci sırayı alır. Doğada serbest olarak bulunmaz ve oksijenle arasındaki kimyasal bağ çok güçlüdür. Genelde SiO_2 ya da silikatlar halinde bulunur. Doğal sularda çözünmüş ve kolloidal formda kendini gösterir. Silis ve diğer besin maddeleri, iskelet yapılarında silis kullanan diatomelerin gelişimi için çok uygun bir ortam hazırlarlar, bir başka deyişle sudaki silis diatomeler tarafından kullanılır. Sudan uzaklaşan silis, ölmüş organizmalardan tekrar çözeltiye geçmesiyle yavaş yavaş geri dönebilir.

Si^{4+} iyonu dört oksijenin meydana getirdiği üçgen piramidin merkezine sıkı bir şekilde yerleşmiştir. SiO_4^{4-} iyonu, magmatik ve metamorfik kaya minerallerinin temel yapısını oluşturur. Ayrıca toprak zeminde ve suda bir miktar bulunabilir. Silisyumun en bilinen minerali kuvars (SiO_2)' tır. Kuvars mineraller içinde, doğal sularda bozunuma karşı en dirençli mineraldir. Bununla beraber çört ve opal gibi amorf kriptokristalin silisler suda daha kolay çözünürler. Doğal sularda çözünmüş silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin bozunumundan gelmektedir. Doğal koşullarda genellikle silikatların bozunumu tek yönlüdür. Silis suda daha çok silisik asit (H_4SiO_4) veya $Si(OH)_4$ formunda kolloidler şeklindedir. Kuvarsın 25 °C de çözünürlüğü 6 mg/l, 84 °C de ise 26 mg/l kadardır. Kristobalit 25 °C 27 mg/l, 84 °C de 94 mg/l, amorf silis 25 °C de 115 mg/l, 100 °C de 370 mg/l dir. Doğal sularda silis miktarı genellikle 1-30 mg/l arasındadır. Yüzey sularında ortalama 14 mg/l, yeraltı sularında ise 16 mg/l dir (Şahinci, 1986).

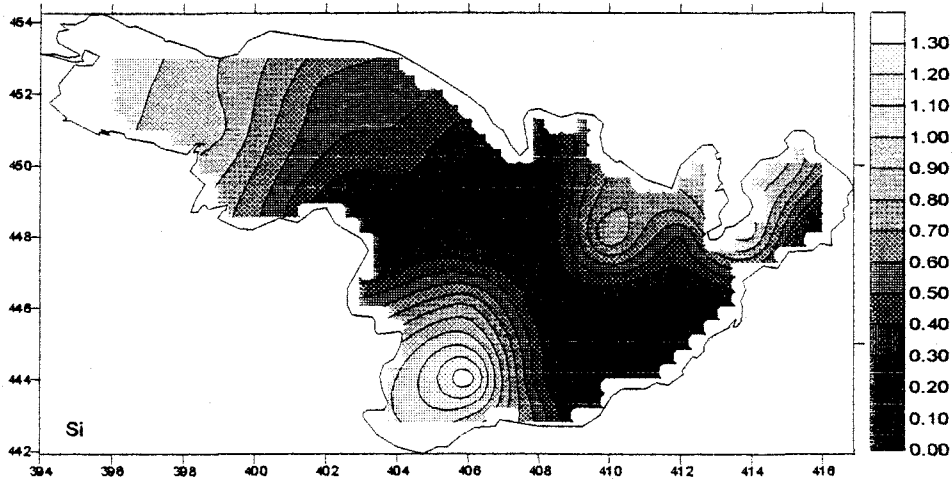
Silisin çözünürlüğünü etkileyen diğer bir neden suyun pH değeridir. Silis asit ortamda çok az çözünür. Ortamın pH değeri yükseldikçe silisin çözünmesi artar, pH= 9 un üzerine ise çözünme önemli ölçüde artar (Şekil 4.16). Silikatların bozunumundan ortaya çıkan silisyum ve alüminyum iyonları ortamın pH değerine bağlı olarak çeşitli kil minerallerini oluştururlar. Bu bozunumun sonunda ortam asit ise kaolinit, bazik ise montmorillonit veya illit ortaya çıkar.



Şekil 4.16. SiO₂ ' in pH etkisinde çözünürlüğü (Şahinci, 1986).

Uluabat gölü sularında yapılan SiO₂ analizlerinde değerlerin 0.05 mg/l ile 1.4 mg/l arasında değiştiği, ortalama değer de 0.55 mg/l olduğu görülmüştür. Silis değerlerinin yanal dağılımına bakıldığında (Şekil 4.17) en yüksek değerlerin gölün doğusu, güneyi ve batısında olduğu görülebilir. Bu değerler literatürde yüzey suları için ifade edilen değerlerin (14 mg/l) oldukça altındadır. Dip sedimanlarında ise % 40-60 arasında SiO₂ belirlenmiştir. Göl suyundaki silis değerlerinin bu denli düşük olması ile ilgili en makul açıklama diatome türü canlılardır, çünkü su ortamında yaşayan diatome canlılarının gelişimi için gerekli olan silis, endojenik proseslerle sudaki silisik asitten sağlanmakta, dolayısıyla sudaki silis konsantrasyonunun düşmesine neden olmaktadır. Jones et al., (1967) göllerde direkt inorganik silis çökelişi hakkındaki bulguların nadir olduğunu ve bunun daha çok jeotermal çözeltilerin soğuması ile, ya da alkalin çözeltilerin seyrelmesi ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Diğer yandan Wetzel (1975), organik yolla türeyen diatomların, göl sedimanlarındaki SiO₂ için en önemli kaynak olduğu görüşünü savunmuştur. Richardson (1972) da yüksek üretkenliğe sahip göllerde diatome kalıntılarının hızlı bir şekilde biriken göl sedimanlarının en önemli kaynağı olduğunu ifade etmiştir. Bu bilgiler ışığında ikinci hipotezi ele alırsak; göl suyunda çözünmüş halde bulunan silisin diatome canlıları tarafından kullanıldığı ve bunların da ölmesi sonucunda

kalıntı diatomelerin, üretkenliğin fazla olduğu Uluabat gölündeki dip sedimanlarının en önemli bileşeni haline geldiği söylenebilir.



Şekil 4.17. Uluabat Gölü sularında Si^{4+} katyonunun dağılımı

4.2.1.6. Bor

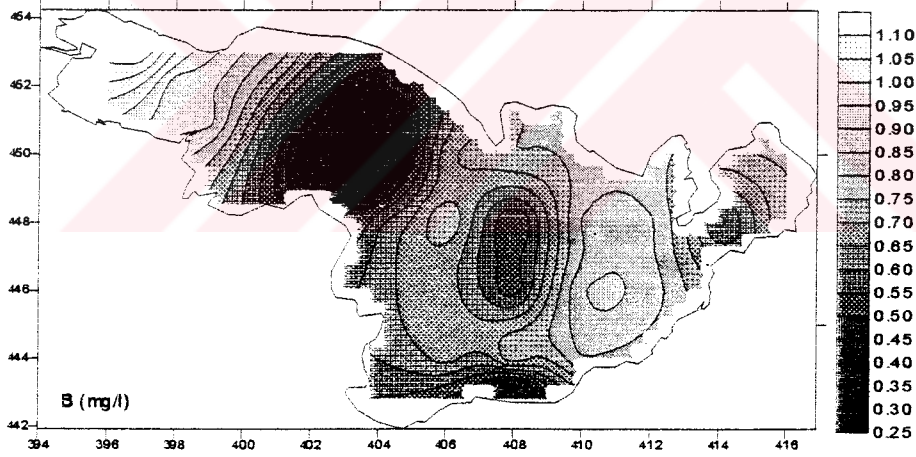
B^{3+} katyonunun yarı çapı $0.23 \text{ \AA}$ olup, serbest halde bulunmaz. Kimyasal işlemlerde kovalent bağ ile bağlanır ve oksijene büyük ilgisi nedeniyle bor-oksijen bileşikleri süperjende çoktur. Suyun pH değerine bağlı olarak borun bulunuş şekli değişir. Asit sularda ($\text{pH} < 6$) ortoborik asit egemendir. Nötr ve alkali sularda poli-boratlar gözlenir. Süperjende boratların çökmesi kalsiyum ve magnezyumun etkisindedir. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor, hidrotermal ortamlarda hızlı, süperjende yavaş göç eder. Borik asit sıcak sularda çok, soğuk sularda az çözünür.

Mineral olarak serpantin ve mikalarda zengindir. Müskovit, paragonit, serisit, illit, montmorillonit, serpantin ve birçok feldspat minerali bor bakımından zengindir. Bor iyon yarıçapı ve değerliği nedeniyle minerallerdeki tetrahedral konumdaki silis ve alüminyumun yerini alabilir. İllit ve demir-alüminyum hidroksitler bor elementini soğurabilirler. Kireçtaşlarında bor içerikleri değişkendir. Kil içeriği yüksek olan kireçtaşlarında bor miktarı artış gösterir. Dolomitlerde kireçtaşlarından daha fazla bor bulunur. Buna neden olarak dolomitlerin çökeldikleri ortamda daha fazla bor bulunduğu ileri sürülmektedir. Göl çamurlarında genellikle 80 ppm den az bor bulunurken bu rakam denizel çamurlarda 100 ppm in üzerine çıkmaktadır. Bor iyonlarının çok az bir kısmı (%10) su ile göç eder, büyük kısmı sudaki ya da

ortamdaki magnezyumla birlikte kil mineralleri tarafından soğurulur. Laboratuvar deneylerinde illit ve mikaların bor elementini bırakmayacak şekilde soğurdukları görülmüştür. Organik maddelerdeki bor miktarı, illitlerin sudan aldıkları bordan fazladır.

Tortul kayaların gösel veya denizel oluşum ortamını saptamak için bor' dan yararlanılması düşünülmüştür. Bir çok sediman örneğinde ortamın tuzluluğu ile bor elementi arasında bir ilişkinin var olduğu saptanmıştır. Göl sedimanlarında genellikle 80 ppm den az, denizel olanlarda 100 ppm ve bir az fazlası, tuzlu killerde ise 1000 ppm kadar bor izlenmiştir (Şahinci, 1986).

Uluabat Gölü' nde bor miktarı en düşük 0.239 mg/l, en yüksek ise 1.15 mg/l olarak tespit edilmiştir. Bor katyonunun göldeki yanal dağılımına bakıldığında (Şekil 4.18) Halilbey Adası' nın batı ucunun kuzeyindeki 23 numaralı örnekten gölün boşaldığı batı ucuna doğru ve Terzioğlu Adası' nın güneyindeki 6 numaralı örneğe doğru hızlı bir artış gösterdiği izlenmektedir.



Şekil 4.18. Uluabat Gölü sularında B³⁺ katyonunun dağılımı

M. Kemalpaşa Çayı ve Uluabat Çayı' nın bor içeriğine bakıldığında, M. Kemalpaşa Çayı'nda bor miktarı 0.68 mg/l ile 1.37 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer Kestelek' te bulunan Etibank' a ait kolemanit tesislerinin batısından (mansab) alınan örnekte belirlenmiştir, ki bu beklenen bir durumdur. Bu noktadaki bor konsantrasyonunun yüksekliğine, tesiste üretim sırasında ve sonrasında ortaya çıkan gerek toz halde ve gerekse su ile akarsu ortamına taşınması ve bekletme havuzlarında meydana gelen sızıntı sularının neden olduğu düşünülmektedir. Göl suyu ve M.

Kemalpaşa Çayı'na ait bor miktarına bakıldığında genelde değerlerin birbirlerine yakın olduğu görülür, yani bor bu uzun mesafede göç edebilmiş, değeri değişmemiştir. Ancak gölün hemen çıkışında Ulubat Çayı'ndan alınan örnekteki bor miktarı 0.378 mg/l olup, göl suyundaki değerlerin altında bir değerdir, hatta gölün batı ucundaki son örnek olan 32 numaralı örneğin bor konsantrasyonu 1.15 mg/l olarak ölçülmüş olduğu göz önüne alınırsa göl suyundaki bor' un göl dışına fazla miktarda taşınmadığı söylenebilir. Diğer yandan göle akan M. Kemalpaşa Çayı ve göl suyundaki bor miktarı karşılaştırıldığında, konsantrasyonun hemen hemen aynı düzeyde kaldığı, yani bor' un akarsuda çökmeye maruz kalmadan göle taşındığı anlaşılmaktadır. Burada, göl ve akarsu örneklerinin pH değerlerinin de genelde 8' in üstünde yani aynı alkali karakterde olması nedeniyle bor' un kimyasal olarak farklı davranmadığı, dolayısıyla her iki ortamda da göçünü devam ettirdiği açıkça görülmektedir.

Bor konsantrasyonu açısından karşılaştırıldığında Orhaneli çayında göl suyuna nispeten daha fazla bor olduğu, özellikle tesisin menba tarafından alınan örnekte 0.89 mg/l iken Etibank'a ait Kestelek Kolemanit tesislerini geçtikten sonra bor konsantrasyonunun 1.37 mg/l ile maksimum değerine ulaştığı gözlenmektedir. Bu artışın büyük olasılıkla tesisten kaynaklanan sızıntı sularıyla sağlandığı düşünülmektedir.

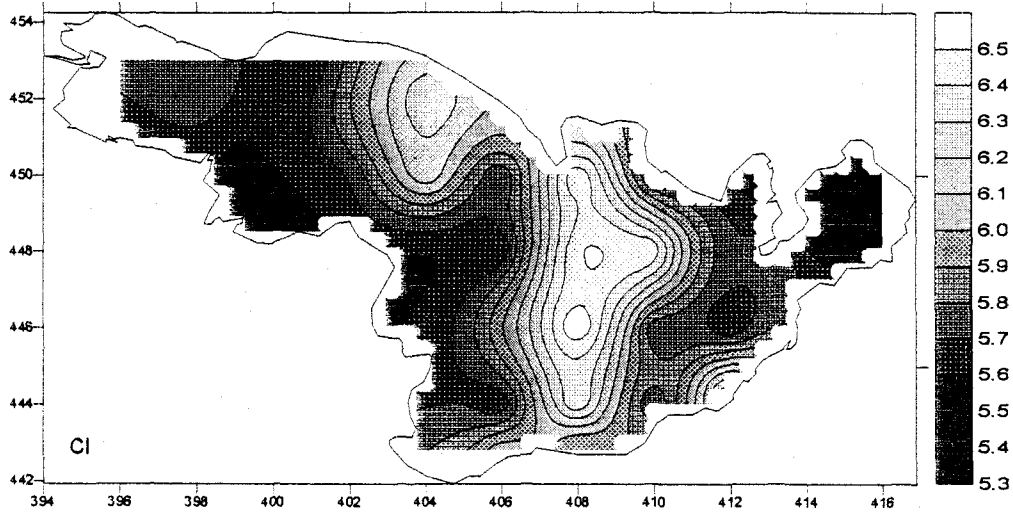
4.2.1.7. Klor

Klor halojen gurubundan olan bir elementtir. Kaynağı mineraller olabileceği gibi, insan ve hayvan kaynaklı atıklar, endüstriyel atıklar, kışın yolların tuzlanması veya diğer kaynaklardan da gelebilir. Klor konservatif bir element olup, doğal sularda meydana gelen herhangi bir fiziksel ya da biyolojik proseslerle direkt ilişkili değildir. Tatlı sularda bolluk bakımından altıncı sırada olan klor' un bütün tuzları suda çözünür. Diğer elementlerden farklı olarak klor' un çözünürlüğü Eh, pH dan etkilenmez, dolayısıyla buharlaşma ve donma dışında çökelmez. Bu nedenle karalar klorür tuzları için etkin çökeltme ortamları değildir. Cl^- iyonunun iyon yarıçapı $1.81 \text{ \AA}$ dur ve Ca, Mg, Na, K, Sr, Ba ve diğer elementlerle yaptığı tuzlar suda kolayca çözünürler. Klorun negatif yüklü oluşu kolloidler tarafından soğurulmasını engeller, ancak demir ve alüminyum hidroksitleri pozitif yüklü olduklarından klor (Cl^-) iyonlarını soğurabilirler. En büyük kaynağı evaporitler olup, en önemli minerali

Halit (NaCl) dir. Bunun dışında asit mağmatik kayalarda baziklere oranla beş kat daha fazla klor bulunur. Yağışlı bölgelerdeki akarsularda klorür az, kurak ve çöllerdeki sularda yüksektir. Dünya akarsularında ortalama 7.8 ppm kadar klorür vardır. Klorür sulu ortamda ve fiziksel olarak göç eder. 150 mg/l den az klorürlü sular her türlü kullanıma uygundur. Belirli sınırlara kadar fizyolojik etkisi pek önemli olmayan klorür iyonları, suyun tadını değiştirirler ve üst sınıra erişmezse suyun lezzetini arttırır. 250 mg/l den fazla klorür içeren sular içmeye uygun değildir, 350 mg/l nin üzerinde ise kullanma ve tarımda sorun oluşturabilir (Şahinci ,1986).

Klor konsantrasyonu M. Kemalpaşa Çayı' nda 7.8 mg/l ile 12.4 mg/l arasında, Uluabat Gölü sularında ise 5.28 mg/l ile 6.6 mg/l arasında değişkenlik göstermektedir. Gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı' nda yüksek olan klor' un göle ulaştığında düşüş göstermesi, klor' un sodyum'a olan afinitesi ve mevcut buharlaşmanın da etkisiyle ile sodyum ile reaksiyona girip NaCl (halit) bileşiğini oluşturarak çökelmiş olması ya da daha zayıf bir olasılıkla göl suyunda askıda ya da daha çok dip sedimanları içerisinde bol miktarda bulunabilen demir ve alüminyum oksit/hidroksitleri tarafından soğurulmuş olması fikrini akla getirmektedir. Ancak gölden alınan yüzey sedimanlarının X ışınları difraktogramlarında 2.82 Å⁰ piki NaCl'e ait bir pik olup, birinci tezin daha geçerli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Klor konsantrasyonunun göl suyundaki yanal dağılımına bakıldığında (Şekil 4.19), en düşük değerin gölün kuzeydoğusunda olduğu, orta kesiminde ise klorun en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. Göl üzerinde yapılan çalışmalar sırasında sabahın çok erken saatlerinde, suyun çok durgun halinde ancak fark edilebilen kaynama şeklindeki su hareketi gölün bu kesiminden bir yer altı suyu gelişi olduğunu düşündürmektedir. Gölde balıkçılıkla uğraşan halkla yapılan görüşmelerde de, tamamı Halilbey Adası civarında olmak üzere 2-3 yerde kaynama şeklinde bir su hareketi olduğu bilgisi bu gözlemimizi ve düşüncemizi destekleyici mahiyettedir. Ayrıca yeraltı suyunun gölün değişik kesimlerine doğru hareketi sırasında, yukarıda değinildiği gibi gerek su kolonunda, gerekse göl tabanındaki sedimanlar içerisinde var olan pozitif yüklü demir ve alüminyum oksit/hidroksitleri tarafından klor anyonunun soğurulmak suretiyle azalması da olası bir durumdur.

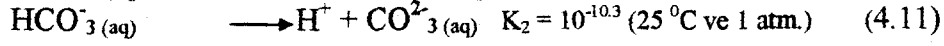
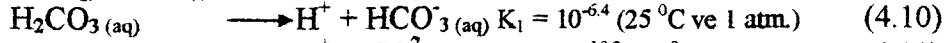


Şekil 4.19. Uluabat Gölü sularında Cl⁻ anyonunun dağılımı

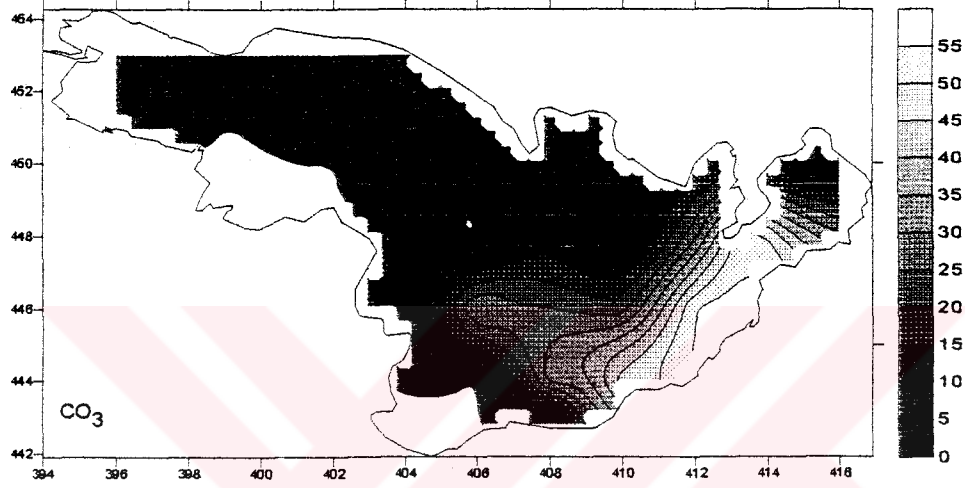
4.2.1.8. Karbonat-Bikarbonat

Karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) iyonları karbon elementinin doğal sulardaki basit iyonları olup, doğal sularda en çok bulunan elemanlardır. Bu iki iyon sulara alkalın karakter kazandıran başlıca iyonlardır. Suyun pH değerinin ender de olsa dokuzun üzerine çıkması, suyun alkalinitesinin gerçek sebebinin HCO_3^- ve CO_3^{2-} olabileceğini gösterir. Yüksek pH değerlerinde karbonat iyonu bikarbonatla birlikte görülür. Sudaki bikarbonatın başlıca kaynağı havadaki karbondioksittir. Havadaki karbondioksit, su içerisinde çözündüğü zaman karbonik asidi meydana getirir. Oluşan karbonik asit özellikle karbonatlı kayalar üzerinde güçlü çözücü etkiye sahiptir. Suda serbest halde karbondioksit bulunmadığı durumlarda, su bitkileri ihtiyacı olan karbondioksiti, fotosentez yardımıyla bikarbonattan sağlarlar ve ortamda karbonat iyonunun artmasına neden olurlar. Böylesi sularda pH değeri artış gösterir.

Suyun pH değeri 8.2 nin üzerine çıktığında bikarbonat iyonu hemen hidrojen ve karbonat iyonlarına ayrılır. Karbonik asit gerçekte orta güçte bir asit olmasına karşın zayıf asit gibi davranır ve iki basamakta iyonizasyona uğrar. İlk iyonlaşmada hidrojen ve bikarbonat, ikinci iyonlaşmada ise karbonat ve hidrojen iyonları meydana gelir. Bu olaylar kimyasal olarak ifade edilirse:

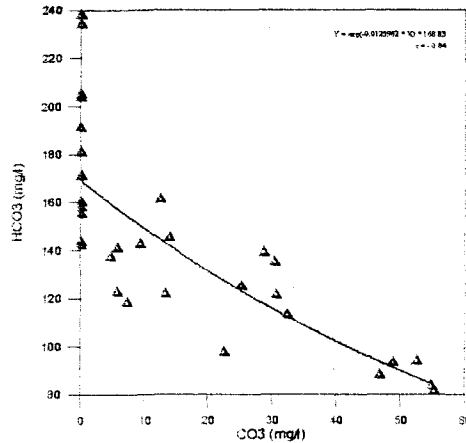


Uluabat Gölü sularında 13 örnekte karbonat iyonu ölçülememiştir ve karbonat değerleri 4.64 mg/l ile 55.3 mg/l arasında değişkenlik gösterir. En yüksek karbonat değerleri gölün doğu ve güneydoğu kesimlerinde ölçülmüştür (Şekil 4.20).



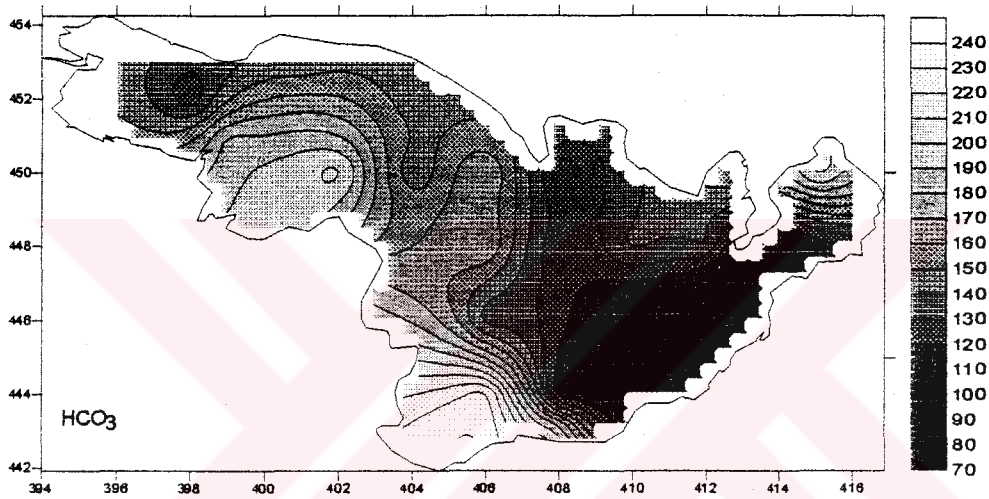
Şekil 4.20. Uluabat Gölü sularında karbonat iyonu dağılımı

Bikarbonat ile karşılaştırıldığında, bu bölgelerde bikarbonat içeriği tam tersi düşüktür. Karbonat ve bikarbonat arasındaki $r = -0.84$ mertebesindeki negatif korelasyon ikili diyagramda da (Şekil 4.21) açık bir şekilde görülmektedir ki, zaten karbonat iyonu, bikarbonat iyonundan karbondioksitin uzaklaşması sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.21. CO_3^{2-} ve HCO_3^- arasındaki negatif korelasyonu gösteren ikili diyagram

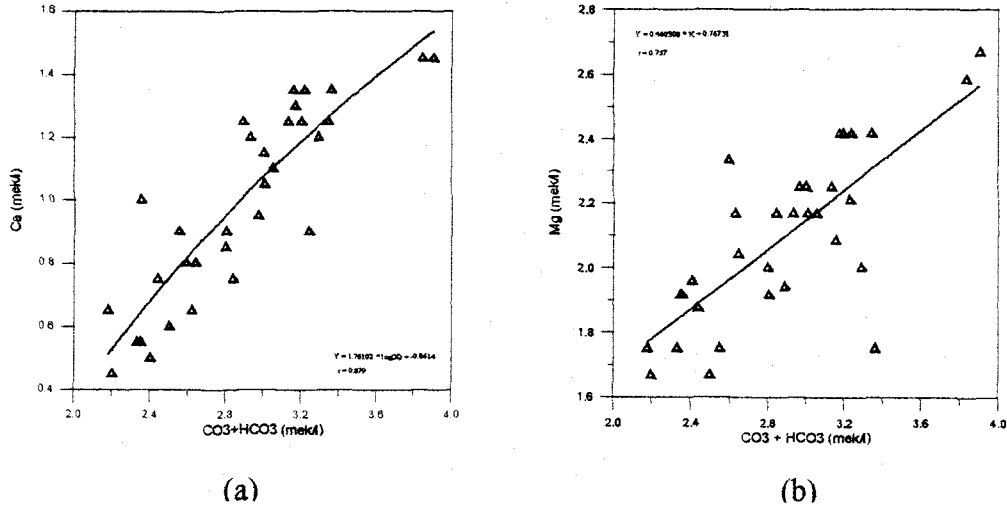
Bikarbonat değerleri ise beklendiği gibi daha yüksek olup en düşük 81.32 mg/l, en yüksek 238 mg/l değerlerine sahiptir. Bikarbonat iyonunun yanal dağılımı incelendiğinde en düşük değerlerin 5 ve 6 numaralı örneklerin bulunduğu doğu kesiminde, en yüksek ise 17 ve 18 numaralı örneklerin bulunduğu güney kesiminde olduğu görülür. Bir başka deyişle değerlerin artış yönü ise doğudan batıya, kuzeyden güneye doğrudur. Ayrıca 3 ve 4 numaralı örneklerin bulunduğu bölgede de bikarbonat değerleri nispeten yüksektir. Bütün olarak bakıldığında gölde sazlık bölgelerin yoğun olduğu kesimlerde bikarbonat iyonunun daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Uluabat Gölü sularında bikarbonat iyonunun dağılımı

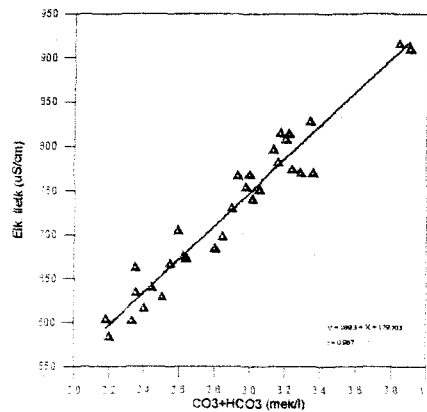
Karbonat ve bikarbonat iyonlarının miliekivalen değerleri toplam olarak ele alındığında Ca iyonu ile $r = + 0.88$, Mg iyonu ile $r = + 0.57$ mertebesinde pozitif bir korelasyon göstermektedir. Bu yüksek korelasyon, Ca ve Mg' un karbonat ve bikarbonat iyonları ile aynı kökenden geldiği, bir başka deyişle bu iyonların su ortamında aynı kimyasal davranışı gösterdiği düşüncesini güçlendirmektedir (Şekil 4.23 a,b). Bunun yanı sıra bu pozitif korelasyonlar aynı zamanda sudaki Ca ve Mg iyonunun karbonat ve bikarbonat iyonu ile tekrar birleşerek daha çok kalsit ve az oranda da dolomit oluşturabileceğini göstermektedir. Gölde alınan 22 örnekte Ca^{2+} ve HCO_3^- arasında $r = + 0.748$ gibi oldukça iyi bir pozitif korelasyon vardır. pH'nın 6.5-8.5 arasında olduğu doğal sularda bikarbonat iyonu daha baskındır ve bikarbonat dağılımı ile kalsiyum dağılımı arasında çok yakın bir benzerlik vardır. Bunun nedeni kireçtaşı ve dolomit gibi karbonatlı kayaların ayrışmasıdır. Bu nedenle bu tür

kayaçların varlığında alkalinite yüksektir ve dolayısıyla asidifikasyon riski her zaman düşüktür.



Şekil 4.23. Ca (a) ve Mg (b)' un toplam karbonat ile arasındaki pozitif korelasyon

Diğer yandan yüzey sularının çoğunda olduğu gibi, Uluabat Gölü sularında da miktar olarak en fazla bulunan elemanlar karbonat ve bikarbonat iyonlarıdır. O zaman bu iki iyonun suda toplam çözünmüş madde miktarını direkt olarak etkilemesi, dolayısıyla da suyun elektrik iletkenlik değerini o oranda yükseltmesi doğaldır. Bunu ifade etmek amacıyla toplam karbonat değerleri elektriksel iletkenlikle birlikte ikili diyagramda değerlendirildiğinde $r = + 0.97$ lik bir pozitif korelasyon sunmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Toplam karbonat ile elektriksel iletkenlik arasındaki pozitif korelasyon

M. Kemalpaşa Çayı' nda ise Uluabat Gölü' nden farklı olarak hiç karbonat iyonu ölçülmemiş olup, bikarbonat değerleri ise 167.73 mg/l ile 200 mg/l arasında

değişkenlik göstermekte ve göle ulaşana kadar tedrici olarak azalmaktadır. Bikarbonat iyonu, göldeki yoğun bitki topluluğunun klorofilleri için yegane karbondioksit kaynağıdır. Klorofiller ihtiyacı olan karbondioksidi, sudaki bikarbonat iyonunu asimile ederek sağlarlar, dolayısıyla bikarbonat iyonunun konsantrasyonu düşer. Bu yüzden M. Kemalpaşa Çayı'nda daha büyük miktarda olan bikarbonat iyonu, göle ulaştığında azalır. Akarsuda karbonat iyonunun ölçülememiş olması akarsuyun pH değerinin göle nazaran daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zaten karbonat iyonu da pH=8.2 den daha büyük olduğu durumda bulunur. Gölde ise ortamın pH sınırın daha yüksek olması nedeniyle bikarbonat iyonu tekrar iyonlarına ayrılır, yani ortama karbonat iyonu verir.

4.2.1.9. Sülfat

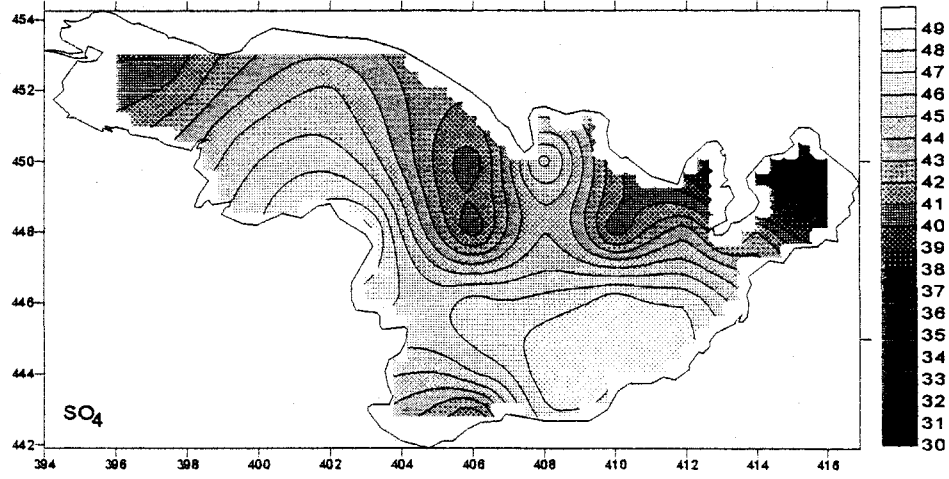
Elementel kükürt' ün süperjen ortamda oksijenle reaksiyona girerek oluşturduğu sülfat (SO_4^{2-}) iyonu oldukça büyük iyon yarıçapına ($2.95 \text{ \AA}$) sahiptir ve su ortamında çok hareketli bir iyondur. Fe, Zn, Cu, Ni, Co ve Cd gibi elementlerin sülfat bileşikleride suda kolayca çözünürken, Ca, Sr, Ba ve Pb gibi elementlerin sülfatları ise suda çok az çözünür.

Eğer indirgen bir ortam söz konusu ise, sülfat iyonu sülfat indirgeyen bakteriler tarafından, S^{2-} , HS^- ve H_2S haline dönüştürülebilir. Kükürdün göçü genelde SO_4^{2-} şeklinde gerçekleşir. Jeokimyasal olarak sülfat iyonu başlıca volkanlardan çıkan H_2S ve SO_2 gibi gazların oksitlenmesi, piritlerin oksitlenmesi, jips ve anhidritlerin suda çözünmesi, organik maddelerin bozunumu ile atmosfere ulaşan H_2S gazının fotokimyasal yolla oksitlenmesi, deniz sularında buharlaşma ve rüzgar etkisiyle atmosfere taşınması, fabrika ve konutlarda yakılan petrol, kömür, doğal gazların kül ve dumanlarının atmosfere atılması gibi kaynaklardan türeyebilir.

Uluabat gölü sularında sülfat iyonu 30.14 mg/l ile 49.92 mg/l değerleri arasında değişir, ortalama değer 43.95 mg/l düzeyindedir. Gölde sülfat değerlerinin yanal dağılımına bakıldığında genelde kuzeyden güneye doğru bir artış gösterdiği açıkça görülmektedir (Şekil 4.25).

M. Kemalpaşa Çayı'nda ise sülfat değerleri 64.28 mg/l ile 38.84 mg/l arasında olup, göldeki sülfat değerlerinden oldukça yüksektir. Göle yaklaştıkça sülfat değeri

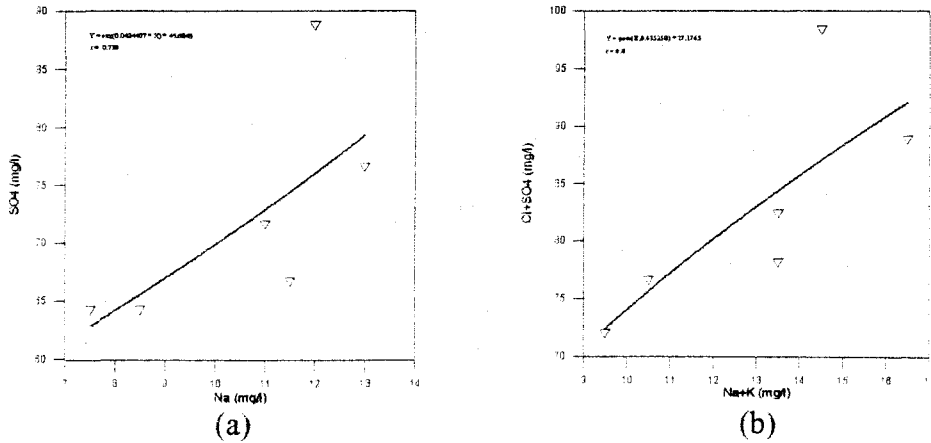
yükselmekte ve en son M. Kemalpaşa istasyonunda en yüksek değerine (88.84 mg/l) ulaşmaktadır.



Şekil 4.25. Uluabat Gölü sularında sülfat iyonunun dağılımı

Genellikle yüzey suları hava ile devamlı ilişkide, ayrıca hızlı ve girdaplı akımlar nedeniyle, yeraltı sularına oranla daha bol oksijen içerdiklerinden elementlerin oksitleşmesine daha uygun bir ortam oluştururlar. Dolayısıyla M. Kemalpaşa Çayı'nda daha fazla çözünmüş oksijen olması ve bu oksijenin sudaki sülfürü ya da sülfidleri okside etmesi sonucunda oluşan sülfat, gölde oluşan sülfattan daha fazla olacaktır.

Sülfatın sudaki diğer elemanlarla ilişkisine bakıldığında, M. Kemalpaşa çayı su örneklerinde Na iyonu ile SO_4 iyonu arasında $r = +0.72$ mertebesinde pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Ayrıca $\text{Cl} + \text{SO}_4$ toplamı ile $\text{Na} + \text{K}$ toplamı arasında da $r = +0.80$ mertebesinde bir pozitif korelasyon olduğu görülmüştür (Şekil 4.26 a,b).



Şekil 4.26. Na ve SO_4 iyonu arasında (a) $\text{Na} + \text{K}$ ile $\text{Cl} + \text{SO}_4$ arasındaki (b) pozitif korelasyon

4.2.1.10. Fluor

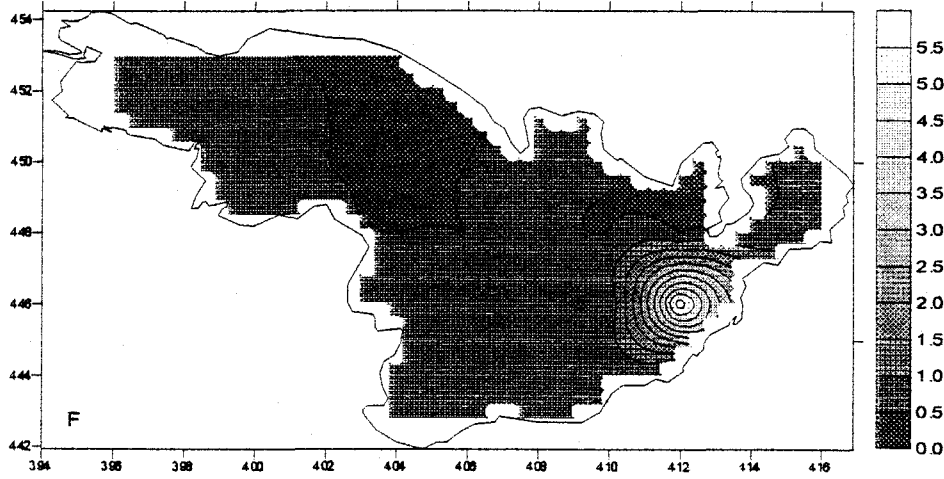
Fluor, diğer elementler arasında elektronegativitesi en yüksek olan bir element olup hemen tüm diğer elementlerden daha etkindir ve suda kolay göç eder. Ayrıca çözünme enerjisi Cl ve Br dan daha düşüktür (37.7 Kcal/mol). İyon yarıçapı ise 1.33 Å⁰ dur. Bu özellikleri nedeniyle hemen hemen tüm elementlerle birleşebilir. Fluorun diğer elementlerle olan tüm reaksiyonları ekzotermiktir. Alkali ortamlarda fluor karmaşık bileşikler halinde bulunmak yerine F⁻ olarak bulunur. Asit ortamlarda ise OH⁻ iyonunun yerini alır, çünkü iyon yarıçapları birbirine çok yakındır. F⁻ iyonu pozitif yüklü kolloidler tarafından soğurulabilir.

Göllerde tuz miktarı arttıkça fluor miktarı azalır; bunun nedeni fluorun devamlı çökmesidir. Fluor çökmesi özellikle çözünmüş madde miktarı 0.1-10 g/l arasında olan sularda çok hızlıdır ve sonunda, suda çok az fluor kalır. Fluor çökme sırasında apatit mineralleri tarafından soğurulur, aynı zamanda suda çözünmeyen fluorit mineralleri de oluşabilir.

Fluor iyonu derişimi üzerine pH 'ın etkisi çok büyüktür; asit ortamda fluorun soğurulması etkindir, buna karşın alkali ortamda fluor, minerallerden ayrılarak su ortamına geçer.

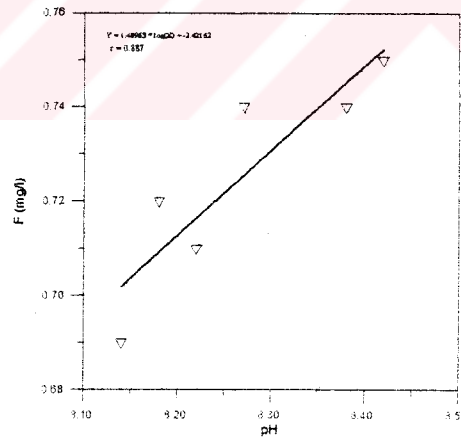
Uluabat Gölü sularında fluor içeriği 0.42 mg/l ile 0.74 mg/l arasında oldukça düşük değerler almaktadır. Göl suyundaki toplam çözünmüş madde miktarı göz önüne alındığında (ortalama 275.61 mg/l) fluor içeriğinin çok düşük olması literatürdeki bilgilerle uyumluluk göstermektedir. Fluorun yanal dağılımına baktığımızda en yüksek fluor değerleri Halilbey Adası'nın batısında ve gölün güneyinde gözlenmektedir. En düşük değerler ise adalar (Halilbey Adası ve Manastır Adası) civarında ölçülmüştür (Şekil 4.27). M. Kemalpaşa Çayı'nda ise en düşük fluor değeri 0.69 mg/l ile Karaorman mevkiinde ölçülmüş, en yüksek değer de M. Kemalpaşa mevkiinde 0.75 mg/l olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi M. Kemalpaşa Çayı'ndaki fluor değerleri göle yaklaştıkça artış göstermektedir. Bu artış çaya göle ulaşmadan değişik proseslerle katılan mineral ve kayaç parçacıklarındaki fluorun bünyeyi terk ederek suya geçmesi şeklinde açıklanabilir.

Ayrıca M. Kemalpaşa Çayı örnekleri üzerinde pH' nın fluor konsantrasyonu üzerindeki etkisini göstermek amacıyla oluşturulan ikili diyagramda artan pH değerleri karşısında fluor değerlerinin de arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.28).



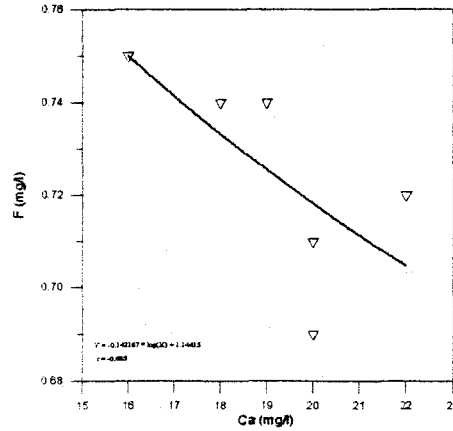
Şekil 4.27. Uluabat Gölü sularında fluor dağılımı

Bunun nedeni M. Kemalpaşa Çayı içerisindeki mineral veya kayaç parçalarındaki florun, suyun pH sı alkali karakterde olması nedeniyle mineral ve/veya kayaç bünyesini terk etmesi ve su ortamına geçmesi şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 4.28. M. Kemalpaşa Çayı fluor değerleri ile pH arasındaki pozitif korelasyon

Sularda fluor dağılımı hakkında yapılan deneysel çalışmalarda çözeltiye kalsiyum iyonları girdiğinde F konsantrasyonunda bir düşüş olduğu kaydedilmektedir (Ramamohana ve diğ. 1993). Gerçekten M. Kemalpaşa Çayı'na ait Ca değerleri ile fluor değerleri arasındaki ilişkiye baktığımızda düşük de olsa bu iki iyon arasında negatif bir korelasyon saptanmıştır (Şekil 4.29).

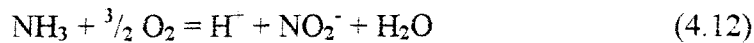


Şekil 4.29. M. Kemalpaşa Çayı Ca değerleri ile F değerleri arasındaki ilişki

4.2.1.11. Nitrat-Nitrit

Bir azot bileşiği olan nitrat; nitrit ve amonyakla birlikte doğal sularda oldukça az miktarlarda izlenir, çünkü çözünürlükleri yüksektir ve duraysızdırlar. Nitrit ve nitratın suda yüksek oranda bulunmasının zehirleyici etki yaptığı bilinmektedir. TSE 1966' ya göre içme sularında kabul edilen nitrat+nitrit miktarı 10 mg/l olarak belirtilirken üst sınır olarak da 30 mg/l rakamı ifade edilmektedir. Ancak nitrit iyonunun bulunmasına hiçbir şekilde izin verilmemektedir.

Prensipte, ortamın asit-alkali olması, ya da yükseltgen-indirgen olması ve diğer fizikokimyasal koşullar, azot bileşiklerinin çökelimine etki etmez, ancak bazı özel koşullarda nitrit tuzları birikebilir. Genelde sularda bakteriler bitki ve hayvan artıklarını bozarak NH_3 'a dönüştürürler. Oluşan NH_3 'ın bir kısmı bitkilerce soğurulurken, geri kalanı yükseltgen ortamda amonyak ve nitrit okside eden bakteriler tarafından aşağıdaki kimyasal reaksiyonlarla ifade edildiği şekilde ayrıştırılır (Li ve Misawa, 1994)

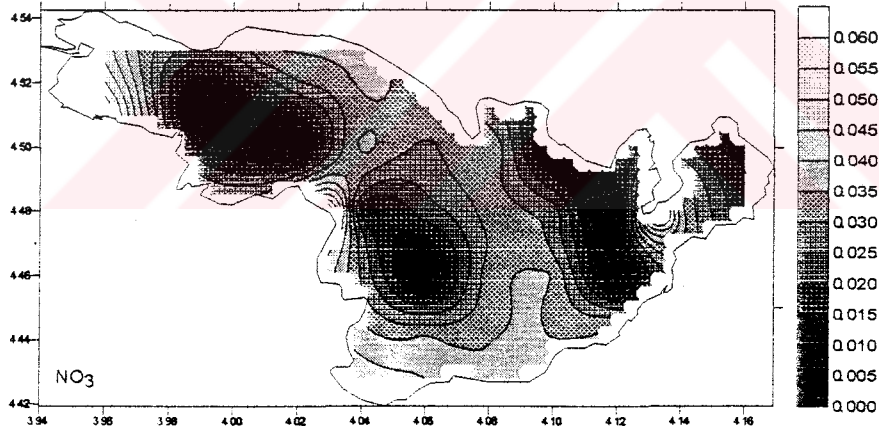


İndirgen koşullarda ise nitrat bakterileri nitrat iyonunu kullanarak N_2 gazı ve NH_4^+ üretirler (Schlegel, 1986). Sularda nitrat ve amonyum iyonuna daha sık rastlanırken, nitrit nispeten daha azdır, çünkü nitritler duraysızdırlar. Nitratların kaynağı bitki ve hayvan artıkları, yağış suları veya tarımda kullanılan nitratlı gübreler olabilir. Havadaki NO gazı oksitlenerek nitrat meydana getirir ve bu yüzden yağış sularında

nitrat bulunur. Azot bileşikleri suda kolayca çözünür ve NH_4^+ ve NO_3^- gibi azot türevleri bitkilerin soğurması ile sulu ortamı kısa sürede terk eder. Nitrat organik azotun en son oksidasyon ürünüdür. Sularda 45 mg/l yi geçen nitrat miktarı küçük çocuklar için oldukça tehlikelidir ve derinin mavimsi bir renk alması şeklinde beliren ölümcül siyanozis hastalığına sebep olur.

Uluabat Gölü sularında yapılan kimyasal analizlerde nitrat çok küçük değerlerde ölçülmüş, nitrit ise ölçülememiştir. Nitrat değerleri Uluabat Gölü'nde 0.001 mg/l ile 0.07 mg/l arasında oldukça düşük değerlerde ölçülmüştür. Bu düşük değerler; nitrat'ın limitleyici bir besin elementi olduğunu ve nitrat'ın tamamına yakınının gölde kullanıldığını ortaya koymaktadır. Bu da gölde birincil üretimin oldukça yüksek olduğunu ve/veya gölde büyük ölçüde nitrat indirgenmesinin (denitrifikasyon) yaşandığı anlamına gelmektedir.

Nitrat iyonunun yanal dağılımına bakıldığında (Şekil 4.30) yerleşim olan yerlere doğru yüksek değerler görülmektedir. Bu bizi göldeki nitrat konsantrasyonu dağılımının özellikle antropojenik kaynakların kontrolünde olduğu yargısına götürür.



Şekil 4.30. Uluabat Gölü sularında nitrat anyonu dağılımı

M. Kemalpaşa Çayı'nda en düşük nitrat değeri 0.35 mg/l ile M. Kemalpaşa bölgesinde, 0.61 mg/l ile Kestelek bölgesinde ölçülmüştür. Burada dikkati çeken nokta nitrat değerlerinin akarsu göle yaklaştıkça azalma göstermesidir. Ancak bu doğal süreçte beklenen bir gelişmedir, çünkü nitrat suyun pH' ın değişiminden etkilenmemekle birlikte bitkiler tarafından soğurulmakta, dolayısıyla sudaki konsantrasyonu azalmaktadır.

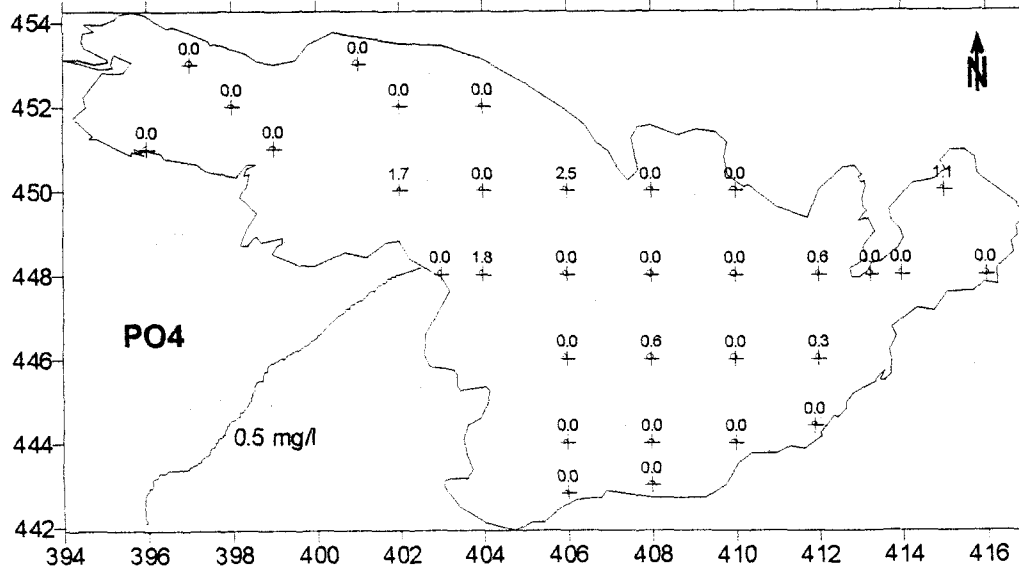
M. Kemalpaşa Çayı nitrat değerleri, yukarıda görüldüğü gibi Uluabat Gölü nitrat değerlerinden daha yüksek değerlerde ölçülmüştür. Nitrat' taki bu yükseklik büyük olasılıkla havadaki azotun akarsudaki bol oksijenli ortamda daha kolay ve fazla miktarda nitrata dönüşmesi ile açıklanabilir. Diğer bir deyişle akarsuda gölden daha etkin ve hızlı bir yükseltgenme olmasıdır.

4.2.1.12. Fosfat

Yüzey veya yeraltı sularındaki fosfat formundaki fosfor, doğal yolla meydana gelen ayrışma sonrasında mineral ya da cevherlerden ayrılarak, ya da tarımsal faaliyetler sonucu ortama girebilmektedir. Fosfor, tıpkı azot gibi bitki ve hayvan gelişimi için önemli bir besin maddesi (nutrient) olup, bozunma ve fotosentez döngüsüne katılmaktadır. Özellikle göl sularındaki fosfat konsantrasyonu, göllerdeki üretkenlik düzeyinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Göllerde, göle akan akarsularda veya herhangi bir su kütlesindeki fosfor (P) miktarının ötrofikasyon (aşırı beslenme) sorununun ortaya çıkmaması için 0.015 mg/l yi geçmemesi istenir (DSİ, 1980).

Uluabat Gölü sularında yapılan fosfat analizlerinde sadece 6 örnekte fosfat belirlenmiş, diğer örneklerde ise tayin sınırlarının altında kaldığından tespit edilememiştir. Ölçülebilen fosfat (PO_4^{3-}) değerleri 0.3 mg/l - 2.5 mg/l arasındadır. En yüksek değerler Halilbey Adası'nın civarında ölçülmüştür (Şekil 4.31). M. Kemalpaşa Çayı suyunda ise ortofosfat değeri 0.5 mg/l olarak ölçülmüştür. Akarsuya kıyasla göl suyundaki 2.5 mg/l ye varan yüksek fosfat değerine, M. Kemalpaşa Çayı'ndan daha çok, tarımsal amaçlı yapılan sulama sularının daha sonra göle geri verilmesi ve özellikle yöre halkı tarafından Halilbey Adası'nda tarım amaçlı kullanılan fosfatlı gübreler sebep olmaktadır.

Bu verilere göre Uluabat Gölü ve göle akan M. Kemalpaşa Çayı sularında ileri düzeyde ötrofikasyon (aşırı üretkenlik) meydana geldiği, bir başka deyişle göl ve akarsuyun kirlilik düzeyinin korkunç boyutlarda olduğu söylenebilir.



Şekil 4.31. Uluabat gölü sularında fosfat (PO_4) değerleri

4.2.2. Göl Sularının Minör ve İz Element Bileşimi

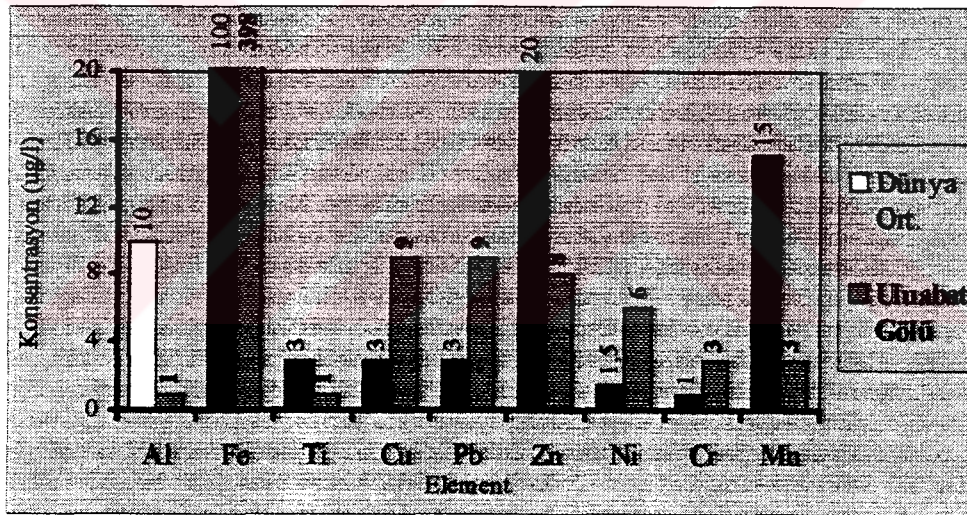
Daha önceki bölümde de değinildiği gibi, pH aralığı; elementlerin su fazında kalması ya da çökmesini kontrol eden en önemli parametredir. pH'nın 8'den yüksek olduğu alkali karakterli sularda elementlerin çoğu su fazından ayrılır, ya askıdaki kolloidal maddeler tarafından soğurulur, ya da oksit, karbonat, sülfat gibi çeşitli formlarda çökerek dipteki sedimanların bünyesine girer. Böyle sularda söz konusu elementlerin konsantrasyonu oldukça düşüktür. Gerçekten de göl sularında yapılan ağır metal analizlerinde çok düşük değerler elde edilmesi bu gerçeği doğrulamaktadır.

Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularında yapılan kimyasal analizlerde Al, Ti, Pb, Zn, Cd, Fe, Co, Ni, Cr gibi elementlerin tayini dedeksiyon sınırlarının çok altında olduğundan doğrudan doğruya yapılamamış, dolayısı ile değişik bir yöntem izlenmek zorunda kalınmıştır. Bunun için 5 litrelik göl suyu filtre edildikten sonra 70-80 °C'de buharlaştırmak suretiyle buharlaşma kalıntısı elde edilmiş ve bu kalıntı asit çözünleştirme yöntemiyle çözeltiye alınarak kalibre edilmiş ve çeşitli spektral analiz yöntemleriyle kimyasal analizlere tabi tutulmuş, söz konusu elementlerin konsantrasyonları ppb ($\mu\text{g/l}$) düzeyinde belirlenebilmiştir.

Tablo 4.8 de, tayini yapılan Al, Ti, Pb, Zn, Cd, Fe, Co, Ni, Cr gibi elementlerin Uluabat Gölü sularında bulunuş miktarları ve dünya tatlı su gölleri ortalamasıyla karşılaştırması verilmiştir. Sonuçlar ayrıca Şekil 4.32 de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Uluabat Gölü suları minör ve iz element analiz sonuçlarının dünya yüzey ve yer altı suyu ortalamaları ile karşılaştırılması (değerler : µg/L)

Element	Ortalama Değer (Turekian, 1977)	Uluabat Gölü
Al	10	<1
Fe	100	398
Ti	3	<1
Cu	3	9
Pb	3	9
Zn	20	8
Ni	1.5	6
Cr	1	3
Mn	15	3



Şekil 4.32. Uluabat gölü sularının minör ve iz element kimyasal analiz sonuçlarının dünya ortalamalarıyla karşılaştırılması

Tablo 4.8'e bakıldığında Uluabat Gölü göl sularındaki Al, Ti, Zn ve Mn miktarlarının dünya ortalamalarının altında olduğu, buna karşın Fe, Cu, Pb, Ni ve Cr elementlerinin ortalamaların üstünde olduğu görülmektedir. Ancak yine de bu değerler içme suyu kriterleri açısından herhangi bir sorun oluşturmamaktadır.

Göl suyunda belirlenen Pb^{2+} miktarı dünya ortalamalarının üzerinde ve yüzey sularında bulunabilen en üst değer dahi üzerinde çıkması, büyük olasılıkla gölde balıkçılık faaliyeti nedeniyle Pb içeren akaryakıt kullanımından kaynaklanmıştır

deneyebilir. TSE (1966) tarafından içme sularında kurşun için kabul edilen değer 0 mg/l iken üst sınır 0.05 mg/l olarak belirtilmiştir. Ancak göl suyundaki kurşun miktarı ortalama 0.009 mg/l olduğundan göl suyunda bir kurşun kirlenmesi vardır denemez.

Fe, Cu, Ni ve Cr metal iyonlarının kaynağının, antropojenik etkilerden çok, çalışma alanının güneydoğusunda oldukça geniş bir yayılımı olan ve M. Kemalpaşa Çayı'nın içinden geçtiği ve bazik-ultrabazik kayaç topluluğundan meydana gelen Kocasu melanjı olduğu düşünülmektedir. Söz konusu melanj, çevre kaya birimlerinden parçaların yanı sıra, piroksenit, serpantin, uralit gabro, diyabaz, mela diyorit ve limonitleşmiş tuf gibi kayaç parçaları içermektedir. Bu kayaçlar mineralojik bileşimleri itibarıyla felsik kayaçlara nazaran daha fazla ağır metal içeriğine sahiptirler. Dolayısıyla bazik-ultrabazik kayaçlardan oluşan Kocasu melanjı'ndan M. Kemalpaşa Çayı'na söz konusu metal iyonları gerek partiküller, gerekse sıvı fazda geçerek göle ulaşmaktadır. Ancak bu metal iyonları suyun pH derecesi alkali düzeyde olduğundan çok az (eser) miktarda sıvı fazda bulunacak, önemli bir kısmı ise partikül halde göl ortamına taşınıp, dip sedimanlarına karışacaktır. Ancak Cotton ve Wilkinson, 1989); litrede 1 mikrogramı geçen krom konsantrasyonunun doğal çevre şartlarında inorganik Cr mineral fazlarının suda çözünmesi şeklinde açıklanamayacağını ve bunda organik komplekslerin önemli bir rolü olduğunu ileri sürmüşlerdir. Uluabat Gölü'nde de litrede 3 mikrogram krom ölçüldüğü için Cotton ve Wilkinson (1989) tarafından ileri sürüldüğü şekilde Uluabat Gölü suyundaki kromun inorganik mineral çözünmesinden ziyade organik komplekslerin kontrolünde olduğu söylenebilir.

Çözünmüş demir, çözünmüş oksijeni yüksek yüzey sularında ve sedimanlarda pH=3-4 ve daha küçük değerlerde Fe^{3+} ve Fe(III) inorganik kompleksleri halinde hareketlidir. pH = 5-6 arasında da Fe(III) iyonu bir çok toprak, yüzey ve yer altı sularında ferrik-organik kompleksler halinde, pH=3-8 arasında da kolloid halindeki ferrik oksit/hidroksitler olarak hareketlidir. İndirgen şartlarda da demir çözünebilir ve pH=7-8 arasında Fe(II) formunda hareketlidir. Ancak sülfür konsantrasyonu yeterli ise böyle indirgen şartlarda demir sülfat oluşabilir.

Uluabat Gölü'nde en derin yerin 3 metre olduğu göz önüne alınırsa, su kolonunda tabakalanmanın meydana gelmesi beklenmez. Oksijen değerleri de ortalama 5.2 mg/l

olduğundan gölde en azından büyük bir bölümünde indirgen şartların oluşmayacağı dolayısıyla Fe^{2+} iyonunun yok denecek kadar az olacağı söylenebilir.

Fe iyonunun sudaki etkisi fizyolojik açıdan önemsizdir, fakat estetik ve tat açısından önemlidir. Fe için üst sınır ise 1 mg/l dir. İçme suyu kriterlerine göre; sudaki Fe elementinin 0.3 mg/l den az olması öngörülmektedir. Uluabat göl suyunda toplam Fe konsantrasyonu 400 $\mu g/L$ (0.4 mg/l) ölçülmüştür. Buna göre Uluabat Gölü suyu Fe açısından ideal olmamakla birlikte gölde Fe kirlenmesinden de söz edilemez.

4.2.3. Jeolojik Birimlerin Su Kimyası Üzerine Etkisi

Litosferi oluşturan her bir kayaç grubu kendine özgü bir mineral yapısına sahiptir. Eğer doğal sulara birincil ve ikincil elementler bilinirse, suyun kökeni ile geçirmiş olduğu jeokimyasal evrim hakkında bilgi edinilebilir. Su analizlerde tespit edilen bir element, suyun geldiği kayaçlarda diğer hangi iyonların bulunabileceği ya da bulunamayacağını belirleyebilir.

Uluabat Gölü ve bu gölü besleyen en önemli kaynak olan M. Kemalpaşa Çayı sularında belirlenen kimyasal parametrelerin çevredeki litolojik birimlerle olan ilişkisinin anlaşılabilmesi amacıyla bazı ön bilgilerin verilmesi yararlı olacaktır.

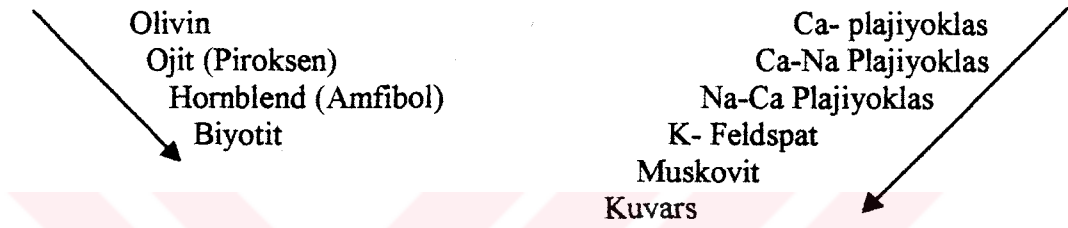
4.2.3.1. Mağmatik Kayalardan Gelen Sular

Mağmatik kayaların ortak en önemli elementi silisyum' dur. Ultrabazik ve bazik kayalarda bu elementin hemen tümü mineral bazında, ender olarak da SiO_2 olarak bulunur. Asidik kayalarda ise silis, önemli miktarlarda kuvars ve amorf silis özelliğini taşır. Diğer elementlerin miktarları bazik ve asit kayalardan farklıdır.

Doğal suların başlıca elementlerinden Ca, Mg, Na, K, Cl miktarları yönünden mağmatik kayalar incelendiğinde (mek/l olarak) ultrabazik ve baziklerde $rMg^{++} > rCa^{++} > rNa^+ > rK^+$ şeklinde, nötr kayalarda $rNa^+ > rK^+ > rCa^{++} > rMg^{++}$ veya diyoritlerde $rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+ > rK^+$, asidik kayalarda (granit) $rNa^+ > rK^+ > rCa^{++} > rMg^{++}$ şeklindedir. rCa^{++}/rMg^{++} oranı ultrabazik kayalardan asidik kayalara doğru yükselir. rNa^+/rK^+ oranı ultrabazik ve bazik kayalarda, asidik kayalara oranla daha yüksektir. $r(Cl^-Na)/rCl^-$ oranı hemen tüm mağmatik kayalarda negatiftir. $r(Ca+Mg)/rNa$ oranı, genellikle ultrabazik kayalardan asidik kayalara

doğru azalır. Bu oranların tümü, mağmatik kayalardan gelen doğal sularda rNa^+/rK^+ dışında, geldikleri kaya oranlarına benzer.

Genel olarak mağmatik kayaç mineralleri kimyasal bozunuma dayanıklı olduklarından, bu kayalardan gelen soğuk sularda toplam çözünmüş madde miktarı az, çözünmüş silis miktarı 10-30 mg/l arasında, ortalama 17 mg/l kadardır. Ancak ultrabazik ve bazik kaya mineralleri asidik kaya minerallerine oranla daha az dayanıklıdır. Minerallerin kimyasal ayrışmaya karşı dayanıklılık sırası yukarıdan aşağı artan bir şekilde şöyledir :



Ultrabazik Kayalardan Gelen Sular : Gabro, peridotit, serpantin gibi ultrabazik kayalarda silisten sonra Mg, Fe, Ca gibi elementler boldur. Bu kayalardan gelen sularda Mg iyonu egemendir ve Fe fazladır.

Bazaltik Kayalardan Gelen Sular : Mağmatik yüzey kayalar içerisinde en fazla yaygın ve akifer özelliği yönünden ön sırayı alan bazalt akıntılarıdır. Bazaltik kayalarda Ca, Mg miktarına oranla (mek/l) biraz daha az olmasına karşın bu oran 1 den büyüktür. Bazaltlardan gelen sular genellikle daha az asidik olması nedeniyle, granitlerden gelen sulara oranla daha fazla silis içerirler. Kayanın yapısında çok fazla Fe olmasına rağmen, pH'nın yüksek oluşu, sularda Fe iyonunun az bulunmasını sağlar. Bazaltlardan gelen sularda sülfat ve klorür iyonları fazla bulunmaz, CO_3 iyonu diğer yüzey mağmatik kayalara oranla daha önemli miktarlardadır, buharlaşma kalıntısı 400 mg/l yi geçmez.

rCa/rNa oranı kayalarda sulardakinden birkaç kat yüksek olmasına rağmen, rNa/rK oranı kayalarda çok yüksektir. Benzer şekilde rFe/rCa , ana kayanıninkine oranla çok küçüktür. rSO_4/rCl oranı 1'e yakındır ve bu oran bazaltlar içindeki pirit miktarı ile değişir. Genel olarak bazik kayalarda ve bu kayalardan gelen sularda $rNa > rCl$ olduğundan $r(Cl-Na)/rCl$ oranı negatiftir.

Nötr Kayalardan Gelen Sular: Nötr kayalarda siyenitten asidik granite doğru rCa^{++} , rMg^{++} iyonları azalır ve Ca-Mg plajiyoklaslar bazik kayalara göre daha düşük, asidik kayalara oranla daha yüksektir; $r(Ca^{++}+Mg^{++})/rNa^{+}$ oranı granite doğru küçülür. Bu kayalarda bulunan plajiyoklas ve amfibollerin bozunumundan yer altı suları SiO_2 , Na, Ca, Fe gibi elementlerce zenginleşir. Demirce oldukça zengin bu suların sertliği granitlerden gelen sulara oranla daha fazladır.

Asidik Kayalardan Gelen Sular : Asidik mağmatik derin ve yüzey kayalardan en çok rastlanan granit, riolit, andezit ve dasittir. Bu kayalarda silis, K ve Na-feldspatlar egemendir. Genel olarak asidik kaya mineralleri bozunuma çok dayanıklı olduklarından yer altı sularında çözünmüş tuz çok az, ayrıca Ca ve Mg iyonları önemsizdir, sertlikleri düşüktür. Kaynak ve memba suyu olarak satılan, sertliği ve içerdiği çözünmüş tuz miktarı fazla olmayan yer altı suları genellikle asidik kayalardan veya kuvarsitlerden gelir. Kimyasal yapıları yakın olan granit, riolit, andezit ve dasit gibi kayalardan gelen sular beraber incelenmiştir.

Granit ve Türevlerinden Gelen Sular : Granitlerden gelen sular, fazla miktarda kolloid veya kolloid olmayan silis, alkali karbonatlar ve $Ca(HCO_3)_2$ içerirler. Alkali karbonatların kalsiyum karbonatlara oranı, plajiyoklaslardaki CaO ile bunların ortozlara göre miktarlarına bağlıdır. Olağan granitlerin kimyasal yapısındaki $(K_2O+Na_2O)/CaO$ oranı 3 veya daha büyüktür. Bu nedenle, granitlerden gelen sular alkalilerce daha çok zengindir. Granitlerin bozunumu zor olduğundan sulara çok az tuz çözeltisi ve fazla miktarda CO_2 bulunur. Başlangıçta pH' sı asit olan bu sular, karbondioksitin ortamdan ayrılması ile alkalilik özelliği kazanır. Granitlerin bozunumundan bol miktarda silis ortaya çıkmasına rağmen yer altı sularında çözelti halinde çok az bulunur. Demirin suda çözelti haline geçmesi pH ya bağlı olduğundan az miktarda izlenir. Granitin kimyasal yapısında potasyum, sodyuma oranla daha fazladır, fakat minerallerin bozunumundan sonra ortaya çıkan potasyumun killer ve bitkiler tarafından soğurulması sonucu, yer altı sularında sodyum egemen duruma geçer. Amfibollü granitler dışındaki granitlerden gelen sulara toprak alkaliler alkali iyonlara oranla daha az bulunur. rCa^{++} / rMg^{++} oranı 1 den büyüktür ve Cl , SO_4 iyonlarının toplamı birkaç mek/l yi geçmez. Tüm yüzey mağmatik kayalarda olduğu gibi, granitten gelen sulara karbonat bileşenleri az, pH düşük olduğundan reaktiftir. Granitin kimyasal bileşenleri arasındaki oranlarla, bu kayalardan gelen

suların eş kimyasal oranları arasında benzerlik görülür. Bazı özel durumlarda sodyumun toprak zemin tarafından soğurulması sonucu, suyun rCa / rNa oranı granitteki orandan çok büyük değerlere erişmesi mümkündür. Tersine, buharlaşma veya dışarıdan katılan Na iyonları ile yer altı suları zenginleşebilir ve suyun rCa / rNa oranı, granitinkinden çok düşük değerlerde olabilir. Potasyumun soğurulması nedeniyle, suyun rNa / rK oranı, granitinkinden çok yüksektir. Demirin suda az çözünmesi nedeniyle, rFe / rCa oranı, kayaninkinden küçüktür, demirin büyük kısmı suda çözünmeden bozunum yöresinde çökelir.

Yer altı sularında bulunan silisin kökeni, özellikle silikatların bozunumundan ve bir miktar alkali ortamlarda kuvarsın çözünmesinden gelebilir. Granitli arazilerden gelen sulara silis çözeltileri önemli bir yer tutar. Granitlerdeki $rSiO_2 / r(Fe+Ca+Mg+K+Na)$ veya $rSiO_2 / rCa$ oranları bu kayalardan gelen suların benzer oranları karşılaştırıldığında, sularının çok küçük olduğu izlenir. Bunun nedeni silikatlardan ortaya çıkan SiO_2 in büyük bir kısmı Al_2O_3 ile birleşerek killeri meydana getirir ve yer altı sularına artakalan silisin çok az kısmı çözelti halinde geçer. Genel olarak, granitlerden gelen sulara sodyum miktarı, klorürden fazladır ve bunun her zaman iyon değişiminden dolayı olduğu söylenemez. Asit magmatik yüzey kayalarından gelen suların kimyasal özellikleri granitlerden gelen sularıninkine benzerdir.

4.2.3.2. Metamorfik Kayalardan Gelen Sular

Doğada en çok rastlanan metamorfik kayalar arduvaz, şist ve gnayslardır. Şist ve arduvazlarda genellikle geçirimsizliğin düşük, kristal boyutlarının küçük olması yer altı suları ile kaya dokanak yüzeyi ve süresinin artmasına yol açar. Böylece bu kayalardan gelen suların buharlaşma kalıntıları yüksektir ve tüm iyonlar bol miktarda bulunur. Piritli şistlerden gelen sulara SO_4 iyonları fazladır ve pH asittir. Mika şistlerden gelen sular alkali ve demir iyonlarınca zengindir. Gnayslardan gelen sular genel olarak granitlerden gelen sulara benzer. Ancak gnaysların mineralojik yapısı, granitlere oranla homojen olmadığından, bunlardan gelen suların kimyasal özellikleri değişken, buharlaşma kalıntısı daha yüksektir. Şist, arduvaz ve gnayslardan gelen suların rCa/rMg , $r(Ca+Mg)/rNa$, rNa/rK oranları 1 den büyük, $r(Cl-Na)/rCl$ oranı ise negatiftir. Mermerlerden gelen suların kimyasal özellikleri kireçtaşlarınıninkine benzer.

4.2.3.3. Tortul Kayalardan Gelen Sular

Genellikle tek tür minerallerin egemen olduğu tortul kayalar, suya kimyasal özelliğini yansıtır. Bu birincil mineralden başka kolay çözünebilen mineraller suyun ikincil kimyasal özelliğini verirler. Tortul kayaların yapısını oluşturan en önemli minerallerden bazıları, kuvars, opal ve diğer cinsleri, kalsit, dolomit, jips, kaolinit, halloysit, illit, montmorillonit ve diğer kil mineralleridir. Genellikle ikincil olarak bulunan NaCl, jips ve anhidritlerle beraber bulunur.

Karbonatlı Kayalardan Gelen Sular : CaCO_3 ın çözünmesi, su içinde bulunan CO_2 gazı kısmi basıncına bağlıdır. Yer altı sularında çözünmüş CO_2 gazı miktarı genellikle 20-50 mg/l arasındadır. Bu nedenle, karbonat bileşenleri suda belirli oranlarda çözünebilir ve bu da 150 mg/l ile 300 mg/l arasında değişir. Kireçtaşı ve beraberindeki tuzların çözünmesi kayanın yapısal ve tektonik durumuna bağlıdır. Som kireçtaşlarında yer altı suları yalnızca kırık ve çatlaklardan çıkarlar ve kayanın içlerine etkiyemediklerinden , suyun temas yüzeyi küçülür ve çözünme hızı yavaşlar. Gözenekliliği yüksek ve boşluklar arası ilişkili kireçtaşlarında çözünme hızı çok yüksektir ve diğer tuzların suya geçmesi çok kolaydır. Genellikle kireçtaşları çok az NaCl ve CaSO_4 tuzları içerirler. Bu nedenle kireçtaşlarından gelen sular karbonatça zengin ve Cl, SO_4 iyonlarınca fakirdir. Ayrıca som kireçtaşlarından gelen suların buharlaşma kalıntıları azdır. Gözenekliliği fazla ve geçirimli kireçtaşlarındaki sular, som olanlara oranla daha fazla CaCO_3 çözebileceğinden sertlikleri daha fazladır. Dolomitlerden gelen sularda rMg/rCa oranı yüksektir.

Jips ve Tuzlu Kayalardan Gelen Sular : Tuzların kolaylıkla çözünmesi sonucu yeraltı suları kısa sürede tuz iyonları ile zenginleşir. Örneğin CaSO_4 lı sular sülfatca doymuş hale gelebilir. Suda sülfat iyonunun artması Ca ve Mg iyonlarının yükselmesine neden olur. Çünkü jipsli arazilerde CaSO_4 dan başka MgSO_4 da bulunur. CaSO_4 suda doymuş hale gelince yalnız MgSO_4 çözünebilir. Böylece sular SO_4 , Cl, Ca, Mg ve Na ca çok zenginleştiklerinden buharlaşma kalıntıları fazla olur. Klorür miktarına bağlı olarak SO_4 iyonları arttığından NaCl lü sularda sülfat iyonları önemli miktarlara erişebilir.

Killi ve Marnlı Kayalardan Gelen Sular : Killerin gözenekliliği fazla, geçirgenliği az, daneleri küçük olması nedeniyle suyla uzun süre beraber olacağından, ayrıca

killerin kolloidal yapılarının Cl , SO_4 iyonlarını soğurması, bu gibi kayalardan gelen suların tuz iyonlarınca zenginleşeceğini gösterir. Buharlaşma kalıntısı litrede birkaç gramdan fazla olabilir. Karbonat bileşimleri, bu sularda diğer kayalardan gelenlere benzer, fakat sülfat ve klorür iyonları (jipsli arazilerden gelen sular dışında) diğer kayalardan gelen sularinkinden fazladır. Sülfat fazlalığı Ca ve Mg un, klorürün yükselmesi ise Na iyonlarının artmasına neden olur. Killi arazilerde iyon değişimi önemlidir, sodyumlu killer, suyun Ca ve Mg 'u ile iyon değişimi yaparak suları Na iyonlarınca zenginleştirir. Kalsiyumlu killerde ise bu iyon değişimi ters yönde olur. Killi arazilerden gelen sularda genellikle SiO_2 miktarı fazladır.

Kum ve Kumtaşlarından Gelen Sular : Çimentosu CaCO_3 olan kum ve kumtaşları genellikle geçirgen, yer altı suyu akımı kireçtaşlarına oranla daha yavaş ve suyun dokanak yüzeyi fazladır. Böylece SO_4 , Cl , Na , Mg , Ca iyonları kireçtaşlarına oranla daha fazladır. Karbonat bileşimleri kireçtaşlarına benzer. Tropikal iklimlerde bu kayalardaki CO_3 iyonları kireçtaşlarınıninkinden fazla ve buharlaşma kalıntısı yüksektir.

Saf silisli kum ve kumtaşlarında CaCO_3 ın bulunmayışı, bu kayalardan gelen sularda HCO_3 ve CO_3 iyonlarının azlığına neden olur, ayrıca CO_2 getirimi fazla olacağından sular reaktiftir ve $\text{pH}=5-6$ arasındadır. Buharlaşma kalıntısı azdır; SO_4 ve Cl iyonları kireçtaşlarından gelen sulara oranla önemsizdir ve genellikle $r\text{Na}$ iyonları $r\text{Ca}$ iyonlarından fazladır.

Alüvyonlardan Gelen Sular : Alüvyonlar karmaşık bir yapı gösterirler ve çakıl, kum, kil, silt bir arada bulunur. Gözneklilik ve geçirgenlik yanal ve düşey yönde değişim gösterebilir, alüvyonu meydana getiren malzemelerin kökenleri farklı olabilir. Bu oluşuklar yağışlarla kendi yüzeylerinden beslendikleri gibi, ayrıca akarsu ve diğer akiferler sularını alüvyonlara boşaltabilir. Böylece alüvyon suları değişik noktalarda kimyasal farklılıklar gösterebilir. Genel olarak yağışların buharlaşmadan az olduğu iklim koşullarında SO_4 , Cl , Ca , Mg , Na iyonları önemli olabilir.

Demir Yataklarından Gelen Sular : Doğal olarak bu sular demirce zengindir, fakat demirin çözelti haline geçmesi suyun pH sına ve ortamdaki O_2 miktarına bağlıdır. Ayrıca, demir yataklarının kimyasal yapıları da çözünmeyi etkiler. Suyun pH sı asit

ve içinde oksijen bulunmuyorsa çözünme fazladır. Siderit, limonit gibi değişik kimyasal yapıdaki demirlerin suda çözünmeleri farklı olacağı muhakkaktır.

Turba, Linyit ve Kömür Yataklarından Gelen Sular : Organik maddelerle beraber bulunan bakteriler, su içindeki SO_4 iyonlarını H_2S şeklinde indirgerler. Canlı artıkların oksitlenmesi, sülfatların indirgenmesi sonucu asit karbonik oluşur ve CO_3 iyonları ve olağanüstü CO_2 gazı ortaya çıkar. Bu nedenle suyun pH sı asittir ve önemli miktarda Fe ve Mn çözünebilir. Genellikle doğada rastlandığı gibi ortamda pirit varsa oksitlenir ve sülfat ile karbonat bileşiklerini meydana getirir (Şahinci, 1986).

Bu bilgiler ışığında Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı'nda belirlenen iyonların olası jeolojik kaynakları aşağıda tartışılmıştır.

Kalsiyum : Göl sularında 9 mg/l ile 29 mg/l arasında ve ortalama 20 mg/l olan Ca konsantrasyonu M. Kemalpaşa Çayı'nda 16-22 mg/l arasında olup, ortalama 19 mg/l değerindedir. Bu demektir ki, göl ve akarsudaki Ca konsantrasyonu ortalama olarak aynıdır. Ancak gölün bazı yerlerinde 29 mg/l ye kadar Ca varlığı göz önüne alındığında, göl suyunun büyük olasılıkla belli ölçüde göl içerisinde yer alan irili ufaklı 6 adayı oluşturan ve ayrıca göle bir yarımada şeklinde uzanan Gölyazı köyü ve civarında yüzeylemiş olan Jura yaşlı İnatlar kireçtaşı (Ji) nin ayrışmasıyla Ca bakımından zenginleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca gölün gerek güneyinde ve gerekse kuzeyinde yüzeylenen ve büyük alanlar kaplayan karasal ortamı simgeleyen Miyosen yaşlı Değirmendere Formasyonu (Mid) ve Pliyosen yaşlı Hamamlı Formasyonu (Plh) içerisinde ara seviyeler halinde bulunan gölsel kireçtaşları ve marnlar ile, yine Miyosen yaşlı Mudamköy Volkanitleri (Mim) içerisindeki bazik kayalarda bulunan Ca'lu plajiyoklaslar da Ca getirebilecek diğer önemli kaynaklardır.

Magnezyum : Uluabat Gölü sularının Mg içeriği 20-32 mg/l arasında değişirken, M. Kemalpaşa Çayı sularında bu değerler 38-42 mg/l arasında saptanmıştır. M. Kemalpaşa Çayı'nda Mg değerlerinin yüksek oluşunda, inceleme alanının güneydoğusunda yüzeylenen Kretase yaşlı Kocasu Melanjı (Kk)'na ait bazik-ultrabazik kayaç topluluğunun (serpantin, piroksenit, serpantin-talk şist, uralit gabbro, mela diyorit, diyabaz gibi) büyük rol oynadığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi

bu kayalar ferro-magnezyen (olivin, amfibol, piroksen vb.) mineraller aısından oldukça zengin kayalar olup, kimyasal ayrışmadan en çok etkilenen kayalardır.

Gölde akarsudakinden daha az Mg iyonu olması ise tamamen göldeki kimyasal dengeyle ilgilidir ve göle ulaşan magnezyumun bir kısmı dolomit - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ olarak çökmekte, ve/veya diğeri +2 değeri katyonlarda olduğı gibi, su kolonundaki negatif yüklü kolloidler tarafından güçlü bir şekilde soğurulmaktadır.

Sodyum : M. Kemalpaşa Çayı'ndan alınan su örneklerinde 7.5-14 mg/l değeri arasında belirlenen Na konsantrasyonu, gölde yaklaşık 2 katına ulaşmakta ve 14.5-22.7 mg/l arasında değeri ulaşmaktadır. Göldeki bu Na fazlalığının sebebinin, gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı olamayacağı açıktır. Bu fazlalık göldeki su derinliğinin çok düşük seviyelerde olması nedeniyle bölgede meydana gelen buharlaşmadan etkilenerek göl suyundaki Na konsantrasyonunun artması şeklinde açıklanabilir.

İnceleme alanı civarında sodyum' a kaynak oluşturabilecek kayaların başında inceleme alanının güneybatısında büyük alanlar kaplayan Na' lu feldspatlarca zengin Paleosen yaşı Çataldağ granitoyidi gelmektedir. Bunun dışında göle ve akarsuya oldukça uzak olan ve çok küçük alanlar kaplayan ve granitoyid tarafından kesilmiş, bol miktarda albit (Na'lu plajiyoklas) içeren Kızıltepe metamorfileri (Pk) sodyum için önemsiz bir kayaktır.

Potasyum : Gölün güney kıyılarında daha fazla yoğunlaşan potasyum 1-3 mg/l değeri arasında belirlenmiş olup, M. Kemalpaşa Çayı'nda da yakın değeri (1.5-3.5 mg/l). M. Kemalpaşa Çayı'nda en yüksek değeri Karaorman mevkiinde 3.5 mg/l olarak belirlenmiştir. Potasyum için de en önemli litolojik kaynak K-feldspatlarca zengin Paleosen yaşı Çataldağ Granitoyidi (Paç) dir. Bunun dışında inceleme alanında özellikle gölün güneyinden güneydoğusuna doğru uzanımlı geniş mostralalar vermiş olan Triyas yaşı Soldere Formasyonu (Trkso) içerisinde de bol miktarda muskovit içeren kumtaşları ve konglomeratik kumtaşları da potasyum için önemli bir kayaktır.

Silisyum : Uluabat Gölü sularında çözünmüş silis içeriğı 0.05-1.4 mg/l arasında tespit edilmiş olup, tüm göl suları için ortalama silis miktarı 0.55 mg/l dir. Bu

rakamlar ilgili bölümde de ifade edildiği gibi tatlı su gölleri için oldukça düşüktür. Bu düşük değerlerde diatome canlılarının aktif rol oynadığı düşünülmektedir.

Bilindiği gibi silis yüksek pH değerlerinde fazla miktarda çözünmektedir. Özellikle $\text{pH} > 9$ olduğu durumlarda silisin çözünmesi önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle silise kaynak teşkil edecek olan litolojik birimlerin ilk bakışta silis içeriği yüksek olan granitik kayalar olması beklenirken, gerçekte bazik nitelikteki kayalar daha çok çözünmüş silis sağlamaktadırlar. Bunun nedeni asit magmatik kayaların mineralleri ayrışmaya karşı daha dayanıklıdır ve ayrıca silisin çözünmesi için uygun pH şartlarını sağlamamaktadırlar. Ancak bazaltik kayalardan gelen sular, pH'nın yüksek oluşu nedeniyle daha fazla miktarda çözünmüş silis içerirler. Bu rakam litrede 10-30 mg/l arasında olabilmektedir. Bunun yanısıra killi formasyonlardan gelen sular da silis içeriği yüksek olmaktadır. Buna göre düşünüldüğünde, göl sularındaki çözünmüş silise kaynak oluşturacak kayalar, Triyas yaşlı Karakaya Grubu'ndaki Sultaniye Formasyonu (Trks) 'na ait meta bazalt, bazik tuf, meta spilit, spilit, meta tuf ve meta bazit gibi bazik nitelikli kayalar ile Miyosen yaşlı Değirmendere Formasyonu (Mid)' na ait kilaşları olabilir.

Bor : Bor genelde serbest halde bulunmaz. Asit sularda ($\text{pH} < 6$) ortoborik asit olarak bulunan bor, nötr ve alkali sularda ise poliboratlarda şeklinde görülür. Göl sularında 0.239 mg/l ile 1.15 mg/l arasında değişen değerler gösteren bor iyonu, M. Kemalpaşa Çayı sularında en düşük 0.68 mg/l, en yüksek ise 1.37 mg/l olarak tespit edilmiştir. Akarsu örneklerindeki en yüksek değerin (1.37 mg/l) Orhaneli çayının Kestelek Bor Tuzu yataklarının işletmelerini geçtikten sonraki istasyondan alınan örnekte saptanması, buradaki yüksek değerin tesislerde üretim sırasında ve sonrasında meydana gelen atıklardan ve sızıntı sularından kaynaklanmaktadır. Ancak Orhaneli Çayı üzerindeki Kestelek' deki tesislerden önceki istasyondan alınan su örneğinde de bor bulunması suya bir litolojik kaynaktan bor getirimi olmasını gerektirmektedir. Bu kaynak da Miyosen yaşlı karasal çökeller şeklinde mostralara veren ve özellikle gölün güney kesimlerinde büyük alanlar kaplayan, M. Kemalpaşa Çayı'nın her iki yakasında da görülen Değirmendere Formasyonu (Mid) dir. Zira bu bölgedeki bor tuzu cevherleşmesinin tamamı bu formasyon içerisinde tüflerle ardalanmalı olarak yataklanmış bulunmaktadır ve oldukça büyük rezervlere sahiptir.

Klor : Gerek antropojenik, gerekse litolojik bir çok kaynaktan türeyebilen klor iyonu, M. Kemalpaşa Çayı'nda 7.8-12.4 mg/l değerleri arasında bulunmuş iken, Uluabat Gölü sularında 5.28-6.6 mg/l değerleri arasında seyretmektedir.

Klor iyonunun en önemli litolojik kaynağı evaporitlerdir. Bunun dışında killi kayalarda gelen sulara klor miktarı fazladır. Zira killerin gözenekliliği fazla, geçirgenliği az, daneleri küçük olması nedeniyle suyla uzun süre temas halinde olmaktadır. Ayrıca killerin kolloidal yapılarının Cl ve SO₄ iyonlarını soğurması, bu gibi kayalardan gelen suların tuz iyonlarınca zenginleşmesine sebep olmaktadır. İnceleme alanında evaporitik kayalar bulunmadığına göre, klor için en önemli kaynak, içerisinde bol miktarda kiltası tabakaları bulunan karasal çökellerden oluşan Miyosen yaşlı Değirmendere Formasyonu (Mid) olabilir, çünkü bu formasyon gölün güney ve kuzeyinde oldukça geniş alanlara yayılmış durumdadır ve M. Kemalpaşa Çayı' nın her iki tarafında da bulunmaktadır. Bunun yanı sıra mineral bazında klorit içeren formasyonlardan Triyas yaşlı Sultaniye Formasyonu (Trks) vardır ki, klor kimyasal ayrışmayla bu kayalardan sağlanmış olabilir. Gölün kuzey ve kuzeydoğusunda yüzeylemiş olan Pliyosen yaşlı Hamamlı Formasyonu (Plh) da içerisinde kiltası seviyeleri bulundurmaktadır, fakat klor için kaynak kayalar olarak düşünülmemektedir, çünkü göle getirim kuzeyden daha çok güneyden gelen yüzey ve yer altı sularıdır.

Karbonat-Bikarbonat : Göl sularında bikarbonat iyonu konsantrasyonu 81.32-238 mg/l arasında iken, M. Kemalpaşa Çayı sularında bu değerler 167.73-200 mg/l arasında değişmektedir. Ortalamaya bakıldığında akarsu örneklerinde daha fazla HCO₃ iyonu bulunmaktadır. Karbonat ise akarsu örneklerinde hiç belirlenememiş, ancak göl suyu örneklerinin 13 tanesinde 4.64-55.3 mg/l değerleri arasında ölçülmüştür. Göl suyunda karbonat iyonunun varlığı, suyun oldukça yüksek pH değerlerine sahip olması ve dolayısıyla bikarbonatın iyonizasyona uğrayarak karbonat (CO₃) iyonu vermesinden kaynaklanmaktadır. Bu iki iyonun başlıca litolojik kaynağı kireçtaşı ve dolomit gibi suyla kolay reaksiyona girebilen karbonatlı kayalardır. Bu açıdan bakıldığında M. Kemalpaşa Çayı sularında belirlenen bikarbonatın kaynağı, içerisinde blok kireçtaşları bulunan, özellikle gölün güney ve güney doğusunda geniş alanlar kaplayan Triyas yaşlı Soldere Formasyonu (Trkso) ile daha az alanlarda görülen Jura yaşlı İnاتlar Kireçtaşı (Ji) olabilir. Göl suyundaki

bikarbonatın kaynağı ise akarsu olabileceği gibi aynı zamanda, gölün yakın civarında geniş alanlar kaplayan ve göl içerisindeki adaları da meydana getirmiş olan Jura yaşlı İnatlar Kireçtaşı (Ji) da olabilir.

Sülfat : Sulu ortamda oldukça hareketli olan SO_4 iyonu, volkanlardan çıkan H_2S ve SO_2 gibi gazların oksitlenmesi, piritlerin oksitlenmesi, jips ve anhidritlerin suda az da olsa çözünmesi, organik maddelerin bozunumu ile atmosfere karışan H_2S gazının fotokimyasal yolla oksitlenmesi, deniz sularında buharlaşma ve rüzgar etkisiyle atmosfere taşınması gibi doğal yollarla olabileceği gibi, fabrika ve konutlarda yakılan petrol, kömür ve doğal gazların kül ve dumanlarının atmosfere karışması gibi antropojenik olaylarla da ortama girebilmektedir.

İnceleme alanında suya sülfat iyonu verebilecek jips ve anhidrit türü formasyonlar bulunmamaktadır. Ancak inceleme alanı içerisinde oldukça geniş alanlar kaplayan konglomera, kumtaşı, kilitaşı, miltası, marn ve tüflerden meydana gelen Miyosen yaşlı Değirmendere Formasyonu (Mid) içerisinde bol miktarda kömürlü (liniyit) seviyeler de bulunmaktadır. Bu kömürlü seviyeler yer yer işletilebilecek kalınlıklar sergilemektedir. Bunlara örnek olarak gölün güneybatısında yerleşik bulunan Aliseydi ve Yaveyli köylerinde bu formasyonlar içerisinde halk tarafından çalıştırılan linyit damarları ile, inceleme alanının oldukça güneyinde Emet Çayı güzergahına yakın olan Bükköy halkı tarafından da işletilen linyit damarları verilebilir. Dolayısıyla Miyosen yaşlı bu linyit damarları içerisinde varlığı bilinen pirit minerallerinin kimyasal yolla ayrışarak SO_4 iyonlarına ayrılması ve bunların da hidrolojik sisteme katılması mümkündür.

Ayrıca M. Kemalpaşa Çayı'nı meydana getiren kollardan biri olan Orhaneli Çayı güzergahında kurulmuş bulunan Tavşanlı'daki TKİ Kömür İşletmesi'nden çaya verilen atık sularda da bol miktarda da sülfat iyonu olduğundan akarsu ve göldeki sülfatın yukarıda zikredilen kaynaklardan türemiş olması gerekir. Sülfat konsantrasyonunun göle ulaştığında düşüş göstermesi ise göldeki sülfat indirgeyici bakterilerin varlığı nedeniyledir.

Fluor : Suda çok kolay göç eden, elektronegativitesi yüksek bir iyon olan fluor alkali ortamda F^- şeklinde bulunur. Göl ve akarsu örneklerinde fluor konsantrasyonu ortalama 0.6-0.7 mg/l değerlerinde ölçülmüştür. Fluor için kaynak oluşturabilecek

litolojik birim çoğunlukla mağmatik kayalardır. İnceleme alanında Paleosen yaşı Çataldağ Granitoyidi (Paç), Triyas yaşı Sultaniye Formasyonu (Trks), Üst Kretase yaşı Kocası Melanjı (Kk) ve Miyosen yaşı Mudamköy Volkanitleri bünyelerinde fluor bulundurabilen kayalardır ve bu birimlerin ayrışması sonucu florun çözünerek suya geçmiş olduğu düşünölmektedir.

Nitrat : Uluabat Gölü sularında nitrat konsantrasyonu en fazla 0.07 mg/l değerindeyken, bu değer M. Kemalpaşa Çayı su örneklerinde 0.61 mg/l ye kadar çıkmaktadır. Nitratin kaynağının litolojik olmaktan çok tarımsal faaliyetlerde kullanılan nitratlı gübrelerden kaynaklanan sızıntı sularının olduğu düşünölmektedir, çünkü bölge tarıma oldukça elverişli verimli bir bölgedir.

Fosfat : Uluabat Gölü sularında sadece 6 örnekte fosfat belirlenmiş olup, değerler 0.3 mg/l - 2.5 mg/l arasındadır. En yüksek değerler Halilbey Adası'nın civarında ölçölmüştür. M. Kemalpaşa Çayı suyunda ise fosfat değerı 0.5 mg/l olarak ölçölmüştür. Akarsuya kıyasla göl suyundaki 2.5 mg/l ye varan yüksek fosfat değerine, M. Kemalpaşa Çayı'ndan daha çok, tarımsal amaçlı yapılan sulama sularının daha sonra göle geri verilmesi ve özellikle yöre halkı tarafından Halilbey Adası'nda tarım amaçlı kullanılan fosfatlı gübreler sebep olmaktadır.

Demir : Uluabat Gölü sularında ortalama çözönmüş demir içeriği 398 µg/l olarak ölçölmüştür. Göl suyunun pH sı düşük olsaydı bu değer çok daha fazla olurdu. Bu değer Turekian (1977) de verilen dünya tatlı su ortalamlarına göre 4 kat daha yüksektir. Göl suyundaki çözönmüş Fe için başlıca litolojik kaynaklar, ferro-mağnezyen minerallerce zengin bazik kayalar (spilit, metaspilit, meta bazalt, bazik tüf) içeren Triyas yaşı Sultaniye Formasyonu (Trks) ile ultrabazik kayalar (piroksenit, serpantinit, uralit gabro, diyabaz, mela diyorit) dan oluşan Kretase yaşı Kocası Melanjı (Kk) olabilir.

Kurşun : Göl suyunda 9 µg/l olarak ölçölen kurşun (Pb) metali, tatlı su ortalamlarından 3 kat daha yüksektir. Göl suyundaki kurşun metalinin litolojik kaynaklardan çok antropojenik kaynaklardan gelmiş olması daha akla yatkındır. Zira göl suyu kurşunun çözönmesi için yeterince asidik değildir. Burada gölde yapılan balıkçılık faaliyeti esnasında balıkçı motorlarının kurşunlu akaryakıt kullanması

sonucu havaya karışan aerosol şeklindeki kurşunun daha sonra göl suyuna karışması söz konusudur.

Nikel-Krom-Bakır: Göl suyunda çözünmüş halde bakır (Cu) 9 µg/l, nikel (Ni) 6 µg/l, krom (Cr) ise 3 µg/l olarak tespit edilmiştir. Bu değerler söz konusu metal iyonlarının dünya tatlı su ortalama verilerinden yüksektir. Dolayısıyla Uluabat Gölünün bu metallerce de kirlenmiş olduğu açıktır. Bu metal iyonlarının kaynağının inceleme alanının güneydoğusunda geniş alanlar kaplayan Üst Kretase yaşlı bazik-ultrabazik kayaç topluluklarından oluşan Kocasu Melanjı (Kk) olduğu düşünülmektedir, çünkü bu melanja ait ultrabazik kayaçların olduğu Osmaniye ve Ömeraltı köylerinde özel şahıslar tarafından çalıştırılan krom ocaklarının varlığı bilinmektedir. Bakır ve nikelin de bu kayaçlardan kaynaklanmış olması kuvvetle muhtemeldir.



4.3. Uluabat Gölü Su Kimyasının Jeostatistiksel Açıdan Yorumu

Bu bölümde Uluabat Gölü sularına ait kimyasal analiz sonuçlarının jeostatistiksel yöntemlerle yorumlanmasına çalışılacaktır. Bu kapsamda jeokimyasal etüdlere elde edilen verilerin anlamlandırılmasında en çok kullanılan iki yöntem olan Cluster Analizi ve PCA Analizi ile Uluabat Gölü suları ve dip sedimanlarında analizi yapılan kimyasal parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri, bağımlılıkları her bir parametrenin birbirleriyle olan korelasyonlarının fonksiyonu olarak ortaya konacaktır.

4.3.1. Su Analiz Sonuçlarına Cluster Analizinin Uygulanması

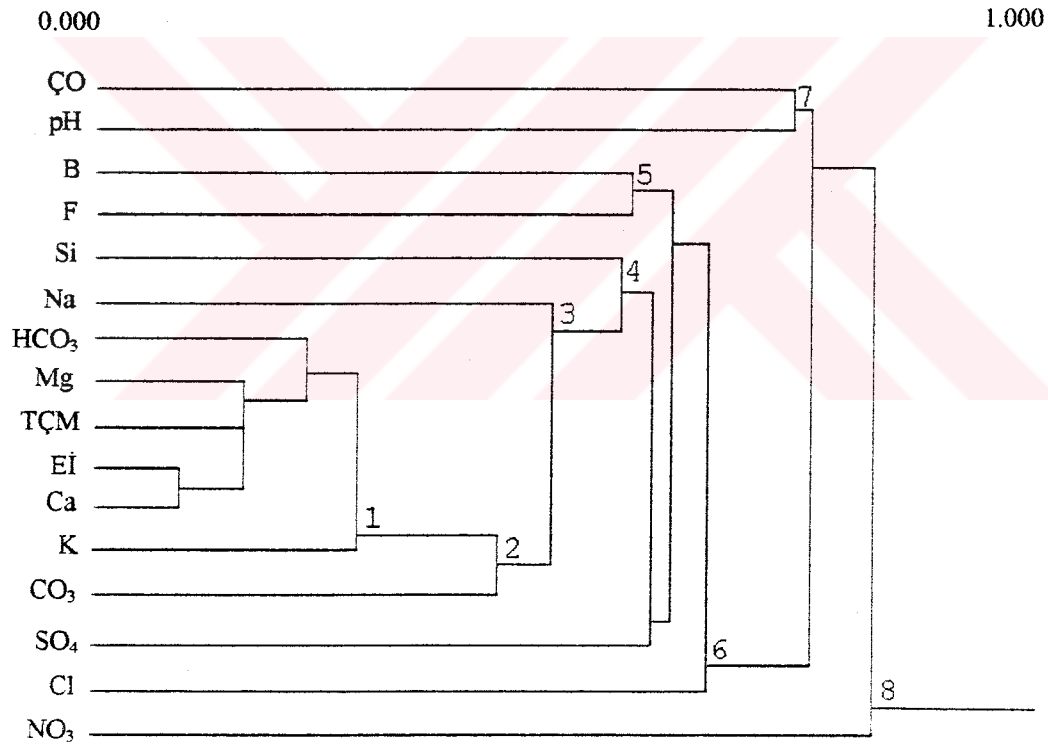
Cluster analizi, birçok parametreye ait verilerden oluşan data seti içerisinde, birbirlerine benzerlikleri ile diğer gruplardan belirgin olarak ayrılabilen ve kendi arasında bir homojeniteye sahip olan parametrelerin ortaya çıkarılmasını sağlar. Bu yapılırken tüm parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonları ortaya konur. En yüksek korelasyon katsayısına sahip olan ikili daha önce bir cluster oluşturur.

Gölden sistematik alınan toplam 32 adet su örneğinde analizi yapılan anyon ve katyonlarla birlikte, pH, ÇO ve Eİ gibi parametrelere ait korelasyon matrisi ve bunu görsel olarak ifade eden cluster dendogramı SYSTAT 5.03 istatistik programı yardımıyla ortaya konmuş, sonuçlar Tablo 4.9 ve Şekil 4.33 de verilmiştir.

Şekil 4.33 deki dendogramda görüldüğü gibi, kendi aralarında $r = 0.914$ düzeyinde oldukça yüksek korelasyona sahip Eİ-Ca ikilisine önce $r = 0.84$ lük bir korelasyonla TÇM ve Mg, sonra $r = 0.77$ değeriyle HCO_3 ve $r = 0.71$ lik korelasyonla K eklenerek 1 nolu cluster grubunu oluşturmuştur. Daha sonra CO_3 anyonu $r = 0.557$ lik korelasyonla 1 nolu cluster grubuna eklenerek 2 nolu cluster grubunu meydana getirmiştir.

Tablo 4.9. 32 adet göl suyuna ait verilerin oluşturduğu Pearson korelasyon matrisi

	PH	ÇO	Eİ	TÇM	Na	K	Ca	Mg	B	Si	HCO ₃	CO ₃	Cl	F	NO ₃	SO ₄
pH	1,000															
ÇO	0,259	1,000														
Eİ	-0,574	-0,289	1,000													
TÇM	-0,345	-0,418	0,842	1,000												
Na	-0,368	-0,240	0,332	0,496	1,000											
K	-0,765	-0,236	0,626	0,294	0,263	1,000										
Ca	-0,650	-0,258	0,914	0,695	0,283	0,724	1,000									
Mg	-0,380	-0,212	0,840	0,702	0,057	0,432	0,611	1,000								
B	0,111	0,074	-0,290	-0,370	0,155	0,005	-0,266	-0,376	1,000							
Si	-0,037	-0,259	0,126	0,323	0,398	-0,083	0,066	-0,147	0,185	1,000						
HCO ₃	0,060	-0,381	0,330	0,786	0,504	-0,208	0,162	0,271	-0,289	0,445	1,000					
CO ₃	-0,381	0,255	0,320	-0,237	-0,266	0,565	0,433	0,240	0,118	-0,316	-0,775	1,000				
Cl	-0,020	-0,086	-0,132	-0,201	-0,469	-0,156	-0,059	-0,078	-0,279	-0,168	-0,235	0,122	1,000			
F	-0,405	-0,107	0,207	0,048	0,297	0,377	0,288	-0,054	0,432	0,404	-0,134	0,267	-0,113	1,000		
NO ₃	-0,157	-0,227	-0,078	-0,096	-0,117	0,088	0,018	-0,148	-0,103	0,082	-0,091	0,026	0,188	0,152	1,000	
SO ₄	-0,232	-0,230	0,158	-0,041	-0,471	0,299	0,123	0,420	-0,238	-0,443	-0,295	0,267	0,361	-0,125	0,071	1,000



Şekil 4.33. Uluabat Gölü su analiz sonuçlarının cluster diyagramı

Na'un $r=0.496$ değeriyle bu gruba eklenmesiyle 3 nolu cluster grubu, 3 nolu gruba da $r=0.428$ ile Si ve $r=0.398$ ile SO₄ eklenerek 4 nolu cluster grubu oluşmuştur. Burada 1,2,3 ve 4 nolu cluster gruplarının bir çekirdek grup oluşturdukları ve bu grupları oluşturan parametrelerin göl sularında egemen olan anyon ve katyonlar oldukları dikkati çekmektedir. 4 nolu cluster grubuna daha sonra, kendi aralarında $r=0.432$

korelasyona sahip uçucu bileşenlerden B ve F iyonları $r=0.385$ lik korelasyonla eklenerek 5 nolu cluster grubunu, Cl ise $r=0.336$ değeriyle 6 nolu cluster grubunu meydana getirmiştir. Tüm bu gruplara daha düşük korelasyon değerleriyle CO ve pH ikilisi eklenerek 7 nolu cluster oluşmuş, en dışta ise NO_3 bileşeni eklenerek 8 nolu cluster ile dendogram kapanmıştır.

Şekil 4.33 deki dendogramda Ca ve Mg iyonlarının öncelikle HCO_3 iyonu ile daha sonra daha zayıf bir korelasyona sahip CO_3 iyonu ile birleşmesi teorik olarak doğrudur, çünkü CO_3 iyonu, HCO_3 iyonunun iyonizasyonu sonucu meydana gelir ve doğal sularda HCO_3 iyonundan sonra gelir. Ayrıca bor ve flor iyonlarının kendi aralarında bir grup yapmış olması da şaşırtıcı değildir, çünkü her ikisi de uçucu bileşenlerdendir.

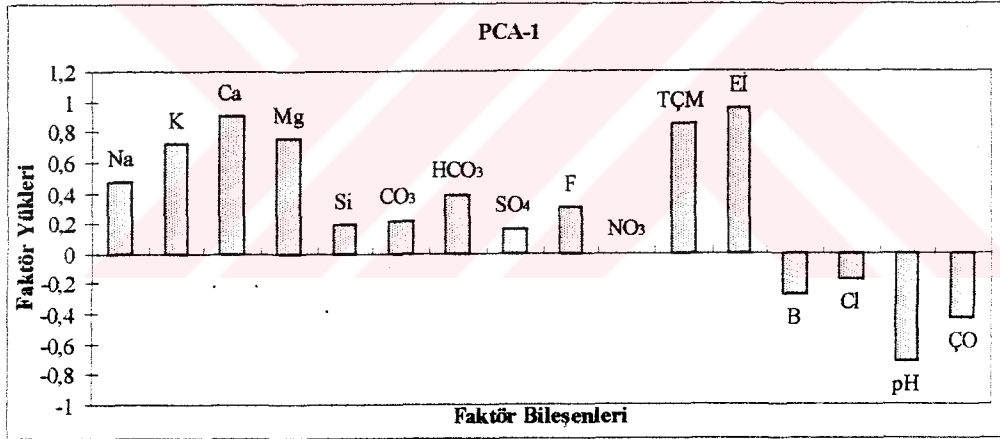
4.3.2. Su Analiz Sonuçlarına (Principal Component Analysis) PCA Analizinin Uygulanması

PCA analizinde eldeki verilere ait korelasyon katsayıları kullanarak faktör yükleri hesaplanır ve bu faktör yüklerine göre bileşenlerin yapmış oldukları gruplaşmalar ortaya çıkar. Bu bölümde Uluabat Gölü su ve sediman örneklerinde yapılan kimyasal ve fiziksel analizlerde elde edilen verilerin SYSTAT 5.03 programı altında PCA analizinde değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar ve bunlara ilişkin yorumlar verilecektir.

Gölden alınan 32 adet su örneğinde yapılan kimyasal ve fiziksel analizlerde elde edilen değerlere PCA analizinin uygulanmasıyla 4 faktör grubu oluşmuş, oluşan bu faktör yükleri ve varyans değerleri Tablo 4.10 da verilmiştir. Şekil 4.34-4.37 de ise bu faktör yüklerinin grafiksel gösterimi yer almaktadır.

Tablo 4.10. Uluabat Gölü su analizlerine ait hesaplanan faktör yükleri

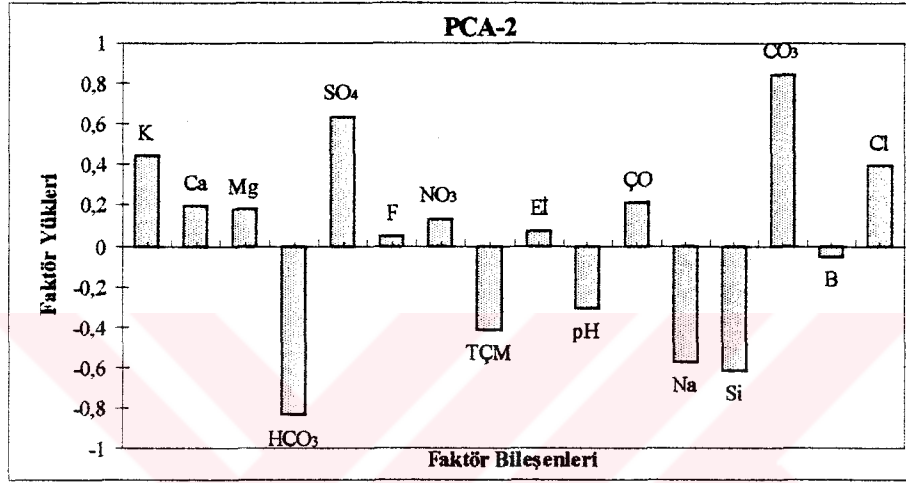
	PCA-1	PCA-2	PCA-3	PCA-4
Na	0,476	-0,579	0,398	0,099
K	0,720	0,448	0,323	-0,003
Ca	0,900	0,199	0,045	0,057
Mg	0,754	0,181	-0,399	0,247
B	-0,271	-0,054	0,744	0,074
Si	0,191	-0,619	0,360	-0,311
CO ₃	0,213	0,839	0,330	0,195
HCO ₃	0,383	-0,836	-0,350	-0,043
Cl	-0,176	0,396	-0,371	-0,504
SO ₄	0,160	0,638	-0,425	-0,21
F	0,301	0,042	0,747	-0,257
NO ₃	0,002	0,130	0,067	-0,738
TÇM	0,844	-0,421	-0,278	0,059
pH	-0,718	-0,309	-0,268	0,190
ÇO	-0,437	0,215	0,134	0,601
Eİ	0,954	0,069	-0,091	0,152
Bileşenlerin varyansı	4,901	3,290	2,396	1,549
Toplam varyans (%)	30,631	20,561	14,973	9,678



Şekil 4.34. Su analiz sonuçlarına ait 1 nolu faktör yüklerinin dağılımı

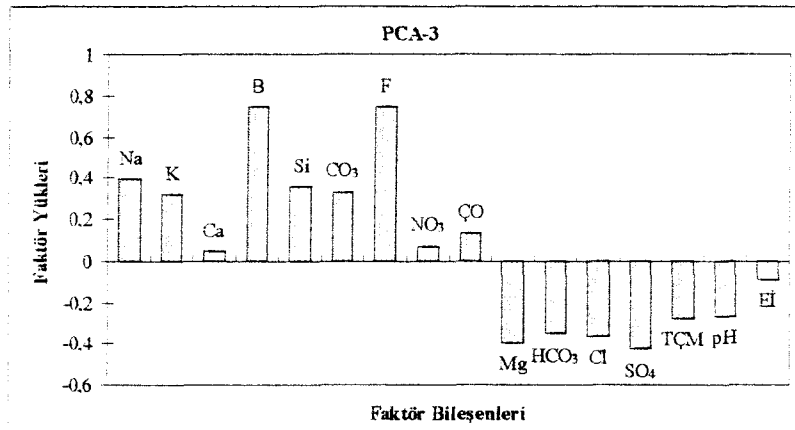
Bir nolu faktör yükleri grubunda, yüksek pozitif değerlere sahip bileşenler olarak Eİ, TÇM, Ca, Mg, Na ve K bir grup oluştururken, yüksek derecede negatif faktör yüklerine sahip pH ve ÇO ayrı bir grup oluşturmuştur. Bir no'lu grup toplam varyans değerlerinin % 30.63 'ünü oluşturmaktadır. Burada alkali ve toprak alkali elementlerin yüksek derecedeki pozitif faktör yükleriyle bir grup oluşturmaları dikkat çekicidir. Aynı grupta yüksek pozitif faktör yüküne sahip TÇM ve Eİ bileşenleri de bir arada bulunmaktadır ki, bu iki bileşen cluster analizinde de yüksek korelasyon değeriyle bir grup oluşturmuştur.

2 nolu faktör yükü olan PCA-2 de CO_3 , SO_4 ve K yüksek dereceli faktör yükü değerleriyle pozitif grubu oluştururken, HCO_3 , Si, Na ve TÇM negatif grubu oluşturmuştur. PCA-2 nin toplam varyans değerleri içerisindeki yüzdesi % 20.56 dır (Şekil 4.35). Burada yüksek faktör yüklerine sahip olan HCO_3 ve CO_3 bileşenlerinin farklı gruplarda olması ilginçtir. Karbonat anyonu genellikle HCO_3 anyonunun iyonizasyonu artış gösterdiğinden, bu iki bileşenin birbirleriyle pozitif ve negatif gruplarda olmaları normaldir.



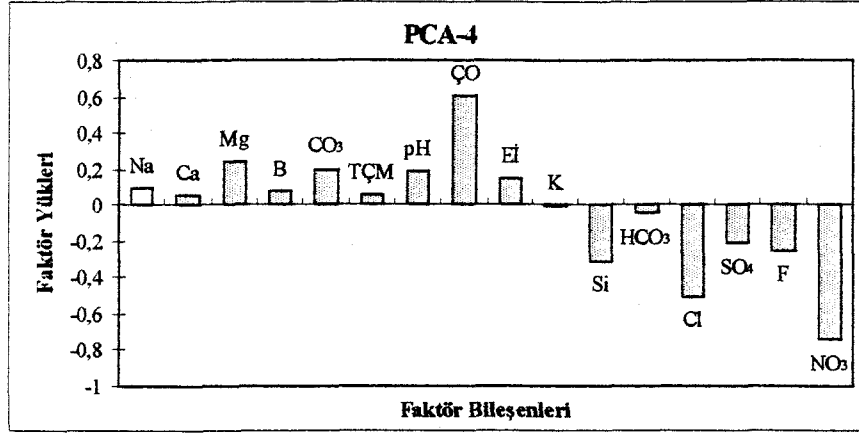
Şekil 4.35. Su analiz sonuçlarına ait 2 nolu faktör yüklerinin dağılımı

Toplam varyans değerlerinin % 14.97 sini oluşturan 3 nolu faktör yükü grubunda uçucu elementlerden olan B ve F anyonlarının yüksek pozitif faktör yükü değerleriyle birlikte bir grup oluşturdukları açıkça görülmektedir. B ve F arasındaki bu beraberlik cluster analizinde de ortaya çıkmıştır. PCA-3 de yine HCO_3 ve CO_3 anyonları ile Na ve Cl iyonlarının ters konumda oldukları görülmektedir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Su analiz sonuçlarına ait 3 nolu faktör yüklerinin dağılımı

PCA-4 de ise Si hariç tutulursa NO_3 , SO_4 , HCO_3 , Cl ve F gibi anyonların negatif tarafta bir grup oluşturdıkları gözlenmektedir. Pozitif faktör yükü değerlerine sahip bileşenlerin oluşturduğu grupta da tam tersi, katyonlar bir araya gelmişlerdir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Su analiz sonuçlarına ait 4 nolu faktör yüklerinin dağılımı

5. ASKIDA KATI MADDE JEOKİMYASI

Göllerdeki iz elementler atmosferden, akarsu getirimlerinden ve çeşitli atık deşarjlarından beslenmektedirler. Metaller göl ortamına çözünmüş halde, kolloidal ve partiküler halde taşınmaktadır. Taşınan (allokton) partiküller tane boyuna ve yoğunluklarına göre ya askıda kalır, ya da belli bir süreçte tamamen göl tabanına çökerler. Kolloidlerin askıda kalış süreleri oldukça uzun olduğu için çökmesi biraz daha zaman alır. Literatürde genellikle tane boyu 8 mikron civarında olan tanecikler “askıda katı madde” olarak tanımlanmaktadır.

Göl ortamındaki sedimanların kimyasal karakteristikleri üzerinde askıdaki maddelerin önemli bir etkisi vardır. Askıda katı madde kapsamına giren bileşenler normal olarak, silt parçacıkları, kil, organik kırıntılar ile alg ve planktonlar şeklinde sıralanabilir. Yerleşim alanlarından ve endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanan atık sularının deşarjı ile, tarım arazilerinde meydana gelen erozyon ve diğer etkenlerle askıda katı madde miktarı artabilir ve niteliği de değişebilir.

Wang ve Brabec (1969) askıda katı madde ile türbidite arasında güçlü bir ilişkinin olduğundan bahsetmiştir. Bu parçacıklar suyun hareketli olduğu ortamlarda ağırlıklarının da çok az olması yüzünden dibe çökemezler ve su kolonunda kalırlar. Ayrıca göl dibine çökelmiş olan malzemenin bir kısmı da yine suyun etkisiyle su kolonuna geri döner. Bu olaya terminolojik olarak “askıda kalma” denmektedir. Bu parçacıkların bunları meydana getiren bileşenlerin niteliğine göre kendine özgü kimyasal ve fiziksel özellikleri vardır. Örneğin bu parçacıkların pozitif veya negatif elektrik yükleri vardır ve ayrıca su içerisindeki iyonlarla iyon alışverişinde bulunabilmektedirler.

Göllerin jeokimyasal olarak incelenmesinde askıda katı maddenin önemi çok büyüktür; çünkü suda çözünmüş halde bulunan metallerin önemli bir kısmı oksijenli ortamda pH'nın artmasına paralel olarak organik ve inorganik bileşenlerden oluşan askıda madde tarafından soğurulur ve böylece sudaki metal konsantrasyonu azalır.

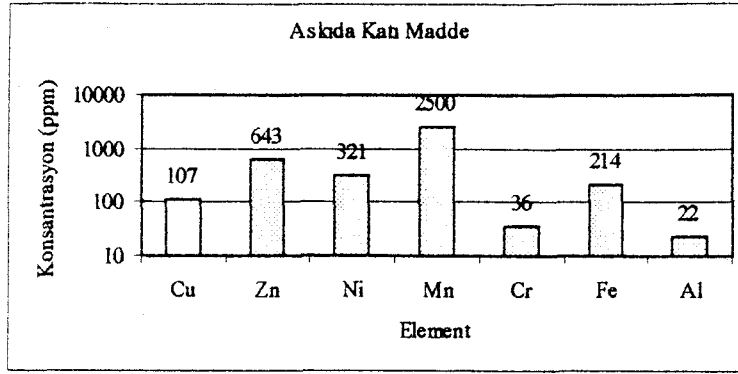
Su kolonundaki askıda katı madde organik ve inorganik şeklinde iki farklı türde bileşenden meydana gelir. Daha çok alglerden oluşan organik malzemenin metal konsantrasyonu, inorganik malzemeninkinden oldukça azdır. Dolayısıyla askıda katı madde içerisinde alg türü organik madde miktarının inorganik maddeye oranla artması, tüm askıda katı maddenin metal konsantrasyonunun azalmasına sebep olur. Ayrıca alg faaliyeti arttığında suda kalsiyum karbonat çökelişi de artmaktadır. Böylece gölde otijenik faz oluşumu ile metallerin karbonat oluşturarak dibe çökmesi gerçekleşeceğinden, askıda katı maddenin metal konsantrasyonu da azalacaktır.

Diğer yandan ortamda pH'nın artması, Ni, Zn, Cu ve diğer bazı ağır metallerin göl tabanına çökmeden önce askıdaki madde tarafından tutulmasına ve dolayısıyla yüzey sularında bu metallerin konsantrasyonlarının azalmasına neden olur (Salomons ve Förstner, 1984).

Bu çalışma kapsamında İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümündeki laboratuvarlarda Sartorius-AG model vakumlu filtre cihazı ve 0.45 µm gözenek çapına sahip selüloz asetat filtre kağıtları kullanarak gölün değişik kesimlerinden alınan su örneklerinin 5 lt lik kısmından askıda katı madde elde edilmiştir. Her birinin ağırlığı hassas terazi ile önceden tartılarak belirlenen selüloz asetat niteliğindeki filtre kağıtları, süzmenin hemen ardından 105 °C lik etüvde kurutulmuş ve askıda madde ile birlikte hassas olarak tartılmıştır. Filtre kağıtlarının ağırlığı belli olduğundan askıda katı maddenin miktarı kolaylıkla belirlenebilmiştir. Elde edilen askıda katı madde Merck purum % 65 lik HNO₃ yardımıyla çözeltiye alınarak atomik absorpsiyon spektrometresi ve spektrokolorimetre kullanarak Jeokimya Laboratuvarı'nda kimyasal analizlere tabi tutulmuştur. Fe ve Al elementleri kolorimetrik metotla spektrokolorimetre cihazında, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn elementleri ise atomik absorpsiyon spektrometre cihazında tayin edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 5.1 de verilmiş, Şekil 5.1 de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Uluabat gölünden alınan askıda katı maddede yapılan kimyasal analizler ve sonuçları (µg.g⁻¹ = ppm)

Cu	Zn	Ni	Cr	Mn	Al	Fe
107	643	321	36	2500	22	214



Şekil 5.1. Uluabat Gölü'ndeki askıda katı maddenin ağır metal konsantrasyonları

Şekil de görüldüğü gibi askıda katı madde belirlenen elementler çokluk sırasına göre;

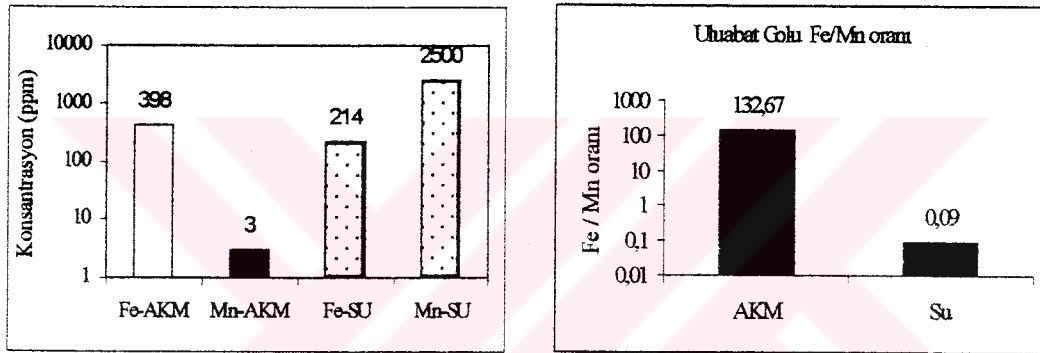
$Mn > Zn > Ni > Fe > Cu > Cr > Al$ şeklinde yazılabilir.

Al konsantrasyonunun 22 ppm gibi oldukça az bir değerde olduğu dikkat çekmektedir. Al, askıda katı maddede analizi yapılan tüm elementler içerisinde % 0.57 lik bir paya sahiptir. Bu sonuca bakarak, Uluabat Gölü'nün askıda madde bileşiminde kil minerallerinin oransal olarak az olduğu, belki de hiç olmadığı, daha çok organik madde bakımından zengin olduğu ifade edilebilir, çünkü kil minerallerinin varlığında alüminyum değeri yüzde mertebelerini bulmaktadır. Örneğin Uluabat Gölü dip sedimanlarında alüminyum miktarı % 10-15 arasında değişmektedir. Gerçekten de dip sedimanlarında yapılan X ışınları difraksiyonu (XRD) incelemelerinde bol miktarda illit, smektit ve klorit gibi kil mineralleri belirlenmiştir. Suda çözünmüş halde alüminyum ölçülememiş olması göz önüne alınarak, askıda katı maddede ölçülen 22 ppm mertebesindeki alüminyumun sudan kaynaklanmadığı, tamamen göl içerisindeki partiküler maddelerden geldiğini ortaya koymaktadır.

Diğer yandan Fe ve Mn elementlerinin miktarı ve birbirine oranları da incelemeye değer bir konudur. Fe ve Mn farklı iyon yüklerine sahip elementlerdir. Demir Fe (II) ve Fe (III) halinde, manganez ise Mn (II), Mn (III) ve Mn (IV) halinde bulunur. Yeterli düzeyde çözünmüş oksijen içeren sularda demir ve manganez Fe (III) ve Mn (III ve IV) şeklinde bulunur. Böyle yükseltgen ortamlarda Fe ve Mn, kolloidler ve partiküller halde hidrolize olmuş oksit-hidroksitler olarak görülür. Suda bulunan organik materyal, güneş ışığı varlığında Fe ve Mn oksitlerinin azalmasına yol

açabilir (Collienne, 1983.). Oksijenin olmadığı indirgen koşullarda ise bu elementler Fe (II) ve Mn (II) şeklindedir. Bu 2 değerlikli iyonlar, $4 < \text{pH} < 8$ aralığında çok fazla çözünme özelliğine sahiptirler. Uluabat Gölü'nde de çoğunlukla yükseltgen koşullar hakim olduğundan suda bulunan Fe ve Mn' ın +2 değerlikli olduğu söylenebilir.

Askıda katı maddede belirlenen Fe miktarı 214 ppm iken Mn miktarı 2500 ppm ölçülmüştür ki, demir' in 10 katından daha fazladır. Fe in tüm elementler içerisindeki payı % 5.57 iken Mn elementinin payı % 65.10 dur. Ancak suda çözünmüş halde bulunan Fe ve Mn içeriğine ve oranına baktığımızda, Uluabat Gölü suyunda Fe / Mn oranı 398/3 düzeyindedir. Buna göre, askıda katı madde ve sudaki Fe / Mn oranları arasında bir ters orantıdan söz edilebilir (Şekil 5.2). Dip sedimanlarında ise askıda katı maddedekinin en fazla yarısı kadar Mn (1240 ppm) belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Askıda katı madde ve suda Fe ve Mn miktarları ve Fe/Mn oranları

Askıda katı maddedeki çinko (Zn) konsantrasyonu 643 ppm olarak ölçülmüş olup, bu değer dip sedimanlarındaki çinko miktarının yaklaşık 3 katıdır. Tüm elementler içerisindeki payı % 16.75 dir. Çözünmüş Zn miktarı ise 8 ppb gibi çok çok düşük oranda ölçülmüştür. Askıda katı madde üzerinde yapılan araştırmalarda, alg türü canlıların sudaki çinko (Zn) elementini soğurduğunu ve dolayısıyla sudaki çinko konsantrasyonunu azalttığını ortaya koymuştur (Baccini ve Joller, 1981). Ayrıca Fe ve Mn oksitlerinin oldukça büyük miktarda Zn içeriğine sahip oldukları bildirilmiştir (Lerman ve diğ., 1995).

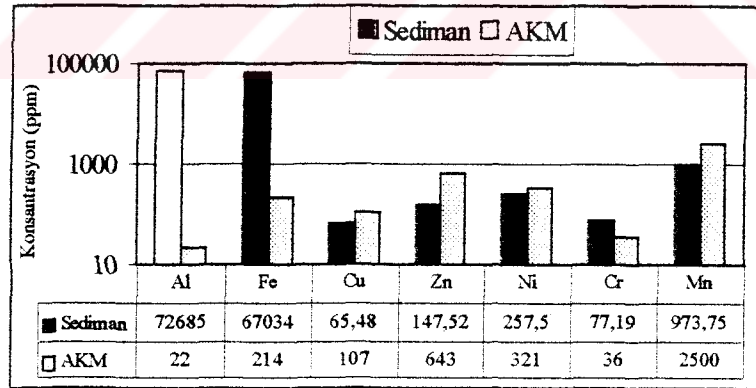
Doğal sularda krom Cr (III) ve Cr (VI) şeklinde iki oksit ürün halinde bulunur. $\text{pH} < 6.3$ şartlarında suda çözünmüş en önemli krom (Cr-III) bileşiği CrOH^{2+} iken daha yüksek pH değerlerinde ($\text{pH} : 6.3-10.5$) Cr(OH)_3 hakimdir. Cr (IV) ise HCrO_4^- ve CrO_4^{2-} şeklinde gözlenir. Cr (VI) Fe (II) ve sülfidlerin etkisiyle indirgenmektedir. Araştırmalar ayrıca organik maddenin de Cr için indirgeyici etkisi olduğunu ortaya

koymuştur (Saleh et.al. 1989). Cr (III) iyonu, düşük pH koşulları olmadığı durumda sudaki partiküller tarafından kolaylıkla soğurulabilir.

Krom elementi askıda katı maddede 36 ppm düzeyinde ölçülmüş olup, tüm elementler içerisindeki payı % 0.94 dolayındadır. Dip sedimanlarındaki Cr konsantrasyonu ortalama 77 ppm civarındadır. Göl suyunda çözünmüş olarak bulunan Cr miktarı ise 3 ppb dir. Suyun pH derecesi büyük olduğundan, çözünmüş Cr' un büyük bir kısmının askıda madde içerisindeki organik bileşenler tarafından tutulduğunu söylemek mümkündür.

Nikel 321 ppm değeriyle askıda katı maddede miktar bakımından 8.36 lık yüzdeyle üçüncü sıradadır. Bu rakam dip sedimanlarındaki Ni miktarından (257 ppm) fazla olmakla birlikte diğer elementlere kıyasla aralarındaki fark çok büyük değildir. Suda çözünmüş Ni değeri ise 6 ppb gibi çok küçük bir değere sahiptir. Ni elementi de diğerleri gibi yüksek pH değerinde adsorpsiyon kuralları gereğince askıda katı madde ve dip sedimanları tarafından soğurulmuş veya iyon değiştirmeyle tutulmuş ve bu yüzden sudaki konsantrasyonu düşmüştür.

Şekil 5.3, Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr ve Mn elementlerinin askıda katı madde ve dip sedimanlarındaki konsantrasyonlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil 5.3. Uluabat Gölü askıda madde ve dip sedimanlarında bazı metallerin karşılaştırması

Burada dikkati çeken konu, Al, Fe ve Cr elementinin dip sedimanında daha fazla konsantre olmasına karşın Ni, Zn, Mn ve Cu elementlerinin askıda katı maddede daha yüksek değerlerde olduğudur. Bunun sebebi Zn, Mn, Ni ve Cu gibi mobiliteleri yüksek olan metallerin, dip sedimanlarına göre daha küçük boyuta sahip olan askıda

madde tarafından muhtemelen adsorplanmasıdır. Al elementinin dip sedimanında daha yüksek değerde olması ise dip sedimanlarında daha fazla kil minerali olduğu içindir.

5.1. Askıda Katı Maddede Metal Zenginleşmesi

Sulu ortamlarda bulunan partiküllerin metal zenginleşmesini ya da kirliliğini kantitatif olarak ortaya koymak amacıyla iki farklı formül geliştirilmiştir. Bunlardan biri Müller (1979) tarafından ortaya konan “Jeoakümülayon İndeksi” dir ve I-geo olarak simgelenir.

$$I\text{-geo} = \log_2 (C_n / 1.5 * B_n) \quad (5.1)$$

(5.1) denkleminde C_n ölçülen metalin konsantrasyonu, B_n ise o element için temel değeri ifade eder. Eğer söz konusu bölge için bir temel değer yoksa ortalama şeyl bileşimindeki değer alınabilir. 1.5 katsayısı ise litolojik değişimlerden kaynaklanabilecek olası temel değer değişimleri için ortaya konmuştur. Tablo 5.2 de Müller (1979) tarafından ortaya konan sedimanlar için Jeoakümülayon İndeksi sınıflaması verilmiştir.

Tablo 5.2. Sedimanlardaki metaller için I-geo sınıflaması (Müller, 1979).

Jeoakümülayon İndeksi	I-geo sınıfı	Sediman kalitesi
>5	6	aşırı kirlenmiş
4-5	5	kuvvetli-aşırı kirlenmiş
3-4	4	kuvvetli kirlenmiş
2-3	3	orta derecede-kuvvetli kirlenmiş
1-2	2	orta derecede kirlenmiş
0-1	1	kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
0	0	kirlenmemiş

Bu indekse göre Uluabat Gölü askıda katı maddeye ait metal kirliliği Tablo 5.3 de gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalardaki background değerleri olarak Turekian ve Wedepohl (1961) de verilen ortalama şeyl verileri kullanılmıştır. Tablodaki verilerden hareketle Uluabat Gölü'nün askıda katı madde malzemesinde Zn ve Ni metallerinin orta ve kuvvetli dereceli kontaminasyonundan bahsetmek mümkündür. Mn, Cu, Cr ve Fe metallerinin ise askıda katı maddedeki kontaminasyonu zayıftır.

Tablo 5.3. Uluabat Gölü askıda katı maddede jeoakümülayon indeks sınıflaması

Metal	İndeks Değeri	Sınıfı	Tanımlama
Zn	2.17	3	Orta-kuvvetli kirlenmiş
Ni	1.65	2	Orta derecede kirlenmiş
Mn	0.97	1	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
Cu	0.62	1	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
Cr	< 0	1	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
Fe	< 0	1	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş

Metal kirlenmesiyle ilgili diğeri bir değeriendirme ise Kemp ve diğ. (1976) tarafından ileri sürülen “Zenginleşme Faktörü”dür. Bu da EF ile belirtilir ve aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

$$EF = (\text{Metal kons örnek} / \text{Al örnek}) / (\text{Metal temel değeri} / \text{Al temel değeri}) \quad (5.2)$$

Burada Al en az çözünen (konservatif) metal olması yüzünden kullanılmaktadır. Temel değeri olarak da Turekian ve Wedepohl (1961) tarafından ortaya konan ortalama şeyl verileri kullanılmıştır. Bu formüle göre yapılan hesaplama sonunda ;

- EF > 1 ise metalin sedimanda zenginleşme gösterdiği
- EF < 1 ise metalin yerkabuğuna geçiş yaptığı
- EF ≈ 1 ise metalin yerkabuğu değerlerine yakın olduğu söylenir.

Bu kriterlere göre Uluabat Gölü’ne ait askıda katı maddede söz konusu metallerin sedimanda zenginleşme değeriendirmesini yapmak amacıyla oluşturulan Tablo 5.4 de, her bir metalin askıda katı maddede ve ortalama şeyl bileşimindeki Al elementine oranı verilmiştir.

Tablo 5.4. Askıda katı madde ve ortalama şeyldeki metal/Al oranları

	Cu/Al	Zn/Al	Ni/Al	Cr/Al	Mn/Al	Fe/Al
AKM	107/22	643/22	321/22	36/22	2500/22	214/22
Standart (/10000)	45/8	95/8	68/8	90/8	850/8	47000/8
EF	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1

Askıda katı madde için bu hesaplama yapıldığında tüm elementler için EF >> 1 bulunmuştur. Buna göre Zenginleşme Faktörü esas alındığında söz konusu elementlerin askıda katı maddede zenginleştiği sonucu ortaya çıkar.

6. ULUABAT GÖLÜ'NÜN HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölüm iki alt bölümden meydana gelmekte olup, ilk alt bölümde Uluabat Gölü sularının yapılan kimyasal ve fiziksel ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak Uluabat Gölü ve gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı değişik modellere göre sınıflandırılacaktır. İkinci alt bölümde ise Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularının köken açısından değerlendirmeleri yer alacaktır.

6.1. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Hidrojeokimyasal Modellemesi

Doğal sular kullanım amacına göre sınıflandırılır. İçme, tarım ve petrol araştırmalarının her biri için farklı sınıflamalar kullanılmaktadır. Bu bölümde Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularının kimyasal sınıflaması ile tarım ve sulamada kullanılma olanakları çeşitli sınıflamalarla ortaya konacaktır.

6.1.1. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Sularının Kimyasal Sınıflaması

6.1.1.1 Toplam Çözünmüş Madde Miktarına Göre Sınıflama

Su içinde çözünen toplam madde miktarına göre doğal suların sınıflaması aşağıdaki gibi iki farklı şekilde yapılmaktadır:

Sınıf	TÇM (mg/l)
Tatlı sular	0-1000
Hafif tuzlu sular	1000-10,000
Tuzlu sular	10,000-100,000
Çok tuzlu sular	>100,000

Diğer yöntem ise 1 litre suyun buharlaştırılması sonucunda elde edilen katı maddenin ağırlığına, yani buharlaşma kalıntısına göre yapılan sınıflamadır.

Sınıf	Buharlaşma Kalıntısı (g/l)
Tatlı sular	< 1
Hafif tuzlu sular	1-5
Tuzlu sular	5-10
Çok tuzlu sular	> 50

Toplam çözünmüş madde miktarına göre değerlendirildiğinde; Uluabat Gölü 226.3-368.6 mg/l arasında, M. Kemalpaşa Çayı ise 325-360 mg/l arasındaki TÇM değerleri ile Tatlı sular sınıfında kabul edilebilir.

6.1.1.2. Schoeller (1955) Sınıflaması

Schoeller suları klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre sınıflandırmıştır. Bunlardan klorür konsantrasyonu diğerlerinden daha önemlidir.

A- Klorür Konsantrasyonu

- a- Hiperklorürlü sular : Cl miktarı 700 meq/l den fazla olan sular
- b- Klorotalasik sular : Cl miktarı 420-700 meq/l arasında olan sular
- c- Klorürce zengin sular : Cl miktarı 140-200 “ “ “ “
- d- Orta klorürlü sular : Cl miktarı 40-140 “ “ “ “
- e- Oligoklorürlü sular : Cl miktarı 15-40 “ “ “ “
- f- Olağan klorürlü sular : Cl miktarı 15 meq/l den az olan sular (Yeraltı suları).

B- Sülfat Konsantrasyonu

- a- Hiposülfatlı sular : Sülfat miktarı >58 meq/l olan sular (Deniz suları)
- b- Sülfatlı sular : Sülfat miktarı 24-58 meq/l arasında olan sular (İçme sularında üst sınır 24 meq/l dir).
- c- Oligosülfatlı sular : Sülfat miktarı 6-24 meq/l arasında olan sular
- d- Olağan sülfatlı sular : Sülfat miktarı <6 meq/l olan sular (Yeraltı suları)

C- Karbonat-bikarbonat konsantrasyonu

- a- Hiperkarbonatlı sular : Karbonat miktarı >7 meq/l olan sular
- b- Oligokarbonatlı sular : Karbonat miktarı 2-7 meq/l arasında olan sular (Yeraltı suları)
- c- Olağan karbonatlı sular : Karbonat miktarı < 2 meq/l olan sular

Bu sınıflamaya göre Uluabat gölü suları;

0.15-0.18 meq/l Cl ile “Olağan klorürlü sular”

0.63-1.04 meq/l SO₄ ile “Olağan sülfatlı sular”

2.20-3.90 meq/l karbonat ile “Oligo-karbonatlı sular” sınıfına girmektedir.

M. Kemalpaşa Çayı suları da benzer şekilde ;

0.22-0.35 meq/l Cl ile “Olağan klorürlü sular”

0.63-1.04 meq/l SO₄ ile “Olağan sülfatlı sular”

2.94-3.28 meq/l karbonat ile “Oligo-karbonatlı sular” sınıfına girmektedir.

6.1.1.3. Piper (1953) Sınıflaması

Piper, suların anyon ve katyon değerlerini kullanarak üçgen ve paralel kenar diyagramlarla suları sınıflandırmış ve sonuçta suları bazı alt gruplara ayırmıştır. Bu sınıflamada suların anyon ve katyonlarının miliekivalan litre değerleri yüzde olarak hesaplanarak ilgili üçgen diyagramda kullanılır. Üçgenlerden biri % Mg, % Ca ve % Na+K değerlerini, diğeri ise % Cl, % CO₃ + HCO₃ ve % SO₄ değerlerini taşır. Bu iki üçgene yerleştirilen veriler, paralel kenar diyagrama birbirini keser şekilde taşınır. Doğruların kesiştiği nokta söz konusu suların girdiği alanı tayin eder. Piper, üçgen diyagramları dokuz bölgeye ayırmıştır.

1 nolu alan : Toprak alkali elementler (Ca+Mg) > Alkali elementler (Na+K)

2 nolu alan : Na+K > Ca+Mg

3 nolu alan : Zayıf asit kökleri (CO₃ + HCO₃) > Güçlü asit kökleri (Cl+SO₄)

4 nolu alan : (CO₃ + HCO₃) < (Cl+SO₄)

5 nolu alan : Karbonat sertliği % 50 den fazla olan sular

6 nolu alan : Karbonat harici sertliği % 50 den fazla olan sular (CaSO₄, MgSO₄, CaCl₂, MgCl₂)

7 nolu alan : Karbonat harici alkalinitesi % 50 den fazla olan sular (NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu sınıfta yer alır

8 nolu alan : Karbonat alkalileri % 50 den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.

9 nolu alan : İyonların hiçbirisi % 50 yi geçmeyen karışık sular bu alana girer.

Bu kategorilere göre değerlendirildiğinde Uluabat Gölü suları 1 ve 3 nolu alanlara düşmektedir. Bir başka deyişle, Uluabat Gölü suları toprak alkali elementlerin (Ca+Mg) alkali elementlere (Na+K) göre daha baskın olduğu, zayıf asit kökleri olan CO₃ + HCO₃ iyonlarının güçlü asit kökleri olan Cl+SO₄ iyonlarından fazla olduğu sular olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6.1).

M. Kemalpaşa Çayı sularına ait veriler de bu sınıflamaya göre benzer şekilde toprak alkali elementlerin (Ca+Mg) alkali elementlere (Na+K) göre daha baskın olduğu, zayıf asit kökleri olan CO₃ + HCO₃ iyonlarının güçlü asit kökleri olan Cl+SO₄ iyonlarından fazla olduğu sular olarak tanımlanmaktadır (Şekil 6.2).

6.1.1.4. Sulin (1946) Sınıflaması

Sulin suları değişik genetik tip, grup ve alt gruplara ayırmıştır. Arazi yüzey koşulları sülfat-sodyum ve bikarbonat-sodyum; denizel ortam, klorür-magnezyum; derin yeraltı koşulları ise klorür-kalsiyum genetik tiplerini doğururlar. Gruplar, suyun değişim durumunu belirleyen başlıca anyonları, alt grupları ise egemen katyonlar belirler. Buna göre Sulin suları qNa ve qCl oranlarına göre iki ana genetik gruba ayırmıştır:

$$qNa / qCl > 1 \text{ ve } qNa / qCl < 1; \quad (q = \% \text{ meq/l})$$

Eğer suda $qNa / qCl > 1$ ise, Na miktarı Cl miktarından fazladır. Bu fazlalık sodyumun sülfat veya karbonatlarla birleşerek aşağıdaki genetik su tiplerini oluşturmasını sağlar.

Eğer $(qNa-qCl)/qSO_4 < 1$ ise $\Rightarrow$ sülfat-sodyum tipi

Eğer $(qNa-qCl)/qSO_4 > 1$ ise $\Rightarrow$ bikarbonat-sodyum tipi

Eğer suda $qNa / qCl < 1$ ise, sudaki fazla klorür, Ca ve Mg ile birleşerek aşağıdaki genetik tipleri verir:

Eğer $(qCl-qNa)/qMg > 1$ ise $\Rightarrow$ kalsiyum-klorür tipi

Eğer $(qCl-qNa)/qMg < 1$ ise $\Rightarrow$ magnezyum-klorür tipidir.

Bu sınıflamaya göre değerlendirildiğinde $(qNa-qCl)/qSO_4$ oranının 1 den küçük olması nedeniyle Uluabat Gölü su örneklerinin “sülfat-sodyum tipi”nde olduğu açıkça görülmektedir. Benzer şekilde M. Kemalpaşa Çayı suları da tıpkı göl suyunda olduğu gibi “sülfat-sodyum tipi”ndedir.

6.1.2. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Sularının Sulama Suyu Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi

Su kaynaklarının giderek kirlenmesi, suların tarım ve sulama amaçlı kullanılma imkanlarını da önemli ölçüde daraltmaktadır. Sulama suyunda yüksek iyon konsantrasyonu verimi azaltır. Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum iyonu ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini ve havalanma özelliğini olumsuz yönde etkiler, sonuçta bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Ayrıca sularda bor ve klor iyonlarının fazlalığı da aynı şekilde bitkilerin gelişimi açısından olumsuz etki yapar. Uluabat Gölü’nden şu anda içme suyu amaçlı yararlanma mümkün olmamakla beraber, halen

geniş bir tarım alanında sulama yapılmaktadır. Bu bakımdan Uluabat Gölü ve gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı sularının sulama kriterlerine göre incelenmesi önemli görülmüştür.

6.1.2.1. Sodyum Tehlikesi

Toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltan ve sulamadan sonra zeminin üst katmanlarında soğurulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur ve bitki köklerinin havalanmasını engeller. Sodyum ayrıca bitkiler için zehirli bir ortam meydana getirir. Sodyum tehlikesi SAR (Sodium Adsorption Ratio) şeklinde ifade edilir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (6.1)$$

Denklemden Na, Ca ve Mg elementlerinin miliekivalan litre değerleri kullanılır. Buradan elde edilen rakama göre söz konusu suların SAR tanımlaması aşağıdaki şekilde yapılır.

	<u>SAR</u>
Çok iyi özellikte sulama suları	<10
İyi özellikte sulama suları	10-18
Orta özellikte sulama suları	18-26
Kötü özellikte sulama suları	>26

Uluabat Gölü sularının ortalama Na değeri 0.75 meq/l, ortalama Ca+Mg değeri ise 3.07 meq/l olarak ele alındığında SAR değeri 0.6 değerini almaktadır. M. Kemalpaşa Çayı suları için SAR değeri 0.4 hesaplanmıştır. Dolayısıyla Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı suları'nın sodyum tehlikesi yoktur ve sodyum açısından çok iyi özellikte sulama suları sınıfında yer almaktadır.

6.1.2.2. Bor Tehlikesi

Belirli bir miktardan fazla bor konsantrasyonu hem insan hem de diğer canlıların yaşamı için tehlikelidir. İçme sularında hiç bulunmaması gereken bor, kullanma sularında ise belli bir düzeyi geçmemelidir. Bu düzey bor'a karşı hassaslık kriterine göre belirlenmektedir (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Bor konsantrasyonuna göre değişik bitkiler için sulama sularının Wilcox sınıflaması

Bor (mg/l)	Duyarlı Bitkiler	Yarı Dayanıklı Bitkiler	Az Dayanıklı Bitkiler
Çok iyi	< 0.33	< 0.67	< 1.0
İyi	0.33-0.67	0.67-1.33	1.0-2.0
Kullanılabilir	0.67-1.0	1.33-2.0	2.0-3.0
Şüpheli	1.0-1.25	2.0-2.5	3-3.75
Kullanılamaz	> 1.25	> 2.5	> 3.75

Gerek göl ve gerekse göle akan Mustafakemalpaşa çayından alınan örnekler bor konsantrasyonu açısından ele alındığında, bu suların özellikle duyarlı bitkiler için kullanma amaçlı olarak Wilcox sınıflamasına göre genelde “kullanılabilir” ve bir-iki örnekte “şüpheli” sınıfına girdiği görülmektedir. Sadece Kestelek Bor Tuzu yataklarının yakınından alınan örnekte 1.37 mg/l gibi yüksek bir değerde bor belirlenmiştir, ancak çayın yüksek debisi sayesinde bu değeri 1 mg/l nin altında bir değerde göle ulaşmaktadır

6.1.2.3. Klorür tehlikesi

Yüksek konsantrasyondaki klorür iyonu, bitkilerin gelişimini engellediği için kullanma sularında tehlike oluşturur. Bitkiler tarafından kolayca soğurulan klorür iyonu bitki dokularında ve yapraklarında birikerek yaprak yanması olarak bilinen olaya sebep olur. Ancak klorür konsantrasyonları göz önüne alındığında gerek Uluabat Gölü ve gerekse M. Kemalpaşa Çayı suları için klorür tehlikesinden bahsetmek mümkün değildir.

6.1.3. Suların Doyma Endeksleri

Hidrojeokimya çalışmalarında suların anyon-kasyon dengeleri, iyon etkinliği, pH derecesi ve denge sabiti gibi parametrelerin fonksiyonu olarak kalsit, dolomit ve sülfat doygunluklarının saptanmasının ayrı bir önemi vardır. Bu konu özellikle, sondaj kuyuları ve su dağıtım borularında meydana gelebilecek bazı çökelmelerin oluşturacağı sorunlar açısından irdelenmeye değer niteliktedir.

6.1.3.1. Kalsit Doyma Endeksi (Sc)

Saf suda kalsit (CaCO_3) in çözünürlüğü çok azdır. Ancak su içinde çözünmüş halde CO_2 varsa bu asit etkisi yapacağından CaCO_3 in çözünmesi artar. Ancak Tablo 4.4 de

görüldüğü gibi göl suyunun pH' sı ortalama 8.86 olup oldukça bazik özellik göstermektedir. Suyun bazik olması karbonatların çözünmesinden çok çökmesini kolaylaştırmaktadır. Bu durumu ifade etmek için Kalsit Doyma Endeksi (Sc) terimi kullanılır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$S_c = \log (IAP/K_c) \quad (6.2)$$

IAP_c ; kalsit iyon etkinlik çarpımıdır ve (6.3) deki gibi ifade edilir.

$$IAP_c = (aCa^{2+})(aHCO_3^-)K_2 / 10^{-pH} \quad (6.3)$$

Bu iki eşitlik birleştirildiğinde ;

$$S_c = \log (aCa^{2+}) + \log (aHCO_3^-) + \log K_2 - \log 10^{-pH} - \log K_c \quad (6.4)$$

denklemini elde edilir. Buna göre S_c sayısının yorumu şu şekilde yapılır:

$S_c > 0$ ise suda $CaCO_3$ çökmesi izlenir

$S_c = 0$ ise su $CaCO_3$ ca doygundur.

$S_c < 0$ ise suda $CaCO_3$ çözünmesi meydana gelir

S_c (kalsit doyma endeksi) denkleminde yer alan parametrelerin elde edilmesinde su analizlerinin mg/l değerleri kullanılır. (6.3) denklemindeki aCa^{2+} ; Ca aktivitesini göstermektedir.

Tuzların suda çözünürlüğünü iyonlar arası tepkime hızlarını etkileyen nedenlerden biri de “iyon etkinliği (f_i)” dir. İyon etkinliği ile herhangi bir iyonun derişimi (C_i) arasında şu bağıntı vardır :

$$a C_i = f_i \times C_i ; \quad (6.5)$$

Burada f_i herhangi bir iyonun etkinlik katsayısıdır ve boyutsuzdur. f_i teriminin logaritması ile herhangi bir iyonun değeriği (z) ve iyonlaşma gücü (I) arasında da şu eşitlik vardır :

$$\log f_i = - Az_i^2 [I^{1/2}/(1+I^{1/2}) - 0.21] \quad (6.6)$$

Uluabat Gölü sularının iyonlaşma gücü ortalama 0.0064 olarak hesaplanmıştır. (6.6) denklemindeki A terimi; çözeltinin, dielektrik sabitesi (D) ile mutlak sıcaklığa (T^0K)

bağı bir değişkendir ve belirli sıcaklıklar için A değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6.2. Bazı sıcaklık değerlerinde A sabitinin aldığı değerler

T °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
A	0.49135	0.49480	0.49850	0.5024	0.5066	0.5111	0.5157	0.5206	0.5258	0.5369

Göl sularında ölçülen sıcaklık değerleri ölçüm yapılan mevsimde ortalama 25 ° C dir.

Buna göre Ca için yukarıdaki bağıntıyı yazarsak ;

$$\log f_{Ca} = -0.51 \times 4 [0.0064^{1/2} / (1+0.0064^{1/2}) - 0.21]$$

$$= -0.51 \times 4 [(0.08/1.08) - 0.21]$$

$$\log f_{Ca} = 0.277 \Rightarrow f_{Ca} = 1.892343619 \text{ bulunur. Buradan}$$

$$a_{Ca^{2+}} = 9.27 \times 10^{-4} \text{ ve } \log a_{Ca^{2+}} = -3.03280392$$

bulunur. Aynı hesaplamalar HCO_3^- için de yapılırsa ;

$$a_{HCO_3^-} = 2.77 \times 10^{-3} \text{ ve } \log a_{HCO_3^-} = -2.5572 \text{ bulunur.}$$

(6.4) nolu denklemdeki K_2 ve K_c değerleri sıcaklıklara göre hesaplanmış olup aşağıda Tablo 6.3 de verilmiştir. Göl suyunun ortalama pH sı da 8.86 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.3. Bazı kimyasal tepkimelerin denge sabiteleri (Jacobson & Langmuir, 1972)

t °C	PK _w	PK _{CO₂}	PK ₁	PK ₂	PK _c	PK _d	PK _{CaSO₄}
0	14.94	1.12	6.58	10.63	8.34	16.56	2.200
5	14.73	1.19	6.52	10.56	8.35	16.63	2.220
10	14.53	1.27	6.46	10.49	8.36	16.71	2.250
15	14.35	1.34	6.42	10.43	8.37	16.79	2.270
20	14.17	1.40	6.38	10.38	8.39	16.89	2.290
25	14.00	1.46	6.35	10.33	8.41	17.00	2.310
30	13.83	1.52	6.33	10.29	8.45	17.12	2.330
35	13.68	1.57	6.31	10.25	8.50	17.25	2.354
40	13.53	1.62	6.30	10.22	8.55	17.39	2.376
45	13.40	1.66	6.29	10.20	8.59	17.53	2.398
50	13.26	1.71	6.29	10.17	8.64	17.68	2.420
60	13.02	1.78	6.30	10.15			
70	12.80	1.84	6.33	10.13			
80	12.60	1.90	6.36	10.13			

Burada ;

$$K_w = (aH^+)(aOH^-)/(aH_2O) \quad K_{CO_2} = (aH_2CO_3)/pCO_2 \quad K_1 = (aH^+)(aHCO_3^-)/(aH_2CO_3)$$

$$K_2 = (aH^+)(aCO_3^{2-})/(aHCO_3^-) \quad K_c = (aCa^{2+})(aCO_3^{2-})/(aCaCO_3)$$

$$K_{CaSO_4} = (aCa^{2+})(aSO_4^{2-})/(aCaSO_4) \quad K_d = (aCa^{2+})^{1/2}(aMg^{2+})^{1/2}(aCO_3^{2-})/[aCaMg(CO_3)_2]$$

Göl suyunda ölçülen ortalama sıcaklık 25 °C olduğuna göre , 25 °C için bu değerler ;

$$\log K_2 = -10.33 \text{ ve } \log K_c = -8.41 \text{ bulunur.}$$

Sonuçta (6.4) nolu eşitlik tekrar yazılırsa ;

$$S_c = \log (aCa^{2+}) + \log (aHCO_3^-) + \log K_2 - \log 10^{pH} - \log K_c$$

$$S_c = -3.03280392 + (-2.5572) + (-10.33) + 8.864 - (-8.41)$$

$$S_c = 1.349 > 0 \text{ olduğundan}$$

Uluabat gölü sularında kalsit çökmesi izlenir yargısına varılır. Her bir su örneği için aynı hesaplamalar yapıldığında da sonucun değişmediği ve S_c değerlerinin 0.485 ile 3.07 arasında olduğu bulunmuştur. Bu da suda kalsit çökmesinin meydana geleceğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde M. Kemalpaşa Çayı'na ait verileri kullanarak hesaplama yapıldığında, $S_c \gg 0$ olduğundan gölde olduğu gibi M. Kemalpaşa Çayı'nda kalsit çökelişi gerçekleşir sonucuna varılmıştır.

6.1.3.2. Karbonat Doyma Endeksi

Langelier 6.5 – 9.5 arasında pH değerlerine sahip olan suların karbonat doygunluğu için bir endeks tanımlaması yapmıştır.

$$SI = pH - pH_s = pH - [(pK_2' - pK_s') + pCa^{2+} + pAlk] \quad (6.7)$$

Burada pH ; laboratuvarında ölçülen suyun pH sı , pH_s ise $CaCO_3$ doyma pH sı, pK_2' ve pK_s' , yaklaşık sabiteler, pCa^{2+} ; Ca^{2+} iyonunun mol/l değerinin negatif logaritması, $pAlk$; toplam alkalinitenin ($CO_3^{2-} + HCO_3^-$) ek/l olarak negatif logaritması' dır. Karbonat doyma endeksinin yorumu da şu şekildedir :

SI > 0 ise suda CaCO₃ çökebilir.

SI = 0 ise su CaCO₃ ca doygundur

SI < 0 ise su CaCO₃ çözündürebilir.

pK'₂-pK'_s değerleri suyun sıcaklık ve iyonlaşma gücüne bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Uluabat gölü suları için ortalama iyonlaşma gücü 0,0064 ve su sıcaklığı da 25 °C dir. Suyun laboratuvarında ölçülen ortalama pH sı 8,86, ortalama toplam alkalinite Tablo 4.5 deki mek/l değerlerinden ek/l ye çevrilerek hesaplandığında 2.62×10^{-3} bulunur. pCa²⁺ değeri yine Tablo 4.5 deki ortalama Ca değeri 0,98 mek/l, mol/l ye çevrilip negatif logaritması alındığında 3.31 bulunur. Sonuç olarak ;

$$\begin{aligned} SI &= pH - pH_s = pH - [(pK'_2 - pK'_s) + pCa^{2+} + pAlk] \\ &= 8,86 - (2.31 + 3.31 + 2.58) \\ &= 8.86 - 8.2 \end{aligned}$$

SI = 0.66 > 0 olduğundan Uluabat gölü sularında CaCO₃ çökebilir.

Görüldüğü gibi her iki endekste de suda kalsiyum karbonat çökelişi izlenir sonucuna varılmaktadır.

6.1.3.3. Dolomit Doyma Endeksi (Sd)

Dolomitin çözünürlüğü de kalsit' te olduğu gibi su içinde çözünmüş CO₂ gazına bağlıdır. Dolomitin su içinde çözünüp çökmesini ifade etmek için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır.

$$S_d = \log [(aCa^{2+})(aMg^{2+})(aCO_3^{2-}) / K_d]^{1/2} \quad (6.8)$$

Burada ;

S_d > 0.1 ise suda Dolomit çökmesi izlenir

S_d = 0 ise su dolomit'ce doygundur.

S_d < 0 ise su dolomiti çözündürür.

Dolomit doymağını belirlemek için gerekli olan aCa²⁺, aMg²⁺, aCO₃²⁻ ve K_d değerlerinden aMg²⁺ değeri Tablo 4.5 deki Mg değerlerinden yola çıkarak kalsiyum

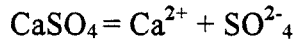
karbonat için doygunluk hesaplamalarında anlatıldığı gibi bulunur. 25 °C için K_d değeri Tablo 6.3 de verilmiştir. Bu veriler (6.8) nolu eşitlikte yerine konduğunda;

$$S_d = 1.58 > 0$$

olduğundan Uluabat gölü sularında dolomit-CaMg(CO₃)₂ çökelişi izlenir sonucuna varılır. Aynı hesaplamalar M. Kemalpaşa Çayı suları için de yapıldığında yine $S_d = 3.86 > 0$ olduğundan M. Kemalpaşa Çayı'nda da dolomit çökelişi izlenir yargısına varmak mümkün olacaktır.

6.1.3.4. Sülfat Doyma Endeksi (S_s)

Sülfat iyonları, doğal sularda daha çok kalsiyum iyonları ile dengededir. CaSO₄'ın suda çözünürlüğü şöyledir :



Bu bağıntıya göre sülfat doyma endeksi (S_s) şöyle yazılabilir :

$$S_s = \log [(a\text{Ca}^{2+})(a\text{SO}_4^{2-})/(\text{K}_{\text{CaSO}_4})] \quad (6.9)$$

Bu bağıntıyı daha açık yazarsak;

$$S_s = \log (a\text{Ca}^{2+}) + \log (a\text{SO}_4^{2-}) - \log \text{K}_{\text{CaSO}_4} \quad (6.10)$$

halini alır. Bağıntıda K_{CaSO₄} kalsiyum sülfatın denge sabitidir. Sülfat doyma endeksinin (S_s) yorumu kalsit doyma endeksinde olduğu gibidir. Buna göre ;

$S_s > 0$ ise suda CaSO₄ çökmesi izlenir

$S_s = 0$ ise su CaSO₄ ca doygunudur.

$S_s < 0$ ise suda CaSO₄ çözünmesi meydana gelir

Uluabat Gölü suları kimyasal analizlerinin ortalama değerleri kullanılarak ilgili parametreler hesaplandığında ;

$$\log (a\text{Ca}^{2+}) = -3.03058$$

$$\log (a\text{SO}_4^{2-}) = -6.67448$$

$$\log \text{K}_{\text{CaSO}_4} = 2.31 \text{ (25 °C için) bulunur.}$$

Bu parametreler yerine konduğunda ;

$$S_s = -3.03058 - 6.67448 + 2.31 = -7.39506 < 0 \text{ bulunur}$$

Her bir örnek için de hesaplandığında bu değerde fazla değişme olmadığı görülebilir. Bu da bize Uluabat Gölü'nde sülfat çözünür sonucunu vermektedir. Gerçekten de Uluabat Gölü tabanından alınan dip sedimanlarının X-ışınları difraksiyonlarının (XRD) hiçbirinde jips ya da anhidrit piklerine rastlanmamıştır.

Aynı şekilde M. Kemalpaşa Çayı su örneklerinin ilgili verileri kullanıldığında Ss değeri $-5.70719 < 0$ bulunmuştur. Bu değer de bize M. Kemalpaşa Çayı sularında sülfatın çözünmesinin gerçekleşeceğini göstermektedir.

6.1.4. Toplam Sertlik

Sertlik; suda ekivalen miktar kalsiyum karbonat olarak ifade edilen çok değerli kationların toplamı şeklinde tanımlanır. Demir, manganez, bakır, baryum, kurşun, çinko ve diğer iz elementler doğal sularda nadiren sezilebilir miktarlarda bulunduğu için sertlik, prensip olarak kalsiyum ve magnezyum miktarıyla belirlenmektedir.

Ca ve Mg elementleri su içerisinde bir takım bileşikler meydana getirirler. Bu bileşikler bikarbonatlar, klorürler, sülfatlar ve nitratlar şeklinde bulunurlar. Ca ve Mg bikarbonatlardan meydana gelen sertliğe geçici sertlik denir ve ısıtma işlemiyle CaCO_3 ve MgCO_3 çökeltilerek bu sertlik giderilmiş olur. Kalıcı sertlik ise Ca ve Mg un başka tuzlarından kaynaklanır. Bu sertlik ancak değişik kimyasal işlemlerle giderilebilir. Bu amaçla suya sodyum karbonat ilavesi yapılabilir. Budan başka suya boraks, sodyum metasilikat gibi maddeler de sertliği giderici etki yapar. Çok yaygın alanlarda kullanılan doğal Na lu zeolit mineralleri de serliği gidermektedir. Son yıllarda ise daha çok yapay reçineler kullanılmaktadır.

Sonuç olarak toplam sertlik kalıcı ve geçici sertlik'in toplamı olarak ifade edilir. Sertlik, suda sabun ve benzeri maddelerin köpürmemesi şeklinde kendini gösterir. Buna neden olan sudaki toprak alkali iyonlardan Ca ve Mg iyonları, sabunu meydana getiren yağ asitleri ile birleşir ve suda çözünmeyen çökeller oluşturarak köpürmeyi engellerler.

Suyun sertliğini ölçmek için değişik sistemler vardır. Genelde Fransız, Alman ve İngiliz Sertliği olarak ifade edilir. 1 Alman sertliği 100 ml suda bulunan 1 mg Ca miktarını ifade eder. 1 Fransız sertliği ise 100 ml suda bulunan 1 mg CaCO_3 miktarı

olarak ifade edilir. 1 İngiliz sertliği ise 70 ml suda bulunan 1 mg CaCO₃ miktarıdır. Bu üç sertliğin aralarındaki ilişki aşağıdaki gibidir.:

	<u>Fransız Sertliği</u>	<u>Alman Sertliği</u>	<u>İngiliz Sertliği</u>
1 Fransız Sertliği	1.00	0.56	0.70
1 Alman Sertliği	1.79	1.00	1.25
1 İngiliz Sertliği	1.43	0.80	1.00

Diğer yandan bazı bağıntılarla suyun sertliği yaklaşık olarak hesaplanabilir. Örneğin;

$$\text{Toplam Sertlik} = 0.2497 \text{ Ca (mg/l)} + 0.4115 \text{ Mg (mg/l)} \quad (6.11)$$

bağıntısı Fransız sertliğini verir. Fransız sertliği ayrıca;

$$\text{Toplam Sertlik} = 5 [\text{Ca (mek/l)} + \text{Mg (mek/l)}] \quad (6.12)$$

olarak da hesaplanabilir.

Bu şekilde hesaplanan sertlik aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4. Suların sertlik sınıflandırılması

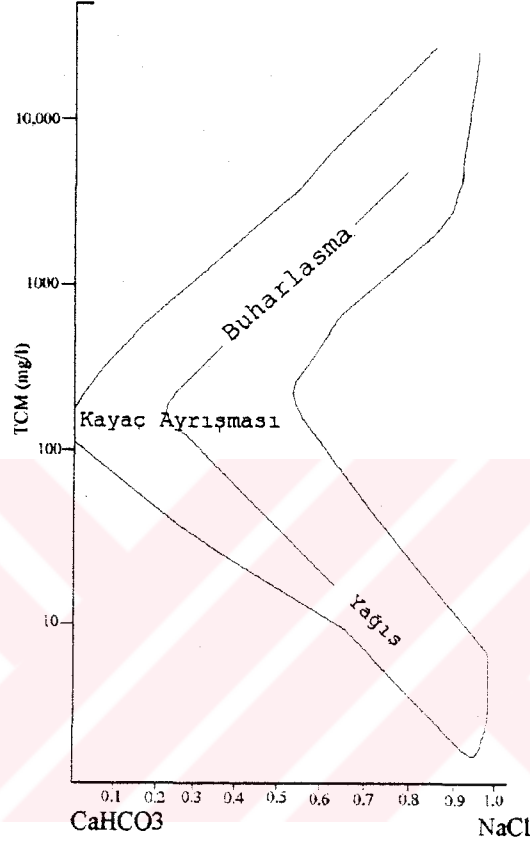
<u>Fransız Sertliği</u>	<u>Alman Sertliği</u>	<u>İngiliz Sertliği</u>	<u>Suyun Sınıfı</u>
0.0-7.2	0.00-4.00	0.00-5.04	Çok yumuşak
7.2-14.5	4.00-8.12	5.04-10.15	Yumuşak
14.5-21.5	8.12-12.04	10.15-15.05	Az sert
21.5-32.5	12.04-18.20	15.05-22.75	Oldukça sert
32.5-54.0	18.20-30.24	22.75-37.80	Sert
54 den fazla	30.24 den fazla	37.80 den fazla	Çok sert

Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı suları sertlik açısından değerlendirildiğinde "az sert sular" sınıfına girmektedir.

6.2. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Sularının Kökensel İncelemesi

Gibbs (1970) tarafından yüzey sularının genel kimyasının değerlendirilmesi için önerilen ikili diyagramda (Şekil 6.3) TÇM miktarı ile ve Na/(Na+Ca) oranı birlikte değerlendirildiğinde yüzey suyu kimyasının üç farklı faktörün kontrolünde olduğu ortaya konmaktadır:

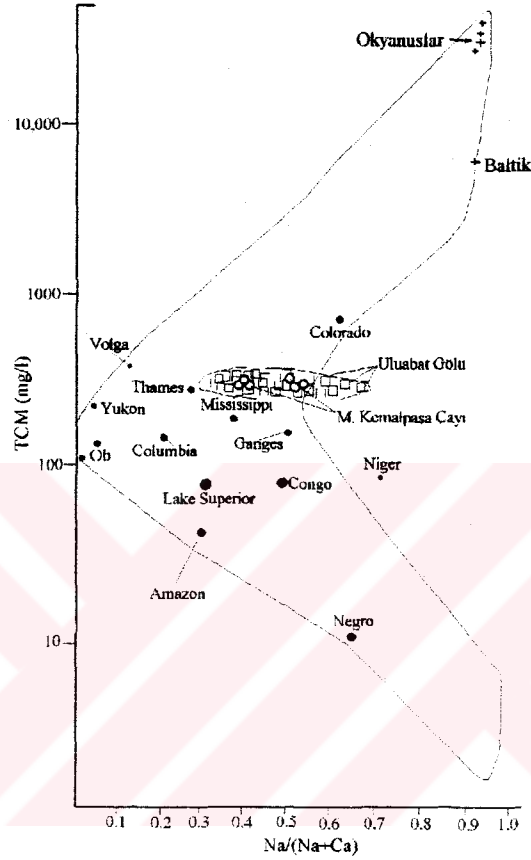
- 1) kayaç ayrışması
- 2) buharlaşma-kristalizasyon
- 3) meteorik sular.



Şekil 6.3. Yüzey sularının kimyasal bileşimini kontrol eden proseslerin şematik gösterimi

Gibbs (1970) diyagramında; toplam çözünmüş madde miktarı (TÇM) 300 mg/l den yüksek değerler aldığıında, suyun kimyasal karakterinin buharlaşmanın kontrolüne girdiği görülür. TÇM miktarı 100 mg/l den düşük değerler aldığıında ise, yağış suları gibi kimyasal olarak saflaşma eğiliminde olan bir su bileşiminden söz edilebilir. TÇM miktarı yaklaşık olarak 100-300 mg/l arasında olduğunda ise bu tür suların kimyasal karakterinin kayaç ayrışmasının kontrolünde olduğuna hükmedilir.

Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı su örneklerine ait TÇM ve Na/(Na+Ca) oranları bu diyagrama yerleştirildiğinde, hem göl suyunun, hem de M. Kemalpaşa Çayı suyunun kimyasal bileşiminin kayaç ayrışmasının kontrolünde olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı'nın Gibbs (1970) diyagramındaki konumu.

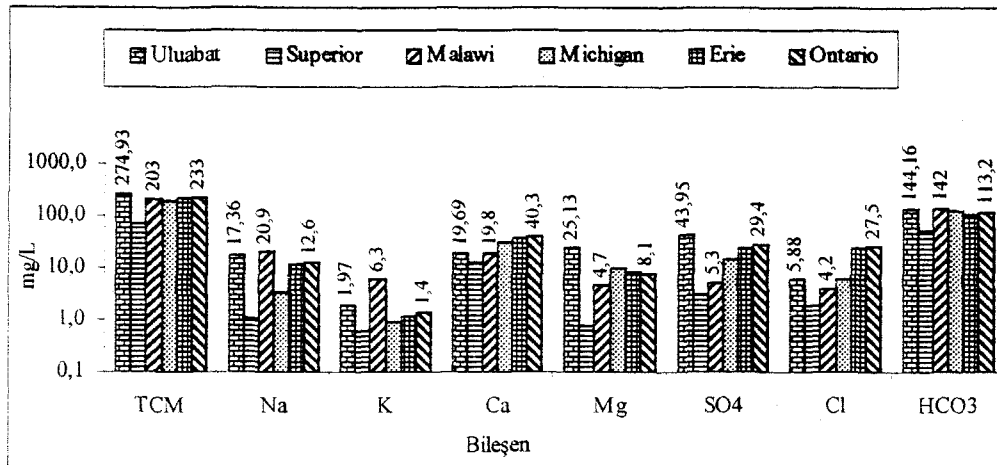
6.2.1. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı Su Kimyasının Dünya Ortalamalarıyla Karşılaştırılması

Yüzey suları genelde yeraltı sularına göre daha az çözünmüş madde oranına sahiptirler. Bunun başlıca nedeni yeraltı suyunun jeolojik birimlerle yüzey sularına nazaran daha uzun süre temas etmeleri sonucunda bünyelerine daha fazla çözünmüş madde girmesi, buna karşın yüzey sularının da yağmur suyu etkisiyle kimyasal açıdan seyreltik bir nitelik kazanmalarıdır. Tablo 6.5 de yüzey ve yeraltı sularının ortalama değerleri (Turekian, 1977) Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı verileri ile karşılaştırılmaktadır.

Tablo 6.5. Yüzey ve yeraltı sularında pH, TÇM ve majör bileşenlerin ortalama değerlerinin (Turekian, 1977) Uluabat Gölü ve MKP Çayı verileri ile karşılaştırılması (değerler mg/l).

Bileşen	Yüzey suyu	Yeraltı suyu	Uluabat Gölü	MKP Çayı
HCO ₃ ⁻	58	200	144.2	181.5
Ca ²⁺	15	50	20	18.86
Cl ⁻	7.8	20	5.88	11.37
K ⁺	2.3	3	2	2.29
Mg ²⁺	4.1	7	25.1	40
Na ⁺	6.3	30	17.4	10.79
SO ₄ ²⁻	3.7	30	43.95	68.03
Si _(aq)	14	16	0.56	-
pH	-	7.4	8.86	8.27
TÇM	120	350	275.6	334.41

Şekil 6.5 ve Tablo 6.6 da, dünyadaki bir çok tatlı su göllerinden bilinen 5 tanesinin (Superior, Ontario, Erie, Malawi ve Michigan) kimyasal bileşimi, Uluabat Gölü sularının kimyasal bileşimiyle karşılaştırma yapmak amacıyla verilmiştir. Sütun grafikte Uluabat Gölü toplam çözünmüş madde (TÇM) ve potasyum (K⁺) içeriği bakımından Erie ve Ontario göllerine yakın değerlere sahip olduğu görülür. Sodyum (Na⁺) içeriği ise Malawi gölü ile Erie ve Ontario göllerinin değerleri arasındadır. Malawi gölü kalsiyum (Ca²⁺) değeri Uluabat Gölü kalsiyum değeriyle hemen hemen aynıdır. Uluabat Gölü magnezyum (Mg²⁺) ve sülfat (SO₄²⁻) değerleri söz konusu göllerin magnezyum ve sülfat değerlerinden oldukça yüksek değerdedir. Klor (Cl⁻) ve bikarbonat (HCO₃⁻) değerleri açısından Uluabat Gölü ile Malawi ve Michigan gölleri benzer değerlere sahiptir.



Şekil 6.5. Uluabat Gölü ile bazı göllerin majör iyonlar açısından karşılaştırılması

Tablo 6.6. Uluabat Gölü ve diğer bazı tatlı su göllerinin kimyasal verileri

Bileşen	Uluabat Gölü	Superior Gölü	Malawi Gölü	Michigan Gölü	Erie Gölü	Ontario Gölü
TÇM	274.93	72	203	201	223	233
Na ⁺	17.36	1.10	20.9	3.4	11.5	12.6
K ⁺	1.97	0.6	6.3	0.9	1.2	1.4
Ca ²⁺	19.69	12.4	19.8	32	37.4	40.3
Mg ²⁺	25.13	0.8	4.7	10	8.3	8.1
SO ₄ ²⁻	43.95	3.2	5.3	15.5	25.7	29.4
Cl	5.88	1.9	4.2	6.2	24.6	27.5
HCO ₃ ⁻	144.16	50	142	130	113	113

Tablo dan da görüldüğü gibi Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayına ait HCO₃⁻, Mg²⁺, SO₄²⁻, Na⁺ ve TÇM değerleri yüzey suları ortalamalarının oldukça üzerinde olup yer altı suyu bileşimine yakındır. Önceki bölümlerde gösterilen göl içindeki adalarda kolaylıkla izlenebilen su seviye izlerinden de görüleceği gibi gölde yaklaşık 1-1.5 metrelik yükselme-alçalma olayı gerçekleşmektedir. Suyun gerek kendi fizikokimyasal karakteri (pH, alg populasyonu, fotosentez) ve gerekse göl seviyesinin alçalıp yükselmesinden kaynaklanan hareketin göl içerisindeki kireçtaşlarından oluşan adalarda kayaç erimesi meydana getirmesi dolayısıyla fazla miktarda HCO₃⁻ iyonlaşması meydana gelmektedir.

Göldeki sodyum miktarının yüzey suları ortalamalarına göre yüksek oluşunun nedeni, kış mevsiminde Uluabat Çayı'nın ters yönde akarak Marmara Denizi'nden göle tuzlu su girişi olarak düşünülmektedir. Cl⁻, K⁺ ve Ca²⁺ değerleri dünya yüzey suyu ortalamalarına çok yakındır. Ancak burada eğer göle deniz suyu girişimi kabul edilirse sodyum miktarıyla orantılı olarak bulunması gereken klor miktarının olmadığı dikkati çekecektir, çünkü göl suyundaki Na miktarına göre hesaplandığında Cl miktarı, olması gerekenin ancak yaklaşık 1/5 i düzeyindedir. Buradaki klor eksikliğinin, klorun sedimanlardaki pozitif yüklü oksit ve hidroksitler tarafından soğurulmasından kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Sülfat iyonu bilindiği gibi kükürt elementinin oksidasyonu sonucu oluşur ve aerobik ortam ürünüdür. Ancak indirgen ortam şartlarında sülfat indirgeyici bakteriler tarafından redüklenerek H₂S gazı oluşumunda kullanılabilir ve bu nedenle çok düşük değerlerde saptanır. Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı da oksijeni bol aerobik (yükseltgeyici) bir ortam olduğundan sülfat miktarının yüzey suyu, hatta yer altı suyu ortalamalarından çok yüksek çıkması olağan bir gelişmedir. Özellikle yüksek debisi

ve hızlı akış rejimiyle M. Kemalpaşa Çayı sülfat iyonu oluşumu için iyi bir ortam olduğundan gölden daha fazla sülfat iyonu bulundurmaktadır. Ancak M. Kemalpaşa Çayı'nda yüksek olan sülfat miktarı göle ulaştığında düşüş göstermektedir. Gölden alınan sediman örneklerinin bazı kesimlerinde siyaha yakın koyu bir renk ve koku yaydığı dikkati çekmiştir. Bu bize bu noktalarda indirgen (anaerobik) şartlar olduğunu kanıtlamaktadır. Dolayısıyla az da olsa indirgen koşulların egemen olduğu böyle noktalarda sülfat iyonunun indirgenerek miktarının düşük çıkması beklenecektir.

Gerek deniz suyu girişi, gerekse gölün güney ve güney doğusunda yer alan ve büyük alanlar kaplayan karbonatlı veya bazik-ultrabazik formasyonların kimyasal yolla çözünerek yüzey suları vasıtasıyla göle taşınması, magnezyumun gölde ve akarsuda yüzey ve yer altı suları ortalamalarından oldukça yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmuştur.

Göle ait Si değerleri ise gerek yüzey, gerekse yeraltı suları ortalamalarıyla kıyaslandığında çok düşük olup, 0.05 mg/l ile 1.4 mg/l arasında değişmektedir ve ortalama değer 0.56 mg/l dir. Daha önce de değinildiği gibi; M. Kemalpaşa çayının bol miktarda kırıntılı malzeme getirmesi ve diğer bazı faktörlerin etkisiyle gölün derinliği gittikçe azalmış olduğundan güneş ışığının kolaylıkla suyun her kesimine nüfuz etmesi nedeniyle gölde aşırı miktarda alg ve diğer tür bitkilerce zengin hale gelmiştir. Bilindiği gibi diatomeler alg türü canlılar olup, kavrıklarını silisten yapmaktadırlar. Kavkı için gerekli olan silisin ise bir kaynaktan sağlanması gereklidir. Uluabat Gölü'nde de sudaki eriyik halde bulunan silis diatomeler tarafından kullanılmış ve dolayısıyla sudaki silis konsantrasyonu bu yüzden düşmüş olabilir.

Tablo 6.7; bazı doğal su ortamlarında çözünmüş silisin hangi konsantrasyon aralıklarında olduğunu nedenleriyle birlikte açıklamaktadır. Tabloda, yüzey sularında silis miktarının 5-25 ppm arasında değiştiği ve en düşük değerlerin diatome türü canlıların olduğu göllerde bulunduğu ifade edilmektedir (Kennedy, 1971).

Gerçekten diatomeler, sudaki çözünmüş silisi 3 ppm den daha aşağı, hatta 0.3-0.8 ppm düzeyine kadar indirebilmektedirler (Hutchinson, 1957). Bazı tatlı su

süngerlerinin de silis konsantrasyonunu 1.2 ppm düzeyine kadar indirdiği bildirilmiştir.

Tablo 6.7. Bazı doğal sularda SiO₂ olarak bulunan çözünmüş silis konsantrasyonları

Suyun tipi	Yaklaşık aralık (ppm)	Ortalama (ppm)	Görüşler
Akarsular, göller	5-25	14	En az göllerde (diatomeler)
Deniz suyu	0.01-7	1	En düşük değerler (diatomeler)
Toprak nemi	<1-117	54	Buharlaşmayla artmıştır.
Doymamış volkanik kayalar	78-102	90 (?)	Buharlaşmayla, duraysız mafik mineraller ve camların etkisiyle artmıştır.
Yeraltı suyu	5-85	17	
Petrol sahası çöeltisi	5-60		Özellikle < 30 ppm
Sıcak sular, gayzerler	100-600		Özellikle sıcaklık etkisiyle

Sonuç olarak silis konsantrasyonunun azlığı Uluabat Gölü'nün diatome açısından zengin olabileceği varsayımını ortaya koymaktadır.

7. GÖL VE AKARSU SEDİMANLARININ MİNERALojİK İNCELENMESİ

Bu bölümde göl tabanında depolanmış olan kalın, çoğunlukla silt-kil, çok az kesimde de çakıl-kum-silt-kil şeklinde bileşime sahip malzeme ile, gölü besleyen, Orhaneli ve Emet Çay'ları ile bunların birleşmesinden meydana gelen M. Kemalpaşa Çayı' nın belli noktalarından alınan alüvyon örneklerinin mineralojik incelemeleri yer almaktadır. Mineralojik incelemeler binoküler mikroskop, X-ışınları difraksiyonu (XRD) ve Diferansiyel Termik Analiz (DTA) olmak üzere üç ayrı yöntemle gerçekleştirilmiştir.

7.1. Binoküler Mikroskop İncelemeleri

7.1.1. Göl Sedimanları

Göl tabanında depolanmış olan detritik malzemenin yaklaşık % 95 lik kısmı silt ve kil niteliğindeki malzemedir. Bunun nedeni, gölü besleyen tek kaynak olan M. Kemalpaşa Çayı' nın M. Kemalpaşa ovasında akış enerjisinin düşmesi ve dolayısıyla iri boyutlu malzeme göle ulaşmadan akarsu yatağında çökmesi, göle ulaşan malzemenin ise çoğunlukla silt-kil boyutlu, çok az da kum boyutlu olması şeklinde izah edilebilir. Doğal olarak kum boyutlu bileşeni fazla olan malzeme M. Kemalpaşa Çayı'nın göle döküldüğü kesim ve yakın civarıyla sınırlıdır.

Bu tez kapsamında göldeki güncel dip sedimanlarından karot şeklinde alınan örneklerin çoğunluğunun kil ve siltten dolayı balçık kıvamında olması nedeniyle sedimanlarda tane serbestleşmesi sağlanamadığından malzemedeki tane boyu dağılımı ortaya konmamıştır. Ancak M. Kemalpaşa Çayı'nın göle ulaştığı kesime çok yakın bir noktadan kum, silt ve kil karışımından meydana gelen ayrı bir örnek alınmış, bu örnekte belli mesh aralıklarında (+40, -40 +60, -60 +80, -80 + 100, -100 + 120, -120 + 200 ve -200 mesh) Amerikan standartlarında (ASTM) elek seti kullanılarak boyut analizi yapılmış, her fraksiyonda elde edilen mineraller binoküler mikroskopta incelenmiştir. İnceleme sonuçları Tablo 7.1 de verilmiştir.

Tablo 7.1. Göl sediman örneğinin değişik boyut aralıklarına göre mineral bileşimi

Mesh \ Mineral	+40	-40+60	-60+80	-80+100	-100+120	-120+200	-200
Kuvars							
Amfibol/Piroksen							
Klorit							
Gröna							
Epidot							
Hematit							
Manyetit							
Kavkı							

Kuvars ve kavkı bütün boyut aralıklarında görülürken, epidot ve amfibol/piroksen -200 mesh den daha büyük boyutlarda toplanmıştır. Diğer yandan manyetit mineralinin -100 mesh ile +200 mesh arasında toplandığı, hematit'in ise -60+80 mesh ile -100+120 mesh boyutlarında toplandığı dikkati çekmektedir. Gröna ise -60 mesh ile + 120 mesh arasında belirlenmiştir. Manyetit'in 100 mesh den daha küçük boyut aralığında toplanmış olması, bu mineralin kaynağının diğer minerallere göre daha uzak olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca hematit, manyetit, gröna, epidot ve amfibol/piroksen minerallerinin -200 mesh boyutunda görülmemesi, bu minerallerin göl sedimanlarında yapılan X-Işınları Difraksiyon incelemelerinde de görülmemiş olmasını açıklaması bakımından önemli görülmüştür. İncelemelerde manyetit'in bazı hallerde kuvars içerisinde enklüzyon halinde olduğu da dikkati çekmiştir (Şekil 7.1 ve 7.2).



Şekil 7.1. Gölde alınan dip sedimanlarının +40 mesh boyutuna ait binoküler mikroskop görüntüsü (X 40)



Şekil 7.2. Uluabat Gölü dip sedimanlarının -60+80 mesh boyutuna ait binoküler mikroskop görüntüsü (X 40)

7.1.2. Akarsu Alüvyon Örnekleri

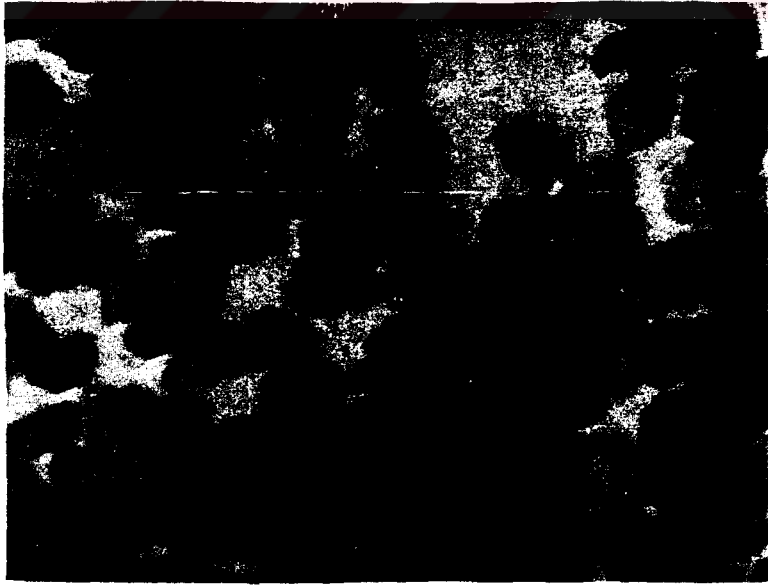
Bilindiği gibi, akarsular içinden geçtikleri formasyonları sahip oldukları akış rejimine bağlı olarak mekanik yolla da çözerler. Dolayısıyla araştırmaya konu olan bu çalışmada Uluabat Gölü su ve dip sedimanlarının jeokimyasal karakterini etkilemesi bakımından gölü besleyen en önemli kaynak olan M. Kemalpaşa Çayı'na ait sedimanların da incelenmesinin gerekli olduğu görülmüştür. Bu amaçla M. Kemalpaşa bölgesinden alınan alüvyon örnekleri de benzer şekilde elek analizi ile yukarıda verilen boyut aralıklarında fraksiyonlara ayrılıp binoküler mikroskopta mineralojik yönden incelenmiş sonuçlar Tablo 7.2 ve Şekil 7.3 de verilmiştir.

Tablo 7.2 de görüldüğü gibi M. Kemalpaşa bölgesine ait sediman örneğinde kuvars yine bütün fraksiyonlarda hakim mineraldir. Göl sedimanından farklı olarak M. Kemalpaşa örneğinde rutil ve turmalin mineralleri dikkati çekmektedir. Rutil -80 meş ile +120 meş boyutlarında toplanırken, turmalin dağınık bir dağılım sergilemektedir, fakat -200 meş boyutunun altına geçmemektedir.

Tablo 7.2 M. Kemalpaşa bölgesinden alınan alüvyon örneğinin mineralojik bileşimi

Mesh \ Mineral	+40	-40+60	-60+80	-80+100	-100+120	-120+200	-200
Kuvars							
Amfibol/Piroksen							
Klorit							
Epidot							
Hematit							
Manyetit							
Gröna							
Muskovit							
Biyotit							
Turmalin							
Rutil							

Hematit -40+60 mesh boyutunda toplanırken, manyetit -60 mesh ile +120 mesh boyutunda toplanmıştır. Muskovit, kuvars ve klorit dışında -200 mesh altına geçen mineral görülmemiştir. Bu mineraller X-Işınları Difraksiyon incelemelerinde de müşahade edilmiştir.



Şekil 7.3. M. Kemalpaşa mevkiinden alınan akarsu sediman örneğinin -100+120 mesh boyutuna ait binoküler mikroskop görüntüsü

7.2. X-Işınlari Difraksiyonu İncelemeleri

Bu çalışma kapsamında yapılan X-ışınları difraksiyon incelemeleri hem M. Kemalpaşa Çayı ve Uluabat Çayı'nda, hem de Uluabat Gölü'nden alınan yüzey sediman örneklerinde gerçekleştirilmiştir. M. Kemalpaşa Çayı ile Ulubat Çayı'na ait örneklerin X-Işınlari Difraksiyon incelemeleri için -200 meş boyutu kullanılmıştır. Göl sedimanlarında ise yüzey sedimanı, diğeri karot sedimanı olmak üzere iki tür örnek kullanılmıştır.

7.2.1. Akarsu Sediman Örneklerinin X-Işınlari Difraksiyon İncelemeleri

Orhaneli Çayı üzerindeki Kestelek bölgesi ile M. Kemalpaşa Çayı üzerindeki M. Kemalpaşa yöresi ve gölün boşalmasını sağlayan Uluabat Çayı'na ait -200 meş boyutundaki örneklerde X-Işınlari Difraksiyon sonuçları Şekil 7.4, 7.5 ve 7.6 da verilmiştir.

Akarsu örneklerinin tümünde görülen mineral bileşimi ;

Kuvars + kalsit + klorit + smektit + muskovit + illit + feldspat + dolomit

şeklinde ve bu minerallerin bolluk sırası örneklerde değişkenlik göstermektedir.

Kuvars hemen hemen tüm örneklerde karakteristik yansıma piklerini gösteren tek mineraldir. Yukarıda değinilen görüleceği gibi kuvars, $d=3.34 \text{ Å}$ ve $d=4.26 \text{ Å}$ değerlerinde yüksek şiddetli pikleriyle kolayca ayırt edilmektedir.

Kil mineralleri bilindiği gibi genelde 2θ değeri 0 ile 12 arasında ve 60 civarında pik verirler. Bu örneklerde de kil mineralleri aynı değerlerde illit, klorit, smektit ve muskovit şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Smektit karakteristik olarak $d=14 \text{ Å}$ değerlerinde geniş ve nispeten uzun bir pik görüntüsü sunmaktadır. Bunun dışında aynı mineral $d=4.48-4.51 \text{ Å}$ değerlerinde de küçük ve geniş bir pik ile görülebilmektedir.

Klorit $d=7.2-7.3 \text{ Å}$ değerlerinde tipik olarak belirlemekle birlikte 2θ nın 60 değerini aldığı yerlerde kuvarsla birlikte çakışık olarak da görülebilmektedir.

İllit; genelde muskovit, smektit ve bazen kuvars ile beraber çakışık olarak pik vermektedir. İlk ve en şiddetli yansıması muskovitle birlikte $d=10 \text{ \AA}^0$ değerlerinde ortaya çıkmaktadır.

Muskovit genelde 2M1 türünde illitle çakışık olarak $d=10 \text{ \AA}^0$ yansımasıyla ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Mika minerallerinin öğütüldüklerinde bile pul/levha şeklinde yapısını korudukları ve bundan dolayı bazı yüzeylerinden yansıma olmadığı bilinmektedir. Bu çalışmada da muskovite ait yansımaların bazıları elde edilememiştir.

Kalsit tüm akarsu örneklerinde ilk üç mineralden birisi olarak görülmektedir. En karakteristik yansıması $d=3.02 \text{ \AA}^0$ değeriyle yüksek şiddette ortaya çıkar. Difraktogramlarda kalsite ait diğer çizgiler de tamamen görülebilmektedir.

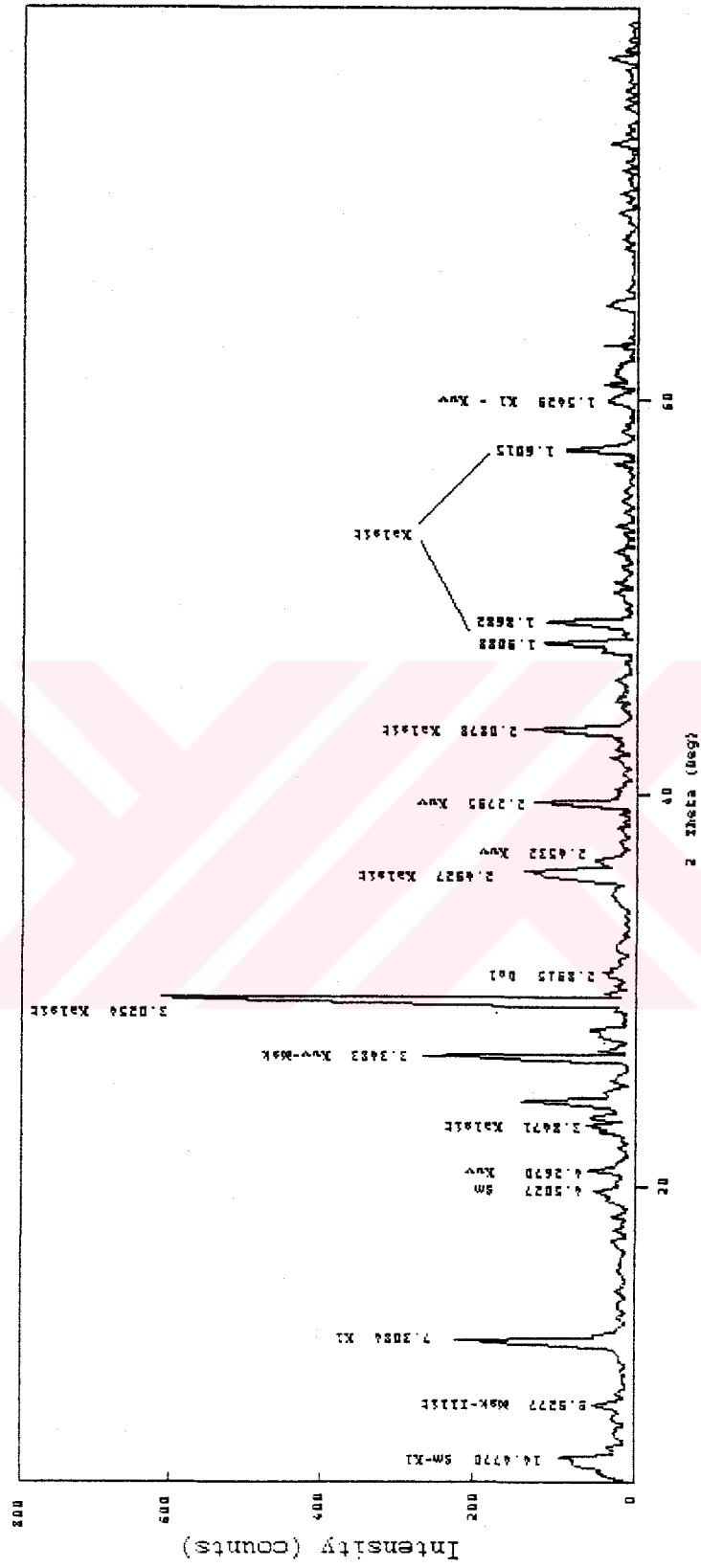
Feldspat tüm örneklerde albit formundadır ve $d=3.19 \text{ \AA}^0$ civarındaki karakteristik piki ile görülmektedir. Albit'e ait diğer pikler ise bu pikin sağ ve solunda olmak üzere dar bir alanda toplanmışlardır.

Dolomit tüm örneklerde çok az miktarda ve küçük şiddetteki pikleriyle görülmektedir. Dolomite ait pikler $d=4.03$ ile 2.89 ve $2.19 \text{ \AA}^0$ değerlerindeki yansımaları ile tanınmaktadır.

Şekil 7.4 de görüldüğü gibi Kestelek bölgesinde Orhaneli Çayı'nın Bor tuzu yataklarını geçtikten sonraki kesiminden alınan örneğin X-Işınları Difraksiyon çözümlemesi sonucu, bu örneğin mineralojik bileşiminin bolluk sırasına göre;

Kalsit > Kuvars > Smektit > Klorit > Muskovit > İllit > Feldspat > Dolomit

şeklinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.4. Kestelek bölgesinden alınan örneğin -200 meş boyutunun X-Işınları Difraksiyon çözümü

M. Kemalpaşa bölgesinden alınan örneğin X-Işınları Difraksiyon çözümlemesinde (Şekil 7.5) mineralojik bileşimin bolluk sırasına göre ;

Kuvars > Feldspat > Kalsit > Klorit > Smektit > Muskovit > İllit > Dolomit

şeklinde olduğu belirlenmiştir. Mineralojik bileşimde minerallerin bolluk sırasının bölgesel farklılıktan dolayı değiştiği gözlenmektedir. Bu farklılık örneğin alındığı bölge ve civarındaki jeolojik formasyonların mineralojik bileşimiyle doğrudan ilgili olmalıdır.

Bahis konusu örnekte kuvars ve feldspat miktarının fazlalığı, M. Kemalpaşa bölgesinin doğusunda bulunan Miyosen yaşlı Değirmendere formasyonuna ait riyolitik ve dasitik karakterli tüfler ve/veya kumtaşlarından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir.

Genelde mika minerali olarak biyotit yerine muskovitin hakim oluşu, biyotitin muskovite göre çok daha fazla ayrışmaya maruz bir mineral olması, dolayısıyla muskovitin taşınma esnasında ayrışmadan ya da çok az ayrışarak uzun süre korunduğundan kaynaklanmaktadır.

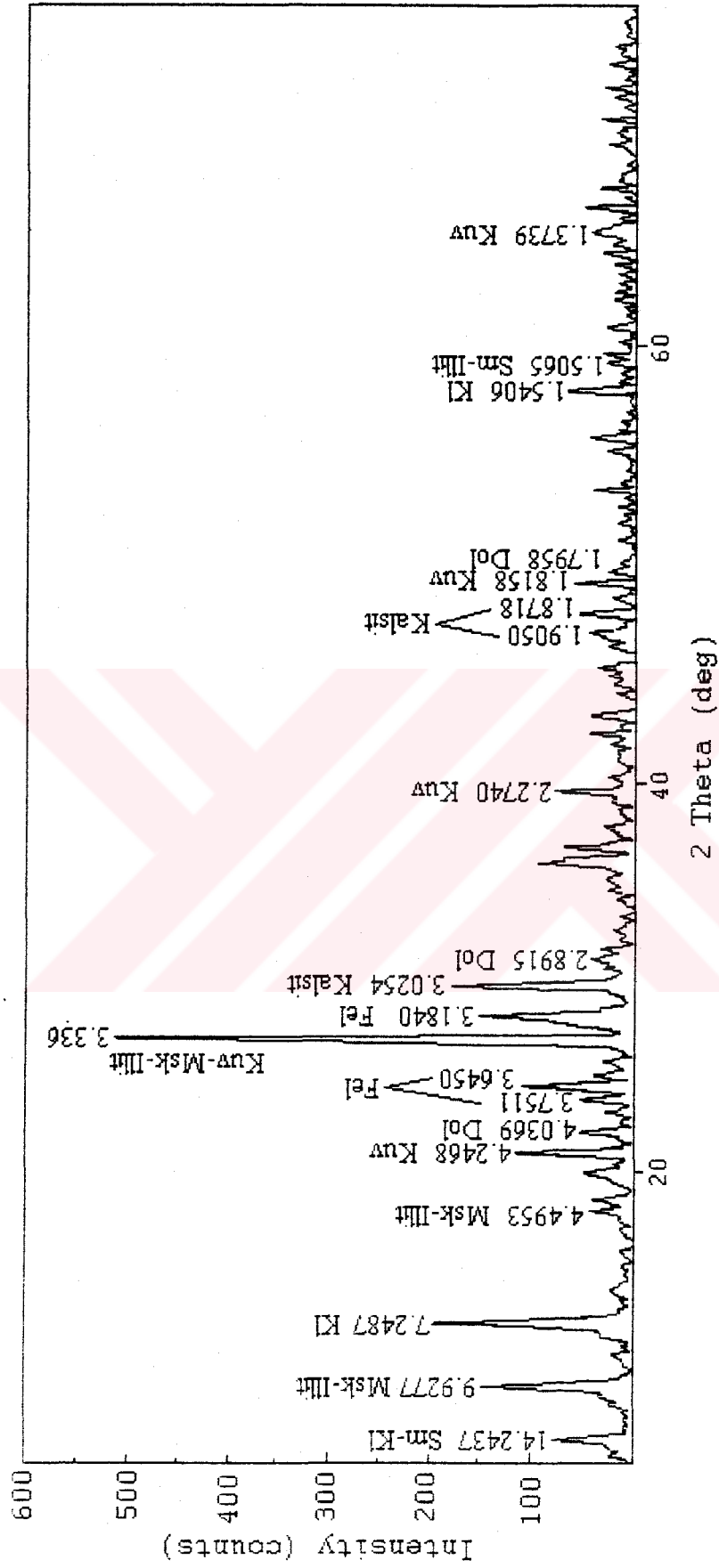
Dolomitin tüm örneklerde az miktarda oluşu, kalsite göre çözünürlüğünün iki kat daha az olmasına karşın doğada kalsite göre çok daha az bulunuşuyla açıklanabilir. Bilindiği gibi dolomit oluşumu için gereken uygun fizikokimyasal şartlar kalsit için gerekli olandan çok daha zor sağlanmaktadır.

Feldspatın da genelde albit formunda oluşu, albitin ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) diğer mafik feldspat minerallerine göre daha az ayrışan bir mineral olması ve doğal olarak su ortamında daha uzun dayanarak varlığını koruması şeklinde izah edilebilir.

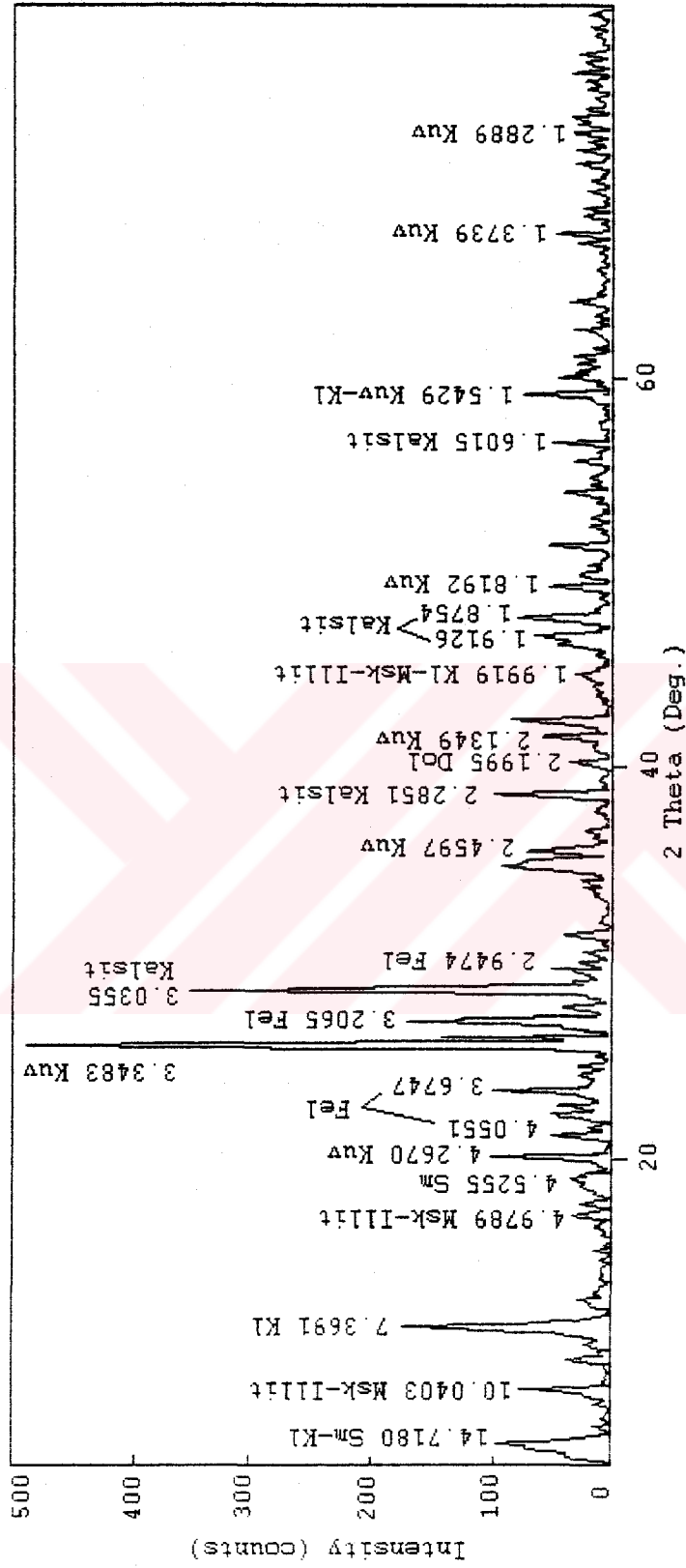
Gölün batı ucundan boşalmasını sağlayan Ulubat Çayı'ndan alınan örneğin X-Işınları Difraksiyon incelemesinde ise mineral birliğinin bolluk sırasına göre ;

Kuvars > kalsit > klorit > Smektit > Muskovit > İllit > Feldspat > Dolomit

şeklinde olduğu saptanmıştır (Şekil 7.6). Burada kalsitin kuvarstan sonra ikinci derecede bol bulunması, gölde bulunan ve büyük ölçüde Jura yaşlı kireçtaşlarından oluşan adaların göl suyu ve atmosferik şartların etkisiyle aşınarak göle ve oradan da suyun hareketiyle Uluabat Çayı'na taşınması şeklinde izah edilebilir.



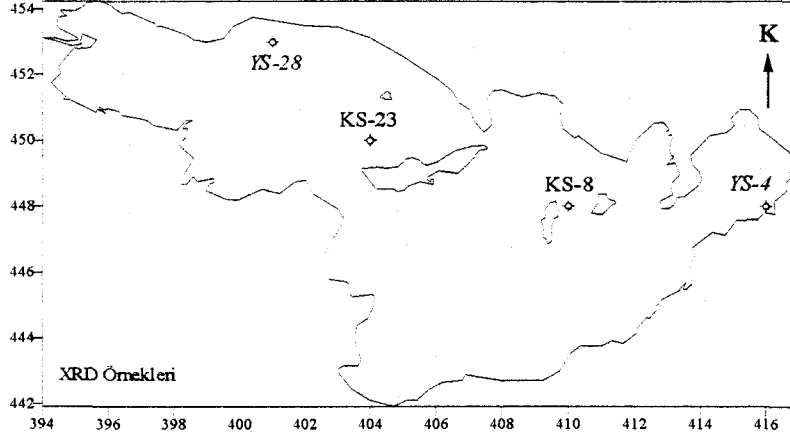
Şekil 7.5. M. Kemalpaşa bölgesinden alınan akarsu örneğinin -200 meş boyutunun X-Işınları Difraksiyon çözümü



Şekil 7.6. Ulubat Çayı'ndan alınan akarsu örneğinin ~200 meş boyutunun X-Işınları Difraksiyon çözümlemesi

7.2.2. Göl Sedimanlarının X-Işınları Difraksiyon İncelemeleri

Göl tabanından biri yüzey diğeri karot olmak üzere iki farklı türde sediman örneği alınmıştır. Her iki gruptan 4 tanesi üzerinde X-Işınları Difraksiyon incelemeleri yapılmıştır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. X-Işınları Difraksiyon incelemesi yapılan sediman örneklerinin yerleşimi

Yüzey sediman örneklerinde yapılan X-Işınları Difraksiyon incelemelerinde genel mineralojik bileşimin ;

Kuvars + smektit + klorit + illit + muskovit + feldspat

şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.8 ve 7.9).

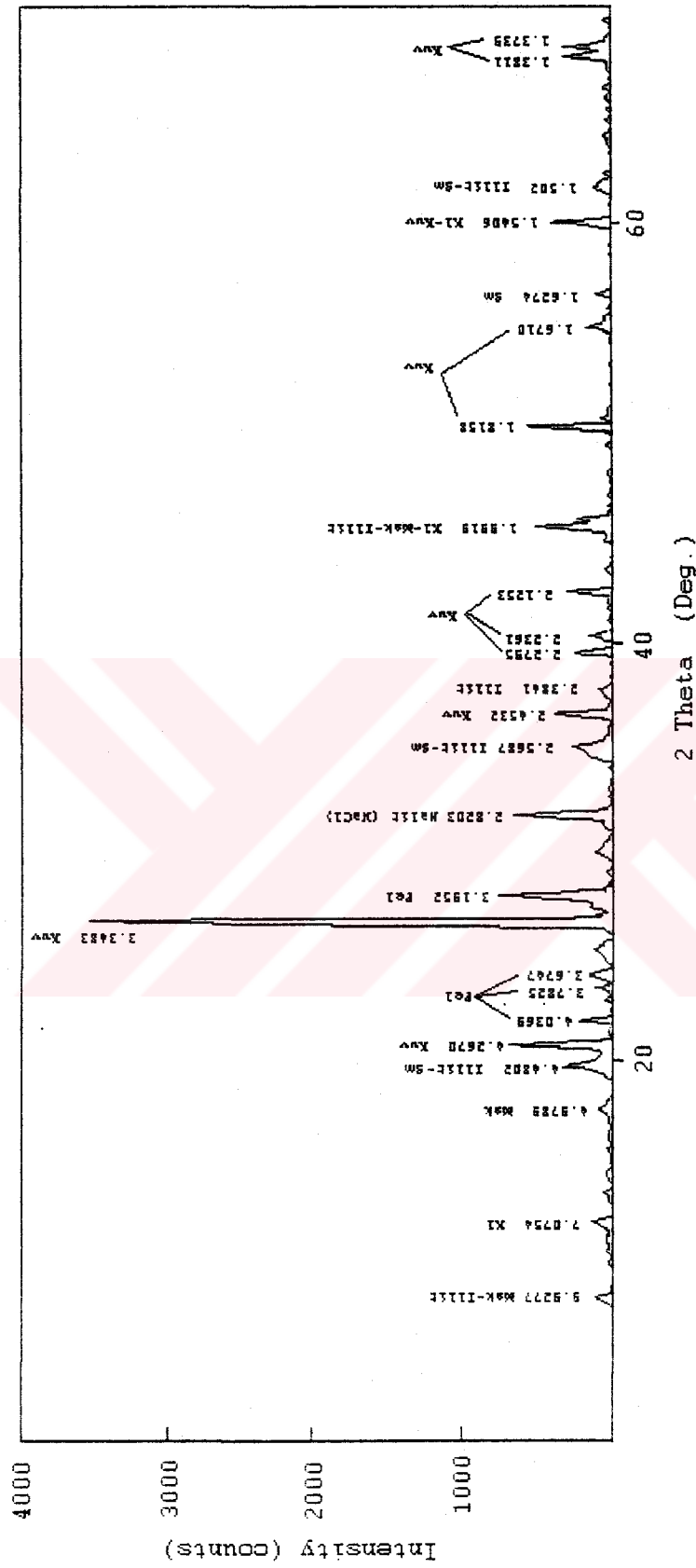
Akarsu alüvyon örneklerinde olduğu gibi göl sedimanlarının X-Işınları Difraksiyon çözümlemelerinde kloritlerin klinoklor türünde, feldspatların ise albit türünde olduğu ortaya çıkmıştır.

Yüzey sedimanlarında (YS-4 ve YS-28) yapılan X-Işınları Difraksiyon çekimlerinde belirlenen minerallerin çokluk sırası açısından farklılık gösterdiği gözlenmiştir. YS-4 numaralı örneğin mineral bileşimi çokluk sırasına göre;

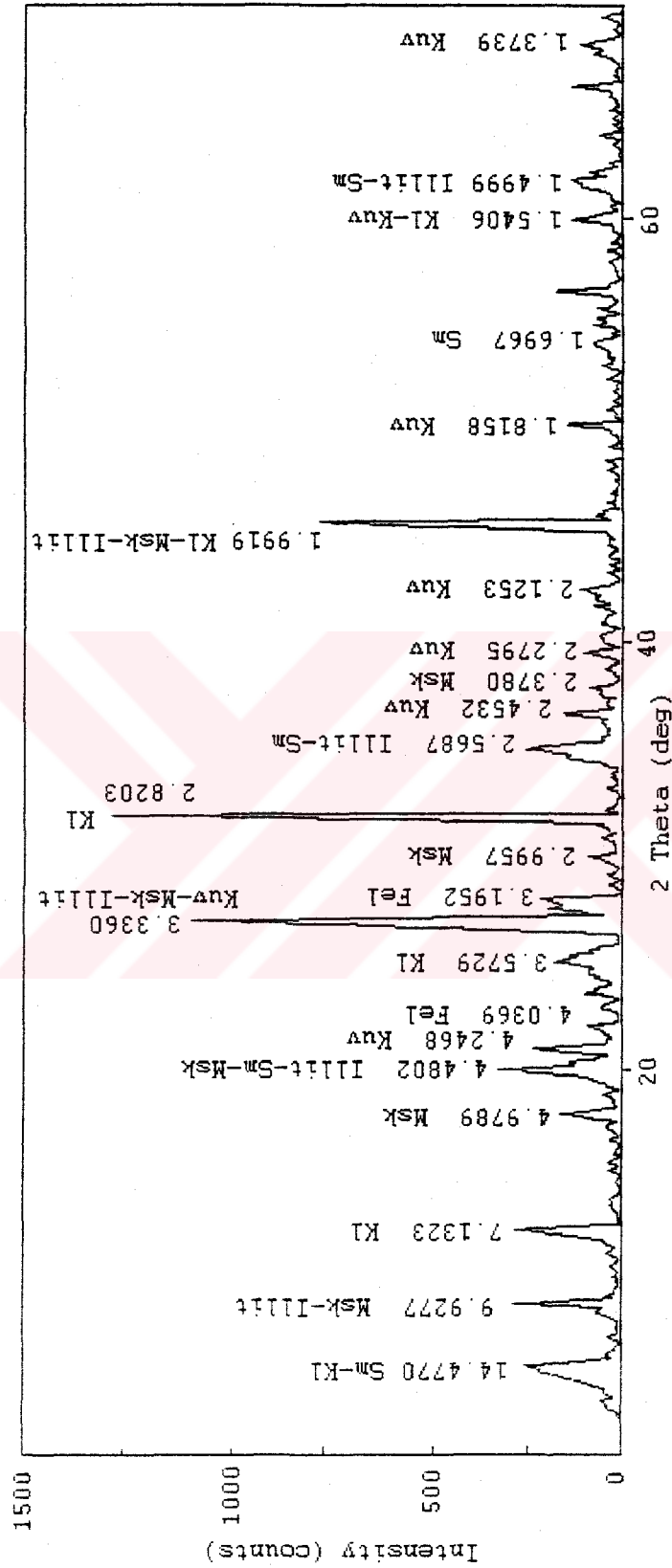
Kuvars > Feldspat > Klorit > Muskovit-Illit > Smektit şeklindedir

YS-28 nolu örneğin mineral bileşimi ise çokluk sırasına göre ;

Kuvars > Smektit > Klorit > Muskovit-Illit > Feldspat şeklindedir.



Şekil 7.8. YS-4 numaralı yüzey sediman örneğinin X-Işınları Difraksiyon çözümü



Şekil 7.9. YS-28 numaralı yüzey sediman örneğinin X-Işınları Difraksiyon çözümü

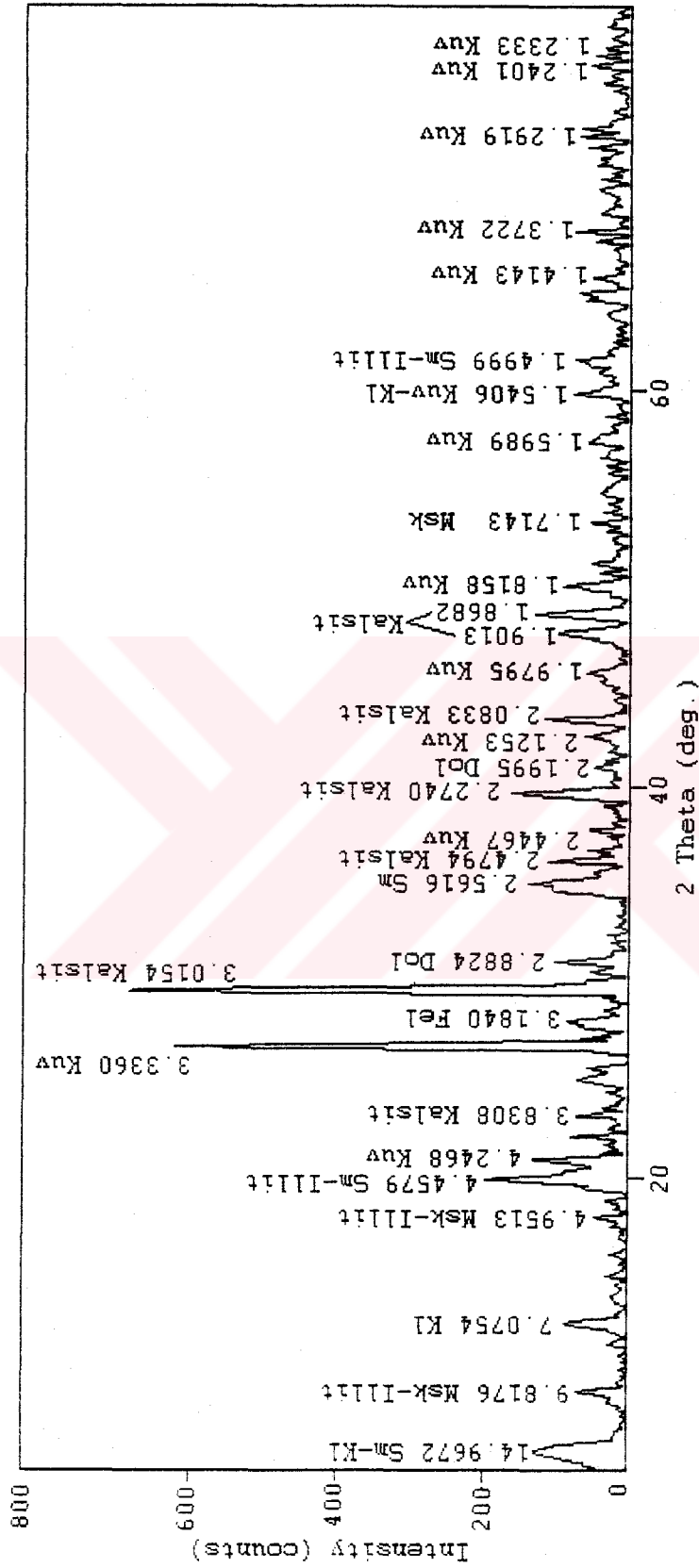
Karot sedimanlarının X-Işınları Difraksiyon çözümlemelerinde mineralojik bileşimin, kalsit ve dolomit dışında yüzey sediman örneklerinininkiyle aynı olduğu belirlenmiştir. Gerçekten X-Işınları Difraksiyon çözümlemelerinde yüzey sediman örneklerinin hiç birinde kalsit ve dolomit tespit edilmemiştir. Ancak bunun aksine, karot sediman örneklerinde kalsit ve dolomit bulunması dikkat çekicidir. Bu da kalsit ve dolomit'in sedimentasyonu takip eden bir süreç içerisinde oluştuğuna işaret eder.

Ayrıca yüzey sediman örneklerinin, X-Işınları Difraksiyon çözümlemelerinde kalsit ve dolomit görülmemesine rağmen, karot sediman örneklerinde kalsit ve dolomit piklerinin varlığı, bölgenin jeolojik kesitinde de gösterildiği gibi, Uluabat Gölü'nün Jura yaşlı kireçtaşlarının üzerinde bulunmasıyla ilgili de olabilir. Basit olarak, tabandaki kireçtaşlarından gerek su ve gerekse diğer fiziksel etkenlerle partiküllerin koparak göl tabanına çökelen sediman kitlesi içerisine girmesi nedeniyle, sediman tabakasının nispeten alt kesiminden alınan karot örneklerinin X-Işınları Difraksiyon çözümlemesinde kalsit ve dolomit piklerinin bulunması mümkün olabilir.

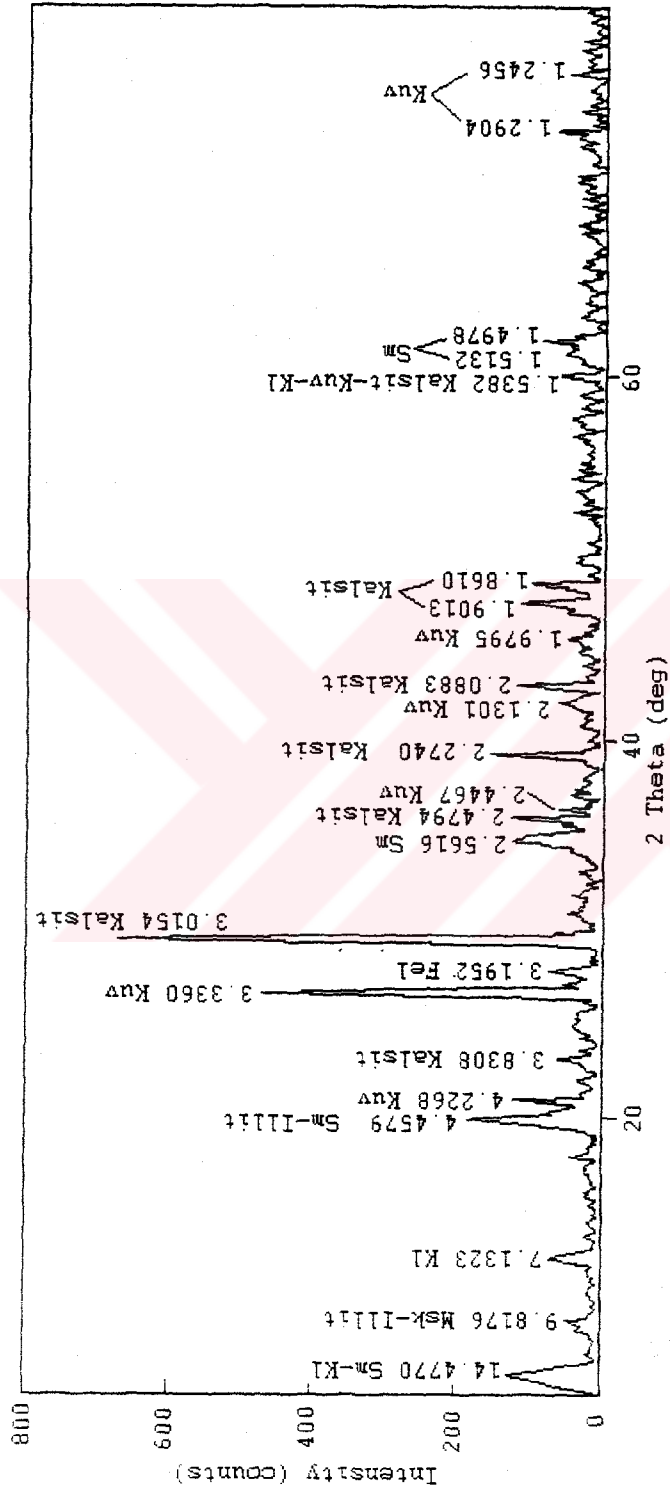
Karot sediman örneklerinin X-Işınları Difraksiyon çözümlemelerinde genel mineralojik bileşiminin bolluk sırasına göre;

Kuars + kalsit + smektit + illit + klorit + muskovit + feldspat + dolomit

şeklinde olduğu (Şekil 7.10 ve 7.11) belirlenmiştir.



Şekil 7.10. KS-8 numaralı karot sediman örneğinin X-Işınları Difraksiyon çözümü

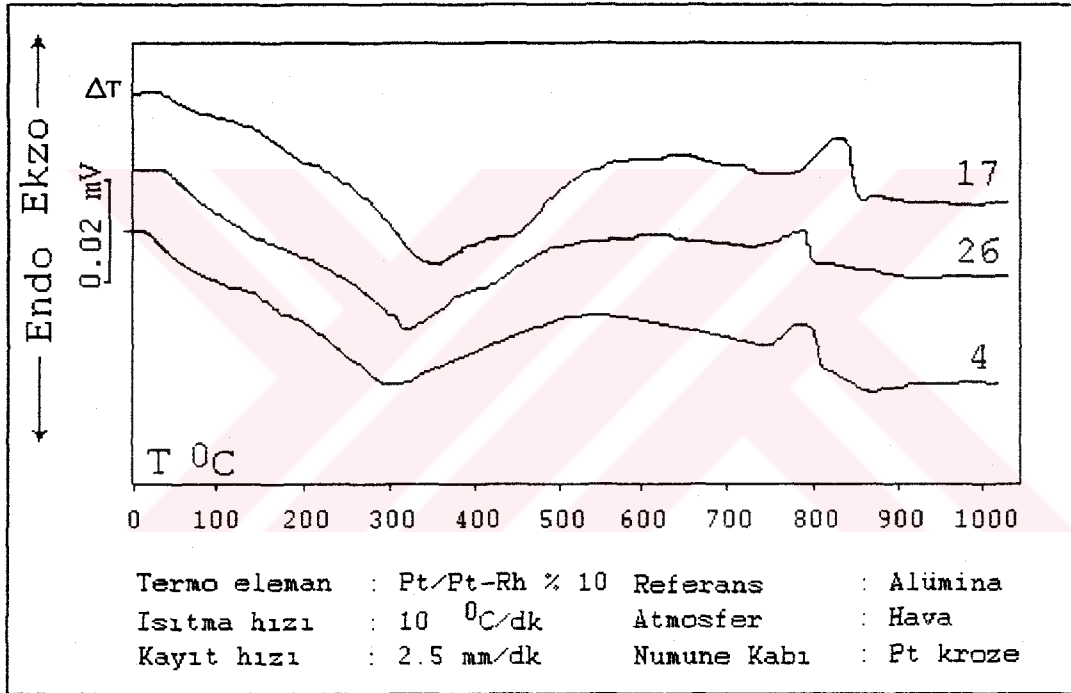


Şekil 7.11. KS-23 numaralı karot sediman örneğinin X-Işınları Difraksiyon çözümü

7.3. Diferansiyel Termik Analiz (DTA) İncelemeleri

Uluabat Gölü'nden sistematik olarak alınan sediman örneklerinden 5 tanesinde Diferansiyel Termik Analizi (DTA) gerçekleştirilmiştir. DTA çalışmaları mevcut olan Linseiss L62-DTA cihazı ile yapılmıştır. DTA çalışmalarında, Pt/Pt-Rh % 10 termo elemanı, alümina referans ve platin kroze kullanılmış, numuneyi ısıtma hızı 10 °C/d, kayıt hızı ise 2.5 mm/d olarak programlanmıştır.

Elde edilen DTA eğrilerinin birbirine çok yakın benzerlikler göstermesi nedeniyle 4, 17 ve 26 nolu örneklerle ait DTA eğrileri seçilmiş ve Şekil 7.12 de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Uluabat Gölü dip sedimanlarından 4, 17 ve 26 nolu örneklerle ait DTA eğrileri

Uluabat Gölü dip sedimanları organik madde ve kil mineralleri bakımından zengin olduğundan DTA incelemelerinde de aynı bileşenlere ait izler görülmektedir. Üç örneğe ait DTA eğrisinde de yaklaşık 250-350 °C aralığına kadar numunedeki moleküler su kaybindan dolayı geniş bir endotermik reaksiyon meydana gelmektedir. 350 °C den sonra dip sedimanlarında zengin miktarda bulunan organik maddenin ısı etkisiyle oksitlenerek enerji açığa çıkarması sonucu meydana gelen ekzotermik reaksiyona ait çok geniş bir gözlenmektedir. Sıcaklık yaklaşık 750-850 °C arasında iken sediman içerisindeki kil minerallerinden smektit'in önce OH⁻ molekülünün

kristal rezosunu terketmesi ve sonra yeni bir rezo oluşturması sonucu ekzotermik bir reaksiyon meydana gelmiş ve bu olay keskin bir ekzotermik pik olarak ortaya çıkmıştır (Mc Kenzie, 1962). X ışınları difraksiyon yöntemiyle ile belirlenen smektit'in yaygın varlığı Diferansiyel Termik Analiz (DTA) yöntemi ile de kanıtlanmıştır.

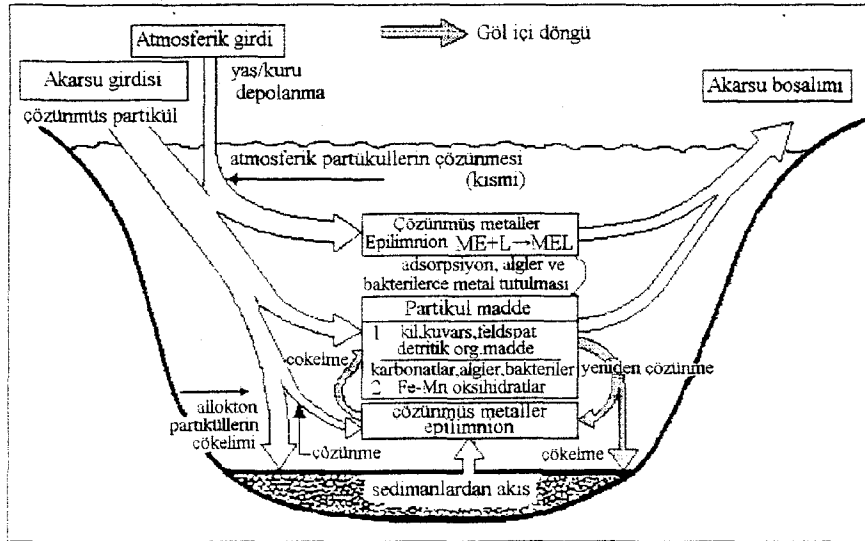


8. ULUABAT GÖLÜ DİP SEDİMANLARININ JEOKİMYASI

Göl sedimanları çakıldan kile kadar değişen boyutta kırıntılı malzeme ile, değişik türde alg ve bitkiler ve göldeki canlıların organik kalıntılardan oluşan oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Bu çalışma kapsamında Uluabat Gölü sedimanlarının jeokimyasal karakteri, sedimanı meydana getiren bu unsurlar ayırt edilmeden birlikte ele alınmış, dolayısıyla elde edilen sonuçların yorumlanmasında bu üç unsur göz önüne alınmıştır.

Mineralojik açıdan bakıldığında genelde göl sedimanlarının üç farklı kökenden sağlandığı görülmektedir (Şekil 8.1).

1. Yüzey suları, kıyı erozyonu, buzullarla taşınma gibi dış kökenli unsurlarla göle taşınan mineraller (allojenik fraksiyon)
2. Su kolonunda meydana gelen oksido-redüksiyon olayları sonucunda oluşan mineraller (endojenik fraksiyon)
3. Depolanmadan sonra sedimanların içerisinde meydana gelen olaylardan kaynaklanan mineraller (otijenik fraksiyon).



Şekil 8.1. Metal iyonlarının kaynakları ve göllerdeki çevrimi (Salomons and Förstner, 1984 den değiştirilerek)

Göllerdeki malzemelerin doğal olarak bu şekilde farklı proseslerle sağlanması, göl malzemenin kökeninin ortaya konmasını kaçınılmaz bir şekilde imkansız hale getirmektedir. Ancak bu üç sediman tipi arasındaki farklılık, göller ve sedimanlar arasındaki önemli etkileşimlerin açıklanmasına yardımcı olmaktadır.

Tablo 8.1, Kuzey Amerika, Orta Avrupa ve Doğu Afrika'da bulunan tatlı su göllerinde tespit edilmiş mineraller ile, bu minerallerin oluşumu ve kökenini göstermektedir (Lerman, 1978).

Üç farklı kökenden gelmiş olması, sedimanların tam anlamıyla incelenmesinde bu üç ortam hakkında iyi bir araştırma yapılması zorunluluğunu doğurmaktadır. Bu yüzden bu tez kapsamında gölün dip sedimanları incelenirken, göl ve gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı suyunun kimyasal karakteri ile göl suyunda askıda kolloidal halde bulunan partiküllerin kimyasal özellikleri jeolojik ve mineralojik bilgiler ışığında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çünkü bir göl ortamında göl suyu ve dip sedimanları ile askıdaki katı madde arasında gerçekte oldukça sıkı bir ilişki vardır. Bu ilişki ortamın Eh-pH şartlarına, dip sedimanının ve askıdaki kolloidal maddenin mineralojik ve kimyasal bileşimine, göldeki organik madde üretimine ve miktarına bağlı olarak gelişir ve değişir. Bu kadar çok parametreye bağlı olması nedeniyle, çözünmüş ve partikül halindeki metalleri ve bu metallerin sediman içindeki birlikteliğini etkileyen olaylar hakkında çok az bilgi mevcuttur.

Literatürdeki araştırmaların çoğu yukarıda bahsedilen parametrelerden ancak birisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin bir araştırma sadece gölün oksik/anoksik sınırında meydana gelen redoks olaylarına bağlı olarak gelişen demir ve manganez oksit ve hidroksitler hakkındadır. Bir başka araştırma, göl tabanında en üst 2 cm lik sediman tabakasını kapsamaktadır. Bir diğeri, metallerin dip sedimanlarındaki kil mineralleri ve organik maddelere bağlı olarak adsorplanmasını ortaya koymaktadır.

Tablo 8.1. Dünya'nın değişik yerlerindeki tatlı su göl sedimanlarında bulunan mineraller ve kaynak tipleri (Lerman, 1978).

Mineral	Kaynak		
	Allojenik	Endojenik	Otijenik
Kil harici silikatlar			
Kuars-SiO ₂	X		
Potasyumlu feldspat-KAlSi ₃ O ₈	X		
Plajiyoklas-(Na,Ca)(Al,Si)Si ₂ O ₈	X		
Mika-K(Mg,Fe,Al) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	X		
Amfibol-(Ca,Mg,Fe,Al) ₃ Si ₄ O ₁₁ (OH)	X		
Piroksen-(Ca,Mg,Fe) ₂ Si ₂ O ₆	X		
Diğer ağır mineraller, d > 3.0	X		
Opal tip silika (diatom)		X	
Killer			
İllit-K _{0.8} Mg _{3.5} Al _{2.26} Si _{3.43} O ₁₀ (OH) ₂	X		
Smektit-X _{0.3} Mg _{0.2} Al _{1.9} Si _{3.9} O ₁₀ (OH) ₂	X		
Klorit-Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	X		
Kaolinit-Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	X		
Karışık tabakalı killer, vermikülit	X		?
Paligorskit-(Ca,Mg,Al) _{2.5} Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · 4 H ₂ O	X		?
Nontronit- X _{0.5} Fe ₂ Al _{0.5} Si _{3.5} O ₁₀ (OH) ₂	X		X
Karbonatlar			
Kalsit-CaCO ₃	X	X	x
Dolomit-CaMg(CO ₃) ₂	X		?
Aragonit- CaCO ₃	x	X	
Mg'lu kalsit		x	X
Rodokrozit-MnCO ₃			X
Monohidrokarbonat- CaCO ₃ · H ₂ O			X
Siderit- FeCO ₃	?		?
Fe-Mn Oksitler			
Götit, Lepidokrozit-FeOOH	X	x	X
Manyetit-Fe ₃ O ₄	X		
Hematit, Maghemit- Fe ₂ O ₃	X		?
Birnessit-(Na,Ca)Mn ₇ O ₁₄ · 3 H ₂ O	?		X
Todorokit-(Na,Ca,K,Ba,Mn) ₂ Mn ₅ O ₁₂ · 3 H ₂ O	?		X
Psilomelan-(Ba,K)(MnO ₂) _{2.5} · H ₂ O			X
İlmenit-FeTiO ₃	X		
Fosfatlar			
Apatit-Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F)	X		
Vivyanit-Fe ₃ (PO ₄) ₂ · 8 H ₂ O			X
Ludlamit-(Fe,Mn,Mg) ₃ (PO ₄) ₂ · 4 H ₂ O			X
Sülfitler			
Pirit-FeS ₂	X		x
Griegit-Fe ₃ S ₄			X
Sfalerit-ZnS		x	
Fluorürler			
Fluorit-CaF ₂			X

- Formüllerdeki X . tek değerli katyon değiştirmeye işaret eder.
- Kaynak tipi gösterimindeki X lerin büyüklüğü oluşumlarındaki sıklığa göre.

8.1. Majör Elementler

Majör elementler yer kabuğunun neredeyse % 95 lik kısmını oluşturan ve yüzde (%) mertebelerinde bulunan silisyum, alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum gibi elementlerdir. Göl sedimanları içerisinde de benzer şekilde aynı elementler yüzde ağırlık olarak en fazla paya sahip elementlerdir. Majör elementlerin çeşitli ortamlar içindeki oranları önceki araştırmacılar tarafından derlenmiş ve literatüre geçmiştir. Bu çalışmada da bu veriler baz alınarak yorumlamalar yapılmıştır. Tablo 8.2, yer kabuğu ve değişik ortamlardaki sedimanlara ait majör elementlerin ortalama değerlerini göstermektedir.

Tablo 8.2. Yer kabuğu ve değişik türdeki sedimanların majör element bileşimi (%)

Element	Ortalama Kabuk (a)	Ortalama Sediman (b)	Ortalama Şeyl (c)	Derin Deniz kili	Sığ su Sedimanı (c)	Akarsu AKM (d)	Kumtaşı (e)	Kireçtaşı (f)	Toprak (g)
Si	27.7	24.5	27.3	25	25	28.5	32.7	3.2	33
Al	8.2	7.2	8	8.4	8.4	9.4	4.3	0.7	6.7
Fe	4.1	4.1	4.7	6.5	6.5	4.8	2.9	1.7	3.2
Ca	4.1	6.6	2.2	2.9	2.9	2.2	3.1	34	2
Mg	2.3	1.4	1.5	2.1	2.1	1.2	1.2	0.6	0.8
Na	2.3	0.6	1	4	4	0.7	1	0.1	1.1
K	2.1	2	2.7	2.5	2.5	2	1.5	0.3	1.8

(a), (b) ve (f); Bowen (1979)

(c) ; Turekian and Wedepohl (1961)

(d) ; Wedepohl (1969)

(e) ; Martin and Meybeck (1979)

(f) ; Marowski and Wedepohl (1971)

(g) ; Ure and Berrow (1982)

Bu çalışma kapsamında elde edilen majör elementlere ait sonuçlar ise tüm göl ortalamaları şeklinde aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 8.3 . Uluabat Gölü tüm sediman majör element değer aralıkları ve ortalamaları (%)*

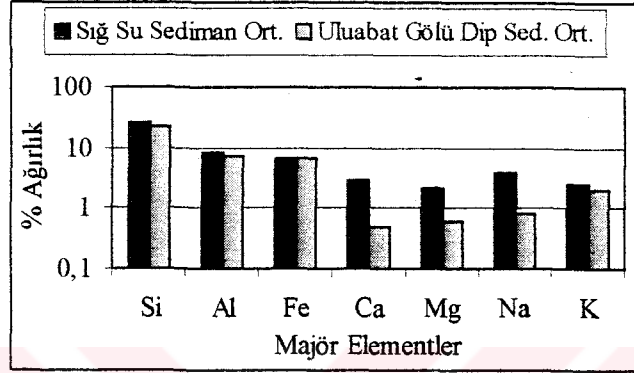
Si	Al	Fe	Na	K	Ca	Mg
20.39-26.45	5.71-8.14	5.54-7.62	0.6-1.44	1.82-2.25	0.26-0.69	5.01-6.10
22.47	7.27	6.70	0.84	2.03	0.48	5.52

* Değerler majör oksit değerlerinden hesaplanarak verilmiştir.

Uluabat Gölü dip sedimanlarının majör element değerleri, değer aralıkları açısından Tablo 8.2 deki "Sığ Su Sedimanı" verileriyle karşılaştırıldığında, Si ve Fe değerlerinin literatürdeki verilerle uyumlu olduğu, Al ve K'un biraz, Na ve Ca'un oldukça düşük olduğu açıkça görülmektedir. Bunlardan farklı olarak Mg oranının

Yerkabuğu ve sığ su sedimanı Mg değerlerinden yaklaşık 2 kez daha büyük olduğu da göze çarpmaktadır.

Ortalama değerlere göre değerlendirildiğinde ise, Si, Al, Fe ve K değerleri literatürdeki değerlerle uyumluluk gösterirken, Ca ve Na değerleri literatür verilerinden önemli ölçüde düşüktür. Mg ortalama değer olarak yine 2 kat daha büyüktür (Şekil 8.2).



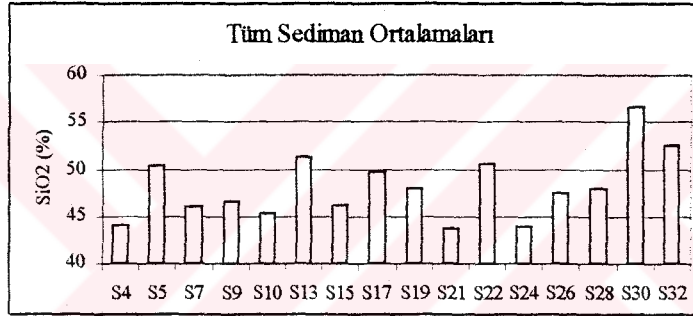
Şekil 8.2. Uluabat Gölü dip sedimanlarının majör element ortalama değerlerinin literatür verileriyle karşılaştırması

8.1.1. Silisyum

Yerkabuğunu meydana getiren elementlerden silisyum oksijenden sonra ikinci sırada olup, % 27.69 (% 59.29 SiO₂) luk bir paya sahiptir. Sığ su sedimanları için ortalama Si değeri % 25 (% 53.3 SiO₂) civarındadır. Bu yüzden göl sedimanlarını oluşturan malzeme içerisinde de silisyumun önemli bir yeri vardır. Göl sedimanlarında bulunan silisyumun başlıca kaynağı yaygın olarak detritik malzeme içerisindeki kuvars kumlarıdır. Ancak, bir çok gölde silisyumun önemli bir kısmı büyük oranda göl içindeki endojenik prosesler yardımıyla çökelmektedir. Gerçekten göllerde doğrudan doğruya inorganik silisyum çökelişi oldukça nadirdir ve ancak jeotermal çözeltilerin soğumasıyla veya alkali çamurların seyreltilmesiyle gerçekleşmektedir (Jones ve diğ. 1967). Diğer yandan organik yollarla oluşan diatome iskeletlerinin sedimentasyonu göllerdeki silisyum miktarına önemli bir katkı sağlarlar. Uluabat Gölü dip sedimanlarına uygulanan X-ışınları difraksiyonu (XRD) ile yapılan incelemelerde hakim mineral olarak kuvars tespit edilmiştir. Ayrıca göle malzeme sağlayan en büyük kaynak olan M. Kemalpaşa Çayı'ndan alınan alüvyon örneklerinin X-ışınları

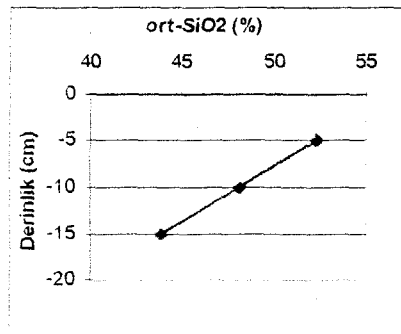
difraksiyonu incelemesinde de yine kuvars hakim mineral olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, gölün güney doğusundan alınan bir örnekte + 40 meş ile - 200 meş arasındaki tüm fraksiyonlarda hakim mineralin yine kuvars olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca göl suyunda yapılan analizlerde doğal sularda olması beklenen çözünmüş silisyum miktarının çok çok altında bir değer elde edilmesi, göl suyundaki çözünmüş silisyumun diatomeler tarafından kullanıldığı ihtimalini gündeme getirmiştir ki, dip sedimanlarındaki silisyum konsantrasyonunun bir kısmı belki de bahis konusu diatomelerden kaynaklanmaktadır.

Alınan silindirik karot örneklerinde göl ortalamasına göre SiO_2 değerleri % 43.67 ile % 56.63 arasında değişmekte olup (Şekil 8.3), tüm göl için ortalama SiO_2 içeriği % 48.12 dir.



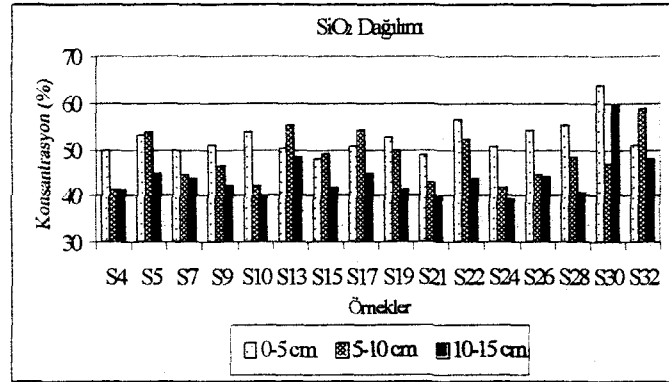
Şekil 8.3. Uluabat Gölü tüm sediman SiO_2 ortalamaları

Silisyum konsantrasyonunun tüm örneklerin ortalamasına göre bakıldığında derinliğe bağlı olarak arttığı görülmüştür (Şekil 8.4). Buna göre en üstteki 0-5 cm lik yüzey sediman tabakasındaki SiO_2 değeri ortalaması % 52.33, daha altta 5-10 cm arasını temsil eden sediman tabakasında % 48.15, en altta 10-15 cm arasını temsil eden sediman tabakasında ise % 43.9 değeri belirlenmiştir.



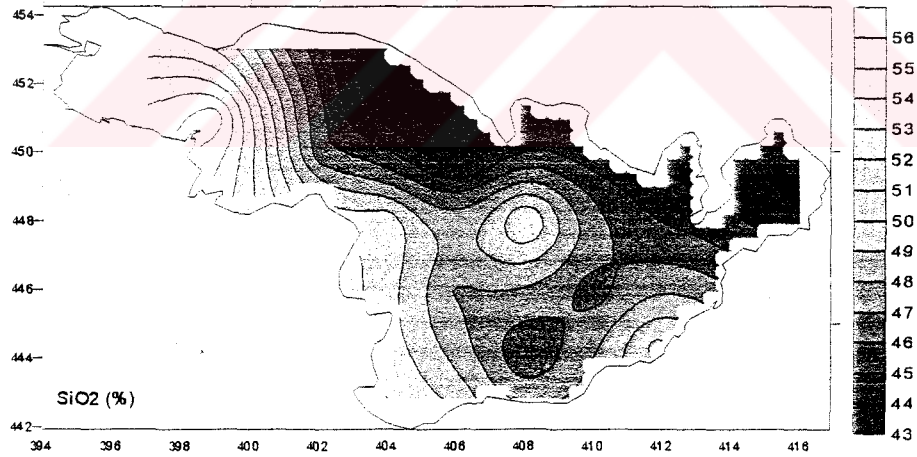
Şekil 8.4. Dip sedimanlarında ortalama SiO_2 değerlerinin derinliğe göre değişimi.

16 örneğin 11 tanesinde en yüksek silisyum değeri 0 ile 5 cm arasını temsil eden tabakada ölçülmüştür. Örneklerin 9 tanesinde silisyum değeri Şekil 10.4 deki trende uygun bir şekilde derinlik artışına paralel olarak tedricen azalmaktadır (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Karot örneklerinde yanal ve düşey olarak SiO₂ değişimi

Surfer 3.2 programı kullanarak Kriging yöntemiyle yapılan yönelim yüzeyi analizinde ortalama değerler açısından en yüksek silisyum içeriği gölün batı kesiminde yer aldığı ve değerlerin gölün kuzey ve kuzey doğusundan batı ve güney batısına doğru artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 8.6).



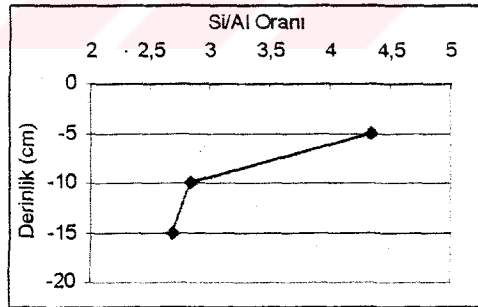
Şekil 8.6. Dip sedimanlarında ortalama SiO₂ dağılımı

Gölün güney ve kuzeybatı kesimlerinde oldukça geniş alanlar kaplayan Miyosen yaşlı Değirmendere formasyonu, konglomera, kumtaşı, kil, tuf ve kömür seviyelerinden oluşan gölsel tortullar niteliğinde olup, M. Kemalpaşa Çayı'na yakınlığı ile silisyum için oldukça önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bunun dışında gölün yine hemen kuzeyinde Pliyosen yaşlı gölsel tortullardan oluşan Hamamlı

formasyonu da benzer şekilde konglomera, kumtaşı, kilitaşı ve çamurtaşı birimlerden meydana gelir ve göle silisyum sağlayan önemli bir kaynak olarak düşünölmektedir.

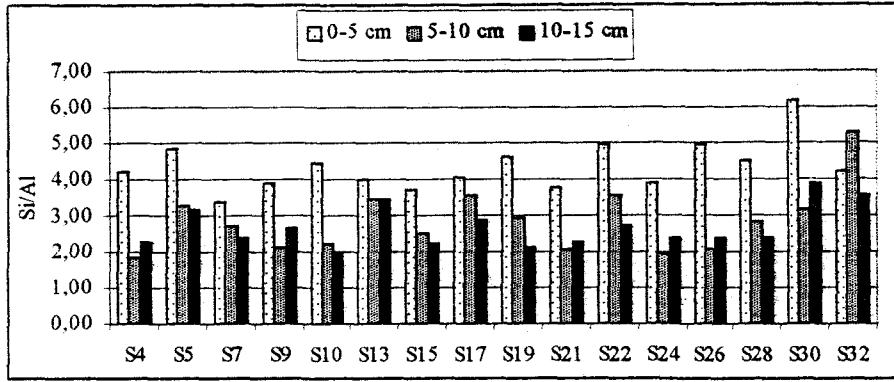
Sedimanlardaki Si/Al oranı, eğer allojenik malzeme hakimse genellikle kuvars/feldspat oranını yansıtır. Feldspatça zengin sedimanların Si/Al oranları ise genelde 2-3 civarındadır. Kuvars oranı arttıkça doğal olarak bu oran daha da artacaktır. Ayrıca üretkenliğin fazla olduğu göllerde endojenik proseslerle fazla miktarda amorf silisyumun (diatomeler) varlığı da bu oranın artmasına yol açmaktadır. Michigan Gölü'ndeki Si/Al oranı 9.24 iken Ontario Gölü'nde bu oran 3.28 ile 4.73 arasında, Erie Gölü'nde ise 3.7 ile 5.4 arasında değişmektedir.

Bu çalışmada her bir karot seviyesi ortalamaları göz önüne alınarak Si/Al oranları hesaplandığında değerler 2.68 ile 4.35 arasında değişmekte olup, tüm göl için ortalama Si/Al oranı 3.29 dur (Şekil 8.7). Derinlik artışına bağı olarak incelendiğinde 32 numaralı örnek haricinde örneklerin hepsinde en üst 5 cm lik sediman tabakası daha yüksek Si / Al değerlerine sahiptir ve karotun daha alt kısımlarında bu değer daha az olmakla birlikte göreceli olarak değişkenlik göstermektedir. Her bir karot dilimine ayrı ayrı bakıldığında Si/Al değerlerinin 1.85 ile 6.15 arasında değiştiğı görölmektedir (Şekil 8.8).

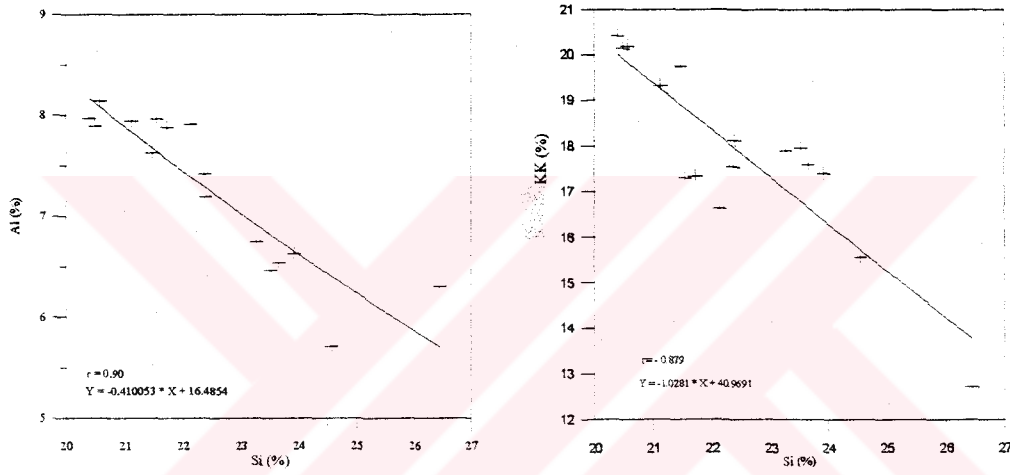


Şekil 8.7. Dip sedimanlarında ortalama Si/Al oranının derinliğe göre değişimi.

Yapılan ikili diyagramlarda silisyum değerleri ile kızdırma kaybı ve alüminyum değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Silisyum ve alüminyum değerleri arasında $r=0.896$ düzeyinde, silisyum ve kızdırma kaybı değerleri arasında ise $r=0.879$ negatif bir korelasyon olduğu Şekil 8.9 da görölmektedir.



Şekil 8.8. Karot örneklerinde ait Si/Al değerlerinin yanal ve düşey değişimi



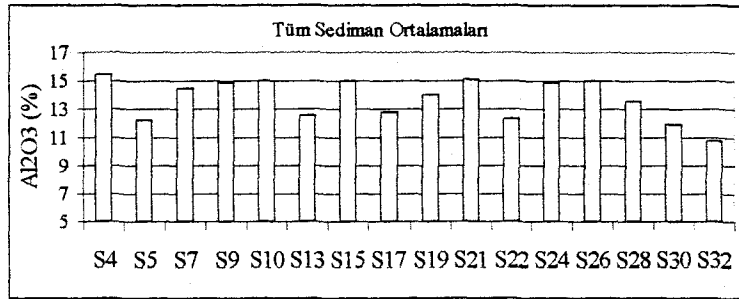
Şekil 8.9. Dip sedimanlarında ortalama Si-Al ve Si-KK ilişkisi

8.1.2. Alüminyum

Yerkabuğunu oluşturan elementlerden üçüncüsü olan alüminyum, göl sedimanları içerisinde silisyumdan sonra ikinci sıradadır. Yerkabuğu ortalama Al değeri % 8.2 (% 15.5 Al_2O_3) iken sığ su sedimanları için ortalama Al değeri % 8.4 (% 15.88 Al_2O_3) düzeyindedir. Birincil minerallerin bozunumu sonucu silisyum; silisik asit şekline dönüşürken, Al ise hidroksitler meydana getirir. Al-hidroksit pH=5-9 arasında 1 ppm den az çözünür. Alüminyum pH=2.8 de ilk olarak çökelmeye başlar ve pH=4.2-9.8 arasında tümüyle çökeltme gerçekleşir. Çökelen alüminyumun tekrar çözeltiye geçmesi için pH'nın 12.3 değerini alması gerekir.

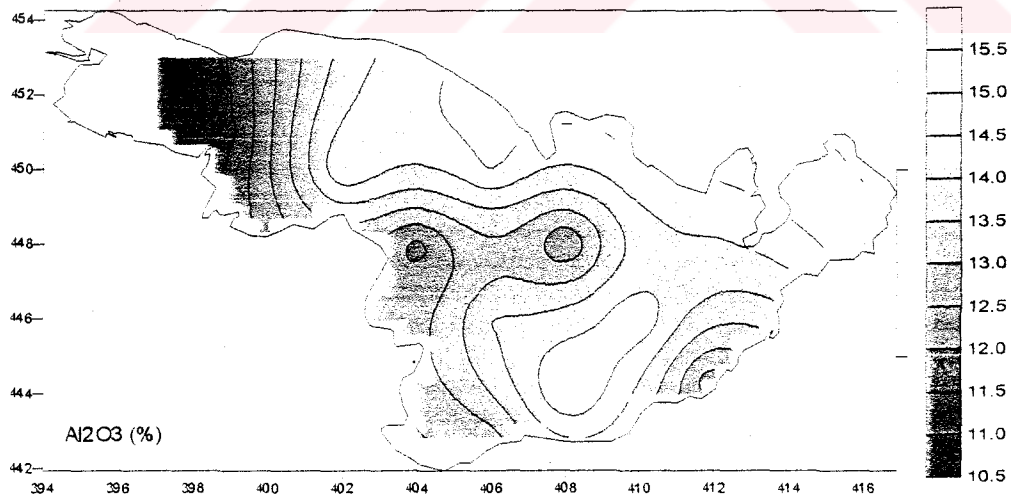
Alüminyum'a kaynak oluşturan başlıca mineraller, göl sedimanları içerisindeki kaolinit, montmorillonit, illit, vermikülit, klorit, alkali feldspat ve plajiyoklas gruplarına ait minerallerdir.

Uluabat Gölü dip sedimanlarında tüm sediman ortalama değerleri olarak Al_2O_3 miktarı % 10.8 ile % 15.4 arasında olup (Şekil 8.10), tüm göl sedimanları için ortalama % 13.74 olarak belirlenmiştir.



Şekil 8.10. Tüm sediman Al_2O_3 ortalamaları

Ortalama değerler göz önüne alınarak Kriging yöntemiyle yapılan eş konsantrasyon haritasında (Şekil 8.11), alüminyum değerleri batıdan doğuya doğru ve güneyden kuzeye doğru gittikçe artış göstermektedir. En yüksek Al değerleri kuzeyde Karaağaç Köyü burnunun batısında ve doğuda Akçalar köyü'ne yakın kesimde belirlenmiştir.



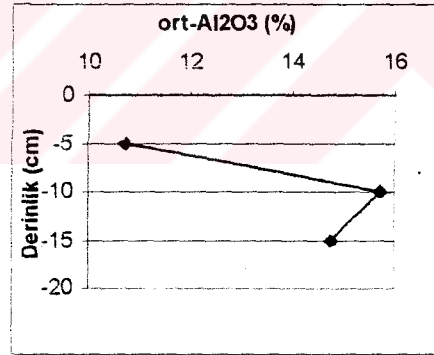
Şekil 8.11. Dip sedimanlarında ortalama Al_2O_3 dağılımı

MTA tarafından yapılan 6717 sayılı raporda ve Ek-A da verilen jeoloji haritasında da belirtildiği üzere, gölün kuzey kesiminde ve göle çok yakın konumda olan Miyosen yaşlı Değirmendere formasyonu ile Pliyosen yaşlı Hamamlı formasyonu, gölsel

sedimanlardan oluşmakta ve içerisinde değişik seviyelerde kil taşları, tüfler, çamur taşları ve killi kireçtaşları bulundurmaktadır. Bu birimler aynı zamanda gölün güney kesiminde de mineralojik bileşimleri itibarıyla yüksek miktarda Al içeren birimlerdir ve göle çok yakın bir konumda oldukları için fiziksel ve kimyasal etkilerle aşınarak ve ayrılarak göle taşınmaları mümkündür.

Göl suyunda ve askıda katı maddede yapılan analizlerde alüminyumun ppb mertebesinde çıkması, alüminyumun ayrışmaya karşı dayanıklı bir element olması ve kolloidal formdan çok silt ve kil boyutlu malzemede yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır.

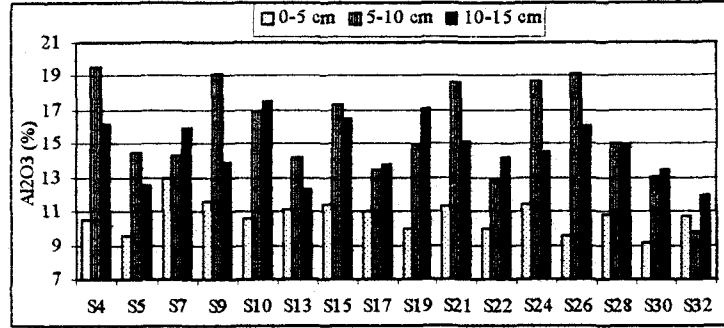
Alüminyumun derinliğe bağlı olarak değişimi ise silisyumin tersine bir durum gösterir. Karot sedimanın en üst tabakasında (0-5 cm) alüminyum % 10.74 ile en düşük değerini almıştır. Derine doğru konsantrasyon büyük bir artış göstermekte ve 5-10 cm arasını temsil eden karot diliminde bu değer % 15.73'e çıkar. Ancak 10-15 cm lik sediman tabakasında küçük bir düşüş göstererek % 14.76 değerini alır (Şekil 8.12).



Şekil 8.12. Dip sedimanlarında ortalama Al₂O₃ değerlerinin derinliğe göre değişimi.

Derinlik arttıkça sedimandaki Al yüzdesinin artışı, yüzey sediman tabakasında alg ve benzeri organik maddelerin kil ve silt gibi detritik malzemeden fazla olmasıyla ilişkili olabilir, çünkü Uluabat Gölü organik üretkenlik açısından oldukça aktif bir göldür ve daha önce değinildiği gibi gölün bir çok yerinde su kolonu büyük ölçüde bitki tabakasıyla kaplanmış durumdadır.

Tüm sediman örnekleri ele alındığında, sediman örneklerinin biri hariç hepsinde en üst sediman tabakasındaki Al değeri düşüktür. Sekiz örnekte Şekil 8.12 dekine benzer bir yönelim olmasına karşın, 6 örnekte tedricen artan bir eğilim vardır (Şekil 8.13).

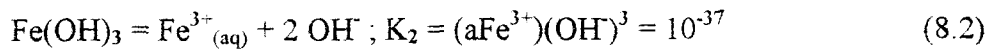
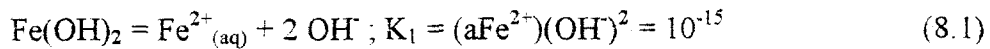


Şekil 8.13. Dip sedimanlarında yanal ve düşey olarak Al_2O_3 değişimi

8.1.3. Demir

Element olarak demir yerkabuğunu oluşturan öğelerden dördüncüsüdür. Demirin jeokimyasal özelliklerinin kükürt, oksijen ve karbon ile sıkı bir ilişkisi vardır. Örneğin; atmosferdeki oksijen, iki değerlikli demir minerallerini oksitleyerek üç değerlikli hale dönüştürürler. Sedimanter ortamlarda, bakteriler, organik karbonun yardımı ile üç değerlikli demiri iki değerlikli demire ve sülfatları da sülfidlere indirgerler. Eğer ortamda sülfid az ise, çözülmüş halde bulunan okside olmuş demirle birleşerek sideritleri oluştururlar.

Demir elementinin sığ su sedimanları için belirlenen ortalama değeri % 6.5 (Fe_T) iken yerkabuğu ortalaması ise % 4.1 (Fe_T) dir. Doğal şartlarda demirin Fe^{2+} (ferro-) ve Fe^{3+} (ferri-) şeklinde iki farklı iyonu vardır. Fe^{2+} bileşiklerinin çözünürlüğü Fe^{3+} bileşiklerinkinden daha yüksektir. Örneğin pH=6 nın üzerinde $Fe(OH)_2$ suda nispeten çözündüğü halde $Fe(OH)_3$ kolloid durumunda kalır ve kolayca çözünmez. Bu durum kimyasal açıdan aşağıdaki şekilde gelişir.

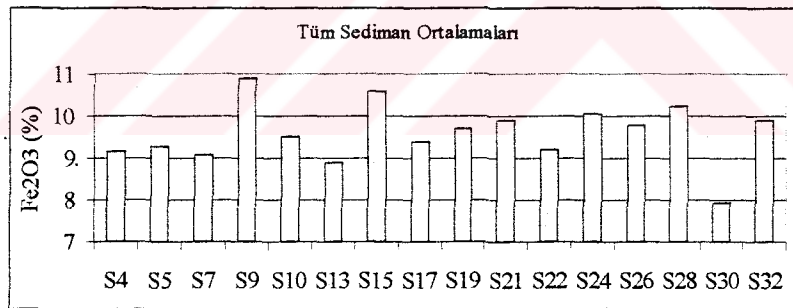


Görüldüğü gibi 3 değerlikli demirin denge sabiti, 2 değerlikli demirin denge sabitinden 10^{22} kat daha küçüktür, yani Fe^{3+} in çözünmesi Fe^{2+} ye göre 10^{22} kat daha zordur.

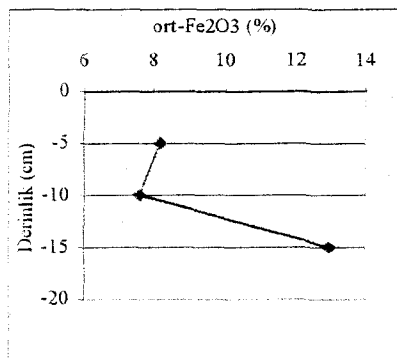
İki değerlikli demir konsantrasyona bağlı olarak $\text{pH}=5.5$ dan sonra çökmeye başlarken, üç değerlikli demirin çökme aralığı yine konsantrasyona bağlı olarak $\text{pH}=2.4-11.2$ arasındadır. Genelde doğada Fe^{2+} duraylı kalmaz ve kısa zamanda yükseltgenerek Fe^{3+} haline dönüşür.

Uluabat Gölü dip sedimanlarında demir konsantrasyonu toplam demir olarak ölçülmüştür. Tüm sediman örnekleri için Fe_2O_3 içeriği % 7.93 ile % 10.9 arasında değişmekte ve ortalama % 9.59 değerini almaktadır (Şekil 8.14). Bu değerlere göre Uluabat Gölü demir içeriği yerkabuğu ve sıg su sediman ortalamalarıyla uyumludur.

Diğer yandan demir değerlerinin derinliğe değişimi incelendiğinde, tüm sediman ortalaması bazında en üst 5 cm lik kısımda % 8.17 Fe_2O_3 , 5-10 cm arasını temsil eden sedimanda az bir düşüş ile %7.6 Fe_2O_3 , 10-15 cm lik sediman tabakasında ise büyük bir artışla % 12.98 Fe_2O_3 olduğu belirlenmiştir (Şekil 8.15).

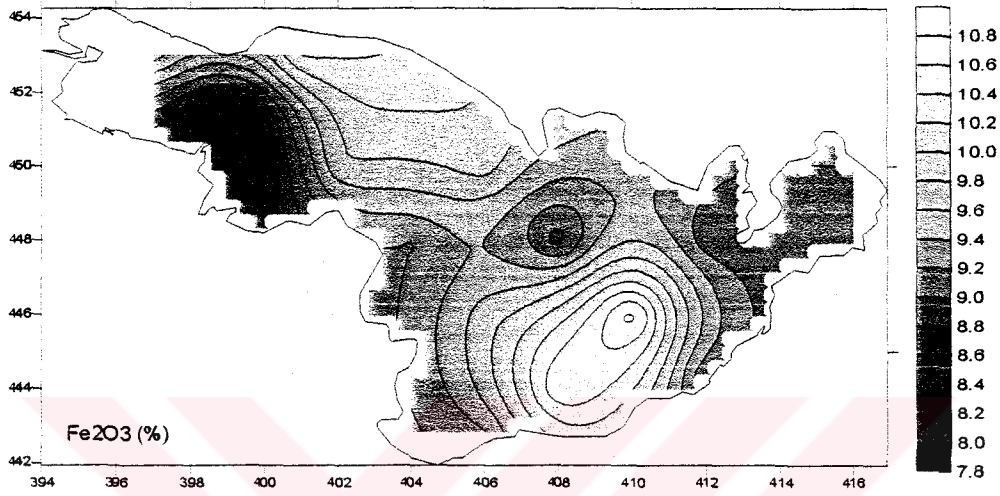


Şekil 8.14. Uluabat Gölü tüm sediman Fe_2O_3 ortalamaları



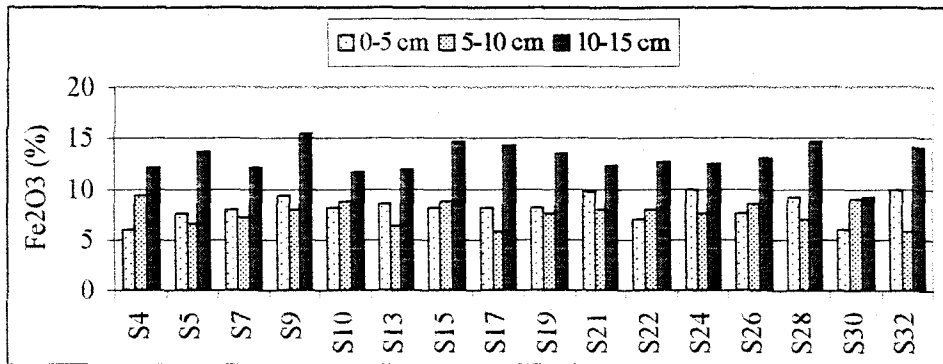
Şekil 8.15. Dip sedimanlarında ortalama Fe_2O_3 değerlerinin derinliğe göre değişimi.

Göl sedimanlarında ortalama demir içeriğinin yanal olarak değişimi daha öncekilerde olduğu gibi Kriging yöntemiyle ortaya konmuştur. Oluşturulan haritada en yüksek demir konsantrasyonunun gölün güneydoğusunda Furla ve Akçapınar köylerinin kuzeyindeki kesimde, en düşük değerlerin de güneybatı kesiminde olduğu görülmektedir (Şekil 8.16).

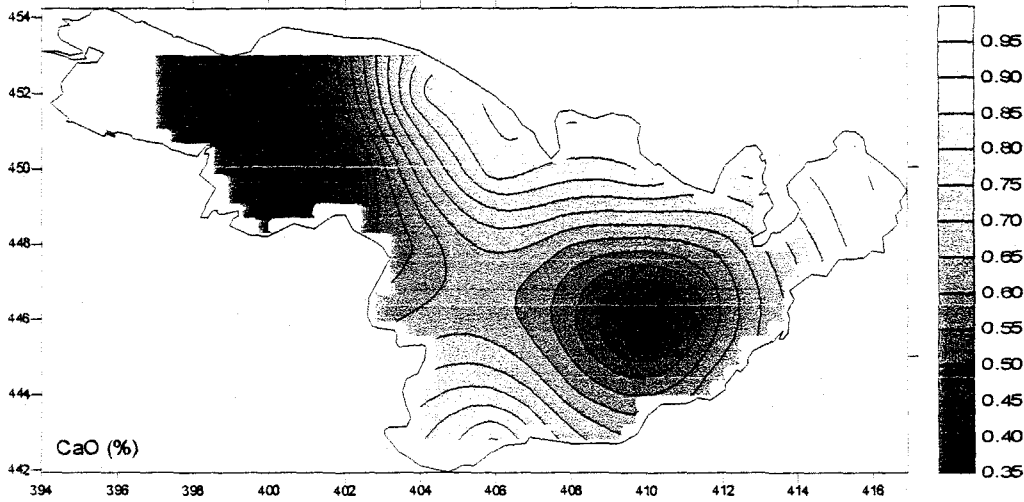


Şekil 8.16. Dip sedimanlarında ortalama Fe_2O_3 değerlerinin dağılımı

Tüm sediman örneklerinde derinliğin fonksiyonu olarak % Fe_2O_3 değerlerinin değişimine bakıldığında (Şekil 8.17), örneklerin tümünde en yüksek demir içeriği en alttaki 10-15 cm arasını temsil eden karot diliminde gözlenmektedir. Örneklerin 6 sında demir içeriği derine doğru sürekli artan bir trend izlemektedir. Diğer 10 örnekte ise Şekil 8.15 dekine benzer tarzda en üst 5 cm lik dilimdeki demir içeriği, alttaki 5-10 cm lik dilimden daha yüksektir.

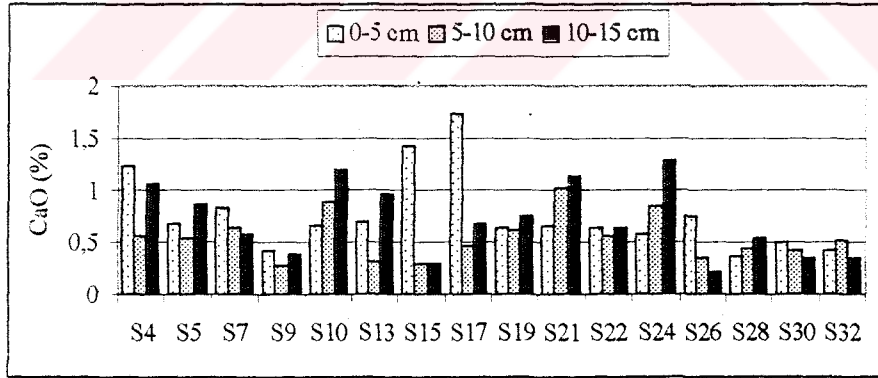


Şekil 8.17. Uluabat Gölü tüm sediman örneklerinde derinliğe bağlı Fe_2O_3 değişimi



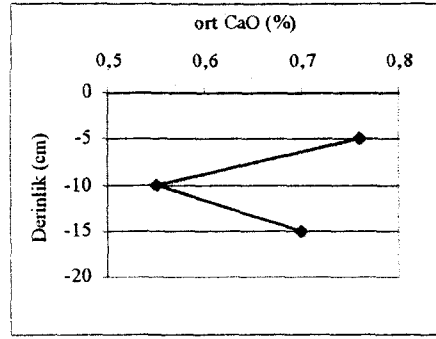
Şekil 8.19. Dip sedimanlarında ortalama CaO değerlerinin dağılımı

Ca değerlerinin karot derinliği boyunca değişimine bakıldığında, oldukça karışık bir durum gözlenmektedir. Karot örneklerinin dördünde Ca değerleri derine doğru arttığı gözlenirken, dört örnekte tersine gittikçe azalan bir trend görülmektedir. Diğer karot örneklerinin 5-10 cm deki değer bazen en yüksek, bazen de en düşük değeri almaktadır (Şekil 8.20). Tüm karot örneklerinde ortalama olarak derinliğe bağlı Ca değişimi ise Şekil 8.21 de verilmektedir.



Şekil 8.20. Tüm sediman örneklerinde CaO değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Şekil 8.21 de göl genelinde en üst 5 cm lik karot diliminde CaO içeriği en yüksek değerini alırken, 5-10 cm lik dilimde bu değer en düşük düzeye indiği, en alt 10-15 cm lik dilimde ise tekrar arttığı görülmektedir. Genel ortalamada CaO değerinin en üst 5 cm lik karot diliminde artış göstermesine, detritik malzemenin çok yerel olarak göl tabanında yaşayan CaCO_3 kavrıllı canlıların sebep olduğu düşünülmektedir.



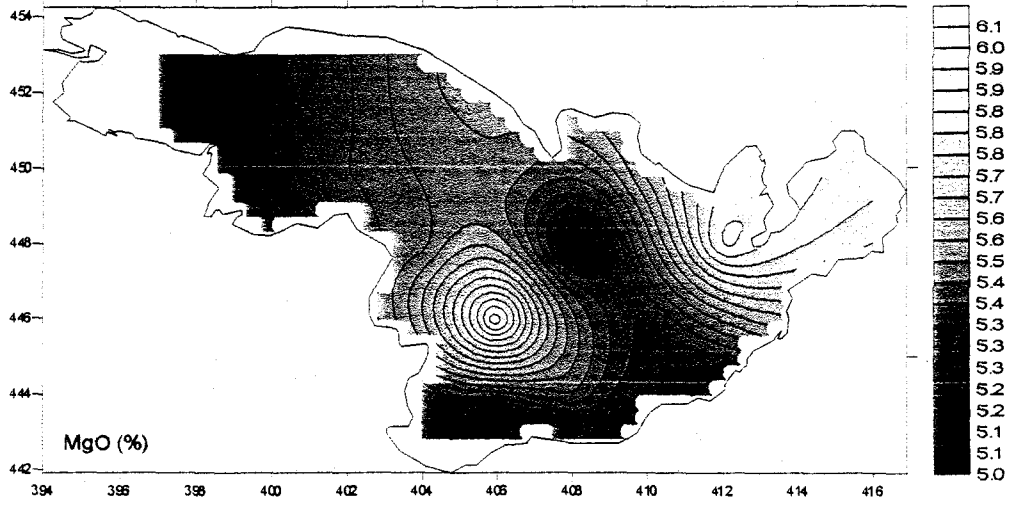
Şekil 8.21. Dip sedimanlarında ortalama CaO değerlerinin derinliğe göre değişimi

Daha sonra derine doğru kalsiyum konsantrasyonunun artışı ise, göl tabanındaki güncel sedimanların altında Jura yaşlı kireçtaşlarının mekanik olarak ayrışarak güncel sedimanların içerisine kalsit şeklinde girmesinden kaynaklanmış olabilir. Dolayısıyla derine doğru kireçtaşlarına yaklaştıkça CaO değerinin artması normal olarak beklenen bir gelişmedir.

8.1.5. Magnezyum

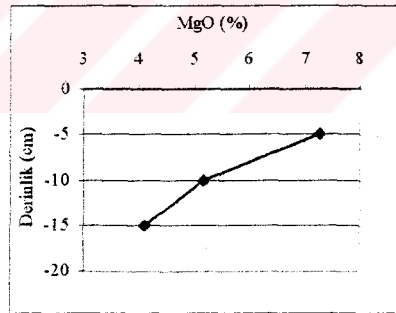
Magnezyum elementi oran olarak yerkabuğunu oluşturan elementlerden altıncısıdır. Bowen (1979) ile Turekian ve Wedepohl (1961) yerkabuğu ortalama bileşiminde Mg oranı % 2.3 (% 3.83 MgO), sıg su sedimanları için ise ortalama Mg oranı % 2.1 (% 3.5 MgO) düzeyinde olduğunu ifade etmektedirler. Magnezyum en fazla silikat minerallerinde (% 55), daha sonra sırası ile fosfat ve arsenatlarda (% 11), sülfatlarda (% 10), boratlarda (% 9), karbonatlarda (% 7), oksit ve bileşiklerinde (% 6), halojenlerde (% 3) ve niobat ve titanatlarda (% 1) bulunur.

Şekil 8.22 Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama MgO dağılımını göstermektedir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi magnezyum oranı gölün batı kesiminde en küçük değerlerde olup çok fazla bir değişim göstermezken, doğuya doğru gittikçe değerlerde hızlı bir artış gözlenmektedir. Özellikle gölün kuzeydoğusunda yer alan Gölyazı beldesine yakın olan kesimde MgO değeri en yüksek düzeye ulaşmaktadır.

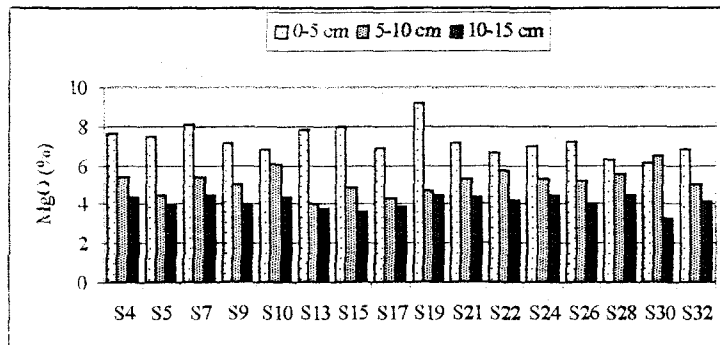


Şekil 8.22. Dip sedimanlarında ortalama MgO dağılımı

Uluabat Gölü'nden alınan karot halindeki dip sedimanlarında ortalama MgO içeriği % 5.52 olup, değerler % 5.01 ile % 6.10 arasında değişmektedir. Alınan karot sediman örneklerinin her bir 5 cm lik diliminde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre derinlik arttıkça ortalama MgO değerlerinin lineer bir şekilde azaldığı Şekil 8.23 de görülmektedir. Her bir karot örneğinde ayrı ayrı incelendiğinde de bu durumun bir örnek dışında değişmediği görülmüştür (Şekil 8.24).



Şekil 8.23. Dip sedimanlarında ortalama MgO değerlerinin derinliğe göre değişimi



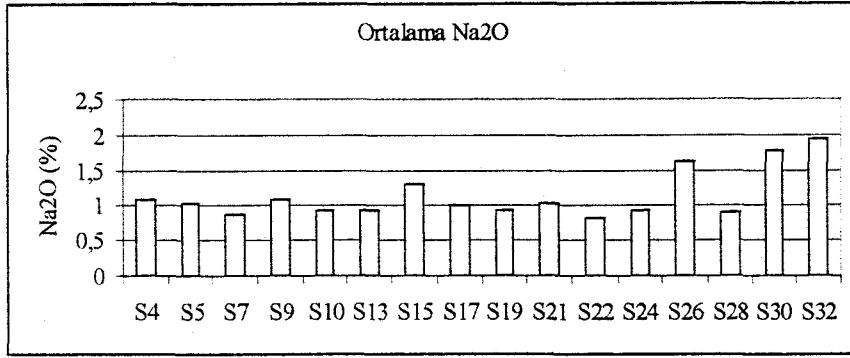
Şekil 8.24. Tüm karot sediman örneklerinde derinliğe göre MgO değişimi

İllit, klorit, smektit gibi kil mineralleri, muskovit gibi mikalar ve dolomit, magnezyum elementi bulunduran ve dolayısıyla magnezyum için kaynak oluşturabilen minerallerdir. Yerkabuğu ve sığ su sedimanları için belirtilen ortalama değerlerle karşılaştırıldığında, Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama MgO içeriğinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Dip sedimanlarında yapılan X-ışınları difraksiyonu incelemelerinde karot olarak alınan örneklerde dolomit piklerine rastlanmıştır. Dolayısıyla magnezyumca zengin olan dolomitten dolayı dip sedimanlarında magnezyumun o oranda çok olması doğaldır. Dolomit dışında daha az oranda magnezyum içeriğine sahip minerallerden illit, klorit ve smektit gibi kil mineralleri de dip sedimanlarının X-ışınları difraksiyonu incelemesinde belirlenen diğer minerallerdir. İllit'in teorik formülünde Mg yoktur, ancak K^+ iyonu ile yer değiştirmek suretiyle (ion exchange) mineralin yapısına girmektedir. Klorit'te ise yaklaşık % 14 dolayında magnezyum bulunmaktadır. Smektit minerallerinden montmorillonit cinsinde yine iyon değiştirme yoluyla mineral yapısına magnezyum girmektedir. Tüm bu faktörler Uluabat Gölü dip sedimanlarında magnezyum içeriğinin yerkabuğu ve sığ su sedimanlarına kıyasla yüksek olmasını kolaylaştırmaktadır.

8.1.6. Sodyum

Yerkabuğunu meydana getiren majör elementlerden sodyum, miktar bakımından yedinci sıradadır. Potasyuma oranla sodyum mağmatik kayalarda daha fazla olmasına karşın, çökel kayalarda potasyumdan azdır. Sodyuma kaynak teşkil eden mineraller halit, asit plajiyoklas (albit) gibi sodyumlu minerallerdir. Uluabat Gölü dip sedimanlarının X-ışınları ve binoküler mikroskop incelemelerinde halit'e rastlanmamış, ancak albit tipi plajiyoklas pikleri bulunmuştur.

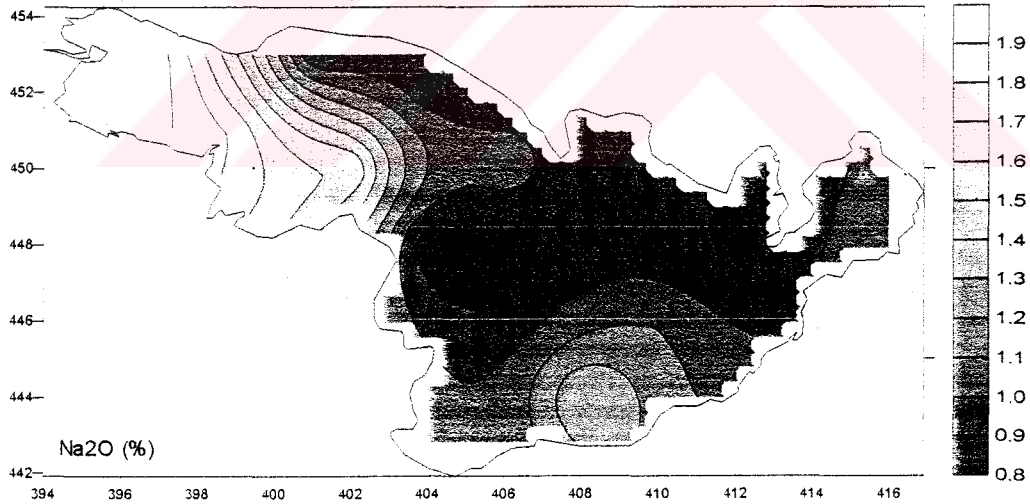
Yerkabuğu ortalama sodyum değeri % 2.3 Na (% 3.1 Na_2O) iken, sığ su sediman ortalamlarında bu değer % 4 Na (% 5.4 Na_2O) düzeyindedir. Uluabat Gölü dip karot sedimanlarında yapılan kimyasal analizlerde tüm göl için ortalama Na_2O oranı % 1.14 olarak hesaplanmıştır. Her bir karot örneğine ait ortalama değerler % 0.82 ile % 1.94 arasında değişmektedir (Şekil 8.25).



Şekil 8.25. Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama Na₂O içeriği

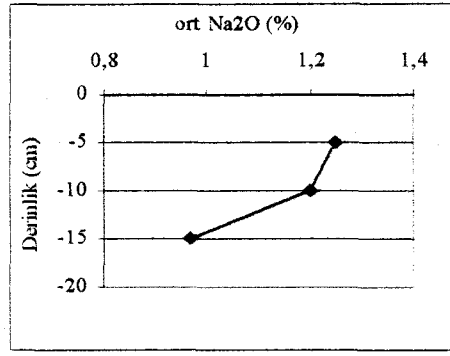
Bu değerlere bakıldığında Uluabat Gölü dip sedimanlarının sodyum içeriğinin, yerkabuğu ve sıg su sediman ortalamalarından düşük olduğu görülmektedir.

Sodyum değerlerinin göldeki yanal değişimini ortaya koymak amacıyla Surfer 3.2 programı kullanarak Kriging yöntemiyle eş konsantrasyon haritası oluşturulmuştur. Şekil 8.26, sodyum değerlerinin gölün doğu ve orta kesimlerinde fazla değişmediğini, fakat batıya doğru hızlı bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur.



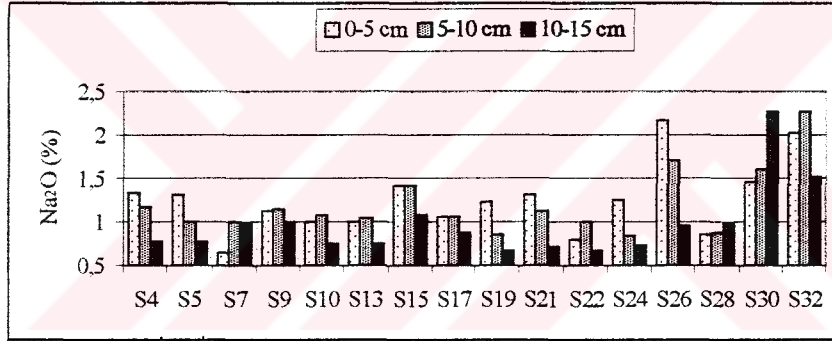
Şekil 8.26. Dip sedimanlarında ortalama Na₂O dağılımı

Sodyum değerlerinin derinliğe göre değişimi ise Şekil 8.27 de görülmektedir. En üst 5 cm lik karot dilimindeki sodyum oranı % 1.25 iken, bu değer 5-10 cm lik dilimde az bir düşüş ile % 1.2 ye düşmekte, 10-15 cm lik dilimde ise % 0.97 ye düşmektedir.



Şekil 8.27. Dip sedimanlarında ortalama Na₂O değerlerinin derinliğe göre değişimi

Karot sediman örneklerinin sekizinde üstten alta doğru tedricen azalan değerler gözlenirken, üç örnekte tersine gittikçe artan değerler söz konusudur. Diğer beş örnekte ise 0-5 cm lik dilimden 5-10 cm lik dilime doğru bir artış olmasına rağmen, 10-15 cm lik dilimde birdenbire bir düşüş gözlenmektedir (Şekil 8.28).



Şekil 8.28. Dip sedimanlarında Na₂O değerlerinin yanal ve düşey olarak değişimi

8.1.7. Potasyum

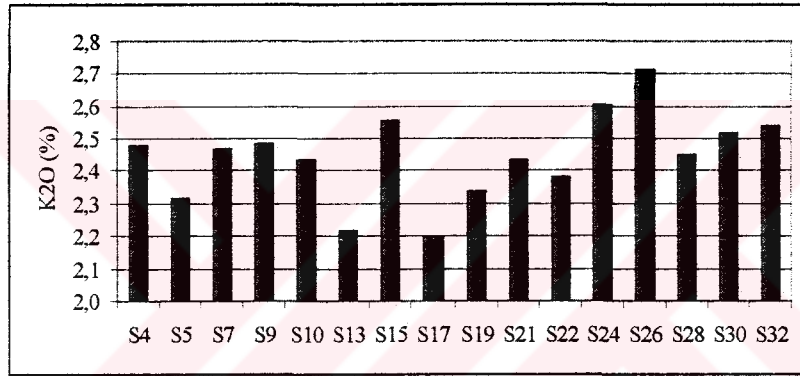
Yerkabuğunu oluşturan majör elementlerden sekizincisidir. Potasyum yerkabuğunda yaklaşık % 2.1 (% 2.53 K₂O) gibi bir paya sahiptir. Sığ su sedimanları için verilen ortalama değerlerde ise bu oran % 2.5 (% 3.01 K₂O) dur. Göl sedimanları içerisinde potasyuma kaynaklık eden mineraller, potasyumlu feldspatlar ile illit ve muskovit gibi alkali silikat minerallerdir.

Yapılan kimyasal analizler, Uluabat Gölü dip sedimanlarının potasyum oksit değerlerinin % 2.19 ile % 2.71 arasında değiştiğini, tüm göl K₂O ortalamasının da % 2.45 olduğunu göstermiştir. Bu verilere bakarak Uluabat Gölü dip sedimanlarındaki

potasyum oranının, yer kabuğu ortalama değerleriyle sığ su sedimanları ortalama değerleri arasında olduğu söylenebilir.

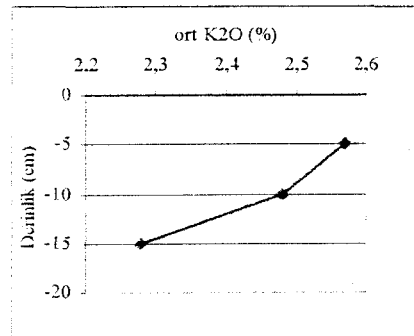
Uluabat Gölü dip sedimanlarında yapılan mineralojik incelemelerde illit ve muskovit bol miktarda gözlenirken, feldspat daha az oranda belirlenmiştir. Bu bakımdan sedimanlardaki potasyumun büyük ölçüde söz konusu minerallerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Her bir karot örneğinin K_2O ortalaması ele alındığında en yüksek değerin S26 numaralı örnek olduğu ve yüksek konsantrasyonların genelde gölün batı kesiminde yoğunlaştığı söylenebilir (Şekil 8.29).



Şekil 8.29. Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama K_2O içeriği

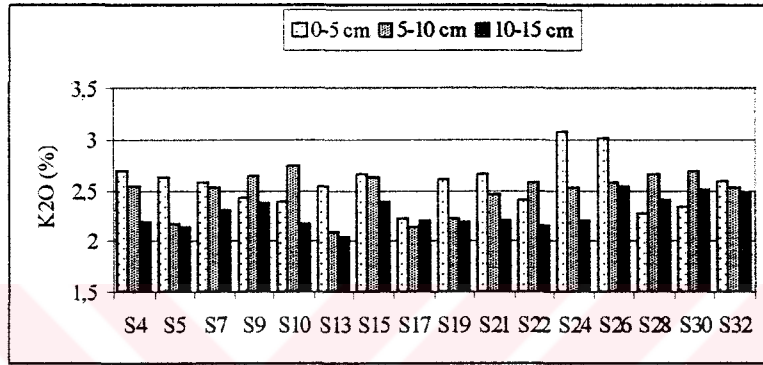
Potasyumun derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 8.30 da gösterilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, Uluabat Gölü dip sedimanlarında göl genelinde potasyum oksit değerleri yüzeyden derine indikçe, sodyum, magnezyum ve silisyumda olduğu gibi azalmaktadır.



Şekil 8.30. Dip sedimanlarında ortalama K_2O değerlerinin derinliğe göre değişimi

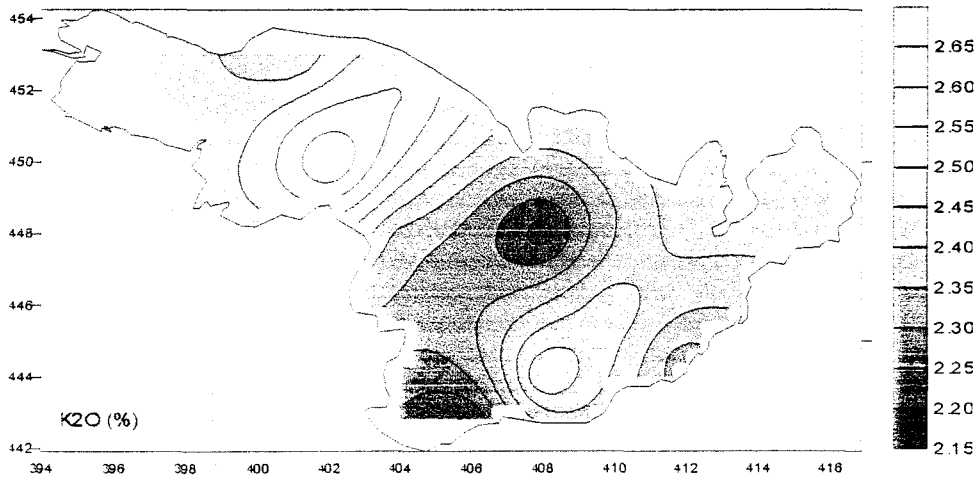
En üst 5 cm lik karot dilimi için ortalama K_2O değeri % 2.57 olarak ölçülmüş iken, orta seviyede bu değer azalarak % 2.48 e inmiş, en altta ise % 2.28 e kadar düşmüştür.

Şekil 8.31 ise potasyumun her bir karot örneğinde derinlikle birlikte değişimini sunmaktadır. Karot örneklerinin 10 tanesinde potasyum değerlerinin derine doğru azaldığı, 5 örnekte ise 5-10 cm lik orta seviyede potasyum değerlerinin daha yüksek olduğu, bir örnekte ise orta seviyedeki değerin daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 8.31. Dip sedimanlarında K_2O değerlerinin yanal ve düşey olarak değişimi

Dip sedimanlarındaki potasyum değerlerinin yanal olarak gölde nasıl değiştiğini ortaya koymak amacıyla Kriging yöntemi kullanılarak oluşturulan eş konsantrasyon haritasında (Şekil 8.32), ortalama potasyum değerlerinin gölün orta kesiminde yer alan Halilbey Adası ile Manastır Adası arasındaki bölgede en düşük düzeyde olduğu, buradan diğer yönlerde doğru gittikçe değerlerin yükseldiği görülmektedir.



Şekil 8.32. Dip sedimanlarında ortalama K_2O değerlerinin dağılımı

8.2. Minör Elementler

Bu bölümde göl sedimanları içerisindeki minör elementler, bu elementlerin sedimanlar içerisindeki konsantrasyonları, bunların yanal ve düşey değişimleri ile bu konsantrasyon değerlerinin yerkabuğu ve sığ su sediman ortalamalarıyla göreceli karşılaştırmaları yer alacaktır.

İkincil veya tali elementler olarak da adlandırılan minör elementler, litosferi oluşturan kayalar içerisinde % 0.01-2 arasında değerler alırlar, fakat normal hallerin dışında miktar olarak majör (birincil) elementlerden daha azdırlar. Ti, Mn, P, Sr, Ba, Zr, V ve Cr gibi elementler, minör elementler olarak adlandırılmaktadır (Bürküt, 1986). Tablo 8.4, yerkabuğu ve çeşitli sedimanlardaki minör elementlerin miktarlarını vermektedir.

Tablo 8.4. Yerkabuğu ve değişik türdeki sedimanların minör element bileşimi

Element	Yerkabuğu ort. (a)	Sediman Ort. (b)	Şeyl ort. (c)	Derin deniz kili (c)	Sığ su Sedimanı (d)	Nehir AKM (e)	Kumtaşı (f)	Kireçtaşı (g)	Toprak (h)
Ti (%)	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.03	0.5
P (ppm)	1000	670	700	1500	550	1150	440	700	800
Mn	950	770	850	6700	850	1050	460	620	760
Ba	500	460	580	2300	0	600	320	90	568
Sr	370	320	140	110	160	150	320	610	278
Zr	190	150	160	150	240	0	220	20	345
V	160	105	130	120	145	170	20	45	108
Cr	100	72	90	90	60	100	35	11	84

(a), (b) ve (f); Bowen (1979)

(c) ; Turekian and Wedepohl (1961)

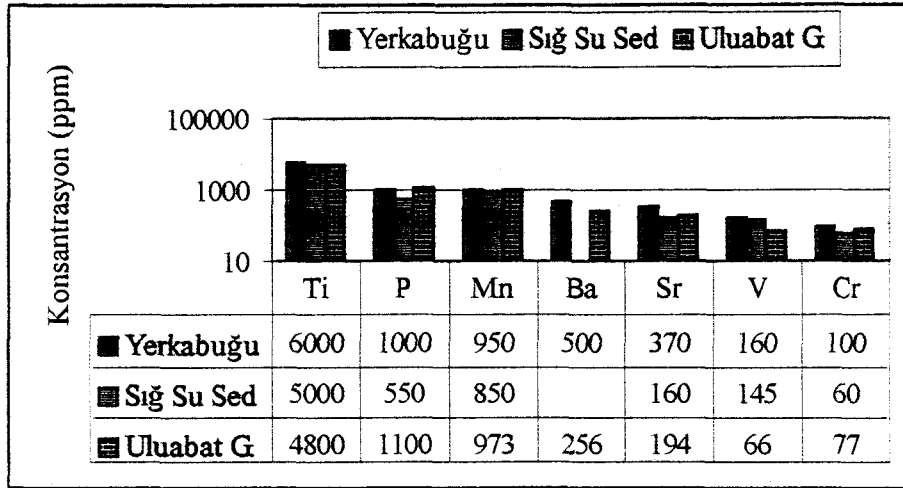
(d) ; Wedepohl (1969)

(e) ; Martin and Meybeck (1979)

(g) ; Marowski and Wedepohl (1971)

(h) ; Ure and Berrow (1982)

Şekil 8.33, Uluabat Gölü dip sedimanlarında analizi yapılan bazı minör elementlerin yerkabuğu ve sığ su sediman ortalamalarıyla karşılaştırmasını göstermektedir.



Şekil 8.33. Uluabat Gölü dip sedimanlarındaki minör elementlerin yerkabuğu ve sığ su sedimanı ortalamalarıyla karşılaştırılması

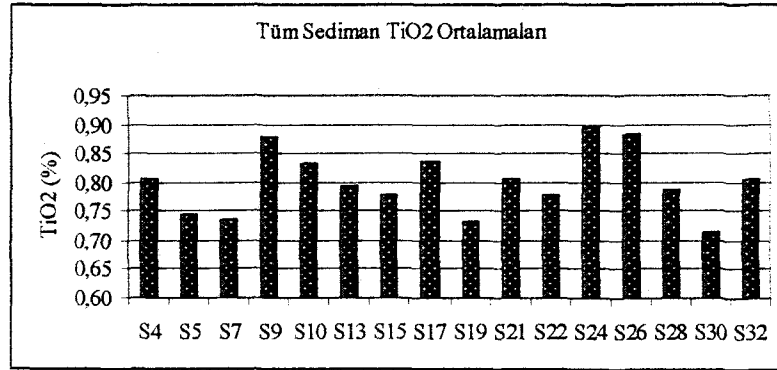
8.2.1. Titanyum

Titanyum elementi yerkabuğunu oluşturan minör elementlerin birincisidir. Başlıca mineralleri Rutil (TiO_2), İlmenit (FeTiO_3) ve Titanomanyetit dir. Yerkabuğu ortalama Ti değeri % 0.6 (% 1 TiO_2) iken, sığ su sediman ortalama Ti değeri % 0.5 (% 0.83 TiO_2) olarak belirlenmiştir.

Uluabat Gölü dip sediman örneklerinin tüm göl için TiO_2 ortalamasının % 0.8 olduğu belirlenmiştir. Farklı derinliklere ait minimum ve maksimum değerler ve ortalamaları aşağıda verilmiş, her bir karota ait ortalama değerler Şekil 8.34 de gösterilmiştir.

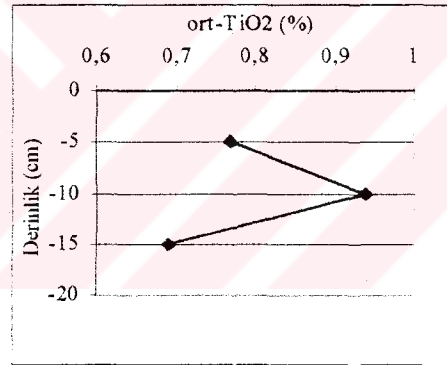
% TiO_2	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	0.57-0.89	0.77
5-10 cm	0.85-1.11	0.94
10-15 cm	0.52-0.85	0.69

Yukarıdaki tabloda, Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama TiO_2 içeriğinin yerkabuğu ortalamasından biraz düşük olduğu, sığ su sediman ortalamasına ise çok yakın bir değerde olduğu görülmektedir.



Şekil 8.34 . Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama TiO₂ içeriği

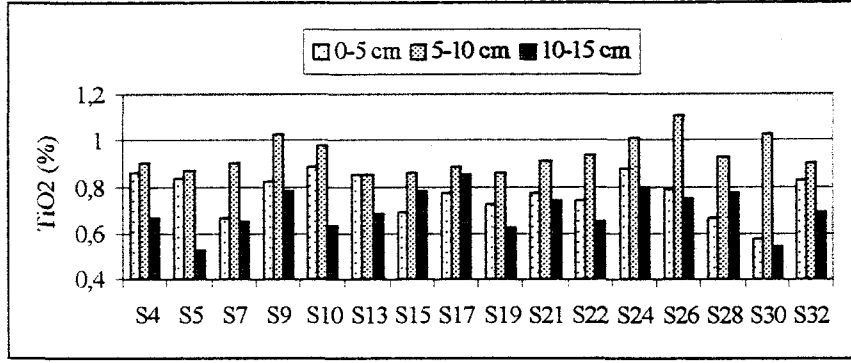
Titanyum değerlerinin tüm göl genelinde derinliğe göre değişimi incelendiğinde P₂O₅ değerlerindeki benzer bir eğilim gözlenmektedir. Yüzeydeki 0-5 cm arası sediman diliminde % 0.77 değerindeki titanyum, 5-10 cm lik kısımda % 0.94'e yükselmiş, daha derinde 10-15 cm lik kısımda ise büyük bir düşüş göstererek % 0.69'a inmiştir (Şekil 8.35).



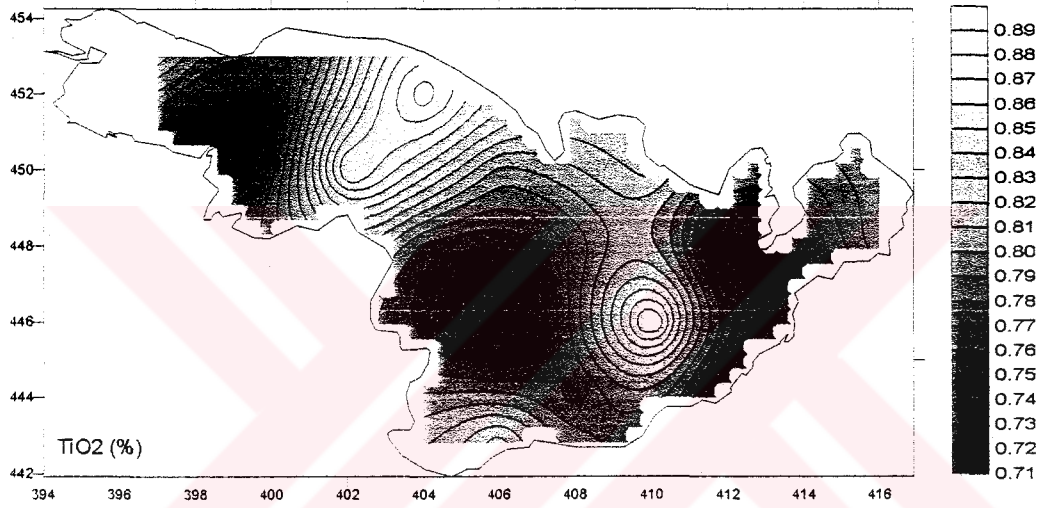
Şekil 8.35. Dip sedimanlarında ortalama TiO₂ değerlerinin derinliğe göre değişimi

Her bir karot örneğinde TiO₂ değerlerine bakıldığında, bir örnek dışında tüm karot örneklerinde en yüksek değerlerin 5-10 cm lik karot diliminde olduğu, fakat genelde derine doğru azalma gösterdiği görülmektedir (Şekil 8.36).

Yanal olarak ortalama titanyum konsantrasyonu en yüksek değerine (% 0.9) gölün kuzeybatısındaki S24 örneğinde, en düşük değerine ise S30 örneğinde (% 0.71) ulaşmaktadır (Şekil 8.37).



Şekil 8.36. Dip sediman örneklerinde TiO_2 değerlerinin yanal ve düşey değişimi



Şekil 8.37. Dip sedimanlarında ortalama TiO_2 dağılımı

Uluabat Gölü dip sedimanlarında gerek binoküler mikroskop incelemeleri, gerekse X-ışınları difraksiyon incelemeleri sırasında titanyum minerallerine rastlanmamış olduğundan, dip sedimanlarındaki titanyumun sedimanların içerisindeki diğer minerallerin yapısına soğurma, iyon değiştirme veya daha başka yollarla girmiş olabileceği düşünülmektedir.

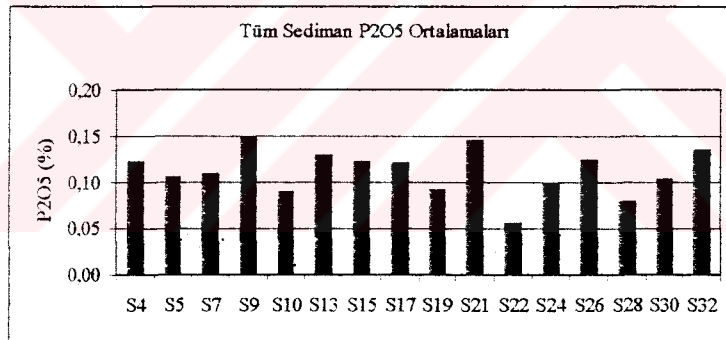
8.2.2. Fosfor

Fosfor, yerkabuğunu oluşturan minör elementler içerisinde titanyum'dan sonra ikinci sıradadır. Literatürde, yerkabuğu bileşiminde ortalama 1000 ppm civarında fosfor bulunduğu ifade edilmektedir. Sedimanter ortamlarda en çok bulunan fosfor minerali Apatit, daha az oranda da Vivianit' tir. Bunun yanı sıra Fe, Ca, Mn ve Al elementlerinin fosfatlı bileşikler de fosfor içeren diğer oluşumları olabilir.

Göl sedimanlarında fosfat (P_2O_5) konsantrasyonu ağırlıkça % 0.75 düzeyine kadar çıkabilmekte, ancak değerlerin çoğu % 0.25 den daha azdır. Göl sedimanları içerisindeki fosfor oluşumları hakkında Williams ve Mayer (1972) ile Syers ve diğ. (1973) oldukça ayrıntılı araştırmalar yapmışlardır. Williams ve diğerleri göl sedimanlarındaki fosforu 4 alt kategoriye ayırmışlardır:

(1) Yüzeyde soğurulan fosfor, (2) amorf bir bileşimin ikincil bir bileşeni veya onunla eş zamanda çökelen fosfor, (3) Organik bir esterin bileşeni olan fosfor ve (4) Apatit veya Vivianit gibi ayrı bir mineralin bileşeni halindeki fosfor.

Kayaç ve sedimanlardaki fosfor, yapılan kimyasal analizlerde fosfat (P_2O_5) olarak tayin edilir. Bu çalışmada da Uluabat Gölü dip sedimanlarında fosfat değerlerinin karot ortalamaları bazında % 0.055 ile % 0.149 arasında değiştiği, tüm göl için fosfat ortalamasının ise % 0.11 olduğu belirlenmiştir (Şekil 8.38). Bu değerler yer kabuğu ve sığ su sediman ortalama fosfat değerlerinden oldukça düşüktür, zira göl dibi florası tarafından önemli bir kısmı tüketilmektedir.

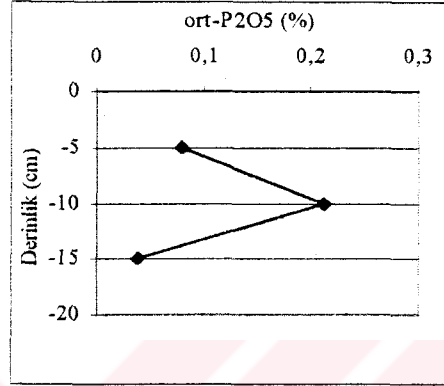


Şekil 8.38. Dip sedimanlarında ortalama P_2O_5 dağılımı

Tüm göl için derinlik farkına göre fosfat konsantrasyonlarının sınır değerleri ve ortalamaları aşağıda sunulmaktadır. Tablodan görüldüğü gibi, en düşük değerle en yüksek değer arasında yaklaşık 13 kat gibi büyük bir fark vardır.

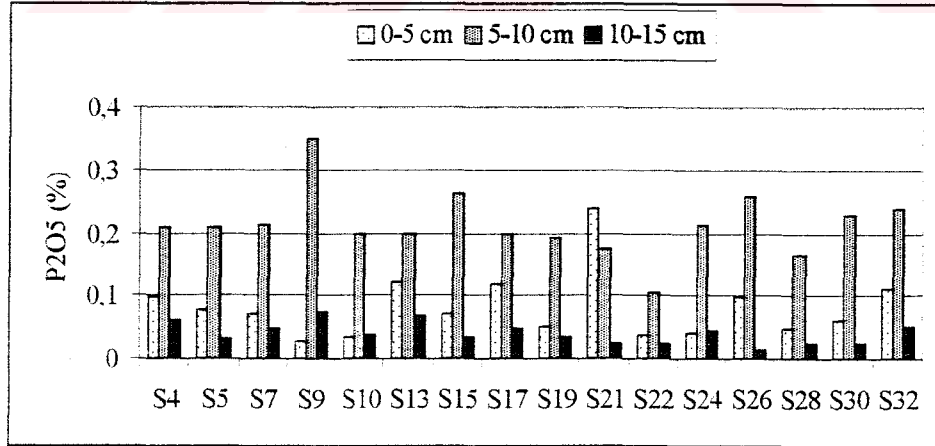
% P_2O_5	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	0.026-0.238	0.081
5-10 cm	0.105-0.349	0.213
10-15 cm	0.014-0.073	0.039

Göl geneli için fosfat değerlerinin derinliğe göre değişimi incelendiğinde, titanyum değerlerinininkine benzer bir durum söz konusudur. En üst 5 cm lik sediman tabakasında % 0.081 düzeyinde ölçülen fosfat konsantrasyonu, 5-10 cm lik ara sediman tabakasında büyük bir artışla % 0.213 düzeyine çıkmakta, en alt 10-15 cm lik sediman tabakasında ise tekrar azalarak % 0.039 düzeyine inmektedir (Şekil 8.39).



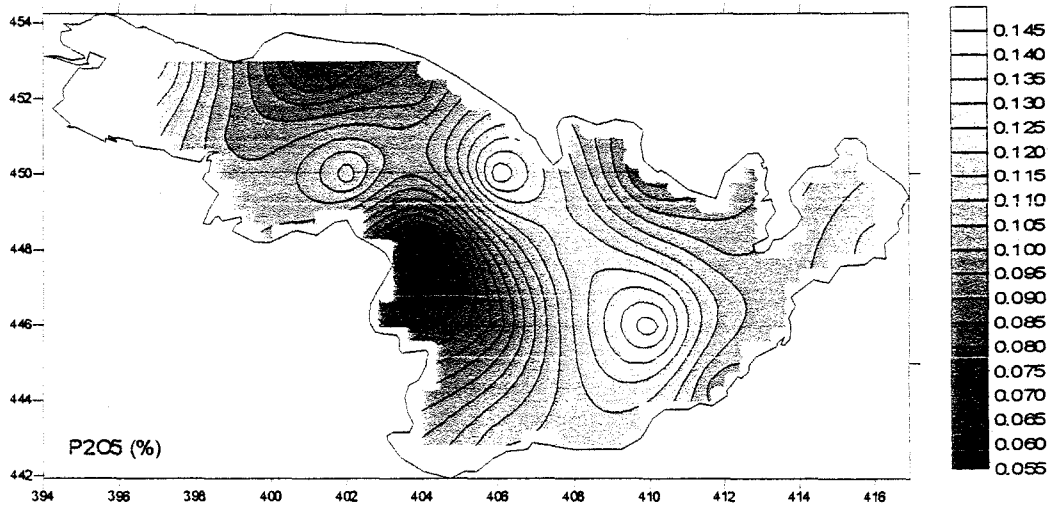
Şekil 8.39. Dip sedimanlarında ortalama fosfat değerlerinin derinliğe göre değişimi

Karot bazında ise, toplam 12 örnekte fosfat değerleri Şekil 8.39 dakine benzer bir trend sergilerler. Bir örnek dışında bütün örneklerde en yüksek fosfat değerleri 5-10 cm lik orta sediman tabakasında tespit edilmiştir (Şekil 8.40).



Şekil 8.40. Dip sedimanlarında fosfat değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Fosfat değerlerinin göldeki yanal dağılımı Şekil 8.41 de verilmektedir. Görüldüğü gibi, en düşük fosfat konsantrasyonu M. Kemalpaşa Çayı'nın göle döküldüğü ağız kısmına yakın noktada yer almaktadır. En yüksek fosfat değerleri ise Halilbey Adası'nın kuzeyi ile Manastır Adası'nın güneyinde gözlenmektedir.



Şekil 8.41. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama fosfat dağılımı

8.2.3. Manganez

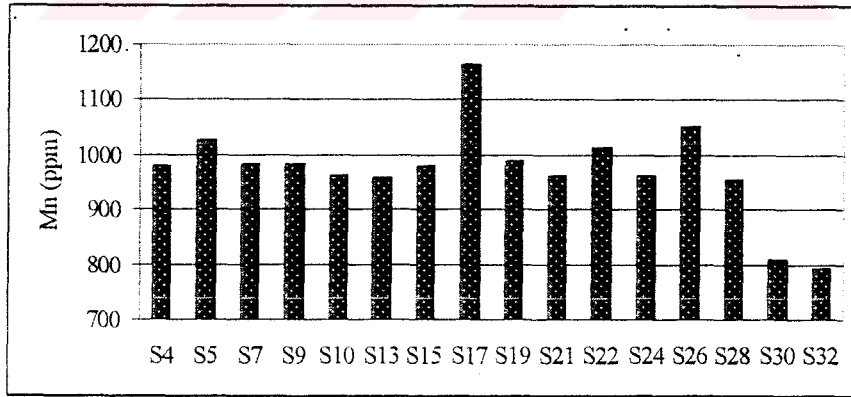
Yerkabuğunu oluşturan minör elementlerden üçüncüsü olan manganezin yerkabuğundaki ortalama konsantrasyonu 950 ppm, sığ su sedimanlarındaki ortalama konsantrasyonu 850 ppm olarak hesaplanmıştır. Manganez, göl sedimanları içerisinde Psilomelan, Birnesit, Todorokit ve Rodokrozit gibi özgün mineraller halinde, ya da demir ile birlikte tanecikler üzerinde Fe-Mn oksitleri ve hidroksit sıvamaları şeklinde bileşikler oluşturur.

Göl sedimanları içerisinde ferro-manganez yatakları şeklinde oldukça yaygın manganez oluşumlarının varlığı öteden beri bilinmektedir. Ferro-manganez yatakları, sedimantasyon hızının düşük olduğu, bol oksijene sahip sularda ve organik maddece zengin yüzey sedimanları içerisinde meydana gelirler. Oksit halindeki bu oluşuklar, tane veya kayaç parçacıkları üzerinde sıvamalar, yüzey kabukları, konkresyonlar ve nodüller halinde oluşurlar ve sedimanlar içerisinde yayılmış durumdadırlar. Gölsel ferromanganez yatakları içerisindeki materyalin çoğu çok ince taneli olup, kötü kristalli veya amorf yapıda, ya da mikron ölçeğindeki fazların karışımı halinde bulunur ve mineralojik tanımlamaları oldukça güçtür. Tatlı su ortamlarında psilomelan minerali, todorokit ve birnesit'ten daha az miktarlarda bulunmaktadır (Bowser ve diğ. 1970). Tatlı su nodüllerinin çoğunluğu açık renkli demirce zengin bandlar ile koyu renkli manganca zengin bandlar şeklinde değişen konsantrik oluşumlar sergilerler. Bakır, kobalt, nikel ve çinko gibi az oranda geçiş metal

katyonları Mn fazı ile birliktelik gösterirler. Gerçekten de Uluabat Gölü dip sedimanlarında Ni-Mn arasında pozitif ve Co-Mn arasında ise negatif yüksek korelasyon tespit edilmiştir.

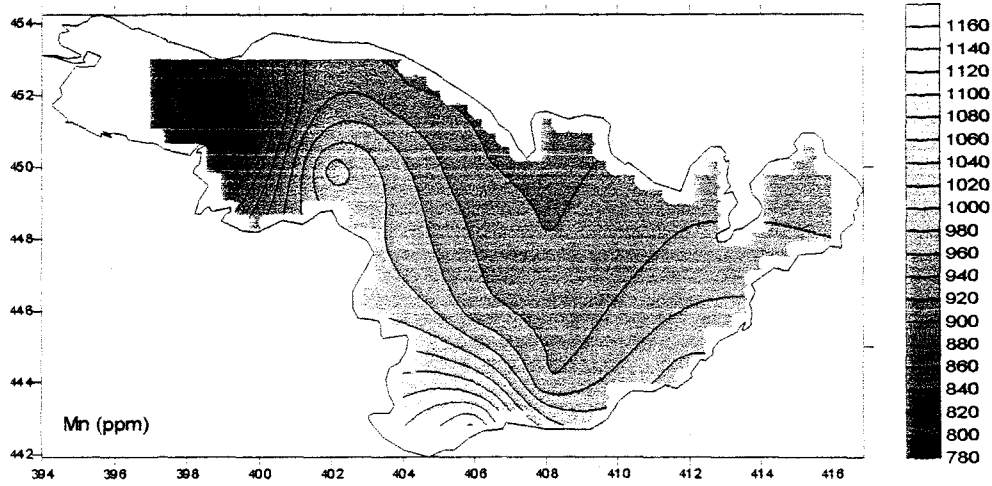
Tatlı su ortamlarında Fe / Mn oranı denizel ortaminkine nazaran daha yüksektir ve oldukça değişkendir. Örneğin Karadeniz'deki ferro-manganez nodüllerinin (Callender ve Bowser, 1976). Fe / Mn oranı 3.87 (26.7/6.9) iken, Uluabat Gölü Fe/Mn oranı 69.24 dolayındadır. Bunun sebebi, Fe (II), Mn (II) ye göre daha kolay okside olur ve demir oksit ve hidroksitler Mn oksit ve hidroksitlere göre daha az çözünürlüğe sahiptirler. Callender ve Bowser (1976) araştırmalarında, göl sularının ferro-manganez nodülü oluşumları için orijinal bir kaynak olabileceğini, ancak bu sulardan doğrudan çökeltme yoluyla nodül oluşumunun oldukça az rastlandığını işaret etmektedirler. Yazarlar ayrıca, göl tabanına ulaşan manganezin büyük kısmının, organik veya inorganik partiküller halinde olduğunu da vurgulamaktadırlar.

Uluabat Gölü dip sedimanlarında tespit edilen manganez konsantrasyonu ortalama olarak 974 ppm olup, değerler 793 ppm ile 1163 ppm arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 8.42). Yer kabuğu ve sığ su sedimanı ortalamalarıyla kıyaslandığında Uluabat Gölü Mn değerlerinin normal sınırlarda olduğu söylenebilir.



Şekil 8.42. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama Mn dağılımı

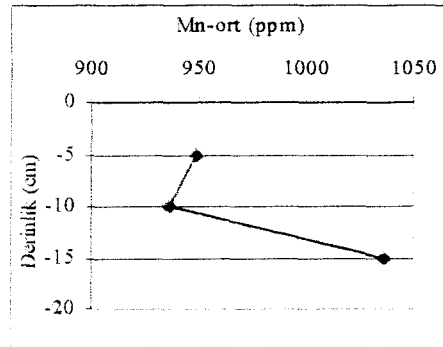
Manganez değerlerinin göldeki yanal dağılımı incelendiğinde gölün batı kesiminde en düşük değerlerin yer aldığı göze çarpar. Gölün batı kesiminden Halilbey Adası'nın batı ucuna doğru ve kuzeyden güneye doğru değerler arttığı ve maksimum değerine gölün güney kesiminde S17 örneğinde ulaştığı Şekil 8.43 de açıkça görülmektedir.



Şekil 8.43. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Mn dağılımı

Manganez konsantrasyonunun göl genelinde düşey yönde derine doğru değişimi, Fe_2O_3 değerlerinde gözlenen değişime çok benzer bir durum sergilemektedir. En üst 5 cm lik sediman tabakasında ortalama 949 ppm düzeyindeki Mn konsantrasyonu, 5-10 cm lik sediman tabakasında biraz düşerek 936 ppm'e iner ve en alttaki 10-15 cm lik sediman tabakasında büyük bir artışla 1036 ppm değerine ulaşır (Şekil 8.44).

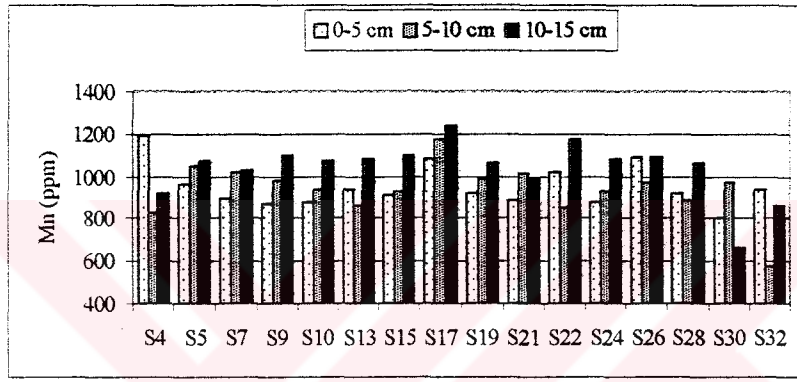
Mn (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	800-1190	949
5-10 cm	580-1170	936
10-15 cm	660-1240	1036



Şekil 8.44. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Mn değişimi

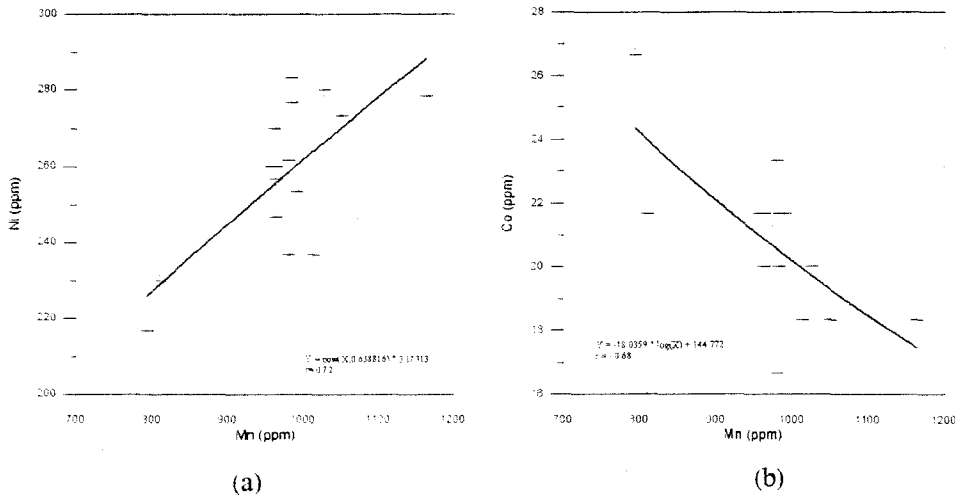
Mn ve Fe konsantrasyon değerlerinin derinliğe göre değişiminin aynı olması, Fe ve Mn elementlerinin jeokimyasal açıdan birlikte hareket etmeleri, her ikisinin de mobilitelerinin fazla olması ve benzer fizikokimyasal ortam şartlarında bulunmalarından kaynaklanmaktadır.

Her bir karot bazında manganez değerlerinin düşey boyutta değişimi Şekil 8.45 de verilmiştir. Toplam 8 karot örneğinde derine doğru Mn değerlerinin artan bir trende sahip olduğu görülmektedir. Üç örnekte Şekil 8.44 dekine benzer bir trend gözlenmektedir.



Şekil 8.45. Dip sediman örneklerinde Mn değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Yapılan istatistiksel hesaplamalarda, Uluabat Gölü tüm sediman ortalamalarında Mn ve Co değerleri arasında $r=0.68$ düzeyinde negatif bir korelasyon olduğu, buna karşın Mn ve Ni değerleri arasında ise $r=0.72$ düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu saptanmıştır (Şekil 8.46 a,b).



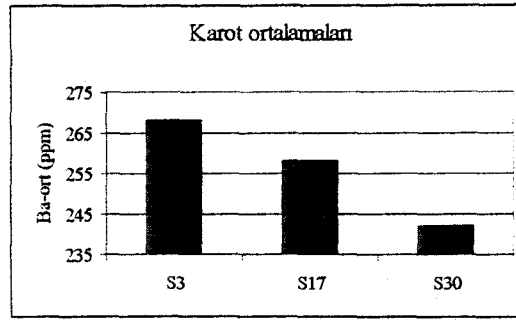
Şekil 8.46. Uluabat Gölü dip sedimanlarında Mn-Ni (a) ve Mn-Co (b) ilişkisi

8.2.4. Baryum

İki değerli elementler içerisinde en büyük iyon yarıçapına sahip olan Baryum ($1.34 \text{ \AA}$) iyonik bağ kurar. Pb^{+2} , Sr^{2+} , daha az oranda K^+ (K-feldspatlar) ve Ca^{2+} (amfibol, piroksen ve plajiyoklaslar), Ba^{2+} elementinin yerini alabilirler. Mağmatik kayalarda genellikle baryum minerallerine rastlanmaz, fakat Ba, birçok silikat minerallerinin yapılarında dağınık şekilde, özellikle feldspat ve mikalarda izomorfizma ile K^+ ve Ca^{2+} 'un yerini alır. Apatit ve kalsit bol miktarda, K-feldspatlarda önemli miktarda Ba bulunabilir. Bazı minerallerde Ba konsantrasyon sırası biyotit > amfibol > piroksen şeklindedir. Yerkabuğu içerisinde ortalama Ba miktarı 550 ppm olarak tespit edilmiştir. Mağmatik kayalarda Ba miktarı SiO_2 içeriğine göre artar. Dünitlerde ortalama 8.8 ppm, peridotitlerde 25 ppm, piroksenitlerde 23 ppm, gabrolarda ve karasal toleyitik bazaltlarda 246 ppm, alkali bazaltlarda 613 ppm Ba bulunur. Granodiyorit ve kuvars diyorit gibi yüksek kalsiyumlu kayalarda 811 ppm civarında Ba bulunmaktadır. Kuvarsça zengin kumtaşlarında çok az Ba varken, kumtaşı ve grovaklarda ortalama 316 ppm, şeyllerde ortalama 546 ppm, karbonatlı kayalarda ortalama 90 ppm kadar Ba vardır.

Baryumun çökmesi genellikle barit (BaSO_4) şeklinde olur ve killerde ve feldspatlarda izlenir. Baryum, toprak alkali elementlerin arasında en fazla tutulma enerjisine sahiptir. Bu sıra $\text{Ba} > \text{Sr} > \text{Ca} > \text{Mg}$ şeklindedir. Özellikle baryumun mangan hidroksit tarafından soğurulması büyük oranlardadır. Baryum tatlı su göllerinde Fe-Mn oksit veya hidroksitleri içerisinde Mn' ca zengin olan kısımlarda yüksek konsantrasyonlar gösteren bir elementtir. Tatlı su göllerinde Ba, todorokit ve psilomelan içerisine yer değiştirmeye mineralin yapısına girebilir. Ayrıca mika grubu mineralleri ile feldspatlar içerisinde de eser miktarda baryum bulunabilmektedir.

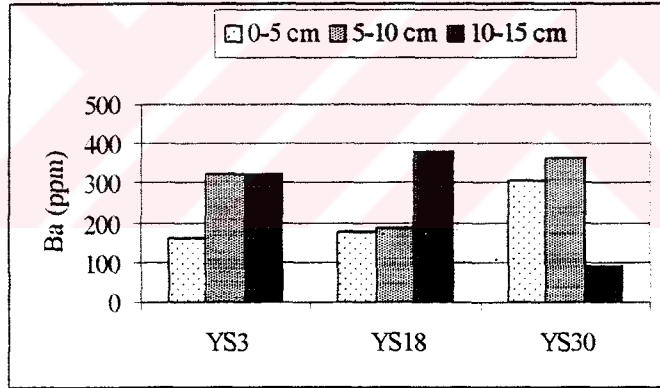
Uluabat Gölü dip sedimanlarının baryum içeriği, Kanada'da bulunan ACME Analytical Laboratories'de yaptırılan kimyasal analizler sonucunda göl geneli için ortalama 256 ppm olarak bulunmuştur. Baryum değerlerinin göldeki dağılımı incelendiğinde, en yüksek değerin gölün doğusunda olduğu, batıya doğru gittikçe baryum konsantrasyonunun düştüğü görülmektedir (Şekil 8.47).



Şekil 8.47. Ortalama Ba değerlerinin dip sedimanlarında yanal dağılımı

Gölün doğu, güney ve batı kesiminden alınan üç karot sediman örneğinde yapılan kimyasal analizlerde baryum'un her bir sediman tabakası için aldığı sınır değerler ve ortalamaları aşağıda verilmiş, sonuçlar ayrıca Şekil 8.48 de gösterilmiştir.

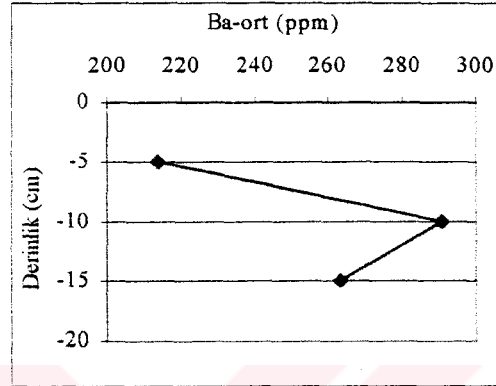
Ba (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	162-306	214
5-10 cm	187-365	291
10-15 cm	86-382	263



Şekil 8.48. Üç ayrı karot sediman örneğinde Ba değerlerinin derinliğe göre değişimi

Karot örnekleri bazında baryum değerlerinin doğu ve güneyden alınan iki örnekte derine doğru artış gösterdiği, batı kesiminden alınan bir örnekte ise derine doğru bir azalma eğiliminde olduğu açıkça görülmektedir. Bu değerler yerkabuğu Ba ortalamalarına göre yarı yarıya düşük düzeydedir. Baryum konsantrasyonunun yerkabuğu ortalamalarına göre düşük değerde olması, Uluabat Gölü'nde Mn'ca zengin nodüllerin çok çok az olmasıyla izah edilebilir. Eğer Mn'ca zengin oksit ve hidroksitler, demir oksitlere nazaran biraz daha fazla olsaydı Ba konsantrasyonu daha yüksek değerlerde beklenebilirdi.

Baryum konsantrasyonunun düşey yönde değişimi Şekil 8.49 da görülmektedir. Ba değerlerinin derinliğe göre değişiminde görülen trend, Cu, Cr, Co, V ve As değerlerinde de gözlenmektedir. En üst 5 cm lik sediman tabakasında 214 ppm olan Ba, 5-10 cm lik sediman tabakasında büyük bir artışla 291 ppm değerine ulaşmakta, fakat en alt 10-15 cm lik sediman tabakasında küçük bir düşüşle 263 ppm düzeyine inmektedir.

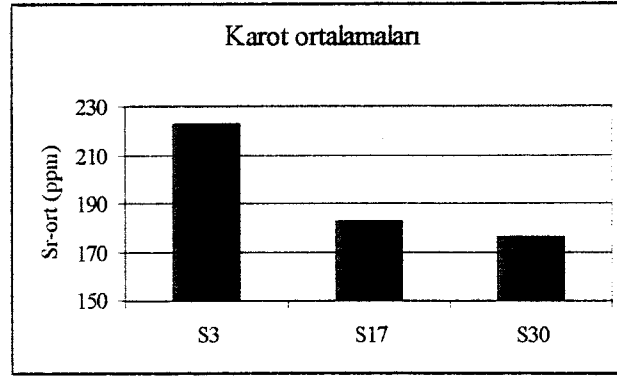


Şekil 8.49. Dip sedimanlarında ortalama Ba değerlerinin derinliğe göre değişimi

8.2.5. Stronsiyum

Stronsiyumun jeokimyasal özellikleri kalsiyuma çok benzer. Stronsiyumun iyon yarıçapı ($r=1.20 \text{ \AA}^0$) kalsiyumun yarıçapından ($r=1.04 \text{ \AA}^0$) büyüktür. Kalsiyumun bulunduğu jeokimyasal sistemlerde, genellikle stronsiyum da bulunur. Mağmatik kayalar genellikle stronsiyumun dağılmasına neden olur. Stronsiyum elementi, potasyum, kalsiyum ve baryumla izomorf bileşikler yapabilir.

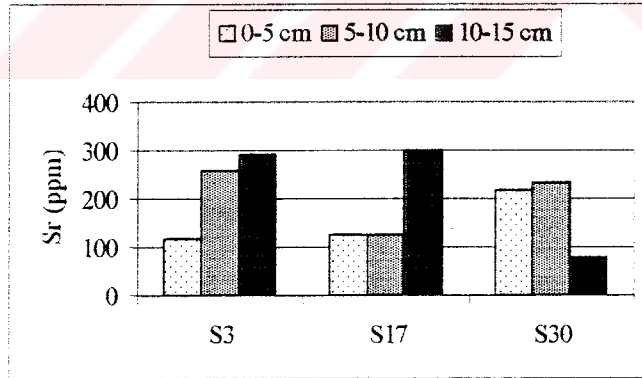
Yerkabuğu ortalama Sr içeriği 370 ppm, sığ su sedimanları için verilen ortalama Sr değeri ise 160 ppm dir. Uluabat Gölü dip sedimanlarının göl geneli için ortalama Sr içeriği yapılan kimyasal analizlerde 194 ppm olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi Uluabat Gölü dip sedimanlarının Sr içeriği yerkabuğu ortalamasına göre oldukça düşük olmasına rağmen, sığ su sedimanları ortalama değerine oldukça yakındır. Sr değerlerinin gölde yanal dağılımı Ba dağılımına çok benzemekte olup aralarında $r=0.94$ lük bir pozitif korelasyon vardır. Bu korelasyon Ba ve Sr 'un jeokimyasal açıdan benzer özellik göstermelerinin bir sonucudur. Sr konsantrasyonu gölün doğusunda yüksek değerde olmakla birlikte batıya doğru gittikçe azalma göstermektedir (Şekil 8.50).



Şekil 8.50. Üç ayrı karot sediman örneğinde Sr değerlerinin yanal dağılımı

Gölün üç ayrı noktasından alınan karot sediman örneklerinin Sr konsantrasyonu değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda verilmiş ve sonuçlar ayrıca Şekil 8.51 de gösterilmiştir.

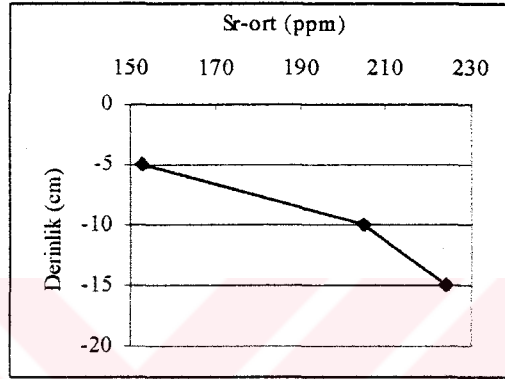
Sr (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	116-217	153
5-10 cm	123-260	205
10-15 cm	79-300	224



Şekil 8.51. Üç ayrı karot sediman örneğinde Sr değerlerinin derinliğe göre değişimi.

Üç karottaki değerlere bakıldığında, baryum değerlerinde gözlemlendiği gibi, gölün doğu ve güney kesimlerinden alınan karot sediman örneğinde derine doğru artan stronsiyum değerleri göze çarparken, batı kesimine ait karot sediman örneğinde derine en üst 10 cm lik dilimde küçük bir artışa rağmen daha sonra Sr değerinde büyük bir düşüş göze çarpmaktadır.

Stronsiyum değerlerinin artan derinlik değerlerine göre değişimi Şekil 8.52 de görülmektedir. En üst 5 cm lik sediman diliminde ortalama Sr konsantrasyonu 153 ppm iken, 5-10 cm lik seviyeyi temsil eden sediman diliminde bu değer nispeten büyük bir artışla 205 ppm'e, en alt 10-15 cm lik sediman diliminde ise daha da artarak 224 ppm'e yükselmektedir. Söz konusu elemente ait değerlerin derinliğe göre değişiminde gözlenen bu gittikçe artan değer değişimi, kızdırma kaybı (KK) ve toplam karbonat (Top-CO₃) değerlerinde de ortaya çıkmıştır.



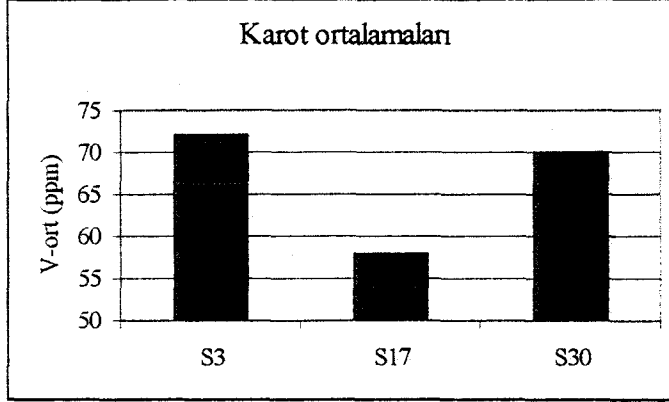
Şekil 8.52. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Sr değişimi

8.2.6. Vanadyum

Bowen (1979) tarafından derlenen tabloya göre yer kabuğundaki ortalama 160 ppm olan vanadyum oranı, Wedepohl (1978) tarafından ortaya konan sığ su sediman ortalamalarında ise 145 ppm düzeyinde ifade edilmiştir. Vanadyumun +2, +3 ve +5 değerliğe sahip üç iyonu vardır, ancak daha çok +3 değerlikli olanı yaygındır. Mağmada V³⁺ şeklinde bulunan vanadyum siderofil element olup, manyetit, mafik mineraller ve mikadaki üç değerlikli demirin yerini alır. V³⁺ şeklindeki bileşikler suda çok az çözünür ve genellikle organik yapılarda izlenir. Bitümlü maddelerde, oksitleyici ortamlarda oluşan laterit ve boksitler vanadyum'ca zengindir. Kumtaşları ve karbonatlı kayalarda 20 ppm, şeyl tipi kayalarda 130 ppm, şeyllerde 130 ppm olan vanadyum, şisti killerde 2000 ppm'e kadar çıkabilmektedir (Bürküt, 1986).

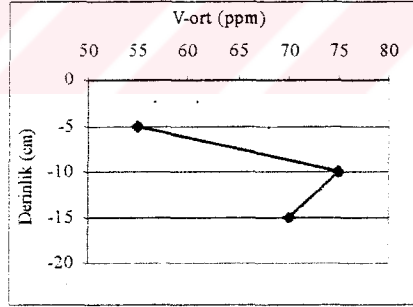
Yapılan kimyasal analizlerde Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama vanadyum içeriği 66 ppm olarak ölçülmüştür. Göl sedimanları içerisinde yanal dağılımı incelendiğinde, gölün doğu ve batısında yüksek değerlerde olan vanadyum'un güney

kesimdeki sedimanlarda düşük olduğu Şekil 8.53 de açıkça görülmektedir.



Şekil 8.53. Üç ayrı karot sediman örneğinde V değerlerinin yanal dağılımı

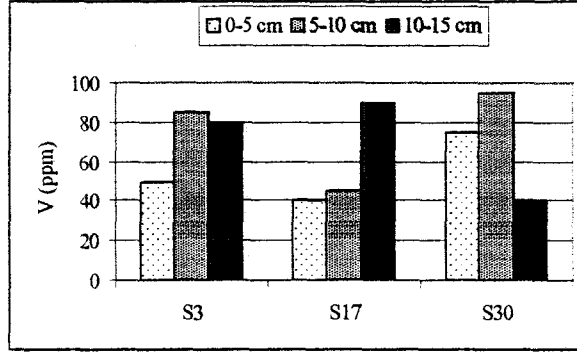
Tüm göl için ortalama vanadyum değerlerinin artan derinlikle değişimine bakıldığında (Şekil 8.54), en üst 5 cm lik yüzey sediman tabakasında 55 ppm V, 5-10 cm lik sediman tabakasında artarak 75 ppm düzeyine çıkmakta, en alt 10-15 cm lik sediman tabakasında ise biraz azalarak 70 ppm düzeyine inmektedir. Vanadyum değerlerinin derinliğe göre değişiminde gösterdiği bu eğilim, Cu, Co, Cr, Pb, Ba ve As değerlerinde de gözlenmiştir.



Şekil 8.54. Uluabat Gölü dip sedimanlarında V değerlerinin derinliğe göre değişimi

Gölün üç ayrı kesiminden alınan karot sediman örneğinde ölçülen Sr değer aralıkları ve ortalama değerleri aşağıda sunulmuştur. Şekil 8.55 den de izlendiği gibi, minör ve iz elementlerin çoğunda görülen durum küçük bir farklılıkla vanadyum değerlerinde de görülmektedir. Gölün doğu ve güney kesimine ait karot sedimanlarında derine doğru artan V değerlerine karşılık, batı kesimine ait karot sedimanında V, derine doğru azalan bir trend göstermiştir.

V (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	40-75	55
5-10 cm	45-95	75
10-15 cm	40-90	70

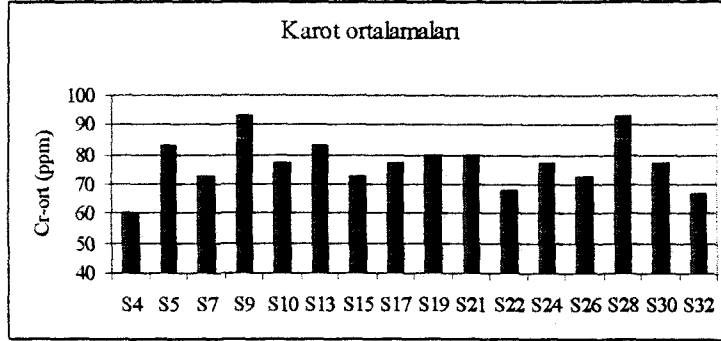


Şekil 8.55. Üç ayrı karot sediman örneğinde V değerlerinin derinliğe göre değişimi

8.2.7. Krom

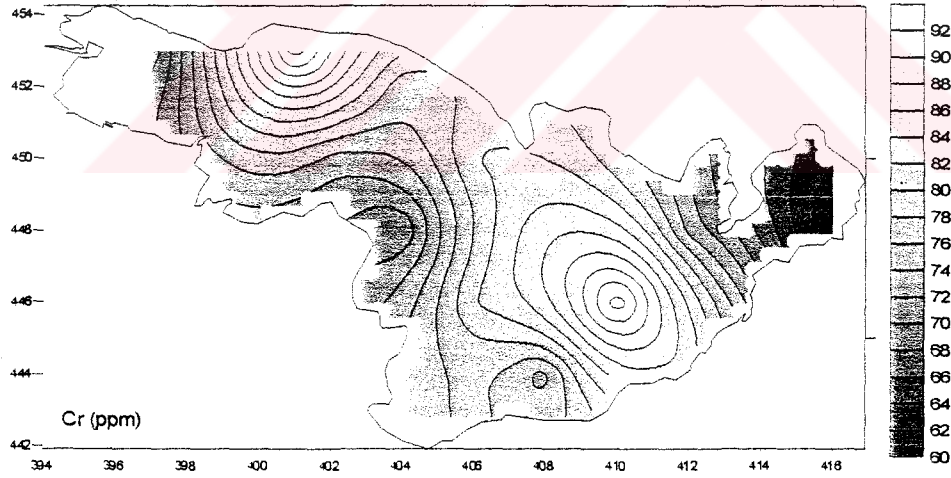
Krom, doğada oksitlenmiş ortamlarda daha çok +6 ve +3 değerliklerinde bulunur. Mağmatik kayalarda ortalama 100 ppm olan krom, mafiklerde ortalama 200 ppm, felsiklerde 4 ppm, şeyllerde 100 ppm, kumtaşlarında 35 ppm ve kireçtaşlarında 10 ppm değerlerinde bulunabilmektedir. Genel olarak yerkabuğu krom ortalaması 100 ppm olup, sığ su sedimanları için verilen ortalama krom değeri ise 60 ppm dir.

Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama krom içeriği 77 ppm olup, karot bazında ortalama Cr değerleri 60-90 ppm arasında değişmektedir. Tüm örneklerin karot bazında Cr ortalamları Şekil 8.56 da gösterilmiştir.



Şekil 8.56. Uluabat Gölü dip sedimanlarının karot bazında Cr ortalamaları

Ortalama Cr değerlerinin göldeki yanal dağılımı Kriging yöntemiyle haritalanmış ve Şekil 8.57 de sunulmuştur. Görüldüğü gibi ortalama Cr değerleri gölün iki noktasında maksimum yapmaktadır. Bunlardan birisi, gölün yaklaşık güneydoğusunda Manastır Adası'nın güneyindeki S-9 numaralı örneğin alındığı nokta, diğeri ise, kuzeybatıda S-28 numaralı örneğin alındığı noktadır. Genel olarak Cr değerlerinde güneyden kuzeye ve batıdan doğuya doğru bir artışın hakim olduğu göze çarpmaktadır.

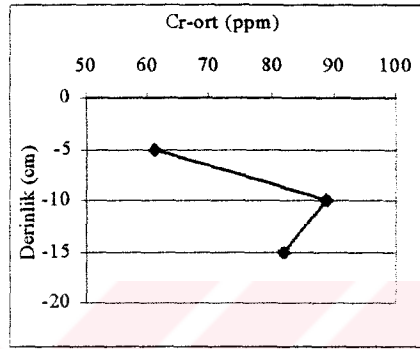


Şekil 8.57. Dip sedimanlarında ortalama Cr değerlerinin yanal dağılımı

Tüm karot sediman örneklerinde ölçülen krom konsantrasyonlarının değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda verilmiştir.

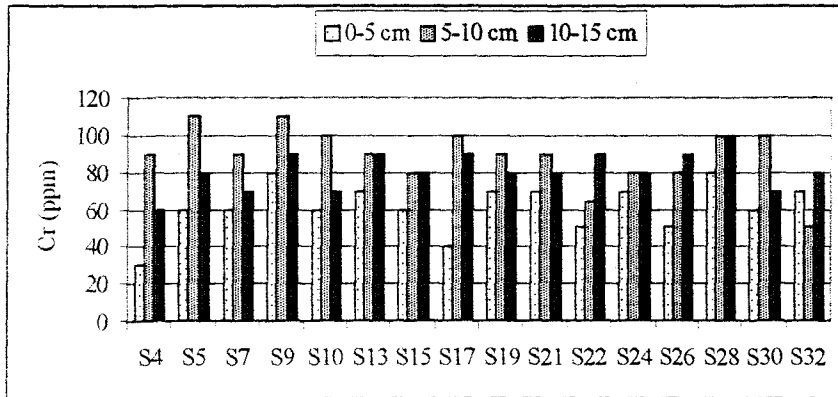
Cr (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	30-80	61
5-10 cm	50-110	89
10-15 cm	60-100	81

Ortalama Cr değerlerinin derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 8.58 de verilmiştir. Şekilde en üst 5 cm lik sediman tabakasında 61 ppm olan Cr konsantrasyonu, 5-10 cm arasını temsil eden sediman tabakasında büyük bir artış göstererek 89 ppm'e yükselmiş, 10-15 cm aralığında ise az bir düşüş göstererek 81 ppm'e inmiştir. Cr değerlerinin derinliğe göre değişim modelinin As, V, Co, Ba, Pb ve Cu gibi diğer minör ve iz elementlerde ve Al_2O_3 değerlerinde gözlenenle aynı olması dikkati çeken bir noktadır.



Şekil 8.58. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Cr değerlerinin değişimi

Cr konsantrasyon değerlerinin her bir karot bazında değişimine bakıldığında (Şekil 8.59), sekiz örnekte Şekil 10.58 dekine benzer bir değişim olduğu görülmektedir. Altı örnekte ise derine doğru gittikçe artan Cr değerleri söz konusudur. Genel anlamda bir örnek dışında tüm örneklerde ilk 10 cm lik mesafede Cr değerlerinin artan bir trend gösterdiği açıkça ortadadır.



Şekil 8.59. Dip sedimanlarında ortalama Cr değerlerinin yanal ve düşey değişimi

8.3. İz Elementler

Bu bölümde yer kabuğunu meydana getiren iz elementler olarak ele alınacak olan Cu, Co, Pb, Zn ve Ni, As, Cd, B gibi elementlerin Uluabat Gölü dip sedimanları içerisindeki konsantrasyonları, bunların yanal ve düşey olarak değişimleri ve birbirleriyle olan ilişkileri ele alınacaktır.

İz elementler, Cu, Co, Pb, Zn, Ni, As, Cd, B gibi litosferi meydana getiren kayalar içerisinde genellikle miktarca % 0.01 den az bulunan elementlerdir. İz elementler kendilerine özgü mineraller oluşturabildikleri gibi çeşitli minerallerin ya da maddelerin içerisindeki bazı elementlerle yer değiştirebilirler (ion exchange). Söz konusu bu yer değiştirme malzemenin ya da mineralin kimyasal yapısıyla ve bazen ortamın fizikokimyasal koşullarıyla çok yakından ilgilidir ve dolayısıyla her bir maddenin/mineralin katyon değiştirme kapasitesi (KDK) farklılık gösterir. Tablo 8.5, bazı maddelerin pH=7 deki katyon değiştirme kapasitelerini ve bunun pH derecesine bağımlılığını göstermektedir. Uluabat Gölü dip sedimanlarında illit, smektit-montmorillonit, klorit ve organik maddeler bol miktarda bulunduğundan söz konusu elementlerin bu minerallerin yapısına iyon değiştirme yoluyla girmesi beklenebilir.

Tablo 8.5. Bazı maddelerin pH=7 deki katyon değiştirme kapasiteleri ve pH bağımlılığı (Langmuir, 1997).

Madde	KDK (meq/100 g)	pH'a bağımlılığı
Kaolinit	3-15	Güçlü
Glokonit	11-20	Hafif
İllit ve klorit	10-40	Hafif
Smektit-montmorillonit	80-150	Yok-Önemsiz
Vermikülit	100-150	Önemsiz
Zeolitler	100-400	Önemsiz
Toprakta organikler, hümkik maddeler	100-500	Güçlü
Mn (IV) ve Fe (III) oksit ve Hidroksitler	100-740	Güçlü
Sentetik katyon değiştiriciler	290-1020	Hafif

Bazen bu elementler maden yatağı şeklinde normalin dışında konsantrasyonlar da meydana getirebilirler. Burada unutulmaması gereken nokta şudur; bazı hallerde kayalar içinde genellikle iz olarak bulunan bir element, bazen minör (ikincil) veya

majör (birincil) element olarak bulunabilmektedir. Örneğin krom, asit, nötr ve bazik kayalar içinde % 0.1 in altında, yani iz element halinde, fakat peridotitler içerisinde çoğu zaman % 0.1-1 arasında, yani minör element, kromit içeren peridotitler içerisinde ise % 1 den fazla, yani majör element olarak görülürler. Tablo 8.6, yerkabuğu ve çeşitli sedimanlardaki iz elementlerin miktarlarını vermektedir.

Tablo 8.6. Yerkabuğu ve değişik türdeki sedimanların iz element bileşimi

Element	Yerkabuğu ort. (a)	Sediman ort. (b)	Şeyl ort. (c)	Derin deniz kili (c)	Sığ su Sedimanı (d)	Nehir AKM (e)	Kumtaşı (f)	Kireçtaşı (f)	Toprak (g)
Ni	80	52	68	250	35	90	9	7	34
Zn	75	95	95	165	92	350	30	20	60
Cu	50	33	45	250	56	100	30	5,1	26
Co	20	14	19	74	13	20	0,3	0,1	12
Pb	14	19	20	80	22	150	10	5,7	29
As	1,5	7,7	13	13	5	5	1	1	11,3
Cd	0,11	0,17	0,22	0,42	0	1	0,05	0,03	0,6

(a), (b) ve (f); Bowen (1979)

(c) ; Turekian and Wedepohl (1961)

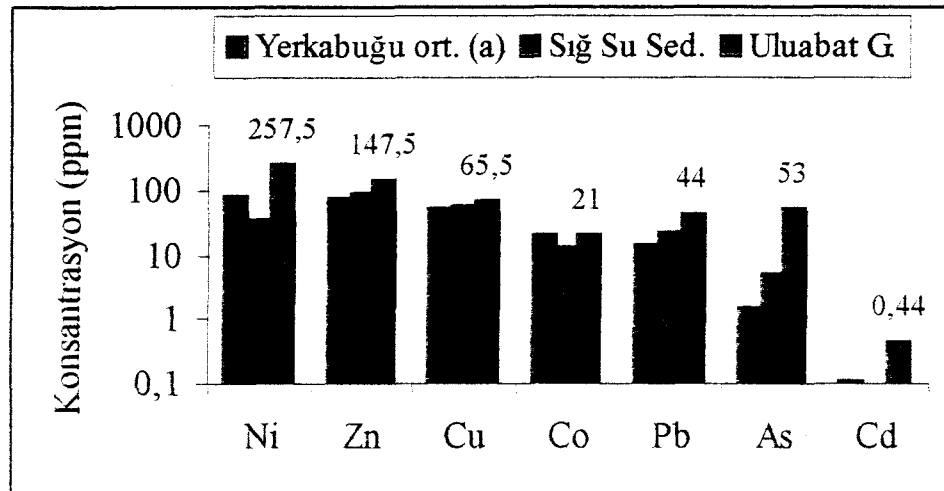
(d) ; Wedepohl (1969)

(e) ; Martin and Meybeck (1979)

(g) ; Marowski and Wedepohl (1971)

(g) ; Ure and Berrow (1982)

Uluabat Gölü dip sedimanlarında tayini yapılan bazı iz elementlerin literatürde yer alan yerkabuğu ve sığ su sediman ortalamalarıyla karşılaştırılması Şekil 8.60 da verilmiştir.



Şekil 8.60. Uluabat Gölü dip sedimanlarındaki iz elementlerin yerkabuğu ve sığ su sediman ortalamalarıyla karşılaştırılması.

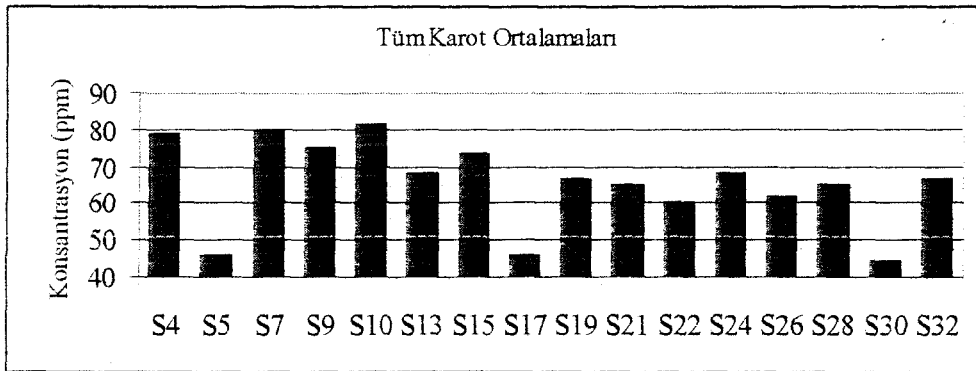
8.3.1. Bakır

Mağmatik kayalarda ortalama 70 ppm olan bakır, ultramafik kayalarda 80 ppm, mafik kayalarda 140 ppm, felsik kayalarda 30 ppm civarındadır. Sedimanter kayalardan kalkerlerde 5-20 ppm arası, kumtaşlarında 10-40 ppm, şisti killerde 30-150 ppm civarında bakır bulunabilmektedir. Mineral bazında olivin-115 ppm, piroksen-90 ppm, amfibol-78 ppm, biyotit-86 ppm, plajiyoklas-62 ppm, manyetit-76 ppm civarında bakır içerebilmektedir. Kara içlerindeki tatlı sular, denizlere oranla daha fazla Cu bulundurlar.

Bakır; çamur, Fe-Mn oksitler ve organik maddelerce güçlü bir şekilde tutulabilirler. Bakır'ın tutulmasında pH'ın etkisi büyüktür. Kaolinit ve illit tipi killer artan pH değerlerinde önemli miktarda Cu soğurabilirler. Montmorillonit tipi killer de kaolinit ve illit kadar olmasa da Cu soğurabilmektedirler.

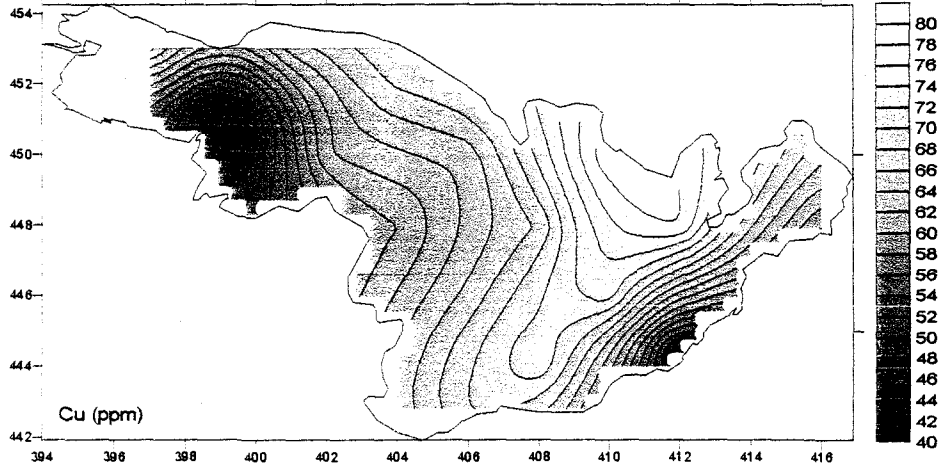
Uluabat Gölü dip sedimanlarında tüm göl ortalama bakır konsantrasyonu 65 ppm olarak bulunmuştur. Yapılan kimyasal analizlerde elde edilen Cu konsantrasyon sınır ve ortalama değerleri aşağıda verilmiş, sonuçlar ayrıca Şekil 8.61 de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Cu (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	33-100	67
5-10 cm	40-130	75
10-15 cm	30-75	55



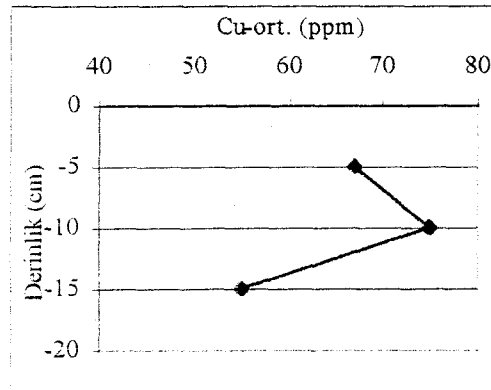
Şekil 8.61. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Cu ortalamaları

Göl genelinde Cu konsantrasyonunun yanal dağılımını incelemek amacıyla Kriging yöntemiyle oluşturulan haritada (Şekil 8.62), bakır konsantrasyonlarının batıdan doğuya, güneyden kuzeye doğru artış gösterdiği açıkça görülmektedir.

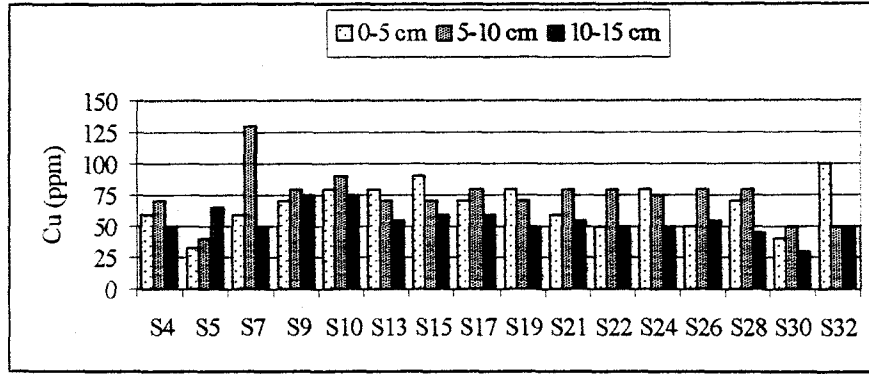


Şekil 8.62. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Cu dağılımı

Bakır konsantrasyon değerlerinin derinliğe göre sergilediği trend Şekil 8.63 de gösterilmiştir. En üst 5 cm lik sediman tabakasında 67 ppm olarak ölçülen ortalama Cu içeriği, 5-10 cm yi temsil eden sediman tabakasında ortalama 75 ppm'e çıkmakta, 10-15 cm lik sediman tabakasında ise 55 ppm'e düşmektedir. Her bir karottaki Cu konsantrasyon değerlerinin değişimine bakıldığında (Şekil 8.64); 10 örnekte en yüksek Cu değerinin 5-10 cm lik sediman tabakasında olduğu, 7 örnekte Şekil 8.63 dekine benzer bir trend olduğu açıkça görülmektedir.

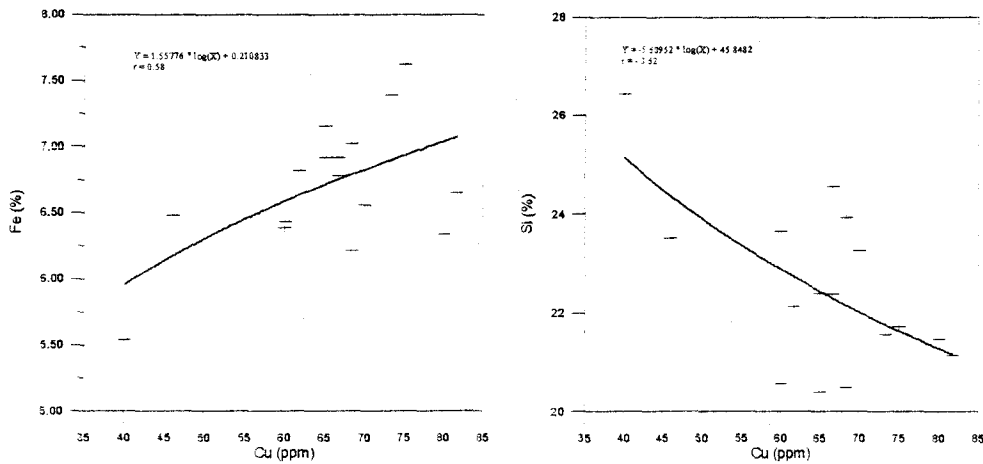


Şekil 8.63. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Cu değişimi



Şekil 8.64. Dip sedimanlarında Cu değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Cu değerlerinin diğer elementlerle ilişkisini incelemek amacıyla oluşturulan ikili diyagramlarda, Cu-Si ve Cu-Fe ilişkisi dikkate değer görülmüştür (Şekil 8.65). Cu-Fe arasında $r=0.58$ düzeyinde bir pozitif korelasyon gözlenirken, Cu-Si arasında $r=0.62$ düzeyinde negatif bir korelasyon belirlenmiştir. Silis'in çözünürlüğünün pH'ın artmasıyla birlikte arttığı bilinmektedir. Dolayısıyla Uluabat Gölü'nde ortam alkali özellik gösterdiği için dip sedimanlarındaki silisin çözünmesi, buna karşın alkali ortamda illit ve smektit (montmorillonit) tipi killerin bakır'ı soğurması nedeniyle Cu ve Si arasında negatif bir ilişkinin olması beklenen bir gelişmedir. Diğer yandan Cu ve Fe arasındaki pozitif ilişki ise dip sedimanlarındaki Fe oksitlerin varlığıyla açıklanabilir.



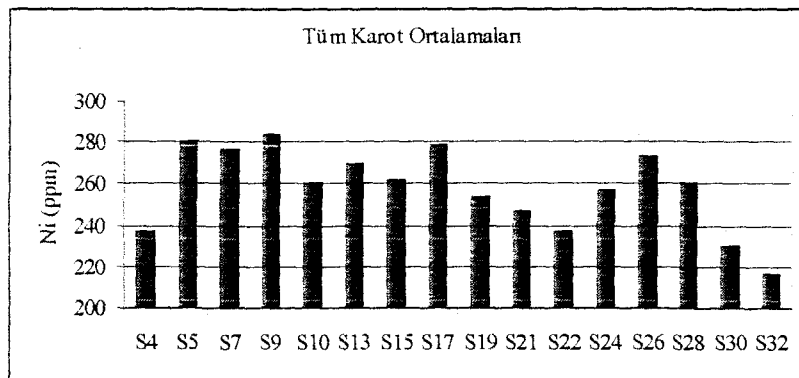
Şekil 8.65. Uluabat Gölü dip sedimanlarında Cu-Fe ve Cu-Si ilişkileri

8.3.2. Nikel

Bowen (1979) ve Wedepohl (1978) tarafından derlenen tabloda yer kabuğu Ni ortalaması 80 ppm, sığ su sedimanları Ni ortalaması ise 35 ppm olarak belirtilmektedir. Ultrabazik kayalarda 2000 ppm, baziklerde 134 ppm, siyenitlerde 4 ppm, granitlerde 8 ppm Ni vardır. Tortul kayalardan şeyllarda 68 ppm, kumtaşlarında 2 ppm, karbonatlı kayalarda 20 ppm, şeyllerde 70 ppm, siyah şeyllerde 50-200 ppm arasında Ni olduğu da bildirilmiştir. Nikel, +2 ve +3 değerliklerde bulunur ve doğal sularda genellikle Ni^{2+} şeklinde bulunur. Zeminde limonit, laterit ve Fe-Mn oksitler ile organik maddeler tarafından soğurulur, hatta sulu nikel silikatlar oluşturabilir. Nikel' in jeokimyasal olarak çökelimini kontrol eden faktörler, sülfür, soğurma ve pH dır. Asidik ortamlarda göçü hızlı olan nikel, alkali ortamlarda ve H_2S varlığında çöker. Nikel'in genel kimyasal özellikleri kobalt'a benzer, fakat kobalt'a göre suda daha fazla çözünür.

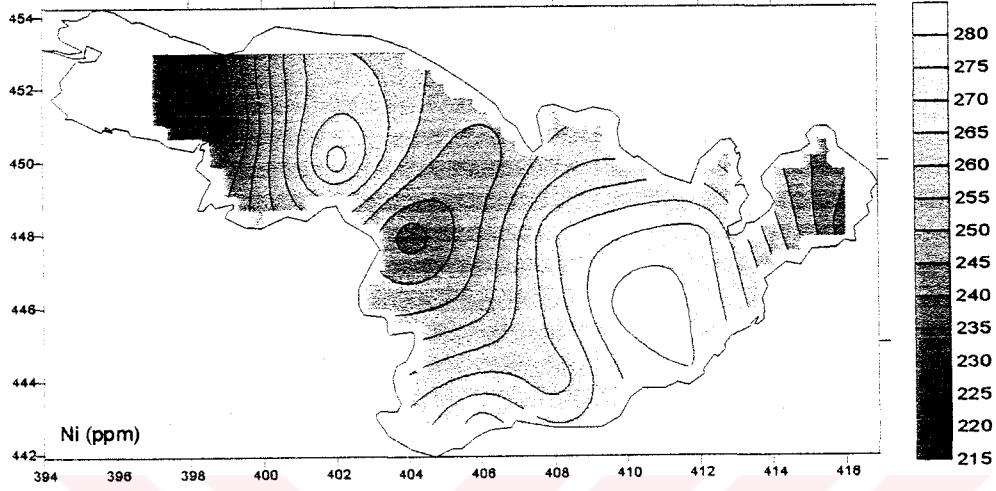
Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Ni içeriği 257 ppm olarak hesaplanmıştır. Bu değer gerek yer kabuğu, gerekse sığ su sedimanları Ni ortalamalarından oldukça yüksektir. Yapılan kimyasal analizlerde elde edilen Ni konsantrasyon sınır ve ortalama değerleri aşağıda verilmiş, sonuçlar ayrıca Şekil 8.66 da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Ni (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	250-300	279
5-10 cm	160-290	244
10-15 cm	180-280	250



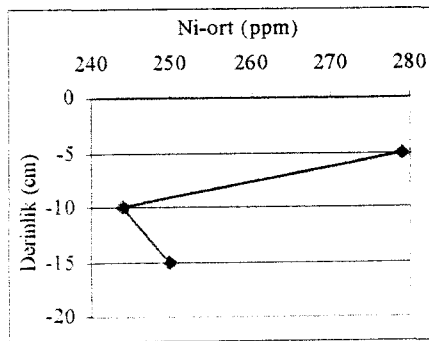
Şekil 8.66. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Ni ortalamaları

Şekil 8.67, Kriging yöntemiyle oluşturulan göl genelindeki ortalama Ni dağılımını göstermektedir. Görüldüğü gibi Ni değerleri gölün batı kesiminde daha düşük olup, doğuya doğru gittikçe yükselmektedir. En yüksek değerler Terzioğlu ve Manastır adalarının güneyinde S5 ve S9 numaralı örneklerde görülmektedir.



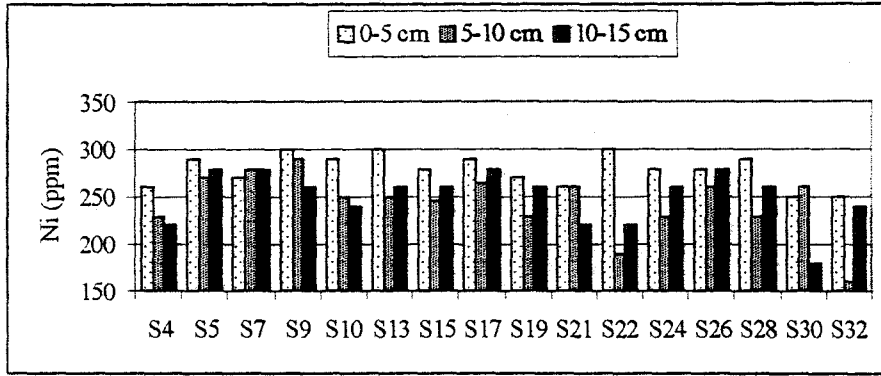
Şekil 8.67. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Ni dağılımı

Şekil 8.68, Ni konsantrasyonunun derinlikle değişimini göstermektedir. Görüldüğü gibi, en üst 5 cm lik sediman tabakasında 279 ppm olan Ni konsantrasyonu, 5-10 cm lik sediman tabakasında önemli ölçüde azalarak 244 ppm düzeyine inmekte, 10-15 cm lik sediman tabakasında az bir artışla 250 ppm düzeyine yükselmektedir. Benzer trend CaO değerlerinde de gözlenmiştir.



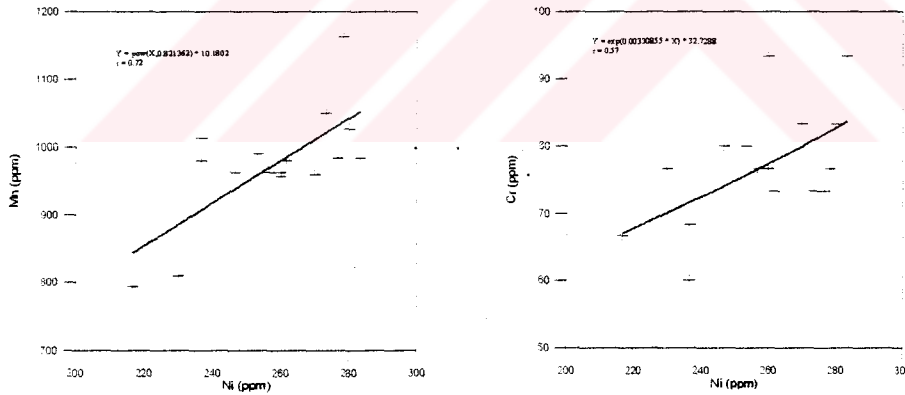
Şekil 8.68. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Ni değerlerinin değişimi

Karot örneklerinin her birinde derinliğe göre Ni değişimi ise Şekil 8.69 da verilmiştir. Toplam 10 örnekte en küçük Ni değerlerinin 5-10 cm lik orta sediman tabakasında olduğu göze çarpmaktadır. 12 örnekte de en yüksek Ni değerlerinin en üst sediman tabakasında (0-5 cm) olduğu görülmektedir.



Şekil 8.69. Dip sedimanlarında ortalama Ni değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda Ni değerlerinin Mn ve Cr değerleriyle pozitif korelasyon içinde olduğu anlaşılmıştır. Ni-Mn değerleri arasında $r=0.70$ düzeyinde bir pozitif korelasyon, Ni-Cr değerleri arasında ise $r=0.56$ düzeyinde pozitif bir korelasyon olduğu yapılan ikili diyagramlarda ortaya konmuştur (Şekil 8.70). Nikel ve mangan arasında pozitif bir korelasyonun varlığı, göl sedimanları içerisindeki özellikle mangan oksitlerin önemli ölçüde nikeli tutmalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 8.70 . Ni-Mn ve Ni-Cr arasındaki ikili ilişkiler

8.3.3. Çinko

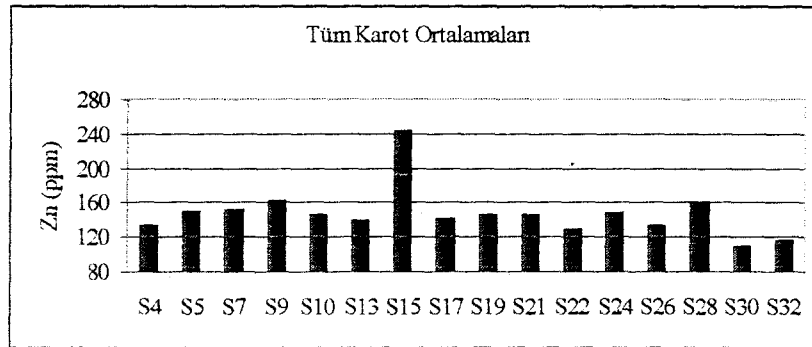
Bowen (1979) ve Wedepohl (1978) tarafından oluşturulan tabloda yer kabuğu Zn ortalaması 75 ppm, sıg su sedimanları Zn ortalaması ise 92 ppm olarak belirtilmektedir. Mağmatik kayalarda, ortalama 80 ppm olan çinko, ultramafik kayalarda 50 ppm, mafik kayalarda 130 ppm, felsik kayalarda ise 60 ppm düzeyinde bulunmaktadır. Sedimanter kayalardan kalkerlerde 4-20 ppm,

kumtaşlarında 5-20 ppm, şisti killerde 50-300 ppm düzeyinde olan Zn, siyah renkli şisti killerde 100-1000 ppm civarındadır (Bürküt, 1986). Granitik kayalarda çinko genelde biyotitlerde birikir. Peridotitik kayalarda olivinlerde, diyopsitlerde ve orto-piroksenlerde genellikle 40-80 ppm Zn vardır. Grrönalarda Zn miktarı, genellikle olivin ve piroksenden fazladır.

Çinko sülfat ($ZnSO_4$) suda en çok çözünen bileşiktir ve montmorillonit ve kaolinit tipi kil mineralleri, Fe-oksitler, organik maddeler tarafından güçlü bir şekilde soğurulur. Yüzey sularında çözünmüş çinko' nun az olması, çinko'nun çeşitli materyaller tarafından güçlü bir şekilde tutulmasından kaynaklanmaktadır.

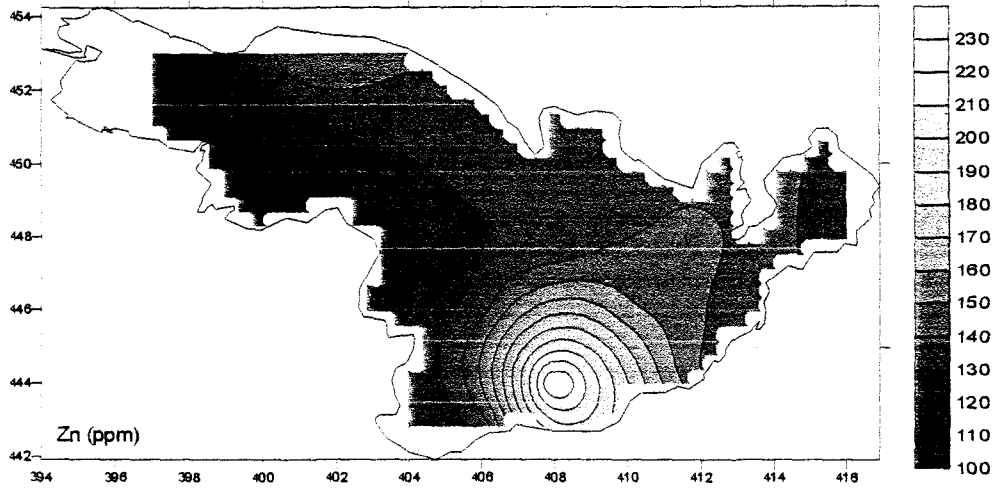
Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Zn içeriği 147 ppm olarak hesaplanmıştır. Bu değer gerek yerkabuğu, gerekse sığ su sedimanları Zn ortalamalarından oldukça yüksektir. Yapılan kimyasal analizlerde elde edilen Zn konsantrasyon sınır ve ortalama değerleri aşağıda verilmiş, sonuçlar ayrıca Şekil 8.71 de grafiksel olarak ortaya konmuştur.

Zn (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	95-430	144
5-10 cm	87-170	144
10-15 cm	83-172	154



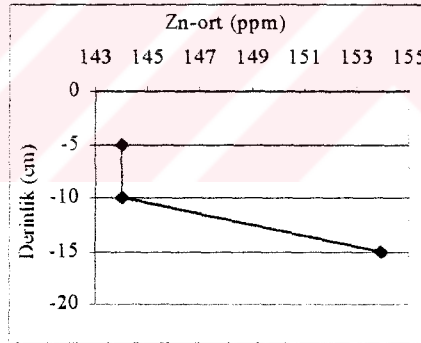
Şekil 8.71. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Zn ortalamaları

Tüm karot ortalamaları esas alınarak Kriging yöntemiyle oluşturulan eş konsantrasyon haritasında, Zn konsantrasyonunun gölün batısından doğusuna, kuzeyinden güneyine doğru artış gösterdiği, en yüksek konsantrasyonun ise gölün güneydoğusundaki S15 numaralı örnekte toplandığı Şekil 8.72 de görülmektedir.



Şekil 8.72. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Zn değerlerinin dağılımı

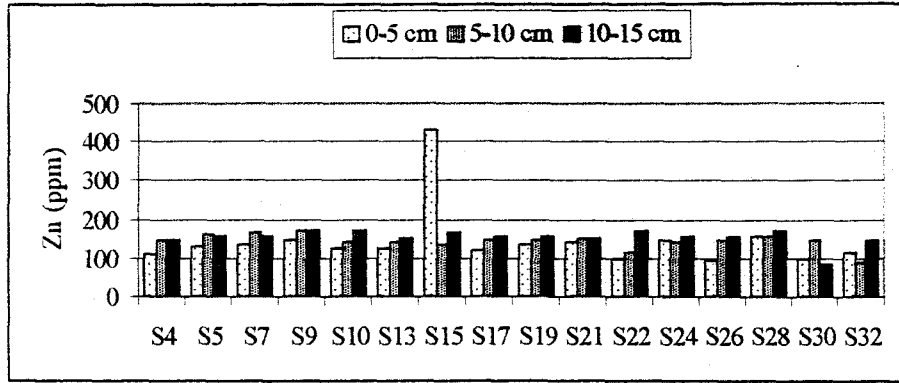
Zn konsantrasyonunun karot derinliğine göre değişimini incelemek için Şekil 8.73 e bakıldığında, 0-5 cm ile 5-10 cm lik sediman tabakalarında değerlerin 144 ppm düzeyinde hemen hemen aynı kaldığı, 10-15 cm lik sediman tabakasında ise artış göstererek 154 ppm'e yükseldiği görülebilir.



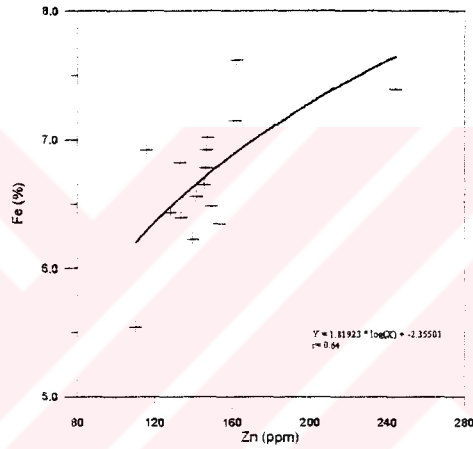
Şekil 8.73. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre Zn değerlerinin değişimi

Zn değerlerinin derinliğe göre karot bazında değişimi ise Şekil 8.74 de gösterilmiştir. 10 karot örneğinde Zn değerlerinin derinliğe bağlı olarak arttığı açıkça görülmektedir.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucu Zn değerlerinin Fe değerleriyle pozitif korelasyon gösterdiği görülmüştür. Şekil 8.75 de Zn ve Fe değerleri arasında yaklaşık $r=0.60$ düzeyinde pozitif bir korelasyon gösterilmektedir. Zn ile Fe arasında belirlenen bu pozitif korelasyon, göl sedimanları içerisinde bol miktarda bulunan Fe-oksitlerin çinkoyu güçlü bir şekilde soğurmasıyla açıklanabilir.



Şekil 8.74. Dip sedimanlarında ortalama Zn değerlerinin yanal ve düşey değişimi



Şekil 8.75. Zn - Fe arasındaki pozitif korelasyonu gösteren ikili diyagram

Uluabat Gölü dip sedimanlarındaki Zn konsantrasyonunun yerkabuğu ve sığ su sedimanı ortalamalarından yüksek oluşunun, dip sedimanlarında bol miktarda smektit (montmorillonit) tipi kil minerallerinin, Fe-oksit oluşumlarının ve organik maddelerin bulunmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

8.3.4. Kobalt

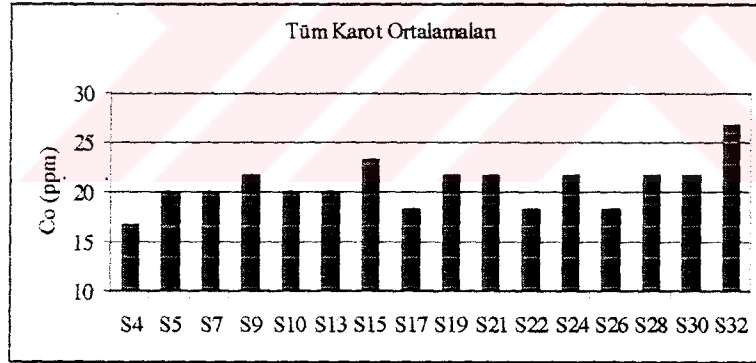
Bowen (1979) ve Wedepohl (1978) verilerine göre ortalama Co içeriği yerkabuğu bileşiminde 20 ppm, sığ su sedimanları bileşiminde ise 13 ppm olarak ifade edilmektedir.

Kobalt, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından bir özelliği dışında nikel'e çok benzer, o da yerkabuğunda bulunma oranıdır. Co^{2+} iyonu yarıçapı $0.72 \text{ \AA}$, Mg^{2+}

iyonu ($0.66 \text{ \AA}^0$) ve Fe^{2+} ($0.74 \text{ \AA}^0$) iyon yarı çaplarına yakın olduğundan, bir çok silikatlarda bu elementlerin yerini alır. Mafik kayalarda ortalama 45 ppm civarında izlenen kobalt, ultramafik kayalarda 200 ppm, nötr kayalarda 10 ppm, felsik kayalarda ise 5 ppm düzeyindedir. Mağmatik kayalarda ortalama Co miktarı 18 ppm dir. Sedimanter kayalardan şeyllerde 20 ppm, siyah şeyllerde 10-20 ppm, kumtaşlarında 0.3 ppm, kireçtaşlarında 0.2-2 ppm, toprak zeminde 8 ppm kadardır (Bürküt, 1986).

Yapılan kimyasal analizler sonucunda Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama Co içeriği 21 ppm olarak belirlenmiştir. Göl genelinde her bir sediman tabakası bazında ölçülen Co konsantrasyonlarının değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda verilmiş, sonuçlar grafiksel olarak Şekil 8.76 da gösterilmiştir.

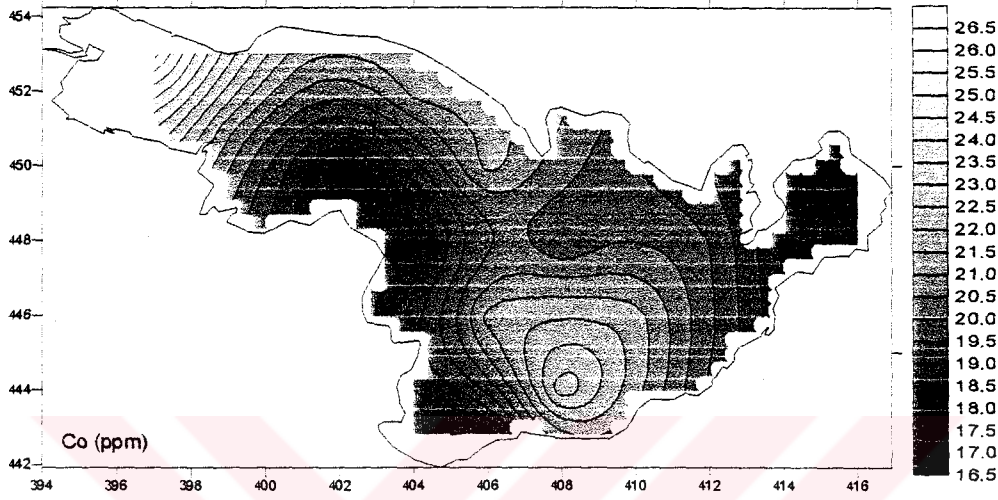
Co (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	10-30	18.75
5-10 cm	15-40	21.87
10-15 cm	15-25	21.56



Şekil 8.76. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Co ortalamaları

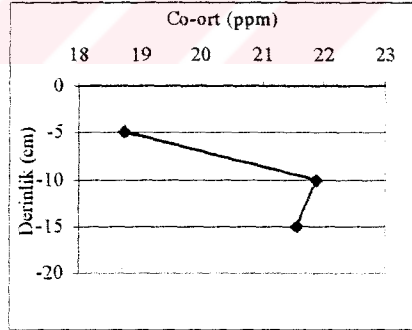
Tüm karot ortalamaları baz alınarak Kriging yöntemiyle oluşturulan eş konsantrasyon haritasında (Şekil 8.77), Co değerinin gölün batısında yer alan S-32 nolu örneğin olduğu kesimde maksimum yaptığı, buradan Halilibey Adası'nın batısında yer alan S-22 ve S-26 nolu örneklerin bulunduğu kesime doğru değerlerin azaldığı, buradan tekrar kuzeydoğu ve güneydoğu yönlerine doğru arttığı görülmektedir. En düşük Co değeri ise gölün kuzeydoğusunda yer alan S-4 nolu örnekte ölçülmüştür.

Co konsantrasyonunun 15 cm lik sediman tabakası boyunca derinliğe göre değişimi Şekil 8.78 de verilmektedir. Sediman tabakasının en üstünde yer alan 0-5 cm lik kesimde 18.75 ppm olarak ölçülen ortalama Co konsantrasyonu, 5-10 cm lik sediman tabakasında 21.8 ppm'e yükselmiş, en alttaki 10-15 cm yi temsil eden kesimde ise az bir düşüşle 21.56 ppm değerini almaktadır.



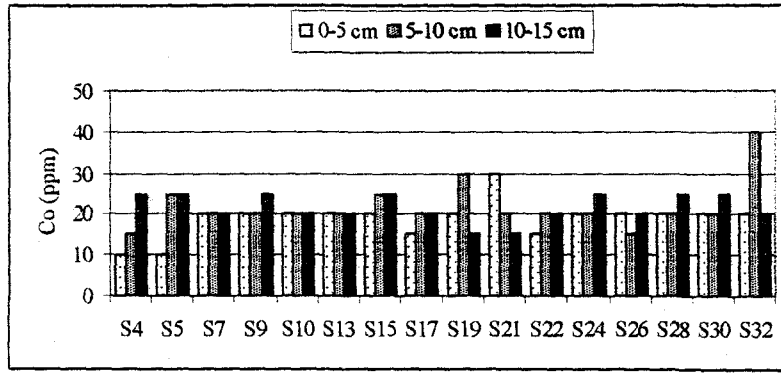
Şekil 8.77. Uluabat Gölü dip sedimanlarının ortalama Co dağılımı

Co konsantrasyonunun derinliğe göre değişiminde görülen bu trend, Ba, As, Cr, V ve Pb da da gözlenmiştir.



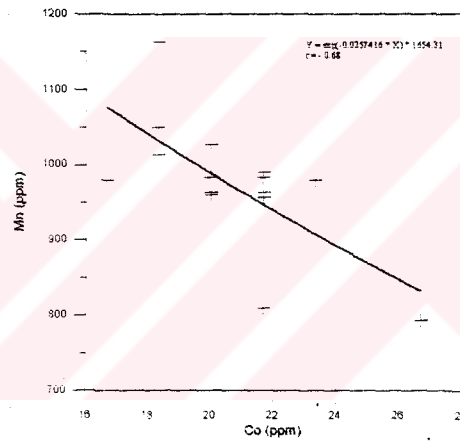
Şekil 8.78. Dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama Co değişimi

Sistematik olarak karot sediman örneklerinde karot bazında derinliğe göre Co değerlerinin değişimi ise Şekil 8.79 da gösterilmektedir. Şekilde, 9 örnekte derine doğru Co konsantrasyonunun arttığı, 3 örnekte değerlerin derinlik değişiminde sabit kaldığı, 2 örnekte orta kesimde değerlerin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 8.79. Uluabat Gölü dip sedimanlarında Co değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda Co ile Mn arasında negatif bir ilişki olduğu saptanmıştır. Şekil 8.80, Co ve Mn arasındaki $r=0.67$ düzeyinde negatif korelasyonu göstermektedir.



Şekil 8.80. Co ve Mn arasındaki negatif korelasyonun grafiksel gösterimi

8.3.5. Kurşun

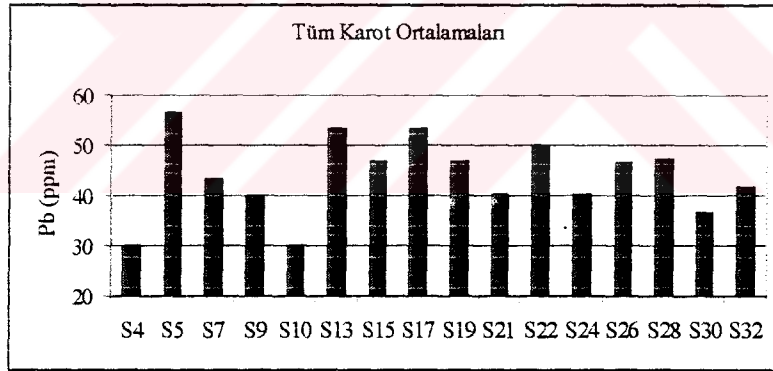
Bowen (1979) ve Wedepohl (1978) verilerine göre yerkabuğu ortalama Pb içeriği 14 ppm, sığ su sedimanları ortalama Pb içeriği ise 22 ppm olarak belirtilmektedir. Kurşun, magmatik kayalarda ortalama 16 ppm olup, ultramafik kayalarda 0.2-7 ppm, mafik kayalarda 12 ppm, felsik kayalarda 48 ppm civarında bulunur. Sedimanter kayalardan kalkerlerde 5-10 ppm, kumtaşlarında 10-40 ppm, şisti killerde 20 ppm, siyah renkli şisti killerde ise 20-400 ppm düzeyinde Pb bulunmaktadır. Topraktaki Pb miktarı ortalama 10 ppm civarındadır. Mineral bazında değerlendirildiğinde, K-feldspatlarda mikalara nazaran daha fazla Pb

bulunur. Plajiyoklaslar 19.5 ppm, amfiboller 15 ppm, kuvars ve saf olivinler ise bir ppm den az kurşun içerir.

Çözelti içerisindeki Pb, organik maddeler, güncel sedimanlardaki kil mineralleri, Fe^{3+} -oksitler ve Mn-oksitler tarafından soğurulur. Atlantik taban çamurlarında 47 ppm, Pasifik taban çamurlarında ise 61 ppm Pb bulunur.

Uluabat Gölü dip sedimanlarında yapılan kimyasal analizler sonucunda ortalama Pb içeriğinin 44 ppm olduğu saptanmıştır. Göl genelindeki Pb konsantrasyonunun farklı derinlikteki sediman tabakalarında ölçülen değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda verilmiş, tüm karotlara ait sonuçlar Şekil 8.81 de grafiksel olarak gösterilmiştir.

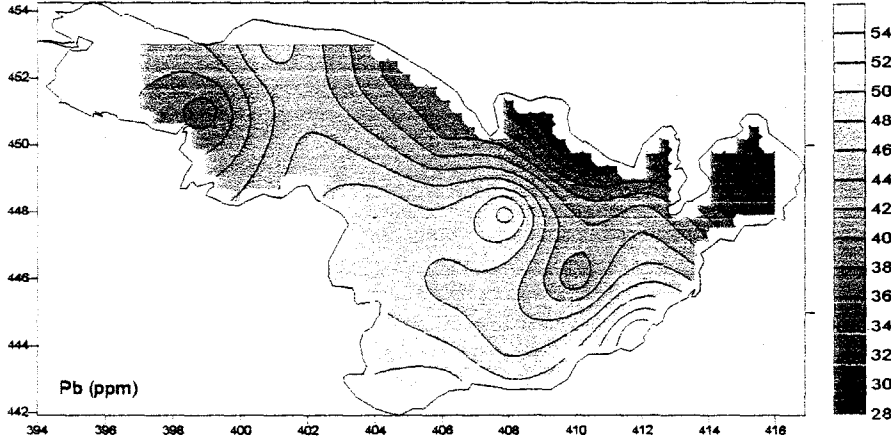
Pb (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	10-80	33
5-10 cm	30-80	53
10-15 cm	30-70	47



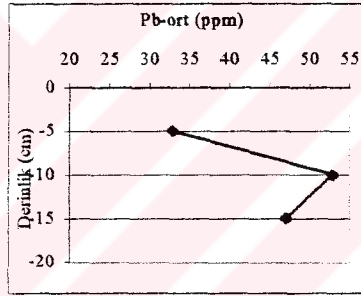
Şekil 8.81. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında Pb içeriği

Şekil 10.81 deki durumu daha anlaşılır hale getirmek için göl genelindeki Pb dağılımını Kriging yöntemiyle oluşturulan eş konsantrasyon haritasında incelemek yararlı olacaktır. Şekil 8.82 de görüldüğü üzere, en yüksek Pb değeri S4 nolu örneğin bulunduğu güneydoğu kesiminde saptanmıştır. Genelde güney ve güneydoğu kesimlerinde Pb değerleri yüksek bulunmuştur. Şekilde ayrıca gölün batısından doğusuna, kuzeyinden güneyine doğru değerlerin artış gösterdiği görülmektedir. Karot derinliğine göre Pb değerlerinin değişimi Şekil 8.83 de görülmektedir.

Göl genelinde en üst 5 cm lik sediman tabakasındaki Pb konsantrasyonu 33 ppm iken, bu değer orta seviyede 53 ppm'e yükselmekte, en alt 10-15 cm lik kesimde ise biraz azalarak 47 ppm'e düşmektedir.

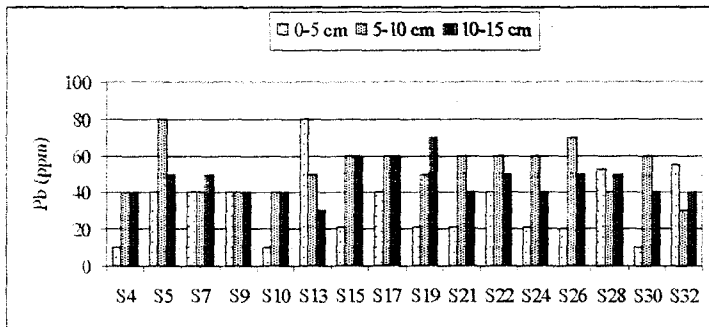


Şekil 8.82. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Pb dağılımı



Şekil 8.83. Dip sedimanlarında derinliğe göre Pb değerlerinin değişimi

Karot bazında Pb konsantrasyonunun derinliğe göre değişimi incelendiğinde (Şekil 8.84), altı örnekte Şekil 8.84 deki gibi bir trend, altı örnekte ise yüzeyden derine doğru bir artış gözlenmektedir. Kurşun' da ortaya çıkan bu trend, Co, As, Cr, V ve baryum' da da görülmektedir.



Şekil 8.84. Uluabat Gölü karot sedimanlarında derinliğe bağlı Pb değişimi

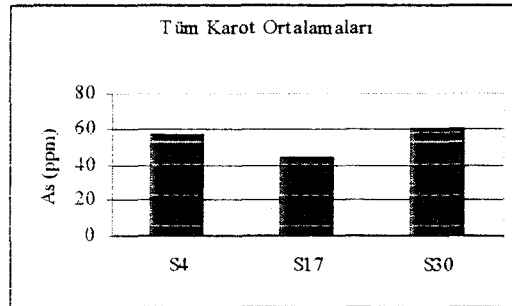
8.3.6. Arsenik

Kalkofil bir element olan arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co ve Fe gibi elementlerle, Ni-Cu sülfür yataklarında, bazı uranyum damarlarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda ve oksitlerde bulunur (Şahinci, 1986). Arsenik, As^{3+} ($0.58 A^0$) ve As^{2+} ($0.46 A^0$) olarak iyon yarıçapları itibarıyla Si^{4+} ($0.43 A^0$) ve Fe^{3+} ($0.64 A^0$) iyonları ile yer değiştirebilen bir elementtir. Bazalt ve diyabazlarda ortalama 2 ppm, gabrolarda 1.4 ppm, nötr kayalarda 2.1 ppm, granitlerde 1.5 ppm arsenik bulunur. Sedimanter kayalardan kil ve şeyllerde 13 ppm, kumtaşları, çörtler, karbonat ve dolomitlerde 1 ppm, fosfatlı kayalarda 21 ppm, göl çökellerinde 15 ppm, denizel pelajik kırmızı çamurlarda 11 ppm kadardır.

Bowen (1979) ve Wedepohl (1978) verilerinde yer kabuğu As ortalaması 1.5 ppm, sığ su sedimanları As ortalaması ise 5 ppm olarak belirtilmiştir. Uluabat Gölü dip sedimanlarında yapılan kimyasal analizlerde ortalama As içeriği 53 ppm bulunmuştur. Bu değer yer kabuğu ve sığ su sediman ortalamalarından oldukça yüksek bir değerdir. Gölün üç ayrı noktasından alınan karot örneklerinde yapılan kimyasal analizlerde elde edilen değer aralıkları ve ortalamalar aşağıda verilmiştir.

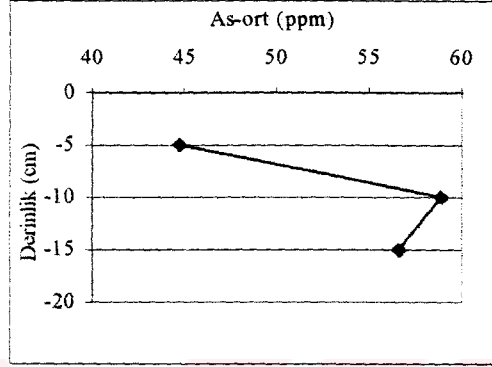
As (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	37.9-74.4	56
5-10 cm	25.6-69.9	43
10-15 cm	44-70.9	61

Yanal olarak As dağılımını incelemek amacıyla üç karot örneğine ait ortalama As değerleri grafik olarak Şekil 8.85 de verilmiştir. Grafikten As konsantrasyonunun gölün batısında daha yüksek olduğu, doğuya doğru değer azaldığı, güney kesiminde ise en düşük değerini aldığı görülmektedir.

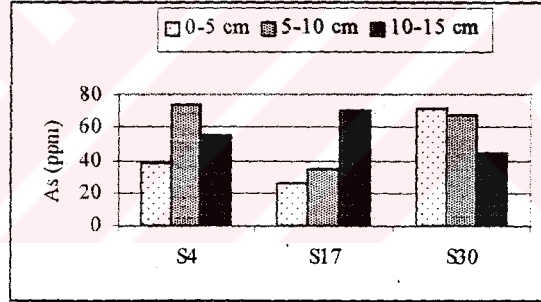


Şekil 8.85. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama As değişimi

Göl geneli için ortalama As konsantrasyonunun sediman tabakası derinliği boyunca değişimi Şekil 8.86 da verilmiştir. Sediman tabakasının en üst 5 cm lik kesiminde ortalama 44.8 ppm olan As konsantrasyonu, 5-10 cm lik sediman tabakasında artarak 58.93 ppm'e yükselmiş, en alt 10-15 cm lik kesimde ise küçük bir azalma ile 56.63 ppm'e düşmüştür. Her bir karottaki derinliğe göre değişim ise Şekil 8.87 de gösterilmiştir.



Şekil 8.86. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre As değişimi



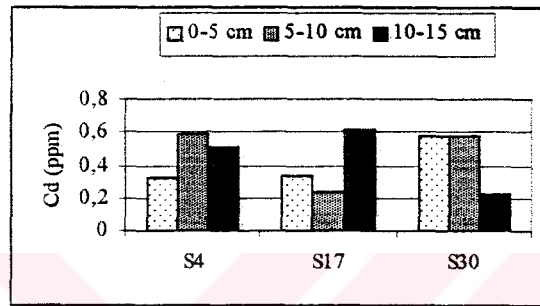
Şekil 8.87. Üç ayrı karot örneğinde As değerlerinin yanal ve düşey değişimi

8.3.7. Kadmiyum

Bowen (1979) verilerine göre yer kabuğu ortalama Cd içeriği 0.11 ppm olarak belirtilmekte, Wedepohl (1978) verilerinde ise sığ su sedimanlarında Cd içeriği 0 olarak verilmektedir. Mağmatik kayalarda ortalama 0.2 ppm olan Cd, mafik ve felsik kayalarda, şeyllerde 0.2 ppm, kireçtaşlarında 0.1 ppm düzeyinde bir konsantrasyona sahiptir. Kadmiyum'un jeokimyası çinko'ya çok benzer, bu nedenle genelde sfalerit her zaman 1000-1500 ppm Cd bulundurur.

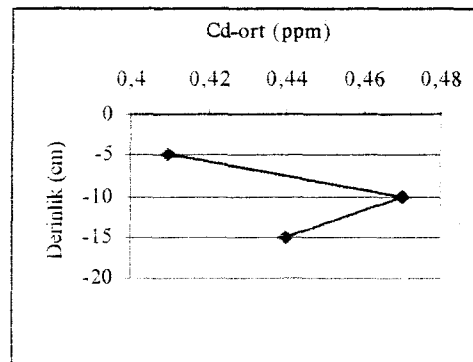
Uluabat Gölü dip sedimanlarının Cd içeriği yapılan kimyasal analizler sonucunda ortalama 0.44 ppm olarak hesaplanmıştır. Gölün üç ayrı kesiminden alınan karot örneklerinin kimyasal analizlerinde elde edilen Cd konsantrasyonun değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda sunulmuş, üç örneğe ait sonuçlar Şekil 8.88 de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Cd (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	0.32-0.59	0.41
5-10 cm	0.23-0.61	0.47
10-15 cm	0.22-0.58	0.44



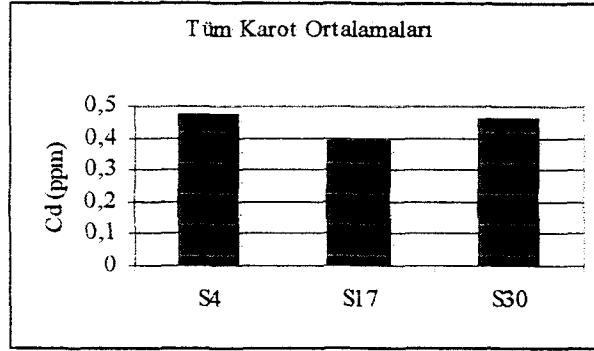
Şekil 8.88. Üç ayrı karot örneğinde Cd değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Cd konsantrasyonunun göl genelinde derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 8.89 da verilmiştir. Tüm göl genelinde sediman tabakasının en üstündeki 5 cm lik kısımda 0.41 ppm olan Cd konsantrasyonu, 5-10 cm lik sediman tabakasında 0.47 ppm'e yükselmekte, en alttaki 10-15 cm lik sediman tabakasında ise 0.44 ppm'e düşmektedir. Cd değerlerinin derinliğe bağlı olarak gösterdiği yönelimin, Cu, Pb, Co, Cr, Ba, As ve V değerlerinde gözlenen trendle aynı olması, bu elementlerin konsantrasyonlarının, sedimantasyon sürecinin farklı zaman dilimlerinde bağıl olarak aynı şekilde artma/azalma gösterdiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 8.89. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe bağlı Cd değişimi

Üç ayrı karot örneğinde yapılan analizler sonucunda elde edilen karot ortalamalarına bakarak, en yüksek Cd konsantrasyonu gölün doğu kesiminde, daha sonra batı kesiminde belirlenmiştir. Güney kesiminde ölçülen Cd içeriği ise en düşük değere sahiptir (Şekil 8.90).



Şekil 8.90. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama Cd değişimi

Uluabat Gölü dip sedimanlarında gerek ortalama değer, gerekse her bir karot bazında elde edilen Cd konsantrasyon değerlerinin Tablo 8.6 da verilen yer kabuğu ve sıg su sediman ortalamalarından yüksek olduğu açıkça ortadadır. Kadmiyum'un çinko ile jeokimyasal olarak birlikte hareket etmeleri ve özelliklerinin birbirine benzemesi dolayısıyla, Uluabat Gölü dip sedimanlarında Zn zenginleşmesine paralel olarak Cd metali de nispi olarak zenginleşmiştir.

Üç karot örneğine ait kimyasal analizlerde yapılan istatistiksel değerlendirmelerde Cd ile V arasında $r = 0.98$, Cd ve As arasında ise $r = 0.93$ gibi yüksek bir korelasyon olduğu ortaya çıkmıştır.

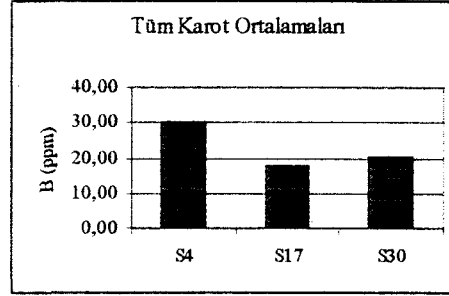
8.3.8. Bor

Bor katyonunun iyon yarıçapı (0.23 Å^0) çok küçüktür ve serbest halde bulunmaz. Kimyasal reaksiyonlarda kovalent bağ kurar ve oksijene ilgisi büyük olduğundan bor-oksijen bileşikler bol bulunur.

Uluabat Gölü dip sedimanlarının bor içeriği yapılan kimyasal analizler sonucunda ortalama 22.78 ppm olarak hesaplanmıştır. Gölün üç ayrı kesiminden alınan karot örneğinin yapılan kimyasal analizlerinde elde edilen değerlerin minimum ve

maksimum değerleri ile ortalamaları aşağıda verilmiş, karot ortalamaları bazında bor konsantrasyonları Şekil 8.91 de grafiksel olarak gösterilmiştir.

B (ppm)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	15-30	30.33
5-10 cm	11-38	17.67
10-15 cm	10-27	20.33

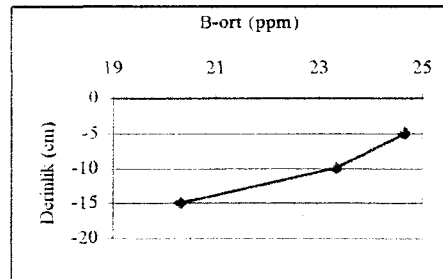


Şekil 8.91. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında ortalama B değişimi

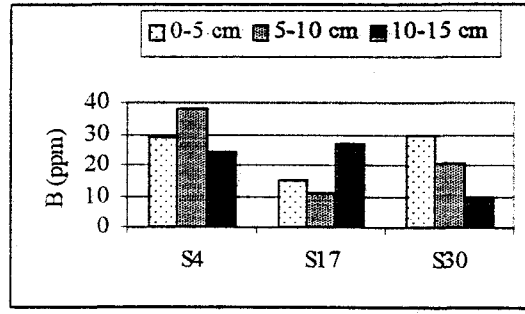
Şekilden bor konsantrasyonunun gölün doğu kesiminde en yüksek değere ulaştığı, batıya doğru konsantrasyonun azaldığı, güneyde ise en düşük değerini aldığı görülmektedir.

Şekil 8.92 de, bor değerlerinin karot derinliği arttıkça azaldığı açıkça görülmektedir. En üst 5 cm lik kısımda 24.67 ppm olan B konsantrasyonu, 5-10 cm lik sediman tabakasında azalarak 23.33 ppm'e , 10-15 cm lik kısımda ise daha da azalarak 20.33 ppm'e düşmüştür. Şekilden bor konsantrasyonunun derinliğe göre değişiminde gösterdiği trendin, MgO, Na₂O, SiO₂ ve Org-C değerlerindeki hemen hemen paralel olduğu müşahade edilmektedir.

Gölün üç ayrı noktasından alınan karot örneklerinin her birinde derinliğe göre B içeriğinin değişimi ise Şekil 8.93 de verilmiştir.



Şekil 8.92. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre ortalama B değişimi



Şekil 8.93. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında B değişimi

Bor elementinin diğer elementlerle olan ilişkisinde B-Ba ve B-Sr birliktelikleri dikkati çekmiştir. B-Ba arasında $r=0.99$ luk çok yüksek bir korelasyon varken, B-Sr arasında ise $r=0.95$ lik yüksek bir korelasyon söz konusudur.

8.4. Diğer Bileşenler

Bu bölümde sedimanlarda majör, minör ve iz element tanımlaması içerisine alınamayan, fakat sedimanların kimyasal bileşiminde oldukça büyük bir yüzdelik paya sahip olan kızdırma kaybı, organik karbon ve toplam karbonat gibi bileşenler yer almaktadır.

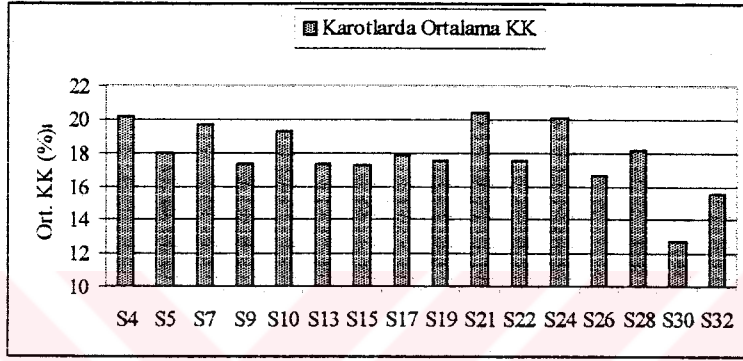
8.4.1. Kızdırma Kaybı

Bu parametre, kontrollü atmosfer ortamı özelliğine sahip fırında 1 gr hassas tartımı yapılan numuneyi 900°C de 3-4 saat bekleterek numunede bulunan CO_2 , H_2O gibi uçucu bileşenlerin bünyeyi terk etmesi sağlanarak meydana gelen kütle kaybının hesaplanması esasına dayanır. Bu işlem için önceden 400 mesh altına öğütülen numuneden 1 gram hassas tartım yapılır ve sonra darası alınmış porselen kroze içerisine yerleştirilerek önceden kızdırılmış 900°C sıcaklığa sahip fırına konarak 3-4 saat bekletilir. Daha sonra çıkarılan numune nem almaması için desikatöre konur ve porselen krozenin sıcaklığı normale döndükten sonra hassas olarak ikinci tartım yapılır. Aradaki fark yüzde olarak hesaplanır ve kızdırma kaybı olarak kaydedilir.

Bu prensibe dayanarak Uluabat Gölü dip karot sedimanlarının kızdırma kaybı sonuçlarını elde etmek için öncelikle numunelerin kızıl ötesi (IR) ışık altında

kuruması sağlanmış, daha sonra agat havanda 400 mesh boyutu altına öğütülmüştür. Daha sonra yukarıda belirtilen şekilde numunelerde kızdırma kaybı tayinleri gerçekleştirilmiştir.

Uluabat Gölü dip karot sediman örneklerinin kızdırma kaybı değerleri % 12.71 ile % 20.41 arasında olup, tüm göl ortalaması da % 17.86 dır Karot bazında ortalama kızdırma kaybı değerleri göz önüne alındığında en düşük değerlerin S30 ve S32 nolu karotlarda olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 8.94).

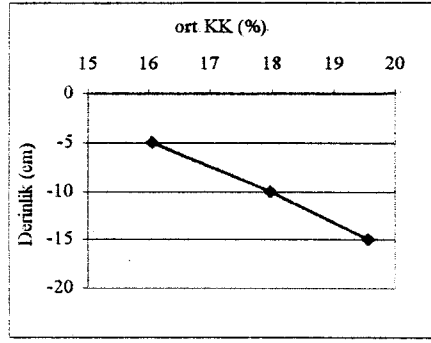


Şekil 8.94. Uluabat Gölü dip sedimanlarının Kızdırma Kaybı ortalamaları

Aşağıda kızdırma kaybı değerlerinin derinliğe göre sınırları ve ortalamaları verilmektedir.

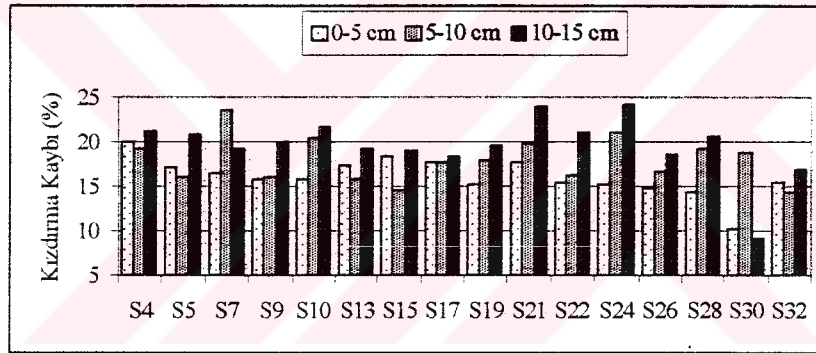
% TiO ₂	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	10.29-19.97	16.05
5-10 cm	14.38-23.59	17.97
10-15 cm	9.08-24.07	19.57

Göl genelinde ortalama kızdırma kaybı değerlerinin derinliğe bağlı olarak değişimi incelendiğinde yukarıda da görüldüğü üzere, değerlerin derinlikle artan bir yönelim sergilediği görülmüştür (Şekil 8.95). En üst 5 cm lik sediman tabakasının ortalama kızdırma kaybı değeri % 16.05 iken, 5-10 cm yi temsil eden sediman tabakasında ortalama değer % 17.97 ye yükselmekte, en alttaki 10-15 cm lik sediman tabakasında daha da artarak % 19.57 değerini almaktadır.



Şekil 8.95. Dip sedimanlarında ortalama kızdırma kaybı değerlerinin derinliğe göre değişimi.

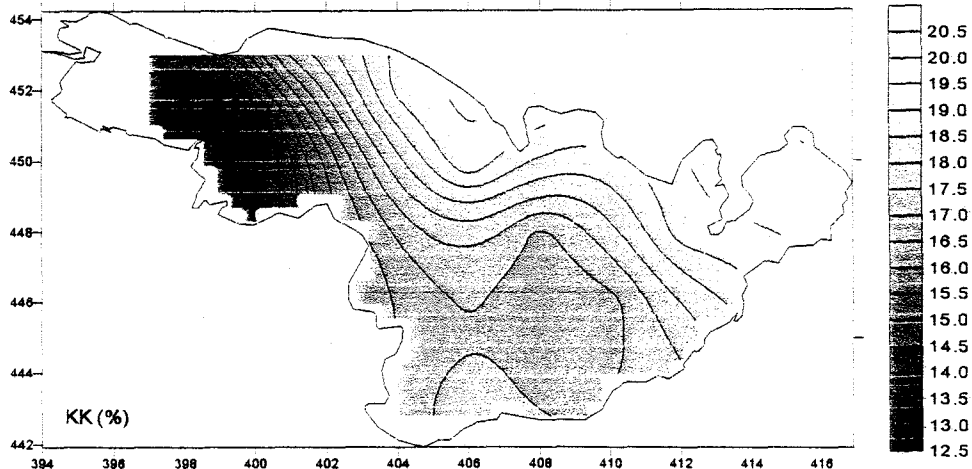
Her bir karot bazında kızdırma kaybı değerleri incelendiğinde (Şekil 8.96), 14 örnekte en yüksek kızdırma kaybı değerinin 10-15 cm lik sediman tabakasında olduğu görülmektedir. Diğer yandan toplam 9 örnekte kızdırma kaybı değerlerinin derinlikle birlikte arttığı gözlenmiştir.



Şekil 8.96. Dip sedimanlarında kızdırma kaybı değerlerinin yanal ve düşey değişimi

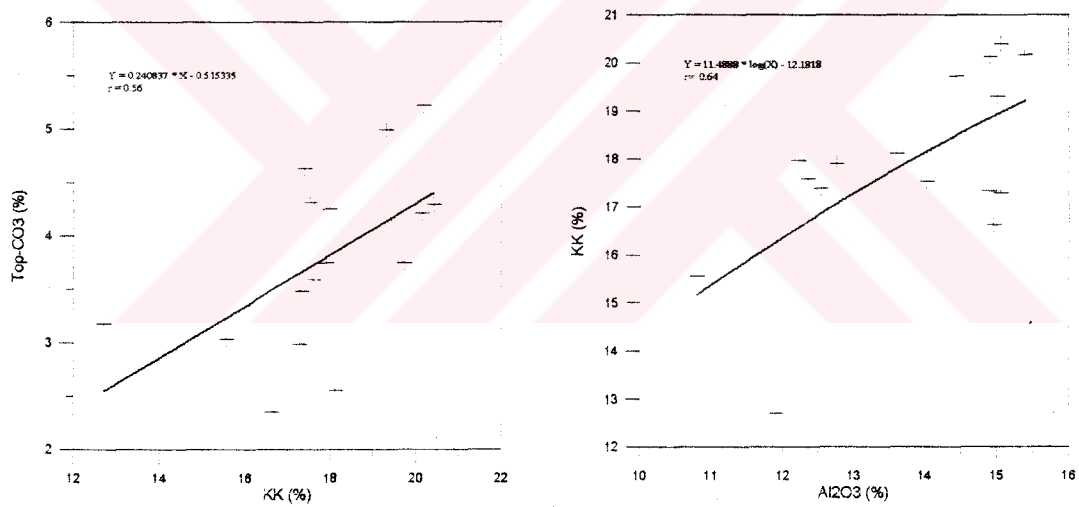
Ortalama kızdırma kaybı değerlerinin gölde yanal dağılımı Şekil 8.97 de görülmektedir. Değerlerin batıdan doğuya ve güneyden kuzeye doğru gittikçe arttığı aşağıdaki şekilde açıkça görülmektedir.

Oluşturulan ikili diyagramlarda kızdırma kaybı değerleri ile alüminyum oksit ve toplam karbonat değerleri arasında uyumluluk görülmüştür. Al_2O_3 ile KK arasında $r=0.64$ düzeyinde bir pozitif korelasyon gözlenirken, KK ile toplam CO_3 arasında $r=0.56$ lık bir pozitif korelasyon belirlenmiştir (Şekil 8.98). Kızdırma kaybının malzeme içerisindeki su ve karbondioksit gibi bileşenlerin yapıyı terketmesine bağlı olduğu göz önüne alındığında, toplam karbonat ile kızdırma kaybı arasında çok yüksek olmasa da pozitif bir korelasyon olması çok doğaldır.



Şekil 8.97. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama kızdırma kaybı değerlerinin yanal dağılımı

Korelasyon katsayısının çok yüksek olmaması, kızdırma kaybının sadece karbonat içeriğine bağımlı olmaması ile açıklanabilir.



Şekil 8.98. KK ile Al_2O_3 ve KK ile toplam CO_3 arasındaki ilişkiler

8.4.2. Toplam Organik Karbon

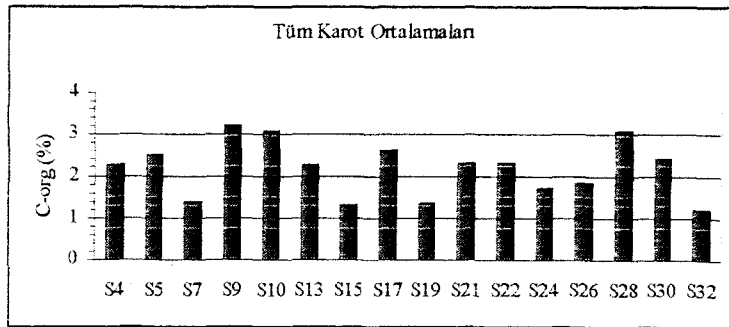
Göl sedimanlarındaki organik madde içeriği göllerin paleo-ekolojisi, iklim değişikliklerinin tarihçesi ve insanların lokal ve bölgesel ekosisteme yaptığı etkiler hakkında yapılan çalışmalar için oldukça önemli bilgiler sağlar. Organik maddenin önemli bir kısmı organik karbon şeklindedir. Organik madde, miktar bakımından göl sedimanlarının minör bileşeni olmakla birlikte, oldukça önemli bir fraksiyondur. Organik maddeler, göl ve beslenme havzasında yaşayan bentik mikroorganizmaların

dokularından türeyen yağlar, karbonhidratlar, proteinler ve diğer biyokimyasallardan meydana gelmektedir (Lerman, 1995). Bu nedenle organik madde üzerinde yapılacak çalışmalar birkaç farklı bilim dalının ortak konusu haline gelmiştir ve bu yüzden çok zaman alıcı ve yorucu bir çalışmayı gerektirir.

Sedimanlardaki organik madde miktarını, su kolonunda organik madde üretimi, oksijen miktarı, sedimantasyon hızı, su derinliği, biyojenik etkenler belirler. Organik madde birikiminde ayrıca, sedimanın geçirgenliği, gözenek suyunun kimyası, mikrobiyolojisi ve sedimanı oluşturan partiküllerin karakteristiği gibi faktörler rol oynar. Organik madde miktarı genellikle ince tane boyunda daha fazla bulunur. Kil mineralleri, fitoplanktonların bozunması ile oluşan organik maddenin % 50-60'ını soğurabilir (Bordovsky, 1965).

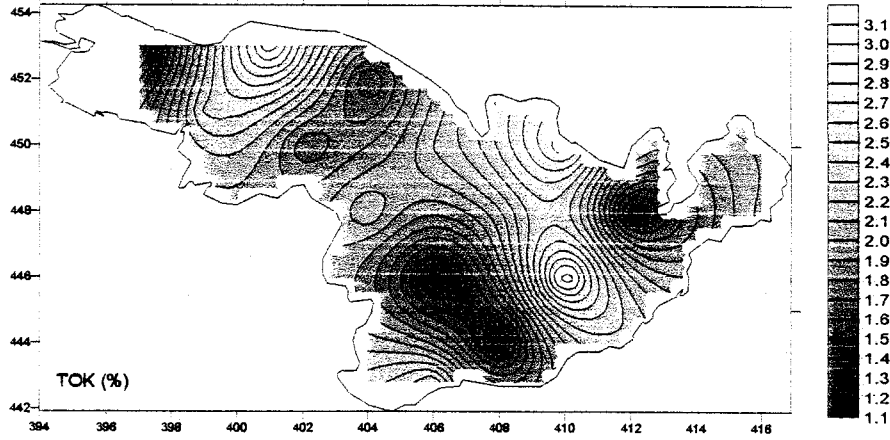
Yapılan analizler sonucunda Uluabat Gölü güncel sedimanlarının ortalama toplam organik karbon miktarı % 2.17 olarak hesaplanmıştır. Analizlerde elde edilen verilerin değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda verilmiş, tüm göl için karot bazında toplam organik karbon miktarları Şekil 8.99 da grafiksel olarak ifade edilmiştir.

TOC (%)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	1.03-4.51	2.70
5-10 cm	1.17-3.63	2.02
10-15 cm	1.19-2.92	1.79



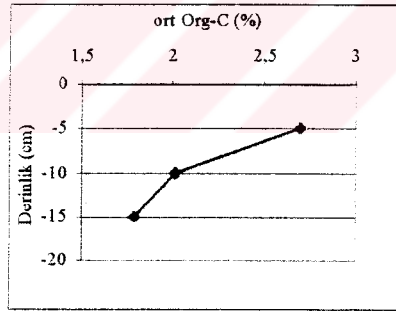
Şekil 8.99. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama TOC değerleri

Ortalama TOC değerleri baz alınarak Kriging yöntemiyle yapılan eş konsantrasyon haritasında, organik karbon miktarının genelde gölün kuzey kesimlerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. En büyük değer Manastır Adası'nın güneyinde S9 nolu örnekte belirlenmiştir (şekil 8.100).



şekil 8.100. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama TOK dağılımı

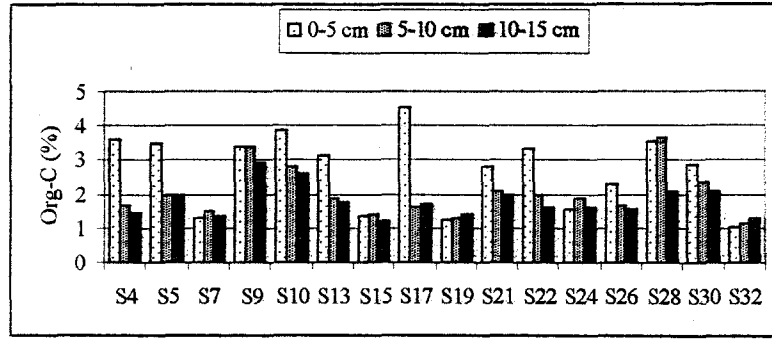
Dip sedimanlarında derinlik artışına paralel olarak ortalama organik karbon miktarının değişimini incelemek için şekil 8.101'e bakıldığında sediman tabakasında derine doğru ortalama TOC değerlerinin azaldığı görülmektedir.



şekil 8.101. Dip sedimanlarında TOK miktarının derinliğe göre değişimi

Sediman tabakasının en üst 5 cm lik kısmında ortalama % 2.70 olan organik karbon miktarı, 5-10 cm lik kısımda % 2.02 düzeyine, en alt 10-15 cm lik kısımda ise % 1.79 düzeyine inmektedir. şekil 8.102'deki organik karbon'un derinliğe göre değişim trendi Na_2O , K_2O , MgO , SiO_2 de de gözlenmiştir.

Her bir karotta derinliğe göre organik karbon miktarının değişimi ise şekil 8.102'de verilmiştir. şekilden de görüldüğü gibi, 10 örnekte derine doğru azalan değerler varken, iki örnekte artan değerler söz konusudur.



Şekil 8.102. Dip sedimanlarında TOK değerlerinin yanal ve düşey değişimi

Uluabat Gölü gerek su, gerekse göl çevresi bakımından organik madde üretimi açısından zengin olan, yer yer bataklık oluşumlarının görüldüğü bir göldür. Ancak bu floral ve faunal zenginliğe göre organik karbon miktarı o denli fazla değildir. Burada organik maddenin kil'si materyal tarafından degradasyona maruz kalıp oksitlenerek korunamaması düşünülebilir.

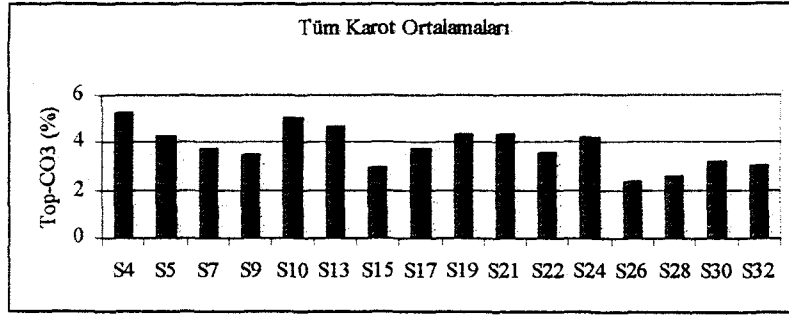
8.4.3. Toplam Karbonat

Karbonat (CO_3) dip sedimanlarının asıl bileşenleridir. Bu bileşenler daha çok kalsit ve dolomit gibi mineraller ile karbonat kavkı ve çimento malzemesinden meydana gelir.

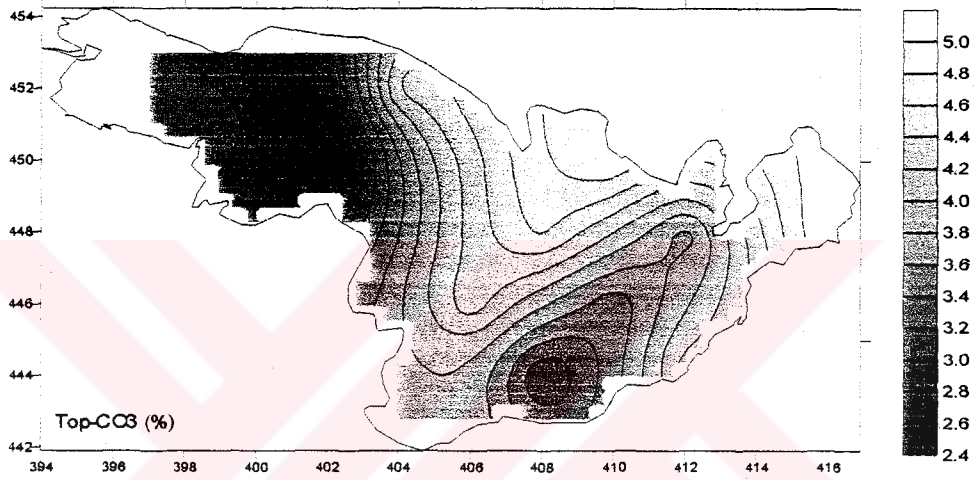
Yapılan analizler sonucunda Uluabat Gölü dip sedimanlarının tüm göl genelinde toplam karbonat ortalaması % 3.79 olarak hesaplanmıştır. Yapılan kimyasal analizlerde elde edilen verilerin değer aralıkları ve ortalamaları aşağıda verilmiş, sonuçlar grafik olarak Şekil 8.103 de gösterilmiştir.

Top- CO_3 (%)	Değer Aralığı	Ortalama
0-5 cm	2.14-4.79	3.34
5-10 cm	1.69-5.33	3.51
10-15 cm	2.26-7.13	4.51

Şekilden 8.103' den de görüleceği gibi, ortalama toplam karbonat değerleri batıdan doğuya doğru azalma göstermektedir. En yüksek değer S4 nolu örnekte saptanmıştır. Değerlerin yanal olarak dağılımını daha iyi gösterebilmek amacıyla Kriging yöntemiyle oluşturulan eş anomali haritası Şekil 8.104 de verilmiştir.

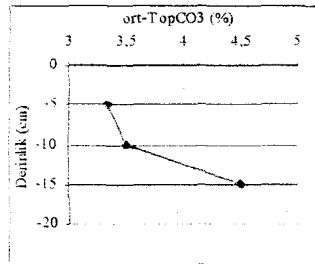


Şekil 8.103. Uluabat Gölü dip sedimanlarında karot bazında toplam CO₃ değişimi



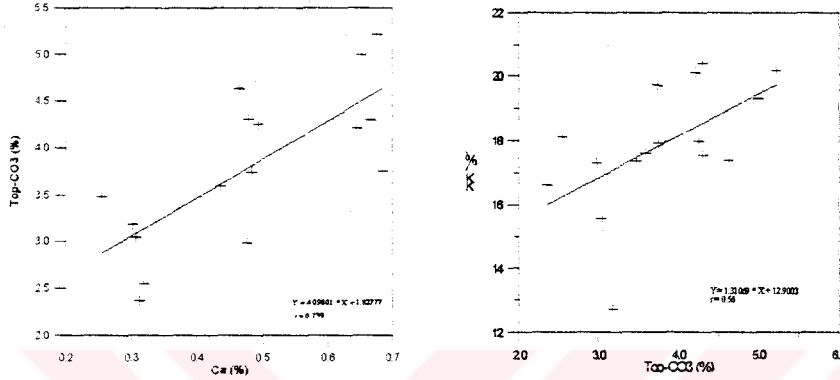
Şekil 8.104. Uluabat Gölü dip sedimanlarında ortalama Top-CO₃ dağılımı

Göl geneli için ortalama toplam CO₃ değerlerinin derinlik artışına paralel olarak değişimini incelemek amacıyla oluşturulan ikili diyagramda, karot derinliği arttıkça top-CO₃ 'ın arttığı görülmektedir (Şekil 8.105). Şekilde sediman tabakasının en üst 5 cm lik kısmında % 3.34 olan toplam karbonat miktarının, 5-10 cm lik sediman tabakasında artarak % 3.51 değerine, en alt 10-15 cm lik kısımda ise % 4.51 değerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 8.105. Uluabat Gölü dip sedimanlarında derinliğe göre toplam CO₃ değişimi

Her bir karot sediman örneğinde top-CO₃ değerlerinin derinlik artışına göre değişimini görmek için oluşturulan sütun diyagramda ise örneklerin hemen hemen hepsinde benzer trend gözlenmektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda top-CO₃ değerlerinin kalsiyum değerleriyle yaklaşık $r=0.74$ düzeyinde, kızdırma kaybı değerleriyle ise $r=0.56$ düzeyinde pozitif bir korelasyon gösterdiği belirlenmiş, söz konusu ilişkiler ikili diyagramlarda ifade edilmiştir (Şekil 8.106).



Şekil 8.106. Top-CO₃ ile Ca ve KK değerleri arasındaki pozitif korelasyonlar.

Bu ilişkiden dip sedimanlarındaki karbonat bileşeninin önemli miktarda kalsiyum'a bağlı olduğu, diğer bir deyişle karbonatın daha çok CaCO₃ (kalsit) formunda olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan kızdırma kaybı terimi içerisinde karbonat'ın karbon dioksit bileşeni de olduğundan kızdırma kaybı ile toplam karbonat değerleri arasında zayıf da olsa pozitif korelasyonun beklenen bir durum olduğu söylenebilir.

8.5. Uluabat Gölü Dip Sedimanlarının Jeoistatistiksel Açıdan Yorumu

Bu bölümde Uluabat Gölü sedimanlarına ait kimyasal analiz sonuçlarının jeostatistiksel yöntemlerle yorumlanmasına çalışılacaktır. Bu kapsamda jeokimyasal etüdlerden elde edilen verilerin anlamlandırılmasında en çok kullanılan iki yöntem olan Cluster Analizi ve PCA (Principal Component Analysis) Analizi ile Uluabat Gölü suları ve dip sedimanlarında analizi yapılan kimyasal parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri, bağımlılıkları her bir parametrenin birbirleriyle olan korelasyonlarının fonksiyonu olarak ortaya konacaktır.

8.5.1. Dip Sedimanları Analiz Sonuçlarına Cluster Analizinin Uygulanması

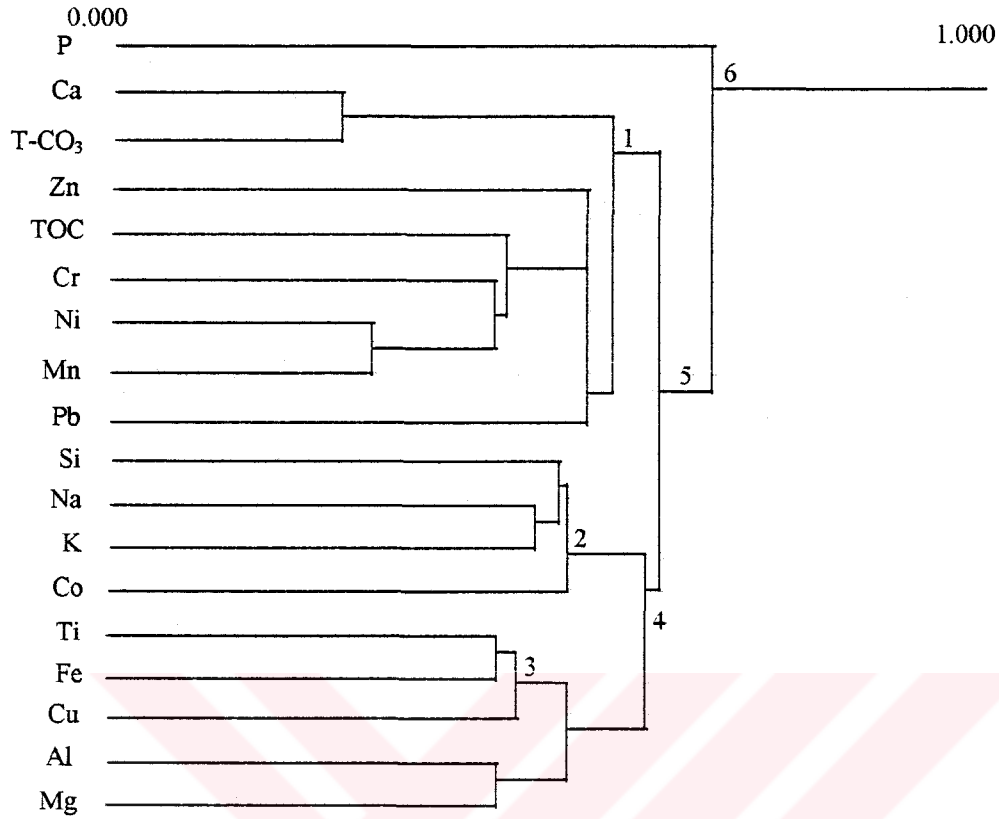
Gölden sistematik alınan toplam 16 adet karot sediman örneğinde analizi yapılan majör, minör ve iz elementlerle göl sedimanlarında önemli bir yeri olan C_{org} ve $Top-CO_3$ gibi parametrelere ait korelasyon matrisi ve bunu görsel olarak ifade eden cluster dendogramı aynı şekilde SYSTAT 5.03 istatistik programı yardımıyla ortaya konmuş, sonuçlar Tablo 8.7 ve Şekil 8.107 de verilmiştir.

Tablo 8.7. 16 adet karot sedimanına ait verilerin Pearson korelasyon matrisi

	Si	Al	Fe	Na	K	Ca	Mg	P	Ti	Mn	Ni
Si	1,000										
Al	-0,896	1,000									
Fe	-0,564	0,448	1,000								
Na	0,499	-0,364	-0,114	1,000							
K	-0,251	0,385	0,294	0,528	1,000						
Ca	-0,544	0,378	-0,110	-0,502	-0,330	1,000					
Mg	-0,549	0,555	0,055	-0,331	0,244	0,217	1,000				
P	-0,200	0,207	0,321	0,319	0,086	0,013	-0,275	1,000			
Ti	-0,451	0,414	0,548	-0,016	0,341	0,112	-0,233	0,295	1,000		
Mn	-0,379	0,341	0,181	-0,582	-0,373	0,430	-0,050	-0,029	0,300	1,000	
Ni	-0,301	0,349	0,278	-0,473	-0,239	0,059	-0,108	0,214	0,281	0,702	1,000
Pb	0,347	-0,449	0,027	-0,199	-0,480	-0,181	-0,424	-0,069	-0,159	0,456	0,437
Zn	-0,171	0,043	-0,055	-0,456	-0,281	0,084	0,134	-0,131	0,188	0,215	0,294
Cu	-0,596	0,484	0,540	-0,379	-0,006	0,239	0,307	0,180	0,388	0,241	0,344
Cr	0,019	0,035	0,352	-0,308	-0,244	-0,326	-0,242	0,094	0,095	0,110	0,563
Co	0,216	-0,306	0,379	0,481	0,253	-0,403	-0,109	0,244	-0,107	-0,673	-0,345
T- CO_3	-0,347	0,229	-0,270	-0,511	-0,465	0,740	0,330	0,025	-0,044	0,124	-0,005
TOC	0,006	0,065	0,012	-0,320	-0,306	0,008	-0,357	-0,080	0,229	0,211	0,289

Tablo 8.7. devam

	Pb	Zn	Cu	Cr	Co	T- CO_3	TOC
Pb	1,000						
Zn	-0,017	1,000					
Cu	-0,173	0,072	1,000				
Cr	0,319	0,413	0,074	1,000			
Co	-0,034	-0,320	0,101	0,188	1,000		
T- CO_3	-0,305	0,296	0,135	-0,190	-0,367	1,000	
TOC	-0,116	0,463	-0,066	0,549	-0,356	0,144	1,000



Şekil 8.107. Uluabat Gölü dip sedimanları analiz sonuçlarının cluster diyagramı

Şekil 8.107 de görüldüğü gibi, 1 nolu cluster grubunda $r=0.74$ korelasyona sahip olan Ca ve T-CO₃ ikilisi, Ni, Mn, Cr, C_{org}, Pb ve Zn gibi çoğunlukla ağır metallere meydana gelen grupla birleşmektedir. Ağır metal grubu içerisinde önce Ni ve Mn metal iyonları $r=0.702$ değeriyle ikili oluşturmakta, buna $r=0.562$ korelasyonla Cr metali bağlanmakta, daha sonra tüm bu metallere $r=0.453$ lük korelasyon değeriyle Pb ve Zn metalleri bağlanmaktadır. 1 nolu cluster grubunda Ca ve T-CO₃ arasındaki bu yakın ilişki, dip sedimanlarındaki karbonatın önemli ölçüde Ca'a bağlı olduğunun bir kanıtı olarak kabul edilebilir. Ayrıca göl sedimanlarında önemli bir yeri olan organik maddelerin bazı ağır metal iyonlarını adsorplayarak bünyelerine aldığı bilinmektedir. Dolayısıyla organik maddenin ana bileşeni olan toplam organik karbon (TOC)' un da Mn, Ni, Cr, Pb ve Zn gibi ağır metal iyonlarıyla normal olarak bir grup oluşturması beklenen bir gelişmedir.

2 nolu cluster grubunda ise litofil elementlerin kendi aralarında bir cluster oluşturduğu açıkça görülmektedir. Litofil elementlerden Na ve K $r=0.528$ korelasyon katsayısıyla birliktelik göstermekte, bu ikiliye $r=0.499$ lük korelasyonla Si elementi,

$r=0.486$ korelasyon katsayısıyla Co elementi bağlanarak 2 nolu cluster grubu tamamlanmaktadır.

3 nolu cluster grubunda siderofil elementlerin bir araya toplandıkları açık bir şekilde görülmektedir. Burada siderofil elementlerden, $r=0.548$ korelasyona sahip Ti-Fe ikilisine $r=0.536$ lık korelasyonla Cu elementinin bağlanarak bir grup oluşturduğu görülmektedir. Bu üç siderofil elementten oluşan grubun daha sonra $r=0.555$ korelasyona sahip Al-Mg ikilisine bağlandığı da açıkça görülmektedir. Al ve Mg elementlerinin birlikte oluşu, dip sedimanlarındaki kil minerallerinin içerisinde klorit gibi Mg'lu killerin de bulunmasından kaynaklanmaktadır.

8.5.2. Dip Sedimanları Analiz Sonuçlarına PCA Analizinin Uygulanması

PCA analizinde eldeki verilere ait korelasyon katsayıları kullanarak faktör yükleri hesaplanır ve bu faktör yüklerine göre bileşenlerin yapmış oldukları gruplaşmalar ortaya çıkar. Bu bölümde Uluabat Gölü su ve sediman örneklerinde yapılan kimyasal ve fiziksel analizlerde elde edilen verilerin SYSTAT 5.03 programı altında PCA analizinde değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar ve bunlara ilişkin yorumlar verilecektir.

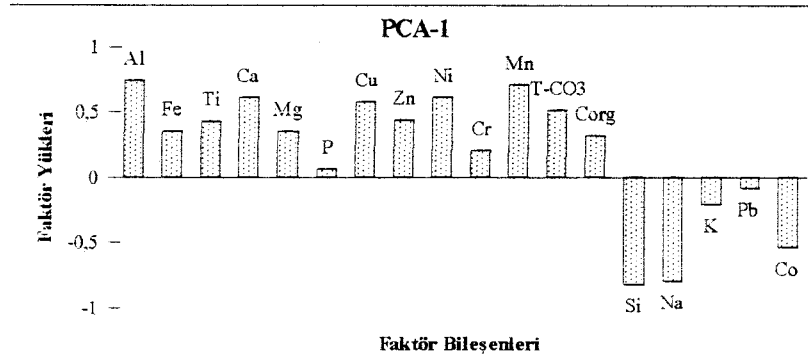
Dip sedimanlarında analizi yapılan majör, minör ve iz elementlerle toplam karbonat ve toplam organik karbon gibi bileşenlerin bahsi geçen paket program yardımıyla hesaplanan faktör yükleri Tablo 8.8 de verilmiş ve oluşturdukları 6 adet faktör grubu grafik olarak gösterilmiştir.

Toplam varyans değerlerinin % 26.74 lük kısmını oluşturan 1 nolu faktör grubu PCA-1 de yüksek dereceli negatif faktör yükleriyle Si, Na ve K gibi litofil elementlerin bir grup oluşturdukları dikkat çekmektedir. Pb ve Co dışındaki diğer ağır metallere Fe, T, Cu, Zn, Ni, Cr ve Mn'in pozitif faktör yükü değerleriyle bir grup yaptıkları da açıkça görülmektedir (Şekil 8.108).

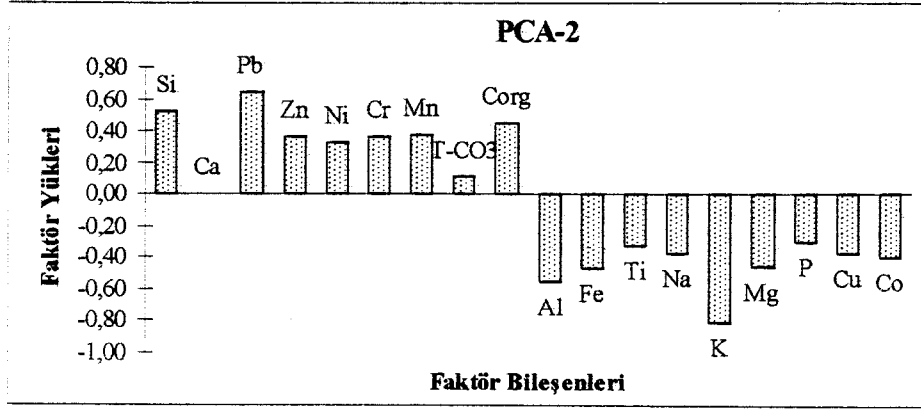
Tablo 8.8. Uluabat Gölü dip sedimanlarına ait hesaplanan faktör yükleri

	PCA-1	PCA-2	PCA-3	PCA-4	PCA-5	PCA-6
Si	-0,820	0,520	0,021	0,032	0,048	0,003
Al	0,739	-0,548	0,010	0,051	0,008	0,195
Fe	0,355	-0,465	0,665	-0,076	-0,179	-0,122
Ti	0,432	-0,318	0,470	0,116	0,476	0,129
Na	-0,795	-0,367	0,158	0,004	0,351	0,056
K	-0,213	-0,801	0,162	0,145	0,051	0,464
Ca	0,613	0,001	-0,532	-0,228	0,285	-0,261
Mg	0,350	-0,455	-0,505	0,057	-0,569	0,127
P	0,062	-0,297	0,405	-0,147	0,470	-0,481
Cu	0,579	-0,377	0,206	-0,142	-0,226	-0,290
Pb	-0,080	0,644	0,385	-0,568	-0,199	0,050
Zn	0,440	0,368	0,018	0,560	-0,120	0,000
Ni	0,615	0,325	0,509	-0,187	-0,044	0,110
Cr	0,209	0,371	0,670	0,380	-0,313	-0,161
Mn	0,705	0,376	0,144	-0,432	0,143	0,297
Co	-0,537	-0,391	0,362	0,023	-0,317	-0,518
T-CO3	0,508	0,117	-0,630	0,124	0,163	-0,449
Corg	0,320	0,453	0,227	0,652	0,259	0,039
Bileşenlerin varyansı	4,813	3,408	2,918	1,584	1,432	1,288
Toplam varyans (%)	26,74	18,394	16,209	8,801	7,955	7,154

Toplam varyans değerlerinin % 18.39'unu oluşturan 2 nolu faktör yükü grubunda, yüksek pozitif faktör yükü değerlerine sahip Pb, Ni, Cr, Zn ve Mn gibi ağır metallerin Si ve organik karbonla birlikte birliktelikleri göze çarpmaktadır. K, Al ve Fe gibi majör elementlerin de yüksek dereceli negatif faktör yük değerleriyle ayrı bir grup oluşturdukları görülmektedir (Şekil 8.109).

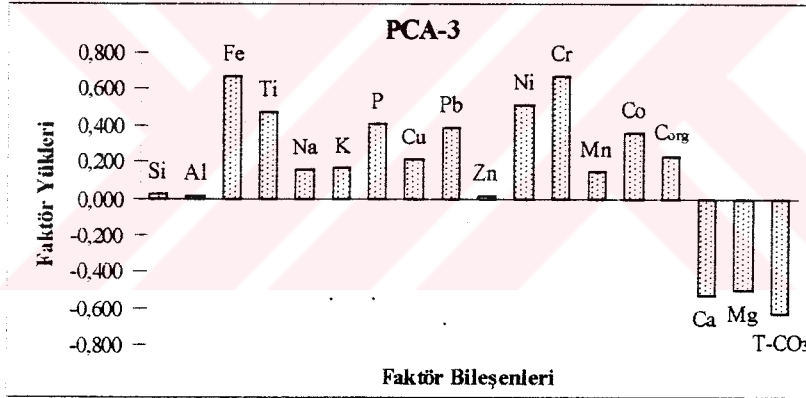


Şekil 8.108. Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 1 no'lu faktör yüklerinin dağılımı



Şekil 8.109. Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 2 nolu faktör yüklerinin dağılımı

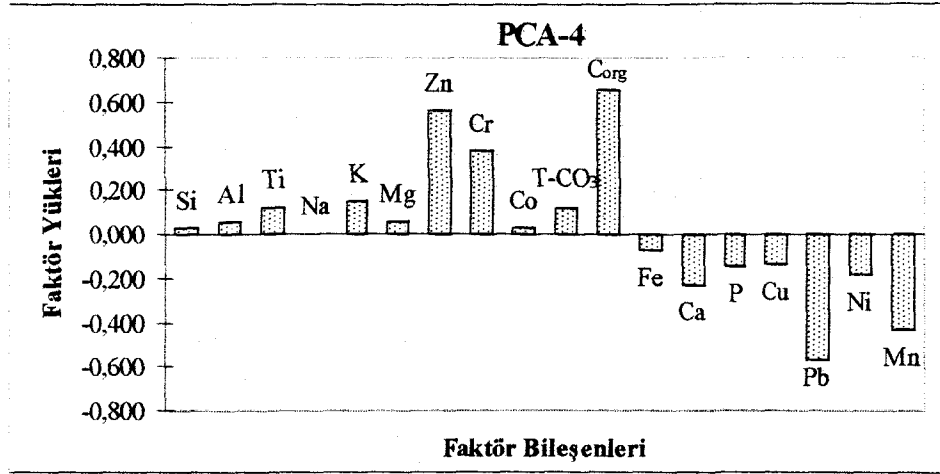
Toplam varyans değerlerinin % 16.21 ini oluşturan 3 nolu faktör yükü grubunda Fe, Ni, Ti ve Cr gibi siderofil elementlerin yüksek dereceli pozitif faktör yük değerleriyle bir gruplaşma yaptıkları açıkça görülmektedir (Şekil 8.110).



Şekil 8.110. Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 3 no'lu faktör yükleri dağılımı

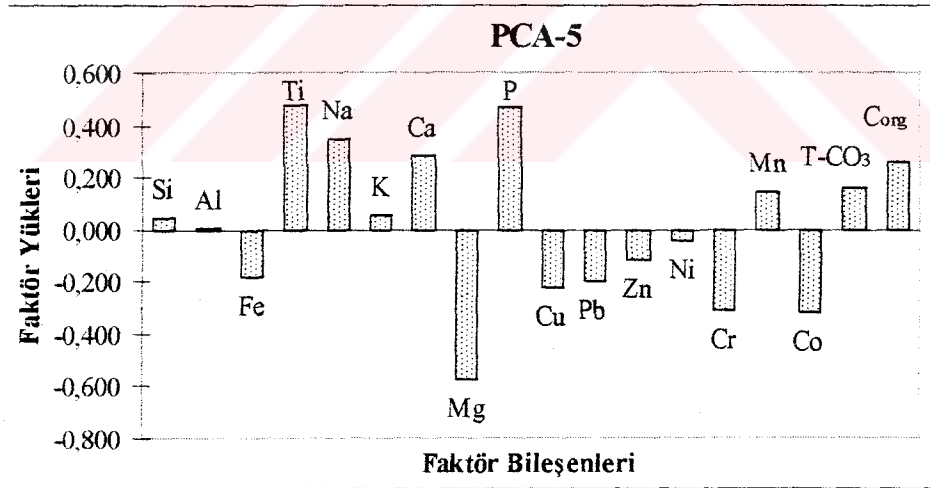
Şekil 8.110 da ayrıca tüm ağır metallerin belirgin olarak pozitif faktör yük değerleriyle bir arada bulundukları da görülmektedir. Yüksek dereceli negatif faktör yüklerine sahip Ca ve Mg elementleri de toplam karbonatla beraber bir gruplaşma içerisinde izlenmektedir.

Dört no'lu faktör yüklerini oluşturan grup, toplam varyans değerlerinin % 8.8 ine sahiptir. Burada Zn ve TOC' un yüksek pozitif faktör yük değerleriyle beraberlik gösterdiği, Pb ve Mn'in da yüksek negatif faktör yük değerleriyle ayrı bir grup içerisinde oldukları görülmektedir (Şekil 8.111).



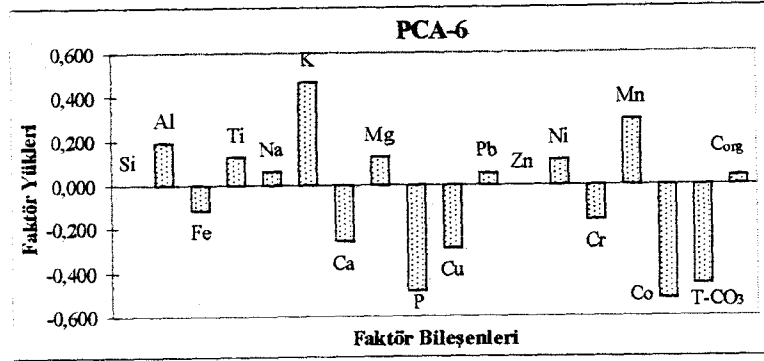
Şekil 8.111. Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait 4 nolu faktör yükleri dağılımı

Beş no'lu faktör yüklerini oluşturan grup içerisinde yüksek dereceli pozitif faktör yüklerine sahip Ti ve P elementlerinin Si, Al, Na, K ve Ca gibi majör elementlerle aynı grup içerisinde toplandıkları, buna karşın yüksek dereceli negatif faktör yüküne sahip Mg'nun da Mn hariç tüm ağır metallerle birlikte aynı grupta toplandığı Şekil 8.112 de açıkça görülmektedir.



Şekil 8.112. Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait beş no'lu faktör yükleri dağılımı

Son olarak 6 nolu faktör yükleri grubunda K yüksek dereceli pozitif faktör değeriyle majör elementlerin büyük çoğunluğuyla birlikte bir grup yapmış, P, Co ve T-CO₃ ise yüksek dereceli negatif faktör yükleriyle ayrı bir gruplaşma yapmıştır (Şekil 8.113).



Şekil 8.113. Dip sedimanları analiz sonuçlarına ait altı no'lu faktör yükleri dağılımı

9. GÖL SINIFLAMALARI

Göller küçük su birikintileri olarak görülebileceği gibi, binlerce km² alan kaplayan yapısal basenler olarak da görülebilir. Hutchinson (1957) gölleri oluşturan 76 proses tanımlamıştır. Bunlardan en önemlileri :

- | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| * Tektonik basenler | * Toprak kaymaları | *Rüzgar aktivitesi |
| * Volkanik aktivite | * Çözelti aktivitesi | |
| * Glasyal aktivite | * Akıntı aktivitesi | |

Göllerle ilgili birkaç çeşit sınıflama yapılmıştır. Bunlar ;

1. Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre
2. Organik çevrime göre
3. Kökenine (Jenetik) göre yapılan sınıflamadır.

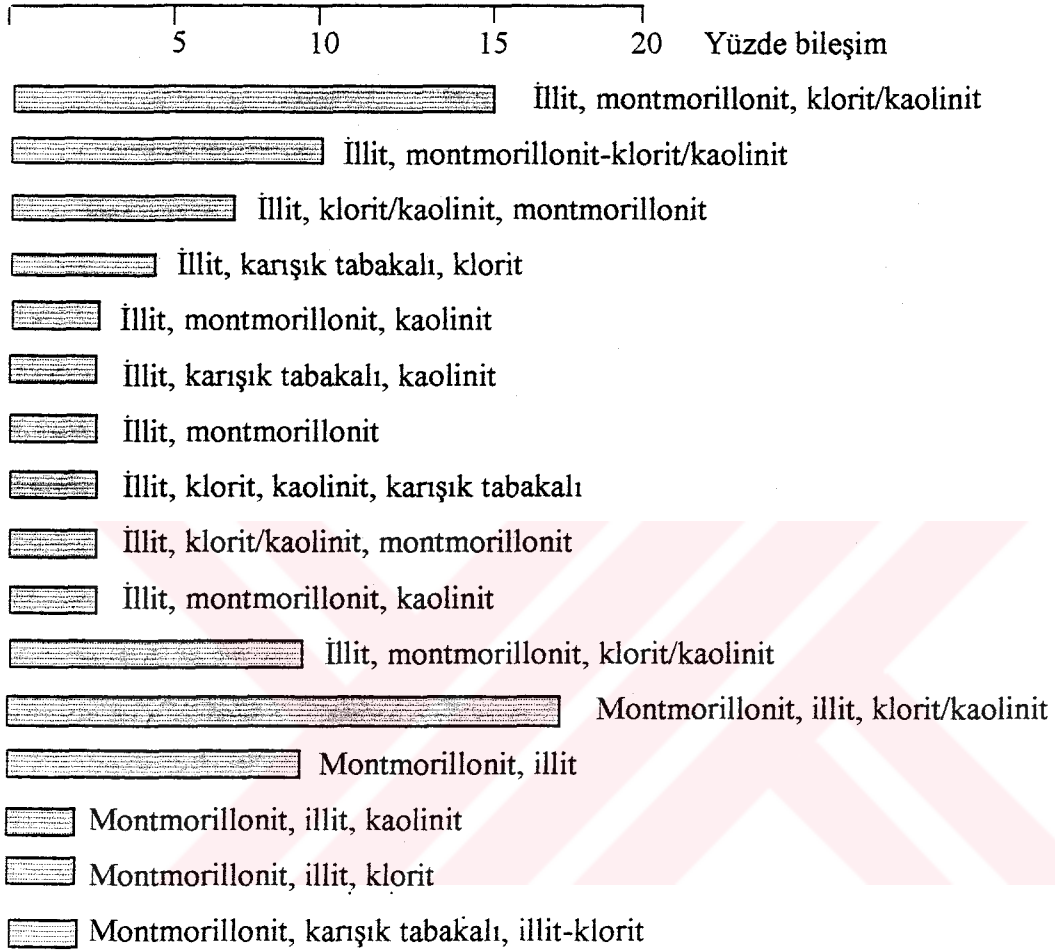
9.1. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre

Bu sınıflamaya göre göller “Kırıntılı (Klastik)” ve “Kimyasal Göller” olarak ikiye ayrılmaktadır.

9.1.1. Kırıntılı (Klastik) Göller

Tipik klastik göllerde, kıyı kenarı çökelleri oldukça kaba tanelidirler ve deltasal, sahil kumu ve konglomera çökelleri olarak bulunurlar. Yaygın olarak karbonatlar ve organik malzemelerle birlikte bulunan dip sedimanları, göllerin merkezinde ya da derinliklerinde yataklanırlar. Sedimanlar normal olarak nehirlerden, kıyı aşınmasından ve erozyondan sağlanır. Derin sudaki sedimantasyon yavaştır. Suyun tatlı olduğu yerde flokülasyon oluşmayacak, su kütlesi yaklaşık olarak hareketsizleşmedikçe kil boyutundaki materyaller depolanamayacak, ya da pelet haline geleceklerdir. Flokülasyon , ancak çözelti konsantrasyonunun birkaç ppm den daha yüksek olduğu zaman gerçekleşebilecektir. Büyük göllerin merkezindeki ince sedimanlar ince ve paralel laminasyonlar gösterebilirler, fakat bir çok derin gölde kilsî çamurlar tabakasızdırlar.

Bir çok klastik göldeki sedimanlar kırıntılıdır ve ana kayanın bileşimini yansıtır. Şekil 9.1 güncel 40 göldeki ve eski yataklardaki sediman takımlarının bileşimini göstermektedir. Şekildeki sediman bileşenleri tipik detritik malzemelerdir ve harici lakustrin sediman olmadığını gösterir.



Şekil 9.1. Güncel ve eski göllerdeki kil mineralleri birliği (Hutchinson, 1957)

Göllerde zannedildiği gibi tek tip bir kil minerali yoktur. Aksine gölsel yataklar kaynak malzemeyi ve iklimi yansıtan farklı kil mineralleriyle karakterize edilirler (Hutchinson, 1957).

Bu açıdan bakıldığında Uluabat Gölü'nün "Kırıntılı Göller" sınıfına girdiği söylenebilir. Zira yukarıda anlatıldığı gibi, Uluabat Gölü'nde dip sedimanları yaygın olarak karbonatlar ve organik malzemelerle karışık haldedir ve dip sedimanları aynı şekilde M. Kemalpaşa Çayı, kıyı aşınması ve erozyonu ile sağlanmıştır. Kil boyutlu dip sedimanlarının mineralojik bileşimi smektit, illit ve kloritce zengindir.

9.1.2. Kimyasal (Tuzlu) Göller

Bu tip göller litrede 5000 mg dan 400,000 mg a kadar çözünmüş madde içeren göller “Tuzlu Göller” olarak tanımlanırlar. Bu yüksek konsantrasyon göle malzeme getirimiyle, ya da bunu da aşan buharlaşmayla veya her ikisiyle birlikte sağlanmaktadır. Tuzlu göller nisbeten küçük geçici su birikintilerinden (playalar) Ölü Deniz gibi derin, sürekli tabakalı tuzlu su kütlelerine kadar geniş bir aralık sergilerler. Bu göllerin oluşumu için en uygun şartlar yağışlı ve ılıman ortamlardır.

9.2. Organik Çevrime Göre Yapılan Sınıflama

Bir diğer göl sınıflaması da gölleri organik çevrim ve üretkenlik düzeylerine sınıflamadır. Bu şekilde yapılan sınıflama göllerin ekolojik koşullarını ve kirlilik derecelerini de bir ölçüde tanımlamaktır. Buna göre Oligotrofik, Mezotrofik, Ötrofik ve Distrofik göller olmak üzere 4 sınıfa ayrılır.

9.2.1. Az Beslenmiş (Oligotrofik) Göller

Bu göller besleyici malzemeler (nutrients) ve organik yaşam bakımından zayıf, yani temiz göllerdir. Canlı türü fazla olmasına karşın canlı sayısı azdır. Genel olarak derin olan bu göllerde derin kesim (hipolimnion) iyi gelişmiştir ve soğuktur. Oksijen yılın her döneminde ve bütün derinliklerde vardır. Bu tür göller jeolojik olarak nisbeten gençtir.

9.2.2. Orta Derecede Beslenmiş (Mezotrofik) Göller

Bu göllerde alg ve organik madde miktarı az beslenmiş göllere oranla daha fazladır, ancak alg patlamaları görülmemektedir. Bitki ve canlı türü sayısı oldukça fazladır. Su kalitesi nispeten bozulmaya başlamıştır.

9.2.3. Aşırı Beslenmiş (Ötrofik) Göller

Genellikle sığ olan bu göllerde aşırı miktarda organik madde vardır. Sık sık alg patlaması görülür. Üretkenlik yüksektir. Gölü derin kısmı (hipolimnion) çok azdır veya yoktur. Bu kesimde hemen hemen hiç oksijen bulunmadığı için anaerobik parçalanma söz konusudur. Bu tür göllerde canlı sayısının çokluğuna karşın canlı türü nisbeten kısıtlıdır. Bu canlılar ve algler öldükçe dibe çöker ve zamanla gölün derinliğini azaltır. Göl çevresinde bitki ağlı oluşur ve ve gölün su kitlesi giderek

azalır. Bir süre sonra bataklıklaşır ve yok olur. Evsel kaynaklı atıklar bu süreci daha da kısaltır. Bu tür göller genellikle eski göllerdir ve kirlenmiş olarak nitelendirilirler.

9.2.4. Kötü Beslenmiş (Distrofik) Göller

Bu tür göller normal ekolojik özellik göstermezler. Suyun rengi kahverengi olup, asidik özelliği nedeniyle sadece bazı canlı türlerin yaşamı için uygundur.

Üzerinde durulan sınıflamaya göre Uluabat gölü “Aşırı Beslenmiş (Ötrofik) Göller” sınıfında düşünülebilir. Çünkü gölde su derinliği çalışma anında, yani yaz mevsiminde en düşük 0.8 metre ile 2.5 metre arasında ölçülmüştür. Diğer anlamda gölde epilimnion zonu hakim olmasına karşın hipolimnion zonu çok az gelişmiş ya da hiç gelişmemiştir denebilir. Zira su derinliğinin bu denli az olması güneş ışığının suyun tamamına nüfuz etmesini kolaylaştırmakta ve dolayısıyla hipolimnion zonunun oluşmasını engellemekte, gölde fotosentez olayı artmakta ve doğal olarak alg ve organik madde hızla çoğalmaktadır. Nitekim gölün büyük kesiminde su kolonu ve su yüzeyi, uzunluğu 2 metreyi aşan bitkilerce tamamen kaplanmış durumdadır (Şekil 9.2).



Şekil 9.2. Uluabat Gölü’ndeki yoğun alg gelişimini gösteren bir panorama

Ayrıca göl dibinde oldukça kalın balçık kıvamında bir sediman tabakası gelişmiştir. Bu sediman tabakasının bazı kesimlerde koyu gri-siyah renkte olması ve kötü kokulu olması, bu bölgelerde anaerobik ortam özelliklerinin varlığını düşündürmüştür.

9.3. Kökenine Göre (Jenetik) Yapılan Sınıflama

Jenetik olarak göller 6 sınıfa ayrılırlar :

- Tektonik kökenli göller
- Alüvyon baraj kökenli göller
- Yıkıntı ile engellenmiş göller
- Buzul kökenli göller
- Karstik göller

9.3.1. Tektonik Göller

Oluşum açısından Manyas, İznik ve Sapanca gölleri gibi Uluabat Gölü' nün de tektonik kökenli olduğu söylenebilir. Bu göllerin bulunduğu bölge literatürde “çek-ayır havza (pull-apart basin)” olarak adlandırılmakta olup çöküntü havzalarında meydana gelmişler ve dislokasyonlarla sınırlanmışlardır. Tektonik hareketler sonucu, eski hidrolojik şebekeler dağılmış ve parçalanmışlardır. Bu hareketlerle meydana gelen ve eski boşaltma sisteminin zemini altında yer alan tektonik küvetler su ile dolarak göl haline gelmiştir. Önceleri bu havzalar belki de kapalı idi ve suları dışarı akıyordu. Daha sonra havzanın taşması veya komşu bir akarsuyun sularını kapması sonucu gölden çıkan ırmaklar meydana geldi. Özel koşullar halinde, yani söz konusu havza, herhangi bir oluşumla çevrildiğinde karstik yollar vasıtasıyla ve zamanla bir yeraltı akıntısı da meydana getirebilir. Önceden kapalı olan havzalarda düzenli bir boşaltma işlemi, genellikle göl yüzeyinin küçülmesini sağlar. Bundan dolayı değinilen tektonik kökenli göller, çoğunlukla şimdiki göllerden çok daha büyük idi ve eski su birikintilerinin (Neojen veya Kuvaterner) artık gölleri halinde ortaya çıkmaktadır. Diğer hallerde göl yüzeyi üzerindeki buharlaşmayla, akarsu kollarının getirdiği su dengeyi sağlarsa, tektonik küvetler kapalı kalır ve bu suretle suyu dışarıya akmayan göller de zamanla tuz göllerine dönüşürler. Gerçekten dışarıya akıntısı olmayan göllerin çoğu tektonik kökenlidir.

10. ULUABAT GÖLÜ GÜNCEL DİP SEDİMANLARININ METAL ZENGİNLEŞMESİ YÖNÜNDEN ARAŞTIRILMASI

Bilindiği gibi su kaynaklarının çok az bir bölümü insanoğlunun doğrudan doğruya kullanımına elverişli olup, bu mevcut kaynakların da gün geçtikçe değişik kirleticilerle kirletilmesi sonucu azaldığı saklanamaz bir gerçektir. Dolayısıyla kıtasal su ortamlarında var olan kirliliğin belirlenmesinde sediman analizlerinin değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır.

Bir çok hidrofobik organik kirleticiler, metal bileşikleri ve besinler (nutrients), partiküler madde formunda su kolonuna girmekte ve çökelme sonrasında sediman tabakasında birikmektedir. Sedimanlarda biriken değişik kökene sahip bu kirleticiler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerle, çökelme sonrası tekrar su kolonuna geçiş yapabilir veya besin zincirinde depolanabilir. Böylece sedimanlar sulu ortamlardaki çevre kirleticileri için hem bir kaynak, hem de bir düden gibi hareket edebilirler (Johnson and Nicholls; 1988 ve Förstner, et.al. 1993). Aslında sedimanların su kütlesine etkileri çok karışık olup, yorumlanması oldukça güçtür. Sediman tabakasındaki ve sediman-su ara fazındaki çeşitli redoksa bağlı olaylar nedeniyle tam olarak açıklanamamaktadır (Pardo et.al. 1990).

Uluabat Gölü çevresinde göl suyunu ve sedimanlarını, dolayısıyla göldeki canlı yaşamını ve ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecek bazı endüstriyel kuruluşlar bulunmaktadır. Göle akan tek akarsu kaynağı olan M. Kemalpaşa Çayı kenarında Etibank Kestelek Bor tuzu İşletmeleri, TKİ Keles Linyit İşletmesi, Etibank Emet Bor tuzu İşletmesi, TEK Termik Santralleri (Orhaneli-Tunçbilek), TKİ Kömür İşletmesi gibi endüstriyel kuruluşlardan M. Kemalpaşa Çayı yoluyla göle önemli miktarda fiziksel ve kimyasal kirletici taşınmaktadır. Bunun dışında gölle direkt bağlantısı olmayıp, atmosferik yolla taşınabilen kirleticiler de söz konusu olabilir. Ayrıca gölün doğusundaki Akçalar köyü' nde kurulmuş olan Kerevitaş Tesisleri ile Gölyazı beldesindeki Turbel Kooperatif tesisleri de gölü etkileyebilen diğer kaynaklardır. Bunun dışında Gölyazı belde halkının büyük bir çoğunluğunun geçimi

balık ve kerevite bağlı olduğundan 250-300 adet balıkçı teknesi gölde faaliyet göstermekte ve bunlardan göle önemli miktarda Pb metali girmektedir.

Bu bölümde Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında bazı metal iyonlarının zenginleşme durumu, literatürde yer alan değişik indekslere göre kantitatif ve kalitatif olarak ortaya konacaktır.

10.1. Sediman Kalite Sınıflamaları

Sedimanlarda ağır metal kirlenme düzeyinin global ölçekte belirlenmesi konusunda ilk çalışmalar Förstner ve Müller (1973) tarafından yapılmıştır ve bu daha sonra "Oransal Kirlilik Potansiyeli İndeksi" adını almıştır. Bu indeksde özellikle Pb, Cd, Zn ve Hg elementlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Benzer bir sınıflama Nikiforova ve Smirnova (1975) tarafından ileri sürülmüştür. Burada bir metalin yıllık üretiminin o metalin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu olarak bilinen Clarke katsayısına oranı olan Technophility Index'in yardımıyla söz konusu elementin teknojenik göçü (technogenic migration) ve kullanım derecesinin hesaplanması söz konusudur. Sonuçta bir metalin TP katsayısı ne kadar yüksek olursa, o elementin teknolojik göçü o oranda yüksek şiddette olacaktır. TP indeksi zamanla değişir, bu yüzden her bir metal kendisinin TP büyüme hızı ile karakterize edilir. Örnek olarak Pb elementi için TP sayısı 20 yy başından bu zamana kadar 2.5 kat artmıştır ve 2000 yılında bu rakamın 4.5 katına çıkması beklenmektedir.

Bir diğer sınıflama Kemp ve diğerleri (1976) tarafından ortaya konan "Sediment Enrichment Factor-SEF" yani Sediman Zenginleşme Faktörü'dür (Kemp et.al. 1976). Bu sınıflamada aşağıdaki basit bağıntı kullanılır :

$$SEF = \frac{(Element/Al)_{örnek}}{(Element/Al)_{standart}} \quad (10.1)$$

Bu sınıflamada standart olarak dünyadaki ortalama şeyl verileri kullanılmaktadır. Değerlendirme ise şu şekildedir :

SEF $\approx$ 1 ise bu metalin yer kabuğu ortalamalarına yakın değerde olduğu
SEF < 1 ise bu metalin yer kabuğu kaynağına geçiş yaptığı
SEF > 1 ise bu metalin sediman tabakasında zenginleştiğini gösterir.

Sulu ortamlara ait sedimanlardaki metal kirlenmesini göstermek için kantitatif bir ölçüm olarak diğer bir indeks, Müller (1979) tarafından "Jeoakümülayon İndeksi" tanımlamasıyla ileri sürülmüştür. Bu indeks ;

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{(1.5 \times B_n)} \quad (10.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (10.2) bağıntısındaki 1.5 katsayısı litolojik etkilerden dolayı temel değerlerde muhtemel değişimleri tolere etmek için yazılmıştır. B_n değeri ise o bölgeye ait incelenen metal için temel değer (background) dir. Sonuçta elde edilen sayıya göre sınıflar belirlenir ve kontaminasyon şiddetinin ne derece olduğu söylenir. Yukarıdaki formülden hesaplanan jeoakümülayon indeks değerlerinin sınıflandırılması Förstner et.al (1993) tarafından en son şekliyle Tablo 10.1 de tanımlanmıştır.

Tablo 10.1. Sedimanlardaki metaller için Müller (1979) tarafından ileri sürülen Jeoakümülayon İndeks (I_{geo}) Sınıflaması

I _{geo}	I _{geo} sınıfı	Kontaminasyon şiddeti
> 5	6	Aşırı derecede kontamine
4-5	5	Aşırı-yüksek derecede kontamine
3-4	4	Yüksek derecede kontamine
2-3	3	Yüksek-orta derecede kontamine
1-2	2	Orta derecede kontamine
0-1	1	Orta-az derecede kontamine
< 0	0	Kontaminasyon yok

Eğer elde o bölgeye ait temel değer yoksa, B_n değeri olarak ortalama şeyl verileri kullanılır. Burada şeyl kayacının göz önüne alınması; şeyli oluşturan bileşenlerin çok değişik kaynaklardan gelmeleri sebebiyledir. Zaten göl sedimanlarının bileşenleri de aynı şekilde çok değişik kaynaklardan sağlanmaktadır. Aşağıda Tablo 10.2 de, değişik ortamlardaki majör, minör ve iz elementlerin konsantrasyon değerleri verilmiştir. Ancak Jeoakümülayon indeks sınıflamasında Turekian ve Wedepohl (1979) tarafından sunulan ortalama şeyl verileri kullanılacaktır.

Tablo 10.2. Yerkabuğu ve sedimanların elementel bileşimi (majör elementler %, minör ve iz elementler ppm)

Element	Yerkabuğu ort. (a)	Sediman ort. (b)	Şeyl ort. (c)	Derin deniz Kili (c)	Sığ su sed. (d)	Nehir AKM (e)	Kumtaşı (f)	Kireçtaşı (g)	Toprak (h)
Si	27.7	24.5	27.3	25	25	28.5	32.7	3.2	33
Al	8.2	7.2	8	8.4	8.4	9.4	4.3	0.7	6.7
Fe	4.1	4.1	4.7	6.5	6.5	4.8	2.9	1.7	3.2
Ca	4.1	6.6	2.2	2.9	2.9	2.2	3.1	34	2
Mg	2.3	1.4	1.5	2.1	2.1	1.2	1.2	0.6	0.8
Na	2.3	0.6	1	4	4	0.7	1	0.1	1.1
K	2.1	2	2.7	2.5	2.5	2	1.5	0.3	1.8
Ti	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.03	0.5
P	1000	670	700	1500	550	1150	440	700	800
Mn	950	770	850	6700	850	1050	460	620	760
Ba	500	460	580	2300	0	600	320	90	568
Sr	370	320	140	110	160	150	320	610	278
Zr	190	150	160	150	240	0	220	20	345
V	160	105	130	120	145	170	20	45	108
Cr	100	72	90	90	60	100	35	11	84
Ni	80	52	68	250	35	90	9	7	34
Zn	75	95	95	165	92	350	30	20	60
Cu	50	33	45	250	56	100	30	5.1	26
Co	20	14	19	74	13	20	0.3	0.1	12
Li	20	56	66	57	77	25	38	7.5	31
Sc	16	10	13	19	12	18	1	1	10
Pb	14	19	20	80	22	150	10	5.7	29
Cs	3	4.2	5	6	0	6	0.5	0.5	3
Be	2.6	2	3	2.6	3	0	<1	1	1.5
U	2.4	3.1	3.7	1.3	0	3	0.5	2.2	2.2
Sn	2.2	4.6	6	1.5	2	0	0.5	0.5	5.8
Mo	1.5	2	2.6	27	1	3	0.2	0.2	1.9
As	1.5	7.7	13	13	5	5	1	1	11.3
W	1	1.7	1.8	1.1	0	0	1.6	0.6	1.1
Sb	0.2	1.2	1.5	1	0	2.5	0.05	0.3	1.7
Cd	0.11	0.17	0.22	0.42	0	1	0.05	0.03	0.6
Ag	0.07	0.06	0.07	0.11	0	0	0.25	0.12	0.4
Hg	0.05	0.19	0.18	0.08	0	0	0.29	0.16	0.1
Se	0.05	0.42	0.06	0.17	0	0	<0.01	<0.03	0.4

^a Bowen (1979)

^e Martin ve Meybeck (1979)

^b Bowen (1979)

^f Bowen (1979)

^c Turekian ve Wedepohl (1979)

^g Marowski ve Wedepohl (1971)

^d Wedepohl (1969)

^h Ure ve Berrow (1982)

Bir diğer değerlendirme yöntemi de bir noktadan itibaren bir metal iyonunun zenginleşme durumunu ortaya çıkarmak için metal / Al değerlerinin incelenmesidir. Bilindiği gibi alüminyum suların kimyasal bileşiminde ancak eser miktarda saptanabildiğinden jeokimyasal anlamda konservatif bir element olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla bir metalin alüminyuma oranı belli bir noktadan itibaren izlendiğinde söz konusu doğrultu boyunca ele alınan metalin sedimanda göreceli

olarak zenginleşmesi görülebilecektir. Bu oranın kullanılması ayrıca tane boyu etkisini de minimum düzeye indirmesi bakımından çok kullanışlıdır (Martin and Meybeck, 1979).

10.1.1. Uluabat Gölü Dip Sedimanlarının Sediman Zenginleşme Faktör (SEF) Sınıflaması

Kemp ve diğerleri (1976) tarafından ileri sürülen “Sediman Zenginleşme Faktörü” sınıflamasına göre Uluabat Gölü dip sedimanlarını incelemek için öncelikle dip sedimanlarının kimyasal karakteristiklerini vermek yararlı olacaktır. Ancak burada geçmişten günümüze değin meydana gelen sedimantasyon sürecinde her bir metalin her bir 5 cm lik sediman tabakasında zenginleşme düzeyini zamana bağlı olarak izleyebilmek için ilgili veriler ayrı ayrı verilecektir. Göl sedimanlarının metal zenginleşmesi değerlendirmeleri yapılırken normal zamanlarda oksit formunda ifade edilen majör elementler bu bölümde sadece element bazında verilmiştir.

Tablo 10.3 de göldeki sediman tabakasının en alttaki 10-15 cm lik kısmına ait majör element analiz sonuçları, Tablo 10.4 de ise aynı kısma ait minör ve iz element analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 10.3. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının majör element analiz sonuçları (%).

10-15 cm	Si	Al	Fe	Ti	Na	K	Mg	Ca	P
4	19.30	8.53	8.51	0.40	0.57	1.82	2.6	1.56	0.027
5	20.88	6.63	9.58	0.31	0.58	1.78	2.4	1.53	0.014
7	20.43	8.46	8.44	0.39	0.73	1.91	2.7	1.64	0.020
9	19.66	7.36	10.79	0.47	0.74	1.98	2.4	1.70	0.032
10	18.61	9.26	8.21	0.38	0.55	1.81	2.6	1.56	0.016
13	22.60	6.54	8.28	0.41	0.55	1.68	2.3	1.45	0.029
15	19.43	8.72	10.30	0.47	0.81	1.98	2.2	1.71	0.015
17	20.98	7.31	10.02	0.51	0.64	1.83	2.3	1.58	0.020
19	19.30	9.06	9.37	0.37	0.50	1.82	2.7	1.56	0.014
21	18.47	8.02	8.53	0.44	0.53	1.83	2.6	1.57	0.010
22	20.39	7.51	8.87	0.39	0.49	1.79	2.6	1.54	0.010
24	18.35	7.70	8.77	0.48	0.54	1.83	2.7	1.57	0.019
26	20.50	8.51	9.14	0.45	0.71	2.11	2.4	1.81	0.006
28	18.96	7.88	10.25	0.46	0.72	2.00	2.7	1.72	0.010
30	27.75	7.12	6.31	0.32	1.68	2.08	1.9	1.79	0.010
32	22.39	6.32	9.81	0.41	1.13	2.06	2.5	1.77	0.023
Ört	20.50	7.81	9.07	0.42	0.72	1.89	2.5	1.63	0.02

Tablo 10.4. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının minör ve iz element analiz sonuçları (ppm).

10-15 cm	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Mn	Co
4	50	40	145	220	60	920	25
5	65	50	158	280	80	1070	25
7	50	50	158	280	70	1030	20
9	75	40	172	260	90	1100	25
10	75	40	172	240	70	1070	20
13	55	30	151	260	90	1080	20
15	60	60	166	260	80	1100	25
17	60	60	158	280	90	1240	20
19	50	70	158	260	80	1060	15
21	55	40	151	220	80	990	15
22	50	50	172	220	90	1170	20
24	50	40	158	260	80	1080	25
26	55	50	158	280	90	1090	20
28	45	50	172	260	100	1060	25
30	30	40	83	180	70	660	25
32	50	40	145	240	80	860	20
Ort	54.69	46.88	154.81	250	81.25	1036.25	21.56

Sediman tabakasının 10-15 cm lik kısmına ait majör elementlere ait hesaplanan sediman zenginleşme faktörleri Tablo 10.5 de verilmiştir.

Tablo 10.5. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının majör elementlere ait sediman zenginleşme faktörleri.

10-15 cm	SEF-Si	SEF-Fe	SEF-Ti	SEF-Na	SEF-K	SEF-Ca	SEF-Mg	SEF-P
4	0.66	1.7	0.74	0.53	0.63	0.67	1.62	0.36
5	0.92	2.46	0.75	0.7	0.79	0.84	1.92	0.23
7	0.71	1.7	0.73	0.69	0.67	0.71	1.69	0.28
9	0.78	2.49	1.01	0.8	0.79	0.84	1.72	0.49
10	0.59	1.51	0.65	0.47	0.58	0.61	1.50	0.20
13	1.01	2.15	0.99	0.67	0.76	0.81	1.85	0.51
15	0.65	2.01	0.85	0.74	0.67	0.71	1.33	0.20
17	0.84	2.33	1.11	0.71	0.74	0.79	1.67	0.31
19	0.62	1.76	0.65	0.44	0.59	0.63	1.56	0.18
21	0.67	1.81	0.88	0.52	0.67	0.71	1.73	0.14
22	0.8	2.01	0.82	0.52	0.71	0.75	1.80	0.16
24	0.7	1.94	0.99	0.56	0.70	0.74	1.85	0.28
26	0.71	1.83	0.84	0.67	0.73	0.78	1.51	0.08
28	0.71	2.21	0.93	0.73	0.75	0.79	1.80	0.15
30	1.14	1.51	0.72	1.89	0.87	0.92	1.48	0.16
32	1.04	2.64	1.04	1.43	0.96	1.02	2.07	0.41
Ort	0.78	2.00	0.86	0.75	0.73	0.77	1.69	0.26

Tablo 10.5 de, 1 den büyük değerler göz önüne alındığında Fe ve Mg elementlerinin $Fe > Mg$ sırasıyla sediman tabakasının 10-15 cm lik kısmında zenginleştiği görülmektedir.

Minör ve iz elementlerin zenginleşme faktörleri incelendiğinde (Tablo 10.6), Cr dışında kalan Cu, Pb, Zn, Ni, Mn ve Co elementlerine ait faktör büyüklüklerinin 1 den büyük değerler aldığı görülür. Dolayısıyla bu metal iyonları açısından bir zenginleşmenin olduğu söylenebilir. Burada zenginleşme faktör büyüklüklerinin $Ni > Pb > Zn > Cu = Mn > Co$ şeklinde olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 10.6. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 10-15 cm arası sediman tabakasının minör ve iz elementlere ait sediman zenginleşme faktörleri.

10-15 cm	SEF-Cu	SEF-Pb	SEF-Zn	SEF-Ni	SEF-Cr	SEF-Mn	SEF-Co
4	1.04	1.88	1.43	3.03	0.63	1.01	1.23
5	1.74	3.02	2.01	4.97	1.07	1.52	1.59
7	1.05	2.36	1.57	3.89	0.74	1.15	0.99
9	1.81	2.17	1.97	4.16	1.09	1.41	1.43
10	1.44	1.73	1.56	3.05	0.67	1.09	0.91
13	1.49	1.83	1.94	4.67	1.22	1.55	1.29
15	1.22	2.75	1.6	3.51	0.82	1.19	1.21
17	1.46	3.29	1.82	4.51	1.1	1.6	1.15
19	0.98	3.09	1.47	3.38	0.78	1.1	0.7
21	1.22	1.99	1.58	3.23	0.89	1.16	0.79
22	1.18	2.66	1.93	3.45	1.06	1.47	1.12
24	1.15	2.08	1.73	3.97	0.92	1.32	1.37
26	1.15	2.35	1.56	3.87	0.94	1.21	0.99
28	1.01	2.54	1.84	3.88	1.13	1.27	1.34
30	0.75	2.25	0.98	2.97	0.87	0.87	1.48
32	1.41	2.53	1.93	4.47	1.12	1.28	1.33
Ort	1.26	2.41	1.68	3.81	0.94	1.26	1.18

Sediman tabakasının 5-10 cm lik kısmına ait majör element analiz sonuçları Tablo 10.7 de, minör ve iz element analiz sonuçları da Tablo 10.8 de sunulmuştur.

Tablo 10.7.Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının majör element analiz sonuçları (%).

5-10 cm	Si	Al	Fe	Ti	Na	K	Mg	Ca	P
4	19.18	10.37	6.51	0.54	0.87	2.12	3.23	0.40	0.091
5	25.05	7.68	4.59	0.52	0.74	1.81	2.66	0.38	0.090
7	20.68	7.55	5.05	0.54	0.74	2.10	3.21	0.46	0.092
9	21.65	10.13	5.53	0.62	0.84	2.19	3.04	0.19	0.152
10	19.68	8.92	6.09	0.59	0.80	2.27	3.61	0.63	0.087
13	25.80	7.49	4.38	0.51	0.77	1.73	2.41	0.21	0.086
15	22.89	9.14	6.14	0.52	1.05	2.17	2.94	0.21	0.115
17	25.24	7.13	4.03	0.53	0.79	1.78	2.56	0.34	0.086
19	23.35	7.90	5.26	0.52	0.63	1.84	2.84	0.44	0.084
21	20.01	9.87	5.47	0.55	0.83	2.03	3.17	0.72	0.076
22	24.28	6.80	5.56	0.56	0.73	2.14	3.43	0.39	0.046
24	19.53	9.93	5.32	0.61	0.61	2.10	3.20	0.61	0.092
26	20.73	10.15	6.00	0.67	1.26	2.14	3.15	0.24	0.113
28	22.44	7.97	4.89	0.56	0.65	2.21	3.35	0.32	0.072
30	21.86	6.93	6.23	0.62	1.18	2.24	3.86	0.30	0.099
32	27.40	5.17	3.97	0.54	1.68	2.10	3.02	0.37	0.105
Ort.	22.49	8.32	5.31	0.56	0.89	2.06	3.11	0.39	0.09

Tablo 10.8. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının minör ve iz element analiz sonuçları

5-10 cm	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Mn	Co
4	70	40	147	230	90	830	15
5	40	80	160	270	110	1050	25
7	130	40	167	280	90	1020	20
9	80	40	170	290	110	980	20
10	90	40	140	250	100	940	20
13	70	50	143	250	90	860	20
15	70	60	137	245	80	930	25
17	80	60	147	265	100	1170	20
19	70	50	147	230	90	990	30
21	80	60	150	260	90	1010	20
22	80	60	113	190	65	850	20
24	75	60	140	230	80	930	20
26	80	70	147	260	80	970	15
28	80	40	157	230	100	890	20
30	50	60	147	260	100	970	20
32	50	30	87	160	50	580	40
Ort.	74.69	52.50	143.69	243.75	89.06	935.63	21.88

5-10 cm lik kısmın majör elementlere ait hesaplanan sediman zenginleşme faktörleri Tablo 10.9 da verilmiştir

Tablo 10.9. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının majör elementlere ait sediman zenginleşme faktörleri.

5-10 cm	SEF-Si	SEF-Fe	SEF-Ti	SEF-Na	SEF-K	SEF-Ca	SEF-Mg	SEF-P
4	0.54	1.07	0.83	0.67	0.6	0.14	1.66	1
5	0.96	1.02	1.08	0.77	0.7	0.18	1.85	1.34
7	0.8	1.14	1.14	0.78	0.82	0.22	2.27	1.4
9	0.63	0.93	0.97	0.67	0.64	0.07	1.6	1.72
10	0.65	1.16	1.05	0.72	0.76	0.26	2.16	1.11
13	1.01	1	1.08	0.82	0.69	0.1	1.71	1.32
15	0.73	1.14	0.9	0.92	0.71	0.08	1.72	1.43
17	1.04	0.96	1.19	0.89	0.74	0.17	1.92	1.38
19	0.87	1.13	1.04	0.64	0.69	0.2	1.92	1.22
21	0.59	0.94	0.88	0.67	0.61	0.27	1.72	0.88
22	1.05	1.39	1.32	0.86	0.93	0.21	2.69	0.77
24	0.58	0.91	0.97	0.49	0.63	0.22	1.72	1.06
26	0.6	1.01	1.04	0.99	0.63	0.09	1.65	1.27
28	0.83	1.04	1.11	0.65	0.82	0.15	2.24	1.03
30	0.92	1.53	1.42	1.37	0.96	0.16	2.97	1.64
32	1.55	1.31	1.66	2.6	1.2	0.26	3.12	2.31
Ort	0.83	1.11	1.11	0.91	0.76	0.17	2.06	1.31

Tablo 10.9 daki majör elementlere ait SEF değerleri göz önüne alındığında 15 cm lik sediman tabakasının 5-10 cm lik kısmında Mg, P, Fe ve Ti elementlerinin sediman tabakasında zenginleşme gösterdiği, SEF değerlerinin büyüklük sırasının ise $Mg > P > Fe=Ti$ şeklinde olduğu görülmektedir.

Minör ve iz elementlerde yine Pb, Cu, Ni, Mn ve Co metal iyonlarının SEF değerlerinin 1 den büyük değerler aldığı ve dolayısıyla bu metallerin 5-10 cm lik sediman tabakasında $Ni > Pb > Cu > Zn > Co > Mn$ sıralamasıyla zenginleşme gösterdiği görülmektedir (Tablo 10.10).

Tablo 10.10. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 5-10 cm arası sediman tabakasının minör ve iz elementlere ait sediman zenginleşme faktörleri.

5-10 cm	SEF-Cu	SEF-Pb	SEF-Zn	SEF-Ni	SEF-Cr	SEF-Mn	SEF-Co
4	1.2	1.54	1.19	2.61	0.77	0.75	0.61
5	0.93	4.17	1.75	4.14	1.27	1.29	1.37
7	3.06	2.12	1.86	4.36	1.06	1.27	1.12
9	1.4	1.58	1.41	3.37	0.97	0.91	0.83
10	1.79	1.79	1.32	3.3	1	0.99	0.94
13	1.66	2.67	1.61	3.93	1.07	1.08	1.12
15	1.36	2.63	1.26	3.15	0.78	0.96	1.15
17	2	3.37	1.74	4.38	1.25	1.55	1.18
19	1.57	2.53	1.57	3.42	1.01	1.18	1.6
21	1.44	2.43	1.28	3.1	0.81	0.96	0.85
22	2.09	3.53	1.4	3.29	0.85	1.18	1.24
24	1.34	2.42	1.19	2.73	0.72	0.88	0.85
26	1.4	2.76	1.22	3.01	0.7	0.9	0.62
28	1.79	2.01	1.66	3.4	1.12	1.05	1.06
30	1.28	3.46	1.79	4.41	1.28	1.32	1.22
32	1.72	2.32	1.42	3.64	0.86	1.06	3.26
Ort	1.63	2.58	1.48	3.52	0.97	1.08	1.19

Göl tabanındaki güncel sedimanların yüzey 0-5 cm lik kısmına ait majör element analiz sonuçları Tablo 10.11 de, minör ve iz element analiz sonuçları da Tablo 10.12 de verilmiştir. Majör elementlere ait hesaplanan SEF değerleri ise Tablo 10.13 de sunulmaktadır.

Değerlere bakıldığında Si, Fe, Ti, Na, K ve Mg elementlerinin sediman tabakasında zenginleştiği ve bu zenginleşmenin $Mg > Fe > Na > Ti > Si > K$ şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 10.11. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının majör element analiz sonuçları (%).

0-5 cm	Si	Al	Fe	Ti	Na	K	Mg	Ca	P
4	23.24	5.53	4,15	0.52	0.99	2.24	4.60	0.88	0.043
5	24.62	5.08	5,26	0.50	0.97	2.18	4.49	0.48	0.034
7	23.27	6.89	5,53	0.40	0.47	2.13	4.85	0.59	0.030
9	23.88	6.16	6,54	0.49	0.84	2.02	4.28	0.30	0.011
10	25.08	5.63	5,65	0.53	0.73	1.98	4.09	0.47	0.014
13	23.39	5.86	5,98	0.51	0.74	2.11	4.70	0.49	0.053
15	22.34	6.04	5,72	0.41	1.04	2.21	4.78	1.01	0.031
17	23.57	5.82	5,61	0.46	0.79	1.85	4.16	1.24	0.051
19	24.45	5.28	5,70	0.43	0.91	2.17	5.48	0.46	0.023
21	22.70	6.01	6,74	0.46	0.98	2.21	4.28	0.46	0.104
22	26.31	5.30	4,86	0.44	0.59	2.00	4.00	0.46	0.016
24	23.59	6.04	6,98	0.53	0.93	2.56	4.19	0.41	0.017
26	25.17	5.08	5,33	0.47	1.60	2.51	4.33	0.54	0.043
28	25.77	5.73	6,30	0.40	0.63	1.89	3.79	0.26	0.021
30	29.73	4.84	4,09	0.34	1.07	1.94	3.68	0.36	0.026
32	23.88	5.66	6,98	0.50	1.49	2.16	4.07	0.30	0.048
Ort	24.44	5.68	5.71	0.46	0.92	2.13	4.36	0.54	0.04

Tablo 10.12. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının minör ve iz element analiz sonuçları

5-10 cm	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Mn	Co
4	60	10	110	260	30	1190	10
5	33	40	130	290	60	960	10
7	60	40	135	270	60	900	20
9	70	40	145	300	80	870	20
10	80	10	125	290	60	880	20
13	80	80	125	300	70	940	20
15	90	21	430	280	60	910	20
17	70	40	120	290	40	1080	15
19	80	21	135	270	70	920	20
21	60	21	140	260	70	890	30
22	50	40	100	300	50	1020	15
24	80	21	145	280	70	880	20
26	50	20	95	280	50	1090	20
28	70	52	155	290	80	920	20
30	40	10	100	250	60	800	20
32	100	55	115	250	70	940	20
Ort	67.06	32.56	144.06	278.75	61.25	949.38	18.75

Tablo 10.14 de ise 0-5 cm lik kısımda minör ve iz elementler açısından zenginleşme faktörleri sunulmaktadır. Buradaki değerlerden Cu, Pb, Zn, Ni, Mn ve Co elementlerinin yüzeydeki 5 cm lik sediman tabakasında zenginleştiği ve sıralamanın $Ni > Pb > Zn > Cu > Mn > Co$ şeklinde olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 10.13. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının majör elementlere ait sediman zenginleşme faktörleri.

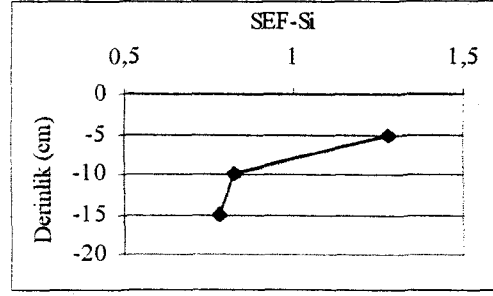
0-5 cm	SEF-Si	SEF-Fe	SEF-Ti	SEF-Na	SEF-K	SEF-Ca	SEF-Mg	SEF-P
4	1.23	1.28	1.49	1.43	1.2	0.58	4.44	0.89
5	1.42	1.76	1.58	1.53	1.27	0.34	4.72	0.77
7	0.99	1.37	0.91	0.55	0.92	0.31	3.75	0.5
9	1.14	1.81	1.27	1.09	0.97	0.18	3.71	0.21
10	1.31	1.7	1.5	1.04	1.04	0.3	3.87	0.29
13	1.17	1.74	1.38	1.01	1.07	0.31	4.28	1.03
15	1.09	1.61	1.09	1.38	1.08	0.61	4.23	0.59
17	1.19	1.64	1.26	1.09	0.94	0.77	3.81	1
19	1.36	1.84	1.3	1.38	1.21	0.31	5.53	0.49
21	1.11	1.91	1.22	1.3	1.09	0.28	3.8	1.97
22	1.46	1.56	1.33	0.89	1.12	0.31	4.02	0.35
24	1.15	1.97	1.39	1.24	1.25	0.25	3.7	0.33
26	1.45	1.78	1.48	2.52	1.46	0.38	4.55	0.96
28	1.32	1.87	1.1	0.88	0.98	0.16	3.52	0.42
30	1.8	1.44	1.12	1.78	1.19	0.27	4.06	0.61
32	1.24	2.1	1.4	2.11	1.13	0.19	3.84	0.97
Ort	1.28	1.71	1.30	1.33	1.12	0.35	4.11	0.71

Tablo 10.14. Uluabat Gölü dip sedimanlarının 0-5 cm arası sediman tabakasının minör ve iz elementlere ait sediman zenginleşme faktörleri

0-5 cm	SEF-Cu	SEF-Pb	SEF-Zn	SEF-Ni	SEF-Cr	SEF-Mn	SEF-Co
4	1.93	0.72	1.67	5.53	0.48	2.02	0.76
5	1.16	3.15	2.16	6.72	1.05	1.78	0.83
7	1.55	2.32	1.65	4.61	0.77	1.23	1.22
9	2.02	2.6	1.98	5.73	1.15	1.33	1.37
10	2.52	0.71	1.87	6.06	0.95	1.47	1.49
13	2.43	5.46	1.8	6.03	1.06	1.51	1.44
15	2.65	1.39	6	5.46	0.88	1.42	1.4
17	2.14	2.75	1.74	5.86	0.61	1.75	1.09
19	2.69	1.59	2.15	6.01	1.18	1.64	1.59
21	1.77	1.4	1.96	5.09	1.04	1.39	2.1
22	1.68	3.02	1.59	6.67	0.84	1.81	1.19
24	2.36	1.39	2.02	5.46	1.03	1.37	1.4
26	1.75	1.58	1.58	6.49	0.88	2.02	1.66
28	2.17	3.63	2.28	5.95	1.24	1.51	1.47
30	1.47	0.83	1.74	6.08	1.1	1.56	1.74
32	3.14	3.89	1.71	5.2	1.1	1.56	1.49
Ort	2.09	2.28	2.12	5.81	0.96	1.59	1.39

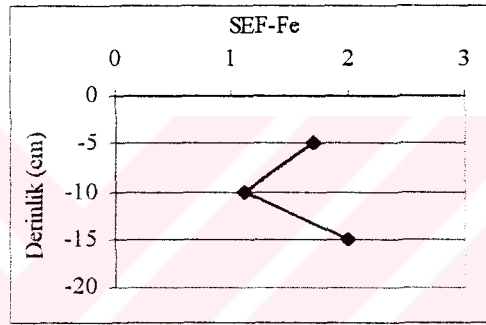
Majör elementlerin sediman tabakasında geçmişten günümüze zenginleşme durumunu toplu bir şekilde değerlendirdiğimizde ;

- 5-10 cm ve 10-15 cm lik kısımlarda zenginleşme göstermeyen silis, sadece yüzeydeki 0-5 cm lik kısımda zenginleşme göstermektedir. 15 cm lik sediman tabakasının en alttaki 10-15 cm lik kısmında 0.78 olan zenginleşme faktörü, 5-10 cm lik kısımda 0.83, en üstteki 0-5 cm lik yüzey sedimanında ise 1.23 düzeyine yükselmiştir (Şekil 10.1). Silis'in tüm göl genelinde ortalama sediman zenginleşme faktörü 0.96 dır.



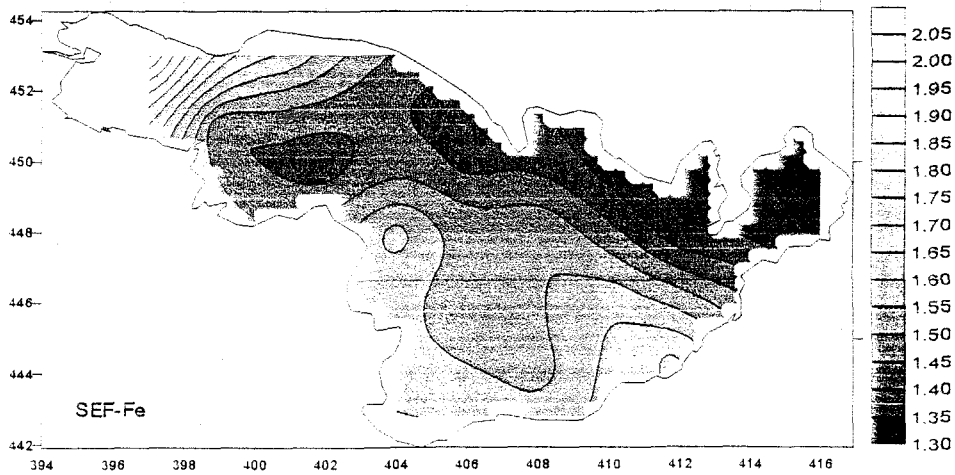
Şekil 10.1. Silisyum'un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

- Fe'e ait sediman zenginleşme faktörü tüm göl için ortalama 1.61 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, demir'in göl sedimanlarında zenginleşme gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak demir'de silis'de olduğu gibi tedrici bir artış söz konusu değildir (Şekil 10.2).



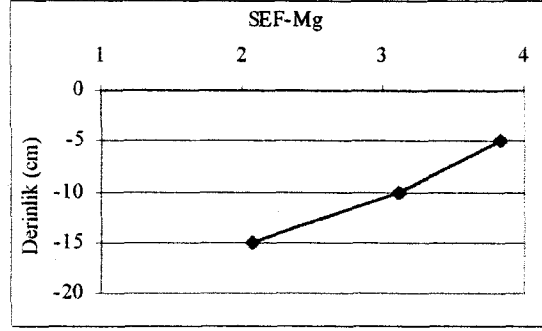
Şekil 10.2. Demir'in sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

Fe'e ait ortalama SEF değerlerinin yanal dağılımını görebilmek amacıyla Kriging yöntemiyle oluşturulan haritada, ortalama Fe zenginleşmesinin gölün kuzeybatı ve güneydoğu kesiminde en büyük değerler aldığı görülmektedir (Şekil 10.3).



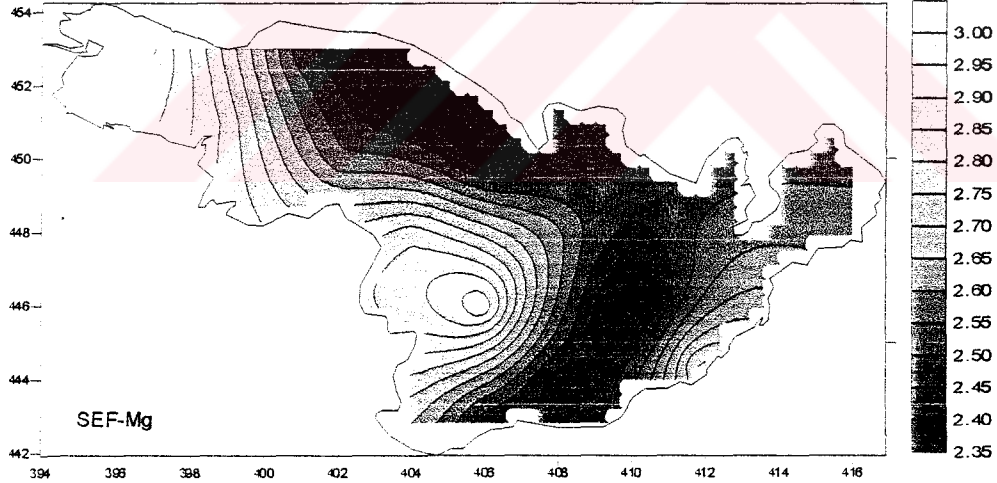
Şekil 10.3. Demir'e ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi

- Magnezyum göl sedimanlarında geçmişten günümüze gittikçe artan bir zenginleşme göstermiş olup, ortalama zenginleşme faktörü 2.62 dir (Şekil 10.4). 15 cm lik sediman tabakasında en alttaki kısımda 2.07 olan SEF-Mg değeri, orta kısımda (5-10 cm) 3.11, en üst (0-5 cm) kısımda ise 3.83 düzeyine erişmektedir.



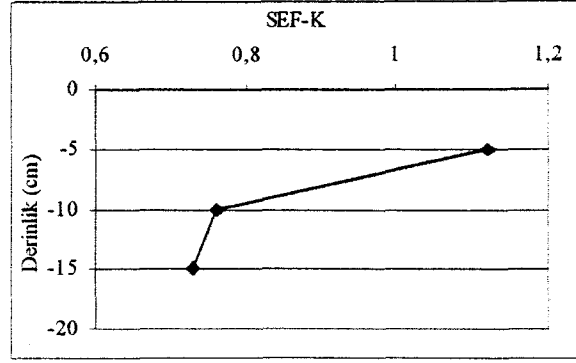
Şekil 10.4. Magnezyum'un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

Şekil 10.5, Magnezyum' a ait SEF değerlerinin göldeki yanal dağılımını göstermektedir. Görüldüğü gibi magnezyum zenginleşmesi gölün kuzey kesiminden batı, güney ve güneydoğu kesimlerine doğru artış göstermektedir.



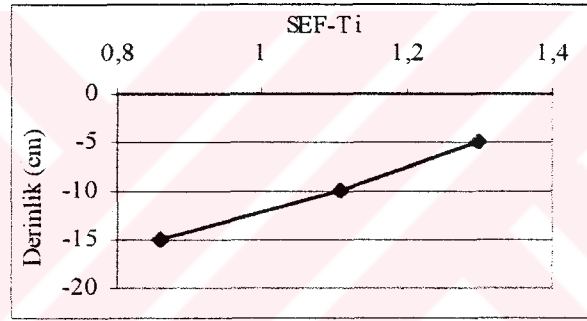
Şekil 10.5. Magnezyum'a ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi

- Genel olarak potasyum için zenginleşme yok denebilir, yani yer kabuğu ortalamalarına yakın bir değerdedir (Şekil 10.6). Tüm göl için ortalama potasyum zenginleşme faktörü 0.87 dir. 10-15 cm lik kısımdaki SEF değeri 1.12 iken, 5-10 cm lik kısımda bu değer 0.76, en üst 0-5 cm lik kısımda ise 0.73 düzeyine inmiştir.



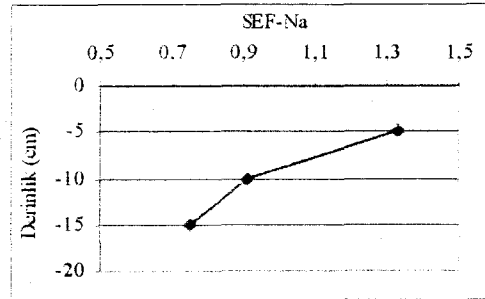
Şekil 10.6. Potasyum' un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

- Uluabat Gölü sedimanlarında Ti elementi de çok düşük bir zenginleşme oranına sahiptir. Ti elementinin tüm göl sediman örnekleri için zenginleşme faktörü ortalama olarak 1.09 bulunmuştur. Şekil 10.7 de Ti için SEF değeri tedrici bir artışın olduğu görülmektedir ve bu artış Mg daki gibi düzenlidir.



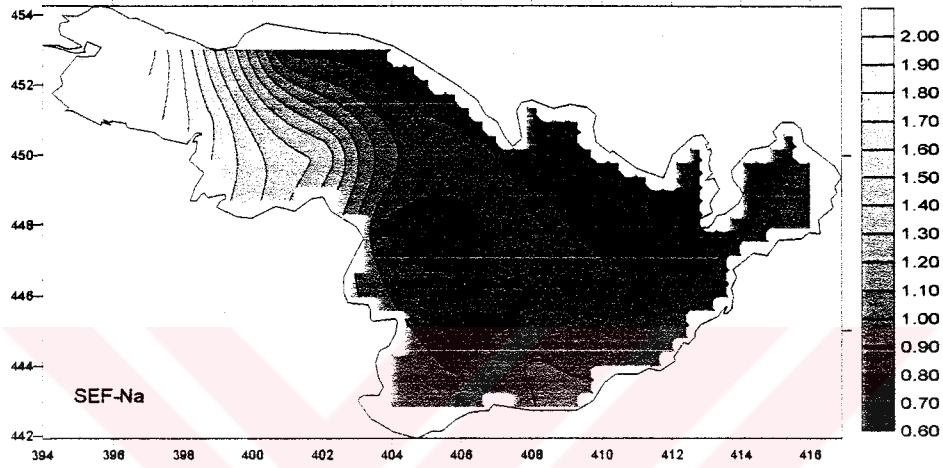
Şekil 10.7. Titanyum'un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

- Uluabat Gölü dip sedimanlarında Na için gölün batısındaki 30 ve 32 numaralı örneklerin haricinde bir zenginleşme söz konusu değildir. Ortalama SEF değeri 1 olan Na, yüzeydeki 5 cm lik kısımda nispeten az bir zenginleşme (SEF=1.33) göstermiştir (Şekil 10.8).



Şekil 10.8. Sodyum'un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

Surfer programı kullanarak Kriging yöntemiyle oluşturulan haritada gölün sadece batı kesiminde dip sedimanlarında Na zenginleşmesi olduğu ortaya konmuştur. Şekilde ayrıca SEF değerlerinin batıya doğru artış gösterdiği de görülmektedir (Şekil 10.9). Batı kesimindeki dip sedimanlarında Na zenginleşmesinde, zaman zaman kış aylarında Uluabat Çayı'nın ters akarak göle tuzlu su getirmesi ve daha sonra fizikokimyasal koşulların değişmesi nedeniyle göl tabanına Na tuzu çökeliminin etkili olduğu düşünülmektedir.



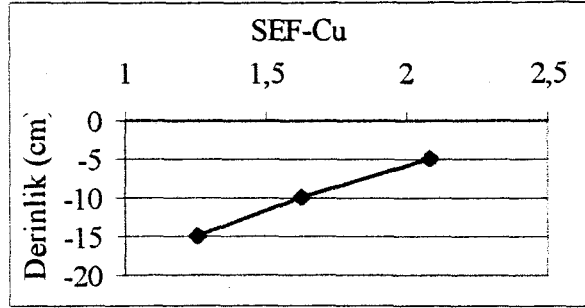
Şekil 10.9. Sodyum'a ait SEF değerlerinin gölde yanal dağılımı

- Sediman tabakasının hiçbir diliminde kalsiyum için zenginleşme söz konusu değildir. Fosfor ise sadece 5-10 cm lik kısımda 1.31 gibi nispeten az bir zenginleşme göstermiştir.

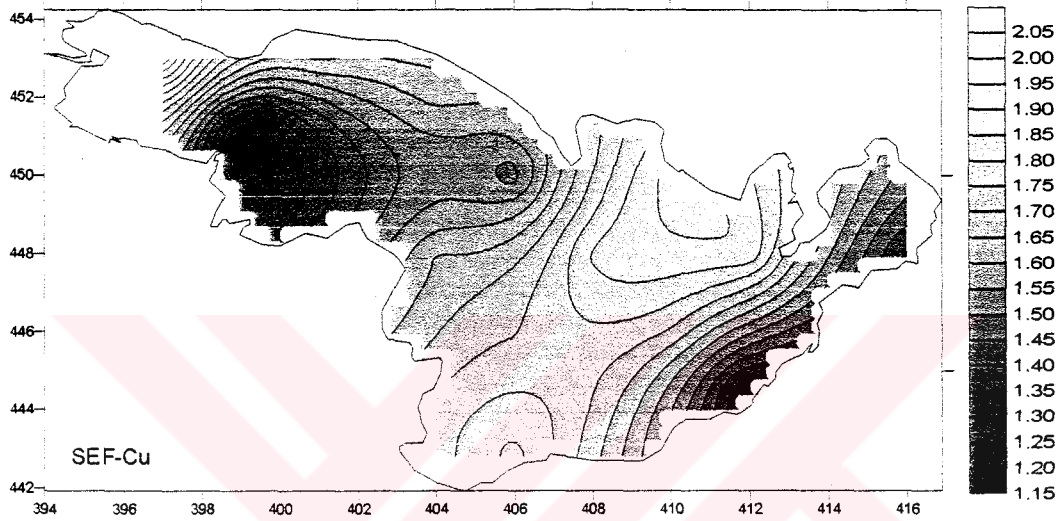
Minör ve iz elementlerin sediman tabakasında geçmişten günümüze zenginleşmesi incelendiğinde, Cr dışında genelde bu elementlerin tümünde zenginleşme olduğu görülmektedir.

- Göl genelinde Cu geçmişten günümüze kadar sediman tabakasında artan bir şekilde zenginleşmiştir. 15 cm lik sediman tabakasında en alttaki 10-15 cm lik kısımda 1.26 olan zenginleşme faktörü, 5-10 cm lik kısımda 1.63, en üstteki 0-5 cm lik yüzey sedimanında ise 2.09 düzeyine yükselmiştir (Şekil 10.10). Bakır'ın tüm göl genelinde ortalama sediman zenginleşme faktörü 1.66 dır.

Bakır'ın SEF değerlerinin göldeki yanal dağılımı Şekil 10.11 de verilmiştir. Bakır'ın genelde gölün batısından doğusuna doğru zenginleşmesinin arttığı şekilden açıkça görülmektedir.

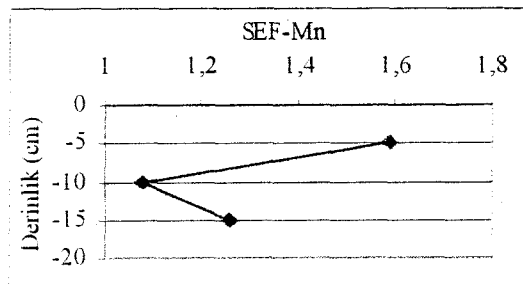


Şekil 10.10. Bakır'ın sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi



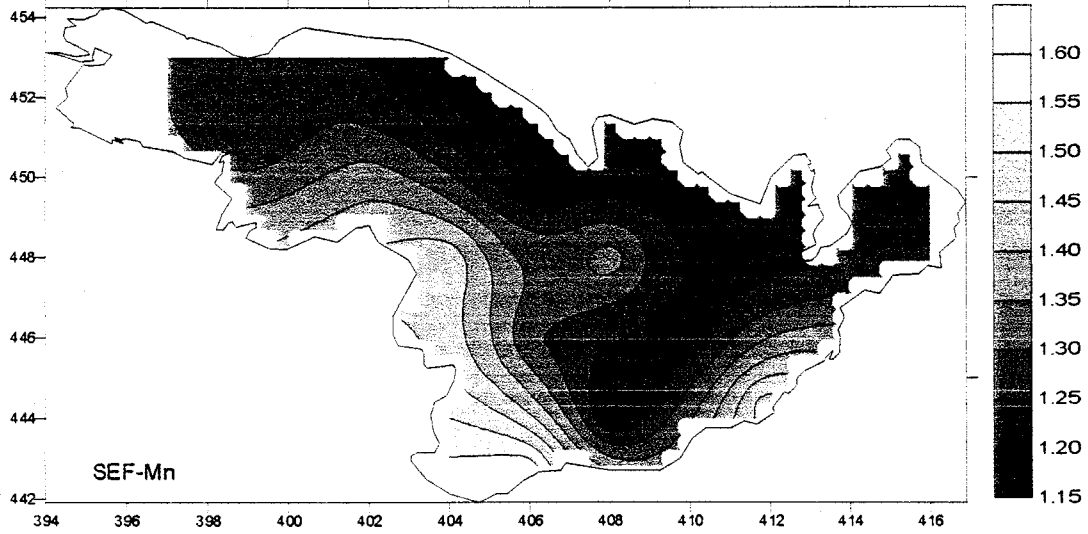
Şekil 10.11. Bakır'a ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi

- Uluabat Gölü dip sedimanlarında mangan'ın zenginleşme faktörü ortalama 1.31 olarak hesaplanmıştır. 15 cm lik sediman tabakasının en altından üste doğru SEF değerlerine bakıldığında, 5-10 cm lik kısımdaki azalma dışında SEF değerlerinin günümüze doğru artmış olduğu görülmektedir (Şekil 10.12).



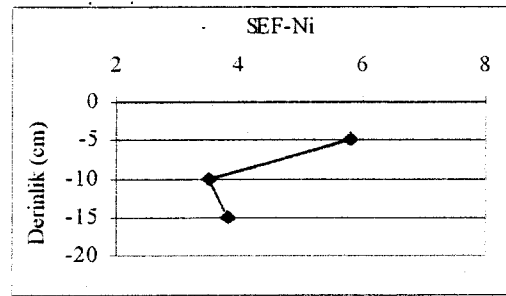
Şekil 10.12. Mangan'ın sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

SEF-Mn değerlerinin yanal dağılımı Şekil 10.13 de görülmektedir. Ni ve Pb da olduğu gibi, Mn zenginleşme faktör değerleri kuzeyden güneye doğru artış göstermektedir.



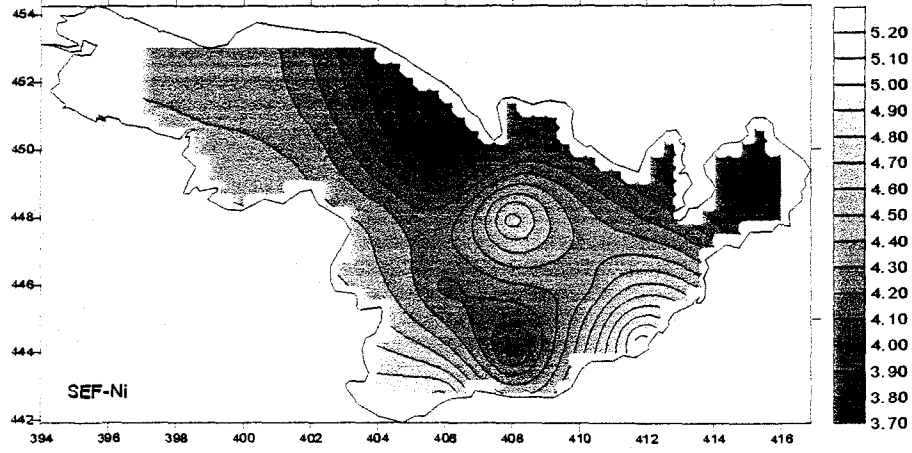
Şekil 10.13. Mangan'a ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi

- Uluabat Gölü dip sedimanlarında en fazla zenginleşme görülen metal olan nikel, ortalama 4.38 düzeyinde bir zenginleşme faktörüne sahiptir. Altan üste doğru SEF değerlerinin değişimi Mn daki gibi bir trend gösterir. Yüzeydeki 0-5 cm lik kısmın Ni zenginleşme faktörü 5.81'e kadar yükselmektedir (Şekil 10.14).



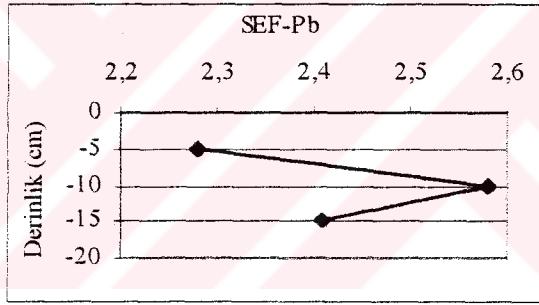
Şekil 10.14. Nikel'in sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

Nikel'e ait sediman zenginleşme faktörü değerlerinin yanal dağılımı Şekil 10.15 de gösterilmektedir. Şekilde değerlerin gölün kuzeyindeki Karaağaç burnu'ndan güney, güneybatı ve güneydoğu kesimine doğru artış gösterdiği görülmektedir.



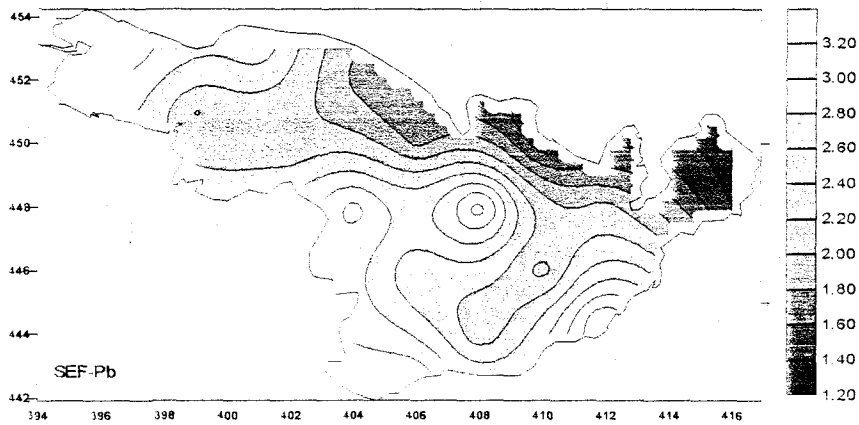
Şekil 10.15. Nikel' e ait SEF değerlerinin gölde yanal dağılımı

- Kurşun için tüm göl genelinde bir zenginleşmeden söz edilebilir. Göl genelinde Pb için SEF ortalaması 2.42 olarak hesaplanmıştır. Şekil 10.16 da, geçmişten günümüze sediman tabakasında Pb metalinin SEF değerlerinin nispeten azaldığı, yalnız 5-10 cm lik kısımda bir artış olduğu görülmektedir.



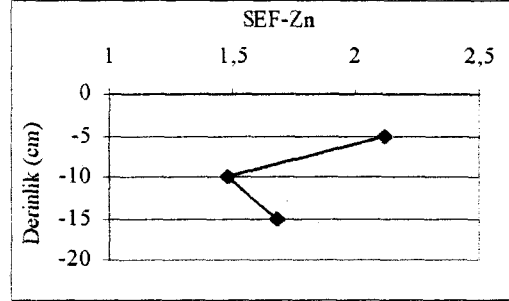
Şekil 10.16 . Kurşun'un sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

Kurşuna ait SEF değerlerinin gölde yanal dağılımına bakıldığında kuzeyden güneye doğru belirgin bir artış olduğu göze çarpmaktadır (Şekil 10.17).



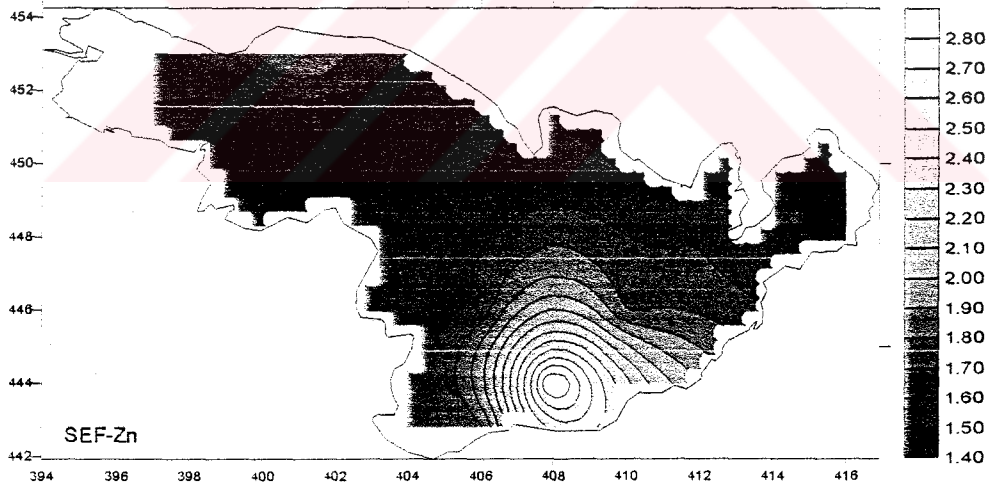
Şekil 10.17. Kurşun'a ait SEF değerlerinin gölde yanal dağılımı

- Çinko için zenginleşme faktörü göl geneli için ortalama 1.76 olup, SEF değerlerinin derinliğe göre değişimi Ni ve Mn da olduğu gibidir. 10-15 cm lik kısımdan 5-10 cm lik kısma gelindiğinde biraz azalan SEF değeri (1.48), yüzeydeki 5 cm lik kısımda tekrar artarak maksimuma (2.12) ulaşmıştır (Şekil 10.18).



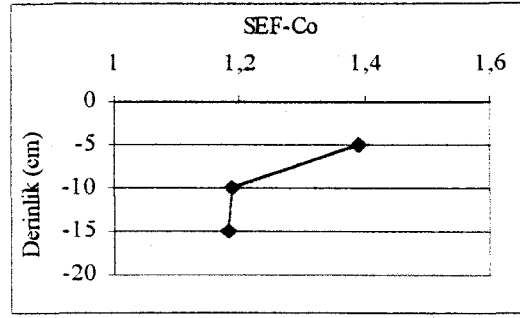
Şekil 10.18. Çinko'nun sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi.

Çinko'ya ait SEF değerlerinin göldeki yanal değişimi Şekil 10.19 da gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, SEF-Zn değerleri gölün güney doğu kesiminde maksimuma ulaşmaktadır.



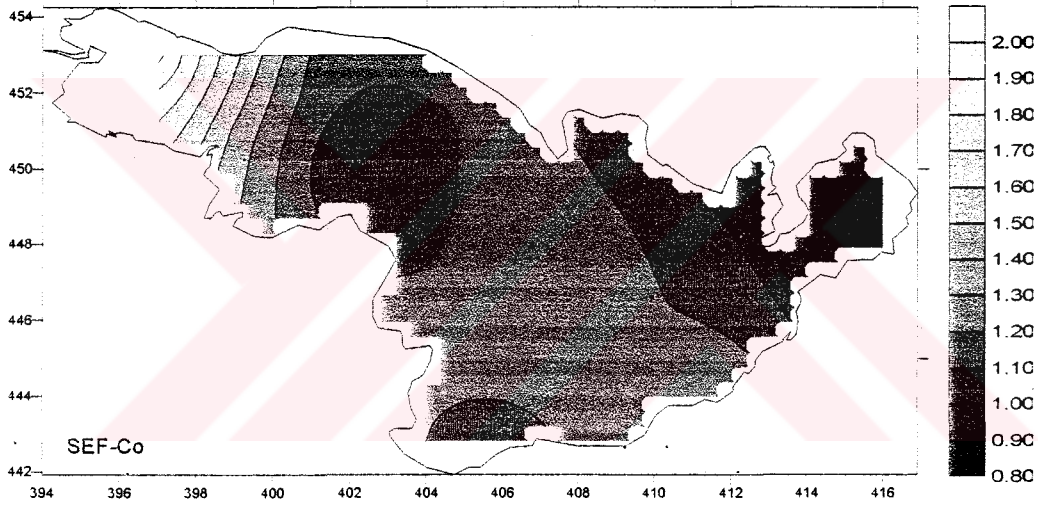
Şekil 10.19. Çinko'ya ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi

- Uluabat Gölü dip sedimanlarında az da olsa Co zenginleşmesinden bahsetmek mümkündür. Co elementi için tüm göl ortalama SEF değeri 1.25 olup, alttan üste doğru Co zenginleşmesinde bir artış söz konusudur. 10-15 cm lik kısımda 1.18 olan SEF değeri, yüzeydeki 0-5 cm lik kısımda 1.39 değerine ulaşmaktadır (Şekil 10.20).



Şekil 10.20. Kobalt'ın sediman tabakasında zamana bağlı olarak zenginleşmesi

Şekil 10.21, kobalt'a ait sediman zenginleşme faktörlerini değerlerinin yanal dağılımını göstermektedir. Görüldüğü gibi kobalt elementine ait SEF değerleri gölün doğusundan batısına doğru az da olsa artış göstermektedir.



Şekil 10.21. Kobalt'a ait SEF değerlerinin gölde yanal değişimi

10.1.2. Uluabat Gölü Dip Sedimanlarının Jeoakümülyasyon İndeks Sınıflaması

Göl sedimanlarında metal kirlenme düzeyini kantitatif olarak belirtmek için ileri sürülen bir diğer sınıflama da Müller (1979) tarafından formüle edilen "Jeoakümülyasyon İndeks" sınıflamasıdır. Bu sınıflama daha çok ağır metaller için oluşturulan bir sınıflama olduğundan bu bölümde sadece ağır metaller incelenecektir.

Zamana bağlı olarak hangi metalin sedimanda ne kadar biriktiğini görebilmek amacıyla, gölden karot halinde alınan sediman örneklerinin her bir 5 cm lik kısmına

ait Jeoakümülayon değlerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde gösterilmiştir.

Turekian and Wedepohl (1979) tarafından derlenen tabloda bazı ağır metal iyonlarının ortalama şeyl kayacı bileşimindeki konsantrasyon değlerleri aşağıda Tablo 10.15 de verilmiştir.

Tablo 10.15. Bazı ağır metal iyonlarının ortalama şeyl bileşimindeki değlerleri

(%)	ppm										
Fe	Mn	Ba	V	Cr	Ni	Zn	Cu	Co	Pb	As	Cd
4.7	850	580	130	90	68	95	45	19	20	13	0.22

Yapılan kimyasal analizlerde elde edilen değler Müller (1979) tarafından ortaya konan formülde yerine konarak, bazı ağır metaller için Jeoakümülayon İndeks değlerleri hesaplanmış, sonuçlar Tablo 10.16 da verilmiştir.

Tablo 10.16 . Uluabat Gölü dip sedimanlarında bazı ağır metaller için I-geo değlerleri

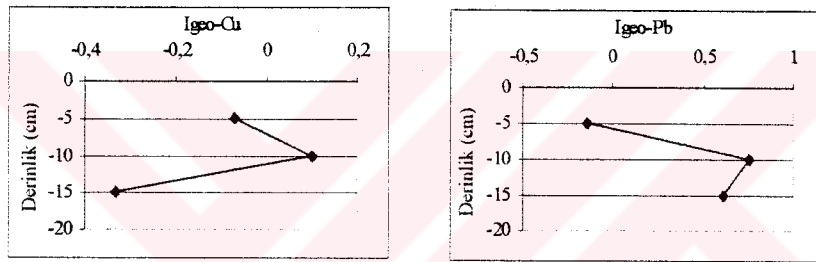
Derinlik	Igeo-Cu	Igeo-Pb	Igeo-Ni	Igeo-Fe	Igeo-As	Igeo-Cr	Igeo-Mn	Igeo-Zn	Igeo-V	Igeo-Cd
0-5 cm	-0,07	-0,14	1,45	-0,32	1,08	-1,18	-0,43	-0,09	-1,87	0,26
5-10 cm	0,1	0,76	1,24	-0,42	1,52	-0,62	-0,46	-0,004	-1,45	0,38
10-15 cm	-0,33	0,61	1,28	0,35	1,51	-0,74	-0,31	0,1	-1,56	0,3

Tablo 10.17 de ise bu metal iyonlarının karot derinliğine göre kontaminasyon derecelerinin değışimi verilmiştir.

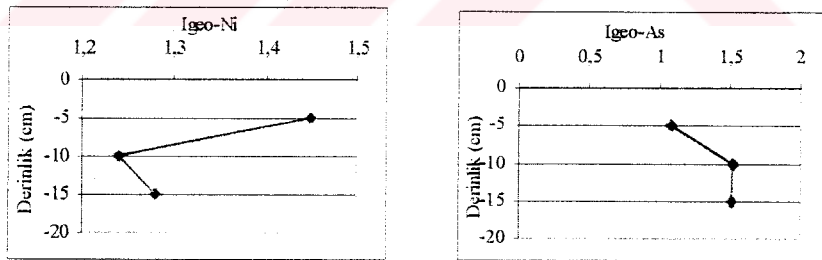
Tablo 10.17. Uluabat Gölü dip sedimanlarında yüzeyden derine doğru ağır metal kontaminasyon derecelerinin değışimi

Igeo-Pb	Sınıfı	Kontaminasyon.	Igeo-Fe	Sınıfı	Kontaminasyon.	Igeo-As	Sınıfı	Kontaminasyon.
-0.14	0	Yok	-0.32	0	Yok	1.08	2	Orta
0.76	1	Orta-az	-0.42	0	Yok	1.52	2	Orta
0.61	1	Orta-az	0.35	1	Orta-az	1.51	2	Orta
Igeo-Ni	Sınıfı	Kontam.	Igeo-Cr	Sınıfı	Kontam.	Igeo-Zn	Sınıfı	Kontam.
1.45	2	Orta	-1.18	0	Yok	-0.09	0	Yok
1.24	2	Orta	-0.62	0	Yok	-0.004	0	Yok
1.28	2	Orta	-0.74	0	Yok	0.1	1	Orta-az
Igeo-Cd	Sınıfı	Kontam.	Igeo-Co	Sınıfı	Kontam.	Igeo-Ba	Sınıfı	Kontam.
0.26	1	Orta-az	-0.65	0	Yok	-2.08	0	Yok
0.38	1	Orta-az	-0.42	0	Yok	-1.64	0	Yok
0.3	1	Orta-az	-0.42	0	Yok	-1.99	0	Yok
Igeo-Cu	Sınıfı	Kontam.	Igeo-Mn	Sınıfı	Kontam.	Igeo-V	Sınıfı	Kontam.
-0.07	0	Yok	-0.43	0	Yok	-1.87	0	Yok
0.1	1	Orta-az	-0.46	0	Yok	-1.45	0	Yok
-0.33	0	Yok	-0.31	0	Yok	-1.56	0	Yok

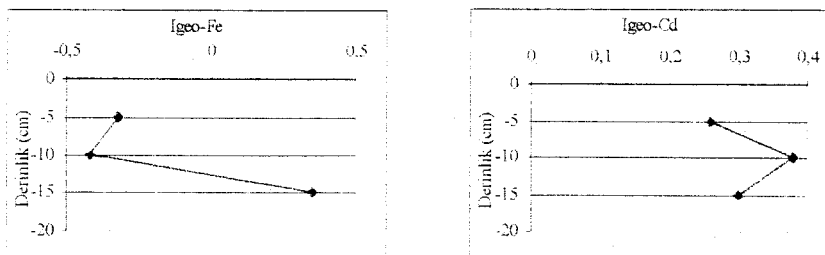
Tablodan da görüldüğü gibi, Jeoakümülyasyon İndeks Sınıflaması'na göre, Uluabat Gölü dip sedimanlarının 15 cm lik kısmında Cr, Co, Mn, V ve Ba metal iyonları açısından bir kontaminasyon söz konusu değildir. Bakır, sadece 5-10 cm lik kısımda orta-az dereceli bir kontaminasyona işaret etmektedir. Demir ve çinko açısından yüzeyden itibaren ilk 10 cm de bir kontaminasyon görülmezken en alt 10-15 cm lik kısımda orta-az derecede bir kontaminasyon söz konusudur. Kurşun açısından sediman tabakasının en üst 5 cm lik kısmında kontaminasyon görülmezken, derine doğru 5-10 cm ve 10-15 cm lik kısımlarda Pb açısından orta-az derecede kontaminasyon vardır. Tablo 10.17 de dikkati çeken en önemli nokta, kadmiyum ve arsenik' in diğer metal iyonlarından daha fazla birikmiş olması ve orta şiddette kontaminasyon göstermeleridir. Sonuçlar ayrıca Şekil 10.22, 10.23 ve 10.24 de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 10.22. Derinliğe bağlı olarak Igeo-Cu ve Igeo-Pb değerlerinin değişimi



Şekil 10.23. Derinliğe bağlı olarak Igeo-Ni ve Igeo-As değerlerinin değişimi



Şekil 10.24. Derinliğe bağlı olarak Igeo-Fe ve Igeo-Cd değerlerinin değişimi

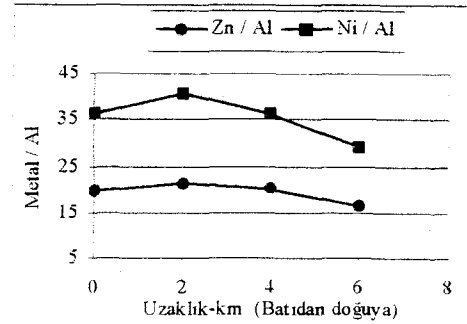
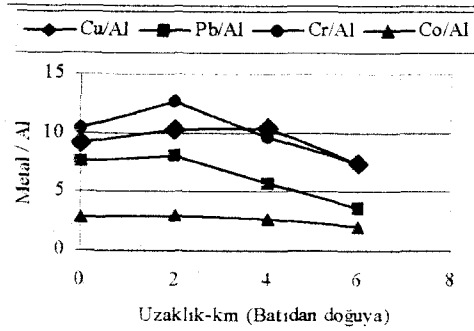
10.1.3. Metal / Al Değişimleri

Sedimanlarda metal zenginleşmesi için önerilen bir diğer değerlendirme de Martin and Meybeck (1979) tarafından ortaya konan Metal / Al oranlarıdır. Burada amaç, belli bir noktadan itibaren bir yöne doğru herhangi bir metalin sedimanda zenginleşip zenginleşmediğini ortaya koymaktır. Burada Al, çok az çözünen (konservatif) bir element olması dolayısıyla kullanılmaktadır.

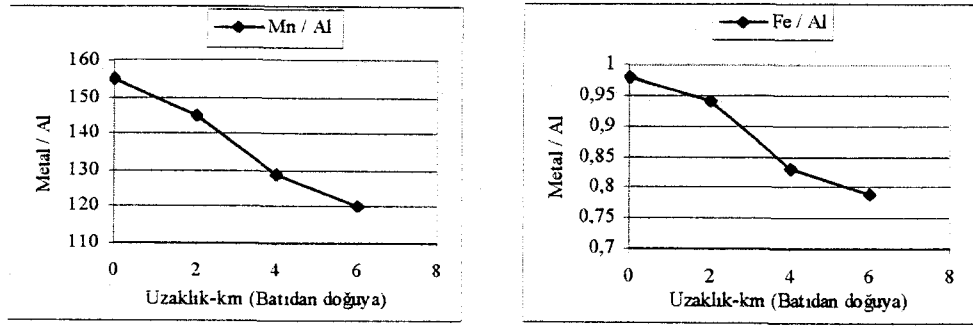
Bu kapsamda Uluabat Gölü 'nde M. Kemalpaşa Çayı'nın göle giriş yaptığı noktadan gölün doğusuna doğru (6 km) ve güneydeki S17 nolu örneğin olduğu noktadan S24 nolu örneğin olduğu noktaya doğru (8 km) olmak üzere birbirine dik iki doğrultuda metal / Al oranları hesaplanmış ve grafikleri (Şekil 10.25, 10.26, 10.27 ve 10.28) çizilmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 10.18 de verilmiştir.

Tablo 10.18. Uluabat Gölü'nde B-D ve G-K yönlerinde metal/Al oranları

	Cu/Al	Pb/Al	Zn/Al	Ni/Al	Cr/Al	Mn/Al	Co/Al	Fe/Al
S22 (0 km)	9.17	7.65	19.62	36.19	10.45	154.94	2.80	0.98
S13 (2 km)	10.31	8.04	21.07	40.72	12.57	144.80	3.02	0.94
S7 (4 km)	10.48	5.68	20.10	36.26	9.61	128.88	2.62	0.83
S4 (6 km)	7.37	3.69	16.46	29.07	7.37	120.39	2.05	0.79
	Cu/Al	Pb/Al	Zn/Al	Ni/Al	Cr/Al	Mn/Al	Co/Al	Fe/Al
S17 (0 km)	10.37	7.90	20.99	41.23	11.36	172.35	2.72	0.97
S19 (2 km)	8.99	6.33	19.77	34.14	10.78	133.42	2.92	0.91
S22 (4 km)	9.17	7.65	19.62	36.19	10.45	154.94	2.80	0.98
S21 (6 km)	8.16	5.06	18.44	30.95	10.04	120.87	2.72	0.87
S24 (8 km)	8.66	5.11	18.72	32.53	9.72	122.10	2.75	0.89



Şekil 10.25. Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında Batı-Doğu yönünde Cu, Pb, Cr, Co, Zn ve Ni metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi



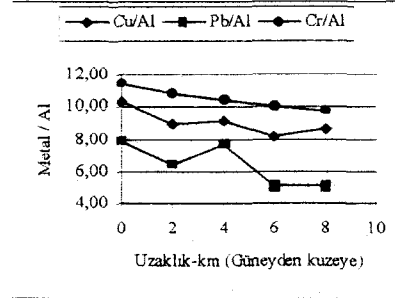
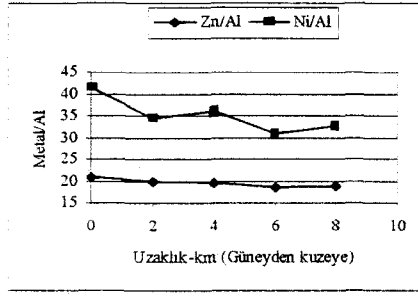
Şekil 10.26. Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında Batı-doğu yönünde Fe ve Mn metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi

Bu durum Batı-Doğu doğrultusu boyunca metal/Al oranlarını gösteren şekillerden görüleceği gibi,

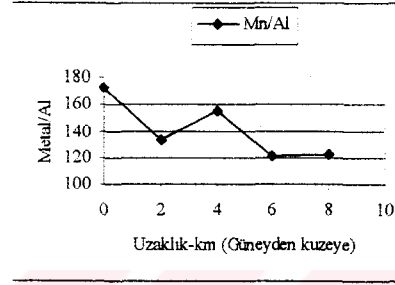
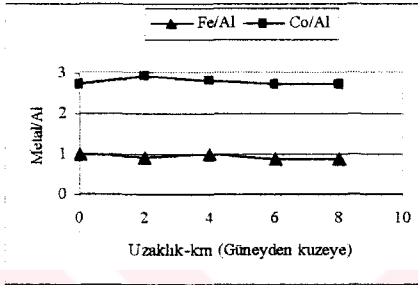
- Ni/Al, Zn/Al, Pb/Al, Co/Al ve Cr/Al oranları benzer trendlere sahiptirler. Söz konusu metal/Al oranları, S22 nolu örneğin olduğu kesimden doğuya doğru 2 km mesafedeki S13 nolu örnekte önce bir artma, daha sonra sürekli azalma göstermekte ve doğuda minimum değeri almaktadırlar. Cu/Al oranı ise S7 nolu örneğin olduğu noktaya kadar sürekli artmakta, daha sonra en doğuda minimum değerini almaktadır. Grafiklere bakarak söz konusu metal iyonlarının genelde gölün doğusunda sediman içerisindeki zenginleşme oranının minimuma indiğini söylemek mümkündür.
- Mn/Al ve Fe/Al oranları, M. Kemalpaşa Çayı'nın göle giriş yaptığı noktadan batıya doğru 6 km lik mesafe boyunca tedrici olarak azalmakta, bir başka deyişle Mn ve Fe' in dip sedimanlarındaki zenginleşme oranı azalmaktadır.

Güney-kuzey doğrultusunda metal/Al oranları incelendiğinde;

- Zn, Ni, Pb ve Mn metal iyonlarının alüminyuma oranında benzer trendler görülmektedir. Güneyden kuzeye doğru bu elementler için metal/Al oranı, tedricen azalmaktadır. Ancak S22 nolu örneğin olduğu noktada söz konusu elementlerin metal/Al oranlarında bir yükselme söz konusudur.
- Fe/Al ve Co/Al oranlarında ise önemli bir değişiklik gözlenmemektedir (Şekil 10.27, 10.28). Tüm grafiklere bakarak, Ni, Zn, Cu, Pb, Cr ve Mn metal iyonlarının gölün güney kesiminde daha fazla zenginleşme gösterdiği söylenebilir.



Şekil 10.27. Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında G-K yönünde Zn, Ni, Cu, Pb ve Cr metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi



Şekil 10.28. Uluabat Gölü güncel dip sedimanlarında G-K yönünde Fe, Co ve Mn metal iyonlarının Al'a göre göreceli zenginleşmesi

11. SONUÇLAR

Uluabat Gölü suları ve dip sedimanlarının çevre jeokimyası açısından incelenmesini kapsayan bu doktora çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. Uluabat Gölü kökensel açıdan değerlendirildiğinde; çek-ayır havza olarak nitelendirilen bir ortamda faylara bağlı olarak gelişen bir göl olarak tektonik göller sınıfında yer alır. Kuzey-güney istikametinde çıkarılan batimetri kesitinde, göl suyu derinliğinin gölün ortasından kuzey ve güney kıyılarına doğru arttığının saptanması bu yargıyı desteklemektedir. Fiziksel ve kimyasal kriterlere göre değerlendirildiğinde, dip sedimanlarının akarsu ve kıyı erozyonu kaynaklı ve karbonat ve organik madde bakımından zengin olması nedeniyle Uluabat Gölü'nün kırıntılı göller sınıfında yer aldığı söylenebilir. Gölde hipolimnion tabakası gelişmemiş olması, M. Kemalpaşa Çayı 'nın göle taşıdığı aşırı miktarda askıda madde ve kırıntılı malzeme nedeniyle gölün derinliğinin azalıp, güneş ışığının su kolonunun tamamına kolayca nüfuz ederek fazla miktarda organik madde üretimine sebep olması, göl yüzeyinin ve tabanının önemli ölçüde alg türü bitkilerce kaplanmış bulunması, organik çevrim esasına göre Uluabat Gölü' nün ötrofik göller sınıfında yer aldığını ortaya koymaktadır.
2. M. Kemalpaşa Çayı'nın yüksek miktarda askıda katı madde ve kırıntılı malzemeyi göle taşıması nedeniyle gölün güney kısmında yaklaşık 20 km² lik bir alanı kara haline gelmiş, kıyı kenar çizgisi ile Halilbey Adası'nın batı ucu arasındaki 4.5 km lik mesafe 1.5 km ye inmiştir. Diğer yandan göldeki su derinliği oldukça azalmış, bunun sonucu olarak güneş ışığı göl suyunun tamamına kolayca nüfuz ederek yoğun alg ve bitki popülasyonunu artırmıştır. Artan alg ve bitki türlerinden ötürü fotosentez de önemli ölçüde artmakta, bu da dolaylı olarak pH yı artırmaktadır. M. Kemalpaşa Çayı'ndaki bu fiziksel kirlenme devam ettiği takdirde yakın bir gelecekte Halilbey Adası kıyıyla birleşerek yarımada haline gelecek, sonuçta göl tamamen bataklık haline gelecektir.

3. Gölde yerinde yapılan türbidite ölçümlerinde türbidite değerlerinin % 0.1 ile % 0.25 arasında değiştiği, M. Kemalpaşa Çayı'nın göle döküldüğü kesime yaklaştıkça değerlerin artış gösterdiği saptanmıştır.
4. Uluabat Gölü' nün 7.82 ile 10.54 arasındaki pH değerleriyle yüksek alkali karaktere sahip bir göl olduğu anlaşılmıştır. Göl suyunun yüksek pH derecesine sahip oluşu ise, göle çözülmüş ya da partiküler formda taşınan metal iyonlarının konsantrasyon ve bileşime bağlı olarak çökmesine sebep olmaktadır.
5. Yapılan ölçümlerde en yüksek pH değerleri ($\text{pH} > 10$) Halilbey Adası civarı ve gölün kuzey kesimlerinde gözlenmiştir. Bu derece yüksek pH değerlerinin bulunması genelde istisnai bir durum olup, asiditeyi oluşturan kaynaklarının olmadığı böylesi ortamlarda, borat, karbonat, silikat ve alümino-silikat bileşikler pH yı 9-10 düzeylerine yükseltirler. Ayrıca literatürde belirtildiği gibi, bu denli yüksek pH değerleri kayaç baskın olarak nitelendirilebilen derin kaynaklı yer altı sularında gözlemlendiğinden, Uluabat Gölü' nün bu kesimlerinde derin kaynaklı yer altı suyu çıkışının varlığından da söz edilebilir.
6. Gölü besleyen M. Kemalpaşa Çayı'nın pH değerleri 8.14-8.42 arasında olup, göl suyu pH değerlerinden biraz daha düşüktür ve bu nedenle göl suyu pH sınırı M. Kemalpaşa Çayı'nın etkisiyle yükselmiş olması mümkün görülmemektedir.
7. Gölde çözülmüş oksijen değerlerinin 2.4 mg/l ile 8 mg/l arasında değiştiği, değerlerin gölün kuzey kesimlerinde, özellikle Halilbey Adası civarında yükselirken, sazlık kesimlerine doğru düştüğü belirlenmiştir. Çözülmüş oksijen değerlerinin göl suyunda canlı yaşamı için gerekli olan değerden çoğu yerde düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak önceki yıllara nazaran göldeki balık türleri ve miktarı azalmıştır. M. Kemalpaşa Çayı'nda da ÇO miktarı düşük değerlerde (4-4.6 mg/l) ölçülmüştür. Yüksek debisine rağmen ÇO değerlerinin bu denli düşük olmasının, M. Kemalpaşa Çayı' na civardaki kuruluşlardan atılan endüstriyel atıklardan kaynaklandığı düşünülmekte olup bunun aynı zamanda göl suyundaki ÇO miktarını da olumsuz etkilediği düşüncesi hakim olmuştur.
8. Göl suyunda elektriksel iletkenlik değerlerinin 583 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 915 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olduğu ve gölün kuzeyinden güneyine doğru artış gösterdiği saptanmıştır. Diğer yandan Eİ değerleri ile toplam çözülmüş madde miktarı arasında yüksek pozitif

korelasyon olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan M. Kemalpaşa Çayı EI değerlerinin 800-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olduğu, ve TÇM miktarı ile oldukça yüksek pozitif korelasyon gösterdiği ortaya çıkmıştır. Uluabat Gölü sularındaki EI değerlerinin M. Kemalpaşa Çayı'nın göle döküldüğü kesimde ve güneyde artış göstermesi, M. Kemalpaşa Çayı TÇM miktarının göle nazaran daha yüksek olması, dolayısıyla buna paralel olarak EI değerlerinin de yüksek olmasıyla ilgilidir. Bir başka deyişle Uluabat Gölü sularında EI değerleri M. Kemalpaşa Çayı suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin etkisindedir.

9. TÇM miktarına göre Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularının “tatlı sular” sınıfında, Schoeller sınıflamasına göre, gerek göl, gerekse M. Kemalpaşa Çayı sularının “olağan klorürlü, olağan sülfatlı” ve “oligo-karbonatlı” sular sınıfında yer aldığı, Sulin sınıflamasına göre her ikisinin “sülfat-sodyum” tipinde olduğu, Piper sınıflamasına göre, Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularının, toprak alkali iyonların (Ca, Mg) ve zayıf asit köklerinin (HCO_3 , CO_3) egemen olması dolayısıyla paralelkenar diyagramda 1 ve 3 nolu alanlarda yer aldığı ortaya çıkmıştır.
10. İçme suyu olarak kullanılamayacak durumda olan Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı suları, sulama suyu olarak düşük SAR değerleriyle, “çok iyi özellikte sulama suları”, bor tehlikesi açısından iki örnek dışında “kullanılabilir” sular sınıfında yer almaktadır. Ayrıca göl ve akarsu için klorür tehlikesi yoktur.
11. Bileşimlerdeki iyon aktiviteleri, denge sabiteleri ve pH değerleri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda, Uluabat Gölü ve M. Kemalpaşa Çayı sularında kalsit ve dolomit çökeliminin mümkün olduğu, buna karşın sülfat minerallerinin çözüneceği ortaya çıkmıştır.
12. Göl ve nehir suyundaki katyonların konsantrasyon değerlerine göre; $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{K} > \text{B} > \text{Si}$ şeklinde, anyonların ise $\text{HCO}_3\text{-CO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{F} > \text{NO}_3$ şeklinde sıralandığı ortaya çıkmıştır. Anyon-katyon dengeleri göz önüne alındığında gerek göl, gerekse akarsu kimyasının kayaç ayrışmasının kontrolünde olduğu açıkça görülmüştür.
13. Göl sularında yapılan kimyasal analizlerde silis içeriğinin doğal sularda belirtilen değerlerin oldukça altında çıktığı görülmüştür. Bu iki türlü yorumlanmıştır. Birincisi, sudaki silisin diatomeler tarafından kullanılmış olabileceğidir ki,

Uluabat Gölü oldukça üretken bir göl olması açısından diatomeler açısından elverişli bir ortam oluşturur. İkincisi, alkali sularda sudaki silisin Al ile birlikte önce alüminatları daha sonra da montmorillonit ve illit gibi kil minerallerini oluşturduğundan hareketle, Uluabat Gölü sularında da çözünmüş silisin sedimanlardaki montmorillonit ve illit'in oluşumu için tüketilmiş olmasıdır. Sedimanlarda yapılan X ışınları difraksiyon çözümlerinde bol miktarda illit ve montmorillonit varlığı bu yargıyı destekler mahiyettedir. Diğer yandan göldeki diatome oluşumu ya da varlığının ne düzeyde bulunduğu, bunun su ve sedimanlardaki kimyasal yapıyı nasıl etkilediği konusu ayrıca araştırılmaya değer görülmüştür.

14. +40 ile -200 meş boyutları arasında yapılan binoküler mikroskop incelemelerinde göl sedimanlarının, kuvars + amfibol / piroksen + klorit + gröna + epidot + hematit + manyetit + çeşitli kavkı dan meydana geldiği, M. Kemalpaşa Çayı alüvyon örneklerinin ise kuvars + amfibol / piroksen + klorit + gröna + epidot + hematit + manyetit + rutil + turmalin den oluştuğu anlaşılmıştır. Kuvars tüm örneklerde hakim mineral olup, tüm sedimanda yaklaşık % 85-90 oranında gözlenmiştir. M. Kemalpaşa Çayı örneklerinde göl sedimanlarından farklı olarak rutil ve turmalin mineralleri dikkati çekmektedir. Göl sedimanlarında biyotit ve muskovit -200 meş boyutuna kadar hiçbir fraksiyonda görülmezken, akarsu sedimanlarında biyotit +120 meş boyutuna kadar, muskovit ise -200 meş boyutuna kadar gözlenmektedir. Diğer yandan X-Işınları Difraksiyon çözümlerinde gölden alınan yüzey sediman örneklerinde genel mineralojik bileşiminin kuvars+feldspat/smektit+klorit+muskovit+illit şeklinde olduğu, karot sediman örneklerinde ise bunlara kalsit ve dolomit'in eşlik ettiği belirlenmiştir. M. Kemalpaşa Çayı ve Uluabat çaylarından alınan örneklerde ise kuvars + kalsit + smektit + klorit + muskovit + illit + feldspat + dolomit birlikteliği hakimdir.
15. Dip sedimanlarındaki Si/Al oranlarının gölün batısına doğru artış gösterdiğinden hareketle, dip sedimanlarında gölün doğusunda feldspatın kuvarsa nazaran daha fazla olduğu, batıya doğru gittikçe kuvarsın feldspata göre zenginleştiği kanısına varılmıştır. Ayrıca karot sediman örneklerinde derine doğru Al_2O_3 değerlerinin artış göstermesi, sedimandaki kil oranının da derine doğru arttığını ortaya koymaktadır.

16. Göl sularında direkt olarak ölçülemeyen Al, Fe, Ti, Cu, Zn, Pb, Mn, Ni ve Cr gibi elementler, buharlaşma kalıntısında yapılan kimyasal analizler sonucunda milyarda bir (ppb) mertebesinde ölçülebilmektedir. Buna göre Fe=398 ppb, Cu ve Pb= 9 ppb, Zn=8 ppb, Ni=6 ppb, Cr ve Mn=3 ppb düzeyinde saptanmıştır. Al ve Ti dedeksiyon sınırları altında kaldığından tespit edilememiştir. Göl suyunda bu metal iyonlarının bu denli az oluşu, göl suyunun oldukça alkali karakterde olmasından kaynaklanmaktadır.
17. Askıda katı maddede yapılan kimyasal analizlerde ise, Al ile birlikte bazı ağır metal iyonlarının kimyasal analizleri yapılmış, sonuçta Mn=2500 ppm, Zn=643 ppm, Ni=321 ppm, Fe=214 ppm, Cu=107 ppm, Cr=36 ppm ve Al=22 ppm olarak belirlenmiştir. Askıda katı maddedeki bu sonuçlar dip sedimanlarıyla karşılaştırıldığında, Mn ve Zn' nun çok, Cu ve Ni'in nispeten az oranda askıda katı maddede yoğunlaştığı, Al, Fe, Cr, Pb ve Co metal iyonlarının ise dip sedimanlarında yoğunlaştığı görülebilir. Burada Mn, Zn, Cu ve Ni metal iyonlarının, su kolonunda kolloidal formda bulunan ve dip sedimanlarından daha küçük tane boyuna sahip organik maddece zengin materyal tarafından daha fazla tutulduğu dikkati çekmektedir. Diğer yandan söz konusu metal iyonlarının su kolonunda oluşması muhtemel olan Mn ve Fe oksit/hidroksitlerinin yapısı içerisine girerek askıda katı maddede zenginleşmesi de mümkün görülmüştür. Ancak bunun kesin olarak ortaya konması için askıda katı maddenin, özellikle Fe ve Mn oksit ve hidroksitlerinin su kolonundaki redoks değişimlerine bağlı olarak kazandığı kimyasal bileşimi ve morfolojisi detaylı olarak aydınlatılması gerekliliği vardır. Bundan başka askıda katı maddede söz konusu metal iyonlarının kontaminasyon şiddetini kantitatif olarak ortaya koymak için Jeokümülyasyon İndeks formülyasyonundan yararlanılmıştır. Buna göre askıda katı maddede, orta-kuvvetli derecede Zn kontaminasyonu, orta derecede Ni kontaminasyonu tespit edilmiştir. Mn, Cu, Cr ve Fe metallerinde ise orta-zayıf derecede kontaminasyon belirlenmiştir.
18. Dip sedimanlarında yapılan kimyasal analizlerde elde edilen sonuçlar literatürde verilen sığ su sedimanları ve yerkağı ortalamalarıyla karşılaştırılmıştır. Majör elementlerden Si ve Fe değerlerinin sığ su sediman ortalamalarına yakın olduğu, Na, Ca, Al ve K değerlerinin düşük, buna karşın Mg değerlerinin ise yüksek olduğu belirlenmiştir. Karot derinliği boyunca değişimleri ele alındığında Si, Na,

K, Mg ve C_{org} konsantrasyonlarının derine doğru tedrici olarak azaldıkları görülmüştür. Kızdırma kaybı ve toplam karbonat değerleri derine doğru artış göstermektedir. Majör elementlerin yanal dağılımları Surfer 6.01 programı altında Kriging yöntemi kullanarak eş konsantrasyon haritaları şeklinde ortaya konmuştur. Sonuçta Fe ve Ca'nın gölün batısından güneydoğusuna doğru artarken, Si ve Na'nın ise tersine doğudan batıya doğru artış gösterdiği görülmüştür. Mg ve Al değerleri ise birbirine benzer şekilde gölün batı ve güney kesiminden kuzeyine doğru artış gösterirken, K gölün kuzeyinden itibaren batıya ve güneydoğuya doğru artış göstermektedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde Si-Al ve Si-KK değerleri arasında yüksek derecede negatif korelasyon olduğu belirlenmiştir. Demir'in Si ve Ti ile olan ilişkisinde ise daha düşük korelasyon katsayıları söz konusudur.

19. Çözünmüş bor konsantrasyonunun az olmasına karşın, dip sedimanlarında partiküler bor konsantrasyonunun yüksek oluşu, çözünmüş bor'un sedimanlardaki montmorillonit ve illit gibi kil mineralleri tarafından güçlü bir şekilde soğurulmasından ileri gelmektedir.
20. Minör elementlerden Ti, Mn, Sr ve Cr değerlerinin sığ su sediman ortalamalarıyla uyum içerisinde olduğu, V değerinin ise yerkabuğu ve sığ su sediman ortalamalarından oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Cr, Ba ve V değerlerinin benzer şekilde derine doğru bir artma daha sonra hafif azalma gösterdikleri, Mn'nin ise Fe de olduğu gibi başta biraz azalma, daha sonra büyük bir artma gösterdiği ortaya çıkmıştır. Sr' da ise Zn' da olduğu gibi derine doğru tedrici bir artış izlenmektedir. Ti ve P değerleri birbirine benzer şekilde önce hafif bir artma, daha sonra büyük oranda azalma trendindedir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde Mn ve Ni arasında pozitif korelasyon, Mn ve Co arasında ise negatif korelasyon belirlenmiştir.
21. İz elementler sınıfında yer alan Cu, Pb, Co, Cd ve As gibi elementlerin derinlik artışına göre davranışı benzerlik göstermektedir. İz elementlerden Ni, Cd ve As gibi metallerin sediman tabakasında zenginleştiği ve orta derecede kontaminasyon meydana getirdiği saptanmıştır. Ni ve Cd metal iyonlarının çevredeki sanayi kuruluşlarından kaynaklandığı, As metalinin ise Etibank tarafından işletilen Emet bor tuzu yataklarındaki kolemanit ve diğer bor

mineralleri ile birlikte çıkarılan arsenik minerallerinden (özellikle realgar ve orpiment) kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer yandan dip sedimanlarında geçmişten günümüze bor konsantrasyonunun giderek artış gösterdiği belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bor'un sedimanda artış göstermesinin, Kestelek ve Emet'teki kolemanit ve diğer bor tuzu minerallerinin üretimi sonrası çıkan pasalardan yıkama ve süzülme sularıyla M. Kemalpaşa Çayı'na karışarak göle ulaşmasından kaynaklanmış olduğu kanısına varılmıştır. Ayrıca bor tuzu yataklarındaki bor'ca zengin tavan ve taban killerin de akarsularla göle taşınarak göl sedimanlarındaki bor konsantrasyonunun yükselmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

22. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda daha derine inen karotiyer kullanarak tüm sediman tabakasını temsil eden sediman örnekleri alınarak, bunların kimyasal karakteristikleri ortaya konabilir, hatta karbon izotopları kullanılarak alt sediman tabakalarının yaşı da aydınlatılabilir. Bu şekilde yukarıda geçen her bir metal iyonunun yıllara göre göle hangi miktarda ulaştığı da ortaya çıkarılabilecektir.
23. Su ve dip sediman analizlerinde elde edilen değerlerin jeostatistiksel değerlendirilmesi için SYSTAT 5.01 paket programı altında Cluster ve PCA analizleri kullanılmıştır. Göl sularında hakim olan anyon ve katyonların bir cluster grubu oluşturduğu, B ve F gibi uçucuların ayrı bir cluster oluşturdukları saptanmıştır. Dip sedimanlarında yapılan istatistiksel analizlerde bir nolu cluster grubunda Mn, Ni, Cr, Pb ve Zn gibi ağır metal iyonları ile Ca ve toplam karbonatın organik karbonla bir grup oluşturmaları anlamlı bulunmuştur. Ayrıca Si, Na ve K gibi litofil elementlerin bir gruplaşma yaptıkları saptanmıştır. Diğer yandan siderofil elementlerden Fe, Ti ve Cu 'ın ayrı bir grup olarak cluster oluşturdıkları belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Altınlı, E., 1943. Bandırma-Gemlik arasındaki kıyı sıradağlarının incelenmesi. *İ.Ü. Fen Fak. Monografisi*.
- Baccini, P. ve Joller, T., 1981. Transport processes of copper and zinc in a highly eutrophic and meromictic lake. *Schweiz Z Hydrol.* **43**, 176-199
- Bingöl, E. ve diğ., 1973. Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri. *50. Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri*, 70-76, MTA Yayını.
- Bordovsky, O.K., 1965. Sources of organic matter in marine basins. *Marine Geology*. **3**, 31.
- Bowen, H.J.M., 1966. Trace elements in biochemistry of the elements. *London Academic Press*, 173-210.
- Bowen, H.J.M., 1979. Environmental chemistry of the elements, *Academic*, London-NY-Toronto.
- Bowser, C.J. and Jones, B.F., 1970. Electron-probe and x-ray studies of freshwater ferromanganese nodules from Wisconsin and Michigan. *Geological Society of America, Abstracts*, **2**, 500-501
- Bürküt, Y., 1966. Kuzeybatı Anadolu'da yer alan plütonların mukayeseli jeenetik etüdü, *İTÜ Doktora Tezi*.
- Bürküt, Y., 1984. Marmara Adası kuzey bölgesinde dolomit prospeksiyonu, *Doğa Bilim Dergisi*, **B8**, **1**, 53-64.
- Bürküt, Y., 1986. Uygulamalı Jeokimya, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu.
- Callender, E. and Bowser, C.J., 1976. Freshwater ferromanganese deposits, pp. 343-394, in K.H. Wolf (ed.). *Handbook and Strata-bound and Stratiform Ore Deposits*. vol.7, Elsevier, NY.

- Cole, J.J. et al.**, 1994. Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes. *Science*, **265**, 1568-1570.
- Collienne, R.H.**, 1983. Photoreduction of iron in the acidis lakes. *Limnology and Oceanography*, **28**: 83-100
- Cotton, F.A. and Wilkinson, G.**, 1989. Advanced inorganic chemistry. *Wiley*, New York, N.Y., 1455 pp.
- Davis, J.C.**, 1973. Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons, NY.
- DSİ**, 1980. Bursa Bölgesi Su Kaynakları Kirlilik Araştırması
- Emre, Ö. Kazancı, N. ve Erkol, T.**, 1998. Güney Marmara bölgesi Kuvaterner olayları ve muhtemel tarihçesi. *Deniz Jeolojisi, Türkiye Deniz Araştırmaları, Workshop*, IV, 14-15 mayıs 1998, İstanbul.
- Förstner, U. and Müller, G.**, 1973. Anorganische Schadstoffe im Neckar. *Ruperto Carola*, **51**, 67-71.
- Förstner, U. et.al.**, 1993. Sediment quality objectives and criteria development in Germany, *Water Science and Technology*, **28**, 307.
- Gaudette, H.E. et. al.**, 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **44**, 249-253.
- Gibbs, R.J.**, 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, **170**, 1088-1090.
- Hutchinson, G.E.**, 1957. A treatise on limnology. Physics and Chemistry, *Wiley*, New York.
- İlgüz, N.**, 1955. M. Kemalpaşa Çayı havzasında erozyon şiddeti ve bununla Uluabat Gölü'nün ilgisi, *TJK Bülteni*, **6**, 81-108.
- Jacobson, R.L. and Langmuir, D.**, 1972. An accurate method for calculating saturation levels of groundwaters with respect to calcite and dolomite. *Trans. Cave Research Group of Great Britain*. vol. **14**, No.2
- Johnson, M.G and Nicholls, K.H.**, 1988. Temporal and special trends in metal loads to sediments of lake Simcoe, Ontario. *Water, Air and Soil Pollution*, **39**, 337.

- Jones, B.F., Rettig, S.L. and Eugster, H.P.**, 1967. Silica in alkaline brines. *Science*, **158**, 1310-1314.
- Kemp, A.L.W. et al.**, 1976. Impacts on man's activities on the chemical composition in the sediments of Lake Ontario, Erie and Huron. *Water, Air and Soil Pollution*, **5**, 469.
- Kennedy, V.C.**, 1971. Silica variations in stream water with time and discharge. In non-equilibrium system in natural water chemistry. *Advanced Chemistry Series*, **106**, 94-130.
- Lahn, E.**, 1948. Türkiye göllerinin jeolojisi ve jeomorfolojisi hakkında bir etüd. *MTA yayını*, **B-12**.
- Langmuir, D.**, 1997. Aqueous Environmental Geochemistry, *Prentice Hall*, NJ.
- Lerman, A.**, 1978. Lakes: Chemistry, Geology, Physics, (Ed) Springer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Lerman, A.**, 1995. Physics and Chemistry of Lakes, (Ed): Redox-Driven Cycling of Trace Elements in Lakes, 217-263, Springer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Li, H. and Misawa, S.**, 1994. Groundwater chemistry within a plateau neighboring Matsumoto city, Japan. *Environmental Geology*, **24**, 166-175.
- Lisenbee, K.**, 1971. The Orhaneli ultramafic gabbro thrust sheet and its surroundings, Campbell, A.J. (Ed.) Geology and History of Turkey. 511, Tripoli.
- Mackenthum, K.M.**, 1969. The practice of water pollution biology. United States Department of the interior. *Federal Water Pollution Control Administration*.
- Marowski, G. and Wedepohl, K.H.**, 1971. General trends in the behaviour of Cd, Hg, Tl and Bi in some major rock forming processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **35**, 1255-1267.
- Martin, D.F. and Meybeck, M.**, 1979. Elemental mass balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, **7**, 173-206.
- Mc Kenzie, R.C.**, 1962. Differential thermal analysis data index, *Cleaver House Press Ltd*.

- Meyers, P.A. and Ishiwatari, T.**, 1995. Organic matter accumulation records in lake sediments: *In Physics and Chemistry of Lakes*, A. Lerman (Ed.).
- Morel, F.M.M. and Hering, J.G.**, 1993. Principles and applications of aquatic chemistry. *John Wiley & Sons*. New York.
- MTA Raporu** No:6717. Şubat, 1980.
- MTA Raporu** No:6760. Şubat, 1980.
- Müller, G.**, 1979. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* **2(3)**:108-118.
- Nikiforova, E.M. and Smirnova, R.S.**, 1975. Metal technophily and lead technogenic anomalies. *Abstr Int Conf: Heavy metals in the environment*. Toronto, C-94-96.
- Okay, A.**, 1998. Exhumation of blueschists along a Tethyan suture in northwest Turkey. *Tectonophysics*, **285**, 275-329.
- Özkoçak, O.**, 1969. Orhaneli ultrabazik masifinin jeolojik etüdü. Doktora tezi.
- Pardo, S. et al.**, 1990. Determination and speciation of heavy metals in sediments of the Pisuerga river. *Water Research*, **24**, No.3, 373.
- Peterson, T.F. ve Calvert, S.E.**, 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic carbon rich sediments and sedimentary rocks ? *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, **74**, 454-466.
- Piper, A.M.**, 1953. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *US Geological Survey. Ground Water Note* **12**.
- Ramamohana R.N.V. et al.**, 1993. Fluorine distribution in waters of Nalgonda district, Andhra Pradesh, India, *Environmental Geology*, **2**, 84-89.
- Richardson, J.L and Richardson, A.E.**, 1972. History of African rift lake and its climatic implications. *Ecological Monitoring*, **42**, 499-534.
- Saleh, F.Y. et.al.**, 1989. Kinetics of chromium transformations in the environment. *Sci.Total Environ.* **86**, 25-41.
- Salomons, W. and Förstner, U.**, 1984. Metals in the hydrocycle. *Springer Verlag*, Heidelberg, Berlin.

- Schlegel, H.**, 1986. General microbiology, Cambridge: Cambridge University Press.
- Schoeller, H.**, 1955. Salinity of ground water evapotranspiration and recharge of aquifers. *IASH Publications*, **52**, 488-494.
- Syers, J.K et al.**, 1973. Phosphate Chemistry of Lake Sediments. *Journal of Environmental Quality*, **2**,1-14.
- Şahinci, A.**, 1986. Yeraltı Suları Jeokimyası. DEÜ. MMF. İzmir.
- Tanoğlu, A.**, 1947. Türkiye’de jeolojik ve jeomorfojenik tetkik seyahatları (Çev. E. Chaput,) *İ.Ü. Matbaası*.
- Thornton, I.**, 1988, Applied Environmental Geochemistry. *Academic Press*, NY.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H.**, 1961. Distribution of elements in some major units of the earth’s crust. *Geological Society of American Bulletin*, **72**,175-192.
- Turekian, K.K.**, 1977. The fate of metals in the oceans. *Geochimica Cosmochimica Acta*, **41 (8)**, 1139.
- Türk Standartları Enstitüsü**, 1966. İçme suları.
- Ure, A.M. and Berrow, M.L.**, 1982. The chemical constituents of soils. In: Bowen HJM (Ed) *Environmental Chemistry*, R. Soc. Chem., Burlington House, London, **2**, 94-202.
- Wang, W.C., Brabec, D.J.**, 1969. Nature of turbidity on the Illinois River. *Journal American Water Works Association*. **61(9)**:460-464.
- Wedepohl, K.H.**, 1979. Handbook of geochemistry. *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, NY.
- Wetzel, R.G.**, 1975. Limnology, W.B. Saunders, Philadelphia, PA.
- WHO**, 1984. Guidelines for drinking water quality. vol.1, Recommendations, Geneva, Switzerland.
- Williams, J.D.H and Mayer, T.**, 1972. Effect of sediment diagenesis and regeneration of phosphorous with special reference to lakes Erie and Ontario. In:H.E. Allen and J.R. Kramer (eds.), *Nutrients in Natural Waters*. Wiley Interscience, New York, NY.

Tablo A.1. Uluabat Gölü dip sedimanlarının majör element analiz sonuçları (%)

SiO ₂	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	49,76	52,72	49,82	51,13	53,71	50,09	47,84	50,48	52,36	48,61	56,33	50,51	53,9	55,19	63,66	51,14
5-10 cm	41,07	53,65	44,28	46,36	42,14	55,25	49,02	54,04	50	42,85	52	41,81	44,39	48,06	46,8	58,68
10-15 cm	41,33	44,71	43,74	42,09	39,84	48,4	41,6	44,93	41,32	39,55	43,66	39,3	43,89	40,59	59,43	47,94
ORT	44,05	50,36	45,95	46,53	45,23	51,25	46,15	49,82	47,89	43,67	50,66	43,87	47,39	47,95	56,63	52,59
Al ₂ O ₃	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	10,46	9,6	13,02	11,64	10,65	11,07	11,41	11	9,99	11,36	10,01	11,41	9,6	10,84	9,14	10,69
5-10 cm	19,6	14,52	14,27	19,14	16,87	14,16	17,27	13,47	14,94	18,65	12,86	18,77	19,19	15,06	13,1	9,77
10-15 cm	16,13	12,53	16	13,91	17,51	12,37	16,48	13,81	17,13	15,17	14,2	14,55	16,08	14,9	13,46	11,95
ORT	15,4	12,22	14,43	14,9	15,01	12,53	15,05	12,76	14,02	15,06	12,36	14,91	14,96	13,6	11,9	10,8
Fe ₂ O ₃	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	5,93	7,52	7,91	9,35	8,08	8,56	8,19	8,03	8,16	9,64	6,95	9,99	7,62	9,02	5,85	9,98
5-10 cm	9,31	6,57	7,22	7,91	8,71	6,27	8,78	5,77	7,53	7,83	7,96	7,61	8,59	6,99	8,91	5,68
10-15 cm	12,17	13,7	12,07	15,44	11,74	11,85	14,74	14,34	13,41	12,21	12,69	12,55	13,07	14,67	9,03	14,04
ORT	9,137	9,263	9,067	10,9	9,51	8,893	10,57	9,38	9,7	9,893	9,2	10,05	9,76	10,23	7,93	9,9
P ₂ O ₅	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	0,099	0,078	0,069	0,026	0,033	0,121	0,071	0,117	0,052	0,238	0,037	0,04	0,098	0,048	0,059	0,11
5-10 cm	0,208	0,207	0,212	0,349	0,199	0,198	0,263	0,197	0,193	0,175	0,105	0,212	0,259	0,165	0,228	0,24
10-15 cm	0,062	0,031	0,047	0,073	0,037	0,067	0,035	0,046	0,032	0,022	0,024	0,044	0,014	0,024	0,023	0,052
ORT	0,123	0,105	0,109	0,149	0,09	0,129	0,123	0,12	0,092	0,145	0,055	0,099	0,124	0,079	0,103	0,134
TiO ₂	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	0,86	0,84	0,66	0,82	0,89	0,85	0,69	0,77	0,72	0,77	0,74	0,88	0,79	0,66	0,57	0,83
5-10 cm	0,9	0,87	0,9	1,03	0,98	0,85	0,86	0,89	0,86	0,91	0,94	1,01	1,11	0,93	1,03	0,9
10-15 cm	0,66	0,52	0,65	0,78	0,63	0,68	0,78	0,85	0,62	0,74	0,65	0,8	0,75	0,77	0,54	0,69
ORT	0,807	0,743	0,737	0,877	0,833	0,793	0,777	0,837	0,733	0,807	0,777	0,897	0,883	0,787	0,713	0,807
Na ₂ O	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	1,34	1,31	0,64	1,13	0,99	1	1,41	1,07	1,23	1,32	0,8	1,26	2,16	0,85	1,45	2,02
5-10 cm	1,17	1	1	1,14	1,08	1,04	1,42	1,07	0,85	1,12	0,99	0,83	1,7	0,88	1,6	2,27
10-15 cm	0,77	0,78	0,98	1	0,74	0,74	1,09	0,87	0,67	0,71	0,66	0,73	0,96	0,97	2,27	1,53
ORT	1,093	1,03	0,873	1,09	0,937	0,927	1,307	1,003	0,917	1,05	0,817	0,94	1,607	0,9	1,773	1,94

Tablo A.1 devam.

K ₂ O	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	2,7	2,63	2,57	2,43	2,39	2,54	2,66	2,23	2,61	2,66	2,41	3,08	3,02	2,28	2,34	2,6
5-10 cm	2,55	2,18	2,53	2,64	2,74	2,09	2,62	2,14	2,22	2,45	2,58	2,53	2,58	2,66	2,7	2,53
10-15 cm	2,19	2,14	2,3	2,38	2,18	2,03	2,39	2,21	2,19	2,2	2,16	2,2	2,54	2,41	2,51	2,48
ORT	2,48	2,317	2,467	2,483	2,437	2,22	2,557	2,193	2,34	2,437	2,383	2,603	2,713	2,45	2,517	2,537
CaO	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	1,23	0,67	0,82	0,42	0,66	0,69	1,42	1,73	0,64	0,65	0,64	0,58	0,75	0,36	0,5	0,42
5-10 cm	0,56	0,53	0,64	0,26	0,88	0,3	0,29	0,47	0,62	1,01	0,55	0,85	0,34	0,45	0,42	0,52
10-15 cm	1,05	0,87	0,57	0,39	1,2	0,96	0,29	0,68	0,75	1,14	0,64	1,28	0,22	0,53	0,35	0,35
ORT	0,947	0,69	0,677	0,357	0,913	0,65	0,667	0,96	0,67	0,933	0,61	0,903	0,437	0,447	0,423	0,43
MgO	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	7,67	7,49	8,08	7,13	6,81	7,84	7,97	6,93	9,13	7,14	6,66	6,98	7,22	6,31	6,14	6,78
5-10 cm	5,39	4,44	5,35	5,07	6,02	4,01	4,9	4,27	4,74	5,29	5,71	5,33	5,25	5,58	6,44	5,04
10-15 cm	4,34	3,99	4,47	3,96	4,34	3,8	3,62	3,83	4,42	4,35	4,23	4,47	4,02	4,44	3,3	4,11
ORT	5,8	5,307	5,967	5,387	5,723	5,217	5,497	5,01	6,097	5,593	5,533	5,593	5,497	5,443	5,293	5,31
KK	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	19,97	17,15	16,41	15,93	15,79	17,25	18,34	17,64	15,11	17,61	15,43	15,27	14,83	14,44	10,29	15,43
5-10 cm	19,25	16,04	23,59	16,1	20,37	15,83	14,58	17,67	18,02	19,71	16,3	21,06	16,6	19,22	18,77	14,38
10-15 cm	21,31	20,73	19,19	19,98	21,77	19,1	18,98	18,42	19,48	23,9	21,05	24,07	18,45	20,7	9,08	16,86
ORT	20,18	17,97	19,73	17,34	19,31	17,39	17,3	17,91	17,54	20,41	17,59	20,13	16,63	18,12	12,71	15,56
TopCO ₃	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	4,79	3,62	3,28	2,99	3,41	4,34	4,32	3,45	3,98	2,68	3,88	2,14	2,64	2,21	2,87	2,87
5-10 cm	4,35	4,09	3,94	3,65	5,33	4,66	2,37	3,58	4,34	4,39	2,07	3,37	1,69	2,11	3,13	3,08
10-15 cm	6,53	5,04	4,01	3,81	6,25	4,89	2,26	4,21	4,62	5,82	4,82	7,13	2,74	3,33	3,53	3,16
ORT	5,223	4,25	3,743	3,483	4,997	4,63	2,983	3,747	4,313	4,297	3,59	4,213	2,357	2,55	3,177	3,037
TOC	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	3,58	3,47	1,28	3,36	3,87	3,15	1,34	4,51	1,27	2,82	3,32	1,58	2,27	3,56	2,86	1,03
5-10 cm	1,67	1,98	1,49	3,38	2,82	1,89	1,43	1,61	1,29	2,1	2	1,89	1,65	3,63	2,33	1,17
10-15 cm	1,47	1,98	1,33	2,92	2,62	1,79	1,19	1,7	1,43	2	1,59	1,59	1,54	2,1	2,07	1,32
ORT	2,24	2,477	1,367	3,22	3,103	2,277	1,32	2,607	1,33	2,307	2,303	1,687	1,82	3,097	2,42	1,173

Tablo A.2. Uluabat Gölü dip sedimanlarının ağır metal analiz sonuçları (ppm)

Cu	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	60	33	60	70	80	80	90	70	80	60	50	80	50	70	40	100
5-10 cm	70	40	130	80	90	70	70	80	70	80	80	75	80	80	50	50
10-15 cm	50	65	50	75	75	55	60	60	50	55	50	50	55	45	30	50
ORT	60	46	80	75	81,7	68,3	73,3	70	66,7	65	60	68,3	61,7	65	40	66,7
Pb	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	10	40	40	40	10	80	21	40	21	21	40	21	20	52	10	55
5-10 cm	40	80	40	40	40	50	60	60	50	60	60	60	70	40	60	30
10-15 cm	40	50	50	40	40	30	60	60	70	40	50	40	50	50	40	40
ORT	30	56,7	43,3	40	30	53,3	47	53,3	47	40,3	50	40,3	46,7	47,3	36,7	41,7
Zn	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	110	130	135	145	125	125	430	120	135	140	100	145	95	155	100	115
5-10 cm	147	160	167	170	140	143	137	147	147	150	113	140	147	157	147	87
10-15 cm	145	158	158	172	172	151	166	158	158	151	172	158	158	172	83	145
ORT	134	149,3	153,3	162,3	145,7	139,7	244,3	141,7	146,7	147	128,3	147,7	133,3	161,3	110	115,7
Ni	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	260	290	270	300	290	300	280	290	270	260	300	280	280	290	250	250
5-10 cm	230	270	280	290	250	250	245	265	230	260	190	230	260	230	260	160
10-15 cm	220	280	280	260	240	260	260	280	260	220	220	260	280	260	180	240
ORT	236,7	280	276,7	283,3	260	270	261,7	278,3	253,3	246,7	236,7	256,7	273,3	260	230	216,7
Cr	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	30	60	60	80	60	70	60	40	70	70	50	70	50	80	60	70
5-10 cm	90	110	90	110	100	90	80	100	90	90	65	80	80	100	100	50
10-15 cm	60	80	70	90	70	90	80	90	80	80	90	80	90	100	70	80
ORT	60	83,3	73,3	93,3	76,7	83,3	73,3	76,7	80	80	68,3	76,7	73,3	93,3	76,7	66,7
Co	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	10	10	20	20	20	20	20	15	20	30	15	20	20	20	20	20
5-10 cm	15	25	20	20	20	20	25	20	30	20	20	20	15	20	20	40
10-15 cm	25	25	20	25	20	20	25	20	15	15	20	25	20	25	25	20
ORT	16,7	20	20	21,7	20	20	23,3	18,3	21,7	21,7	18,3	21,7	18,3	21,7	21,7	26,7
Mn	4	5	7	9	10	13	15	17	19	21	22	24	26	28	30	32
0-5 cm	1190	960	900	870	880	940	910	1080	920	890	1020	880	1090	920	800	940
5-10 cm	830	1050	1020	980	940	860	930	1170	990	1010	850	930	970	890	970	580
10-15 cm	920	1070	1030	1100	1070	1080	1100	1240	1060	990	1170	1080	1090	1060	660	880
ORT	980	1026,7	983,3	983,3	963,3	960	980	1163,3	990	963,3	1013,3	963,3	1050	956,7	810	800

ÖZGEÇMİŞ

3. Tahir Sk.
No:4/1 80880
Yenikoy/ISTANBUL
celenli@hotmail.com

Istanbul Teknik Üniv.
Jeoloji Mh. Bl. 80626
Maslak/ISTANBUL
celenli@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Doktora : Jeoloji Mühendisliği, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Tez : Apolyont Gölü (Bursa) Suları ve Dip Sedimanlarının Jeokimyası (Eylül-2000)

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Tez : Bigadiç (Balıkesir) Zeolitlerinin Jeokimyası ve İyon Değiştirme Özelliklerinin İncelenmesi.
(Mart-1993)

Lisans, Jeoloji Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi

Thesis : Göksu Deresi ve Beylerbeyi (İstanbul) Arasındaki Bölgenin Genel Jeolojisi.
(Ekim-1989)

Lise : Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi, 1984
Ortaokul : Zonguldak Merkez Ortaokulu, 1981
İlkokul : Namık Kemal İlkokulu, Zonguldak, 1978

STAJ DURUMU

Yaz Dönemi : Türkiye Taş Kömürleri Kurumu (TTK), Zonguldak

Yaz Dönemi: MTA Gn. Md. Batı Karadeniz Bölge Müdürlüğü, Zonguldak, Turkey

ÖĞRETİM DENEYİMİ

Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi (1991 den günümüze) olarak

- ♦ Jeokimya Dersi Uygulaması (Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 4. sınıf)
- ♦ Maden Yatakları Dersi Uygulaması (Jeoloji ve Maden Mühendisliği Bölümü, 3. sınıf)
- ♦ Endüstriyel Hammaddeler Dersi Uygulaması (Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 4.sınıf)
- ♦ Maden Jeolojisi Dersi Uygulaması (Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 2. sınıf)
- ♦ Jeokimyasal Analiz Yöntemleri Dersi Laboratuvar Uygulamaları (Petroloji-Maden Yatakları Programı-Yüksek Lisans. seçimli ders)

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

- ♦ Kastamonu Bakır-Çinko-Kobalt Oluşumlarının Araştırılması (DPT Projesi, 1992)
- ♦ Yerli Zeolitlerin Sanayi ve Çevre Korumada Değerlendirilmesi (DPT Projesi, 1995)
- ♦ Kömürden Yapay Doğal Gaz Üretimi Teknolojisi (DPT Projesi, 1997)
- ♦ Düşük Kaliteli Kömürlerin Radyoaktif Atıkların Arıtımında Kullanımı (DPT Projesi)
- ♦ Türkiye Süs Taşlarının Gemolojik Araştırılması (DPT Projesi, devam ediyor)
- ♦ Haliç Yüzey Sularının Rehabilitasyonu (DPT Projesi, devam ediyor)
- ♦ Salda Gölü (Burdur) Hidromanyezit Oluşumlarının Jeolojisi ve Jeokimyası (TÜBİTAK Projesi, devam ediyor)
- ♦ Apolyont Gölü (Bursa) nün Hidrojeokimyasal Etüdü (İTÜ Araştırma Fonu Projesi)

MESLEKİ VE BİLİMSEL ÜYELİKLER

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
SGA Meeting: Society For Geology Applied To Mineral Deposits (Öğrenci Üye)
Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research dergisinde bilimsel hakem (1996- günümüz)
İTÜ Mezunlar Derneği

BİLGİSAYAR DENEYİMİ

Masa üstü : PC
Dil : Fortran 77
İşletim Sistemi : DOS, WINDOWS 95, WINDOWS 98
Programlar : Microsoft Ofis Programları (Microsoft Word'97, Microsoft Excel'97, Microsoft Power Point'97), Corel Draw 7.0 SYSTAT, GRAPHER FOR WINDOWS 1.0, SURFER 3.2

BURLAR-ÖDÜLLER

Türk Eğitim Vakfı Yüksek Lisans Bursu (TEV) (1990-1993)

YAYINLAR

TÜRKÇE YAYINLAR

- 1) Y. Burkut, A. Celenli, F. Suner. (1993). Bigadiç (Balıkesir) Zeolitlerinin İyon Değiştirme Özelliklerinin İncelenmesi, *VI. Ulusal Kil Semp.* Boğaziçi Üniversitesi, 8-11 Eylül İstanbul, Bildiriler Kitabı, 37-47.
- 2) Y. Burkut, V.Esenli, A.Celenli. (1996). Bigadiç Bölgesindeki Zeolitleşmiş Tüflerin Anyonik İyon Değiştirme Kapasiteleri. *Geosciences-Geosound*, 29, 35-40.
- 3) Y. Burkut, V.Esenli, A.Celenli (1997). Bigadiç Bölgesindeki Zeolitleşmiş Tüflerin Katyonik İyon Değiştirme Kapasiteleri. Su ve Çevre' 99 Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 199-204. 2-5 Haziran, Ataköy-İstanbul.

İNGİLİZCE YAYINLAR

- 1) A.Celenli, Y.Burkut, F.Suner. (1996). Industrial Use of Natural Zeolites For Removal of Heavy Metal Ions. An Example from Turkey", *Second SEGMENT International Conference*, Proceedings, 4-7. April 4-11 Karachi-Pakistan
- 2) Y.Akın, A.Celenli, F. Suner, M.S Celik, (1995). Electrokinetic Behavior of Montmorillonite and Its Implication in Commercial Applications", *MinChem' 95: The Int. 5 th Symposium On Mining Chemistry*, 7-10 November, İstanbul, 19-26.
- 3) Celenli. (1995). A Comparative Study On Heulandite Group of Zeolites of Bigadic and Kırka Basins In Western Turkey". *Terra Nova*, 7, 332, OS9-2.
- 4) Y. Burkut, F.Suner, A. Celenli. (1995). Hydrothermal Ore Deposition In Southwestern Turkey". *Terra Nova*, 7, 210, XIII-4.
- 5) F. Suner, A. Celenli, M. Kumral, M. Budakoglu (1997). The Investigation Baryte Occurrences Around İstanbul". Mineral Deposits, *Proceedings of The 4th. Biennial SGA Meeting*, Turku-Finland, Ed. Heikki Papunen, 587-590.
- 6) M. Kumral, A. Celenli, A. Gedikoglu (1997). Petrological and Geochemical Study of Yakaoren (Isparta) Volcanics Within The Western Taurides-Turkey". *Terra-Nova*, 9, 194, 13-3P.
- 7) N. Elmas, A. Celenli, F. Suner (1998). Formation of Cryptocrystalline Magnesite Ores Within The Yaylacık (Tavsanlı-Turkey) Ophiolite Sequences and Its Industrial Use". *Proceedings of the 34th Forum On The Geology For Industrial Minerals 1998: Oklahoma Geological Survey Circular 102*, p. 347-351. May, 2-6 Norman-Oklahoma-USA
- 8) F. Suner, A. Celenli, V. Esenli (1998). The Significance of Sr Contents In Evaporates: A Case Study In Turkey". *Progress in Mining and Oilfield Chemistry*. Istvan Lakatos (ed): Challenges of an Interdisciplinary Science, Budapest, 1999. vol.1, 219-224.

- 9) N. Elmas, **A. Celenli** I. Nuhoglu, (1999). Geology, Geochemistry and Industrial Importance of Alayunt Diatomite Deposits in Kutahya, Western Turkey. *35th Forum On The Geology of Industrial Minerals*, 2-7 May 1999, Salt Lake City-Utah-USA
- 10) M. Kumral, A. Gedikoglu, M. Budakoglu & **A. Celenli**, 1999. Geology and Economic Potential of the Derebogazi Ignimbrite (Trass) Deposits, Isparta, SW Turkey. *35th Forum On The Geology of Industrial Minerals*, 2-7 May 1999, Salt Lake City-Utah-USA
- 11) A.M. Erdogdu, M.S. Kirikoglu, **A. Celenli**, M. Budakoglu (1999). Geology and Geochemistry of Bala (Ankara-Turkey) Gypsum Deposits and The Investigation of Technological Parameters of Gypsum. *35th Forum On The Geology of Industrial Minerals*, 2-7 May 1999, Salt Lake City-Utah-USA.
- 12) M. Budakoglu, **A. Celenli**, M. Kumral, (1999). The Economic Significance of The Feldspar Deposits In Turkey. *35th Forum On The Geology of Industrial Minerals*, 2-7 May 1999, Salt Lake City-Utah.
- 13) **A. Celenli**. (2000). Heavy Metal Distribution in Recent Sediments From Lake Apolyont (Bursa-NW Turkey). (Chemical Geology adlı dergide değerlendirmede)

ATIFLAR : **A. Celenli**, Y.Burkut, F.Suner. (1996). Industrial Use of Natural Zeolites For Removal of Heavy Metal Ions. An Example from Turkey", *Second SEGMENTE International Conference*, April 4-11 Karachi-Pakistan, Proceedings, 4-7. Adlı yayına "Amonyumun Atık Sulardan Klinoptilolit Kullanarak Uzaklaştırılması", Baykal ve diğ. Su Kirliliği ve Kontrolü Dergisi, 6, 25-32) yayınında atıf yapılmıştır.