

46546

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAPANCA GÖLÜ VE HAVZASININ HİDROJEOKİMYASI İLE DİP SEDİMANLARININ
MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

46546
Y. Müh. Vildan ESENLİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Eylül 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Aralık 1995

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. M. Sezai KIRIKOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof.Dr. Erdoğan ERKAN

Prof.Dr. Osman YILMAZ

ARALIK 1995

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Programında doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada Sapanca Gölü ve havzasının hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş, göl ve dere sularındaki kirletici unsurlar araştırılmış, dip çamurlarının mineralojisi- tane boyu dağılımı ile ağır metallerin konsantrasyonları arasındaki ilişkiler saptanmıştır.

Bir yerbilimci olarak, genel anlamda çevre konusuna yönelmem konusunda katkı getirerek, bu çalışmayı öneren ve çalışmalarım süresinde fikir ve görüşlerinden her aşamada faydalandığım hocam Sayın Doç. Dr. M. Sezai KIRIKOĞLU'na içtenlikle teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında Jeokimya-Maden Yatakları Anabilim dalının tüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan, birçok sorunun çözümünde değerli fikir ve tecrübesinden yararlandığım hocam Sayın Prof. Dr. Yılmaz BÜRKÜT'e minnet ve teşekkürlerimi ifade etmek isterim.

Kimyasal analizlerimin yapılmasında unutamayacağım yardımlarını gördüğüm Anabilimdalı elamınımız Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Haydar GÜLTEKİN'e ve çeşitli konularda yardımlarını esirgemeyen Anabilimdalı diğer elemanlarına; yine kimyasal konularda yardımlarını gördüğüm Sayın Kimya Müh. Mehpare DEMİRKESEN (İ.T.Ü. Kimya-Met.Fak) ve Sayın Kimya Müh. Sezin ERACAR (İ.T.Ü. Maden Fak.)'a; tane boyu analizlerimin yapılmasına olanak sağlayan ve çeşitli görüşlerinden faydalandığım Sayın Yük. Jeol. Müh. Mustafa ERYILMAZ (D.K.K. Seyir ve Oşinografi Dairesi Başk.) ve Sayın Yük.Jeol.Müh. Fulya (YÜCESOY) ERYILMAZ (İ.T.Ü. Gemi İnş.Fak.) ve Semih Viç (İ.T.Ü. İnşaat Fak.)'a; kil fraksiyon çözümleme çalışmalarımda bilgilerini esirgemeyen ve laboratuvarlarından yararlanmamı sağlayan Sayın Doç. Dr. Sinan ÖNGEN (İst.Üni.Jeol.Müh.Böl.), Sayın Jeol. Müh. Davut LAÇIN (İst.Üni.Jeol.Müh.Böl.) ve Sayın Yük. Jeol. Müh. Ayda USTAÖMER'e; x-ışınları çekimlerini gerçekleştiren Sayın Yük.Jeo.Müh. Halim MUTLU (M.T.A.-Ank.), Sayın Prof. Dr. Erman TULGAR (İ.T.Ü. Kimya-Met.Fak.) ve Sayın Doç. Dr. Erdem DEMİRKESEN (İ.T.Ü. Kimya. Met.Fak.)'e; bilgisayar programlarındaki katkılarından dolayı Sayın Yar. Doç.Dr.Şenol YAMANLAR (İ.T.Ü. Maden Fak.) ve Yar.Doç.Dr. Fuat YAVUZ (İ.T.Ü. Maden Fak.)'a teşekkürler ederim. Tezimin tüm aşamasında bana destek olan, sabır, anlayış ve içtenliğini gördüğüm sevgili eşim ve meslekdaşım Sayın Yrd. Doç. Dr. Fahri ESENLİ (İ.T.Ü. Maden Fak.)'ye ve tüm aile bireylerime teşekkür ederim. Bu tez İ.T.Ü. Araştırma Fonu tarafından destek görmüştür. Güzide üniversitemede teşekkürü borç bilirim.

Eylül, 1995

Vildan ESENLİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMA ALANI.....	2
1.1.1. Coğrafi Durum.....	2
1.1.2. İklim.....	7
1.1.3. Hidroloji.....	11
1.2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ.....	11
1.2.1. Saha Çalışmaları.....	12
1.2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	13
1.2.2.1. Kimyasal Analizler.....	13
1.2.2.2. X-Işınları Difraksiyon İncelemeleri.....	14
1.2.2.3. Kil Fraksiyon Yöntemi.....	14
1.2.2.4. Tane Boyu Analizleri.....	15
1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	15
1.3.1. Bölge Jeolojisi İle İlgili Çalışmalar.....	15
1.3.2. Göl İle İlgili Çalışmalar.....	18
BÖLÜM 2. SAPANCA GÖLÜ ÇEVRESİNİN JEOLojİSİ.....	22
2.1. PALEOZOYİK.....	23
2.2. MESOZOYİK.....	24
2.3. SENOZOYİK.....	24
BÖLÜM 3. DİP ÇÖKELLERİNİN MİNERALojİSİ.....	26
3.1. X-IŞINLARI DİFRAKSİYONU İNCELEMELERİ.....	26
3.1.1. Tüm Sediman Çözümlemeleri.....	26
3.1.2. Bileşenlerin (Minerallerin) Oransal Tahmini.....	31

3.1.3. Kil Fraksiyonu Çözümlemeleri.....	33
3.2. OPTİK MİKROSKOP İNCELEMELERİ.....	35
BÖLÜM 4. SAPANCA GÖLÜ DİP SEDİMANLARINDA TANE BOYU DAĞILIMLARI.....	41
4.1. TANE BOYU ANALİZLERİ.....	41
4.1.1. Elek Analizi (Yaş Metod) Yöntemleri.....	41
4.1.2. Hidrometre Analizi.....	46
4.2. SEDİMAN TİPİ VE DAĞILIMLARI.....	46
4.2.1. Kum Dağılımı.....	53
4.2.2. Silt Dağılımı.....	53
4.2.3. Kil Dağılımı.....	59
BÖLÜM 5. DİP SEDİMANLARININ JEOKİMYASI.....	60
5.1. SEDİMANLARDA TANE BOYU İLE KİMYASAL BİLEŞİM ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	61
5.2. SEDİMANLARDA AĞIR METAL DAĞILIMI.....	64
5.2.1. Bakır.....	66
5.2.2. Nikel.....	70
5.2.3. Kurşun.....	73
5.2.4. Çinko.....	76
5.2.5. Kobalt.....	76
5.2.6. Mangan.....	81
5.2.7. Krom.....	81
5.3. SEDİMANLARDA MİNÖR ELEMENT DAĞILIMI.....	86
5.3.1. Vanadyum.....	86
5.3.2. Baryum.....	86
5.3.3. Stronsiyum.....	86
5.3.4. Arsenik.....	90
5.4. MİNERALOGİNİN SEDİMAN KİMYASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	90
5.5. KİL BOYUTLU SEDİMANLARIN METALLERLE İLİŞKİSİ.....	94
BÖLÜM 6. SU KİMYASI.....	98
6.1. GÖL SUYU ÖRNEKLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	100
6.1.1. Fiziksel Parametre Analizleri.....	100
6.1.1.1. pH.....	100
6.1.1.2. Konduktivite-EC.....	111
6.1.1.3. Çözünmüş Oksijen-DO.....	111
6.1.2. Kimyasal Değerler.....	112
6.1.2.1. Sodyum.....	112

6.1.2.2. Kalsiyum.....	113
6.1.2.3. Potasyum.....	116
6.1.2.4. Magnezyum.....	116
6.1.2.5. Sülfat.....	116
6.1.2.6. Klor.....	117
6.1.2.7. Karbonat-Bikarbonat.....	117
6.1.2.8. Azot Bileşikleri - (NO ₃ -N, NO ₂ -N).....	118
6.1.3. Göl Suyu İyon Konsantrasyonları Arasındaki Kimyasal İlişkiler.....	118
6.1.4. Göl Suyundaki İyon Değişimleri.....	125
6.2. DERE SUYU ÖRNEKLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	129
6.2.1. Dere Sularındaki İyon Değişimleri.....	129
6.2.1.1. Kalsiyum.....	134
6.2.1.2. Magnezyum.....	134
6.2.1.3. Sodyum.....	135
6.2.1.4. Sülfat.....	135
6.2.1.5. Klor.....	135
6.3. DERE VE GÖL SUYUNUN AĞIR METAL JEOKİMYASI.....	139
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	140
KAYNAKLAR.....	147
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma Alanı Bulduru Haritası	3
Şekil 1.2 Sapanca Gölü Derinlik Haritası	4
Şekil 1.3 Çalışma Alanı Fizyografya Haritası	5
Şekil 1.4 Sapanca Gölü ve Güneyindeki Topoğrafyanın Genel Görünümü	8
Şekil 1.5 Sapanca Gölü ve Havzasının Güneybatıdan Görünümü	9
Şekil 1.6 Sapanca Gölü Doğu Ucu ve Kuzey Kesim Topoğrafya sınırın Görünümü	10
Şekil 1.7 Sapanca Gölü Kuzeydoğu Ucunda Çark Suyuna Boşalım Noktası	10
Şekil 2.1 Sapanca Gölü Çevresinin Basitleştirilmiş Jeoloji Haritası	23
Şekil 3.1 Sapanca Gölü Dip Çökellerinde Kuvars ve Albite Ait Tipik Çizgilerin İzlenebildiği Örnek Difraktogram	27
Şekil 3.2 Kalsit ve Smektitçe Nispeten Zengin Bir Örneğe Ait Difraktogram	29
Şekil 3.3 Muskovit ve Klorite Ait Çizgilerin İdeal İzlendiği Örnek Difraktogram	30
Şekil 3.4 Kil Fraksiyonu Çözümlemeleri	34
Şekil 3.5 a.b.Sapanca Gölü Kenar Kesimine Ait İri Bileşenli Kuvarsça Zengin Örnekte Bol Oranda Kuvars Özgün Taneleri ve Kuvarsça Zengin Kaya Parçası	36
Şekil 3.6 Yaygın Olarak Kuvars ve Muskovitten Oluşmuş Silt Hakim Boyutlu Bir Örnek	38

Şekil 3.7	Kum+Çakıl Boyutlu Malzemece Zengin Örnekte Kuvarsın Yanısıra Yaygın Feldspat Taneleri.....	38
Şekil 3.8	İnce Boyutlu Malzemece Zengin Örneklerdeki Az Oranda İri Taneleri Oluşturan Kuvars ve Feldspatlar.....	39
Şekil 3.9	Kalsit Çok Ufak Boyutlu Tanelerinin Yanısıra Karbonat Kaya Parçası Olarakda Yaygındır.....	39
Şekil 3.10	a.b. Büyük Büyütmede Yeşilimsi Tonlarda Yaygın Klorit ve Az Sıklıkta Kahverengimsi Biotit. Bu Mineraller ve Yanısıra Muskovitde Kısmen FeO'ce Zenginleşmiş Yarı Opak-Opak Taneler.....	40
Şekil 4.1	Sapanca Gölü Sedimanlarının Kümülatif Tane Boyu Dağılımları.....	44
Şekil 4.2	Sapanca Gölü Sedimanlarının Shepard (1954)'e Göre Dağılımları.....	47
Şekil 4.3	Sapanca Gölü Sedimanlarının Folk (1974)'e Göre Dağılımları.....	48
Şekil 4.4	Sapanca Gölü Çökellerinin Granülometri Eğrileri.....	49
Şekil 4.5	Sapanca Gölü Sedimanlarının Tane Boylarına Göre Kümülatif Yüzde Dağılım Eğrileri.....	50
Şekil 4.6	Sapanca Gölü Sedimanlarının Tane Boylarına Göre Kümülatif Yüzde Dağılım Eğrileri.....	51
Şekil 4.7	Sapanca Gölü Sedimanlarının Tane Boylarına Göre Kümülatif Yüzde Dağılım Eğrileri.....	52
Şekil 4.8	Sapanca Gölü Yüzey Sedimanlarında Folk (1974) Sınıflamasına Göre Tane Boyu Dağılım Haritası.....	54
Şekil 4.9	Sapanca Gölü Yüzey Sedimanlarında Shepard (1954) Sınıflamasına Göre Tane Boyu Dağılım Haritası.....	55
Şekil 4.10	Kum Boyutlu Sedimanların Göl İçindeki Dağılımları.....	56
Şekil 4.11	Silt Boyutlu Sedimanların Göl İçindeki Dağılımları.....	57
Şekil 4.12	Kil Boyutlu Sedimanların Göl İçindeki Dağılımları.....	58

Şekil 5.1	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Cu'ın Dağılımı.....	67
Şekil 5.2	Cu-Al İlişkisi.....	69
Şekil 5.3	Fe-Cu İlişkisi.....	70
Şekil 5.4	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Ni Dağılımı.....	71
Şekil 5.5	Ni-Al İlişkisi.....	72
Şekil 5.6	Fe-Ni İlişkisi.....	72
Şekil 5.7	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Pb Dağılımı.....	74
Şekil 5.8	Pb-Al İlişkisi.....	75
Şekil 5.9	Pb İle Fe Arasındaki İlişki.....	75
Şekil 5.10	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Zn Dağılımı.....	77
Şekil 5.11	Zn-Al İlişkisi.....	78
Şekil 5.12	Fe-Zn İlişkisi.....	78
Şekil 5.13	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Co Dağılımı.....	79
Şekil 5.14	Co-Al İlişkisi.....	80
Şekil 5.15	Fe-Co İlişkisi.....	80
Şekil 5.16	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Mn Dağılımı.....	82
Şekil 5.17	Mn-Al İlişkisi.....	83
Şekil 5.18	Fe-Mn İlişkisi.....	83
Şekil 5.19	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Cr Dağılımı.....	84
Şekil 5.20	Cr-Al İlişkisi.....	85
Şekil 5.21	Cr-Fe İlişkisi.....	85
Şekil 5.22	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki V Dağılımı.....	87
Şekil 5.23	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Ba Dağılımı.....	88

Şekil 5.24	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Sr Dağılımı... ..	89
Şekil 5.25	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki As Dağılımı.....	91
Şekil 5.26	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Kuvars ve Kil Mineral İçerikleri İle Ağır Metal Konsantrasyonlarındaki Değişim.....	95
Şekil 5.27	Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Kil Yüzdeleri İle Metal Konsantrasyonları Arasındaki Değişim.....	97
Şekil 6.1	Sapanca Gölü Su Örnekleri Haritası.....	101
Şekil 6.2	Sapanca Göl Sularından Seçilmiş Örneklerin pH, EC ve DO Değerlerinin Derinlik Değişimi.....	102
Şekil 6.3	Sapanca Göl Suyunun USDA Diyagramı.....	115
Şekil 6.4	Sapanca Gölündeki TDS ve Na/Na+Ca Arasındaki İlişki.....	119
Şekil 6.5	Göl Suyundaki İyonların Batı'dan-Doğu'ya Değişimini Gösteren Bar Diyagramı.....	121
Şekil 6.6	Sapanca Göl Suyu Örneklerinin Piper (1953) Diyagramındaki Konumları.....	124
Şekil 6.7	Sapanca Göl Sularının ,a) Güney , b) Orta , c) Kuzey Kesimlerindeki Suların İyon Değişimleri.....	127
Şekil 6.8	Sapanca Gölü Havzasındaki Derelere Ait Örnek Lokasyonları.....	128
Şekil 6.9	Sapanca Gölü Kuzeyindeki Derelerin a) Na/Cl , b)K/Cl c)HCO ₃ +CO ₃ /Cl , d) SO ₄ /Cl Değişimleri.....	137
Şekil 6.10	Sapanca Gölü Güneyindeki Derelerin a) Na/Cl , b)K/Cl c)HCO ₃ +CO ₃ /Cl , d) SO ₄ /Cl Değişimleri.....	138

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Sapanca Gölü Havzasında Ölçülen Yağış Değer Ortalamaları.....	7
Tablo 3.1 Sapanca Gölü Sediman Örneklerinde X-Işınları Difraksiyon Yöntemi Kullanarak Yapılmış Oransal Mineralojik Tahmin.....	32
Tablo 4.1 Pipet Analizi Uygulama Değerleri.....	42
Tablo 4.2 Sapanca Gölü Sedimanlarının Kümülatif Yüzde Değerleri ve Folk (1974) , Shepard (1954)'e Göre Sınıflaması.....	43
Tablo 5.1 Sapanca Gölü Sedimanlarının Kimyasal Analiz Sonuçları.....	62
Tablo 5.2 Kayaçlarda Ortalama Kimyasal Bileşimler.....	63
Tablo 5.3 Tane Boyu ile Kimyasal Bileşim Arasındaki İlişki.....	64
Tablo 5.4 Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Ortalama Konsantrasyonlarının (ppm) Diğer Bazı Çalışmacıların Verileri ile Karşılaştırılması.....	65
Tablo 5.5 Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Metaller Arası İlişkiler Korelasyon Katsayıları Matriksi.....	66
Tablo 5.6 Sapanca Gölü Kaya Birimlerinden Derlenen Örneklerin Kimyasal Analiz Değerleri.....	68
Tablo 5.7 Göl Sedimentlerinde Rapor Edilen Mineral ve Kaynakları	93
Tablo 5.8 Sapanca Gölü'nün 2 μ Altındaki Sedimanlarının Ağır Metal Bileşimleri.....	96

Tablo 6.1	Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri.....	103
Tablo 6.2	Sapanca Gölü'nden Derlenen Su Örneklerinde Ölçülen Parametrelerin , İçme Suları İçin Verilen WHO ve TS Standartları İle Karşılaştırılması.....	114
Tablo 6.3	Göl Suyundaki Tuzluluk Parametreleri , Schoeller İndeksi , TDS ve SAR Değerleri.....	122
Tablo 6.4	Sapanca Gölü Havzasının Kuzeyindeki Derelerin Fizikokimyasal Parametre Değerleri.....	130
Tablo 6.5	Sapanca Gölü Havzasının Güneyindeki Derelerin Fizikokimyasal Parametre Değerleri.....	131



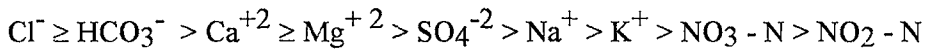
ÖZET

Sapanca Gölü, Kuzey Anadolu Fayı kuzey kolunun iki segmenti arasında yeralan, dolayısıyla da Sakarya Kıtası ve İstanbul Zonuna ait farklı kaya birimleri ile çevrelenmiş alüvyon baraj gölüdür. Havzanın farklı litolojilerden oluşması, bu birimlerden geçen dere sularının bileşimini dolayısıyla da göl suyunun kimyasını ve dip sedimanlarının mineralojisini ve kimyasını değişik şekillerde etkilemiştir. Sapanca Gölü dip sedimanları farklı oranlarda izlenen

"kuvars + feldspat + kalsit + muskovit + klorit + illit+smektit"

mineral birliğine sahiptir. Kuvars, feldspat, muskovit ve klorit birçok örnekte ana mineral konumunda olup, kalsit, illit ve smektit daha az miktarlarda izlenmiştir. Bu sedimanların tane boylarının göl içindeki dağılımları taşınım mesafesine bağlı olarak değişimler göstermesine karşın gölün kuzey ve güney kesimleri ince birer şerit halinde kum+çakıl boyutlu, gölün güneybatı ve güneydoğu kesimlerinde kalınlığı fazla olmayan killi silt boyutlu, kuzey kesimlerde kumlu siltten, siltli kuma geçişli bir dağılım göstermektedir. Silt hakim boyutlu karasal kökenli yüzey sedimanları gölün merkezi kesimlerinde yoğun olarak zenginleşmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarının göl suyu ve dere sularında değil de dip sedimanlarında ve özellikle de gölün güney kesimlerindeki sediman örneklerinde artış gösterdikleri saptanmıştır. Sedimanlardaki Pb konsantrasyonu gölün merkezi kesimlerinde artış gösterirken, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr ve Co gölün güney ve güneydoğusunda zenginleşmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarında izlenen artışın litolojinin yanısıra havzada kurulmuş olan sanayi tesislerinin atıklarına, evsel atıklara ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak antropojenik etkilerce de denetlendiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca sedimanlarda, kil minerali oranının artışı ile doğru orantılı olarak Cu, Zn, Ni konsantrasyonlarında izlenen yükselme kil fraksiyonu çalışmaları ile de ortaya konmuştur. As, gölün güneybatı ve V, güneydoğu kesimlerde zenginleşmiştir.

Gölün kuzeybatı kesimindeki göl sularının kimyasal bileşimi havzadaki derelerin kimyasal bileşimine paralel olarak değişiklikler göstermiştir. Gölün özellikle kuzey kesimleri ile İstanbul ve Mahmudiye derelerinin yeraldığı güney kesimleri ölçülen kimyasal parametreler açısından antropojenik kirlenme olarak açıkladığımız zenginleşmeler göstermiştir. Ca-(Mg)-Cl-HCO₃ su tipine sahip olan göl suyundaki iyon değişiminin,



şeklinde olduğu izlenmiştir. Kimyasal bileşim olarak toprak alkalilerce zenginleşmiş göl suyunun ölçülen fiziko-kimyasal parametreleri, "az sert" "çok iyi kaliteli", "olağan klorürlü" ve "sülfatça doygunluğun altında" olan "hipokarbonatlı" sular olduğunu göstermiştir. Çok iyi kaliteli sulama suları grubunda yeralan Sapanca Gölü suyu, kirletici unsurların yoğun olarak izlenmesine rağmen kendi kendini temizleyebilme özelliği olan ve halen içilebilir kalitede suya sahip bir göldür.

THE HYDROGEOCHEMICAL STUDY OF SAPANCA LAKE BASIN AND THE MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE LAKE SEDIMENTS

SUMMARY

The Sapanca Lake area covers 47 km², stretching from the Kocaeli City boundary and Maşukiye Stream in the west to Sakarya River and Adapazarı Plain in the east. The maximum east-west and north-south axis of the lake are 5.5 km and 17 km, respectively. The streams of Keçi, İstanbul, Mahmudiye, Koca, Yanık, Karaçay, Maşukiye and Balıkhane are in the south of the lake and the streams of Fındık, Kanlıtarla, Esme, Maden and Kuru are in the north.

Sapanca Lake is located in between two zones of the North Anatolian Fault. The Southern part of the lake belongs to the Sakarya Continent. Metamorphic rocks (gneiss, quartzites, crystalline limestones, marbles, schists) with the age of Paleozoic are the main lithologic unit. Almost all the streams in the south cut the sericite, chlorite, calcereous schists, crystalline limestone and quartzite types of rocks. Marble, metalava, gabbro, amphibolite and serpentine with the age of Mesozoic are the other lithologies in the south. The northern part of Sapanca Lake belongs to the İstanbul Zone. The nearest rocks of this zone to the lake are limestone, clayey limestone with the age of Upper Cretaceous and conglomerate, sandstone, siltstone, marl, limestone with the age of Eocene. All of these lithologies show a flysch character. Finally, Neogene units cover the southeast and southwest area of the Sapanca Lake. There is not any stream cutting these units.

The mineralogic investigations on the samples from the Sapanca Lake sediments include optical microscope and x-ray diffraction studies. Optical microscope studies were done on all of the samples and twelve samples were analysed by x-ray diffractometer for whole sediment determination. On the other hand, clay fraction determination was realised on four samples and then these fractions were analysed by x-ray diffraction method.

The mineral assemblage in general of the samples is; "quartz + feldspar + calcite + muscovite + chlorite + illite + smectite" Quartz, feldspar, muscovite and chlorite are the main minerals in a lot of the samples, however, calcite and especially clay minerals are at small amounts. The individual contents of minerals in lake sediments have been estimated by x-ray modal analysis

method with "standard addition" Pure minerals were used for standard. The samples were analysed by x-ray diffraction as firstly natural samples and secondly the samples with standard addition. The highest integrated peaks of individual minerals were used in calculations. The type of feldspar is mainly albite, muscovite is 2M1 and 3T type, chlorite is daphnite and/or aphrosiderite types and finally, the type of smectite is dioctahedral montmorillonite.

According to the x-ray analysis of clay fraction following results have been found for four samples.

- smectite + muscovite - illite + chlorite
- muscovite - illite + smectite + chlorite
- smectite + chlorite + muscovite - illite
- chlorite + muscovite - illite + smectite

Quartz, feldspar (mostly albite) and muscovite have been observed as close-grained minerals optically. However, quartz and feldspar were also found as fine-grained materials, the mainly fine-grained minerals are clay and mica. Calcite was found in deep sediments as both of the free and lithic.

Three sediment types have been recognized for the deep sediments of Sapanca Lake. 1. Sand, 2. Silt and 3. Clay. A narrow zone in the south and north coast of the lake has the grain size of sand+gravel. While the grain size of clay has been found only southeast and southwest of the lake, the widest sediment type is silt in the center of the lake.

Heavy metals in sediments were controlled by lithogenic and antropogenic effects. Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co increase in the sediments of the southern and southeastern part of the lake. Pb increases in the center of the lake. The increasing in Sr in northern part of the lake is to the high concentration chlorine. Pb, Mn and Cr increase in the silt materials. These are supported by the results of clay fraction studies. However, no Pb concentration were found. Cu, Ni and Zn concentrations increase and Fe concentration decrease in the clay materials

Water samples of Sapanca Lake were collected from 5, 15 and 30 meter depths by using polyethylene bottles. Because of chemical changes that occur in water samples during transportation and storage, physical parameters (temperature, pH, dissolved oxygen and conductivity) have been measured in the taken samples on site. On site measurements in the study area are carried out with the use of small, hand-carried, battery-operated portable instruments. Chemical parameters like Ca, Mg, HCO₃, C etc. were analysed by atomic spectrometer, flame photometer and titration instruments.

pH values for the depths of 5, 15 and 30 meter of Sapanca Lake (heat of the water is 20°C) have been measured as the range of 7.59-8.42, 7.72-8.34 and 7.80-7.99, respectively. The conductivity and dissolved oxygen values vary with depth. The concentration of dissolved oxygen in Sapanca Lake was

at its saturation level in the first 10 meters of water, at 10-20 meters it increases the saturation level due to algal photosynthesis at these depths.

The ranges of chemical parameters measured in the lake water are 20-150 mg/l for calcium, 6-25 mg/l for magnesium, 6-19 mg/l for sodium, 1-7.5 mg/l for potassium, 76.25-130.71 mg/l for bicarbonate, 2.10-249.28 mg/l for chlorine and 13-23.75 mg/l for sulphate.

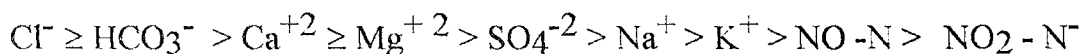
According to the Turkish and WHO standards, the quality of the Sapanca Lake water is good and drinkable for the all physico-chemical parameters. The distribution of data from Sapanca Lake water in the USDA diagram shows that the area has lower-medium salinity-low sodium water. SAR values of the lake water are lower than 10 percentage and it is suitable for irrigation purposes.

In Sapanca Lake with the exception of three places (1, 4, 14) the values of schoeller index are positive and alkaline earth ions have higher concentrations than bicarbonate ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{HCO}_3^-$), indicative of exchange of sodium ions for alkaline earth ions and the water as base-exchange hardened water. Other places where values are negative, indicating cation-anion exchange and the water as base-exchange softened water.

The ratio of $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ in the Sapanca Lake water is greater than 1. Therefore, the regional geology of Sapanca Lake have been favor dissolution of carbonates as a probable source for Ca^{+2} and Mg^{+2} in the Lake water.

The selected samples which represent the Sapanca Lake water were plotted on the diagrams reported by Piper. The chemical character of the Lake water belongs to the alkali water group. HCO_3^- and Cl^- ions are almost equal to each other. It is found that the alkali-earth elements are dominant to take into consideration Piper's parallelogram diagrams ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$). The north and south coast of the Sapanca Lake, $\text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^-$ is characteristic, whereas, $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$ was found for the samples from the east of the Lake. Consequently, it is found that the Sapanca Lake water belongs to the group of "mixed-waters" according to their ion concentrations.

High TDS (mg/l) values in the Sapanca Lake water indicate more chemical weathering than physical weathering. The average abundance of ions in the Sapanca Lake water has been found to be follows -(based on milligram per liter units):



The most of the ions concentrated in the water of the Sapanca Lake and the streams are in relation with the lithologies around the lake. Consequently, the chemical composition of the lake and the streams shows local differences. Increasing ion concentrations were not found in the stream waters which are in the southern part of the Sapanca Basin (except Mahmudiye and İstanbul Streams). Increasing ion concentrations in the water Mahmudiye and İstanbul Streams may have been occurred due to the antropogenic effects. The Ca^{+2} , Na^+ , Cl^- and SO_4^{-2} concentrations increase in the streams of the northern part of the Sapanca Basin. High concentrations of chlorine is perhaps due to the industrial and urban wastes in the Fındık Stream and due to fertilized fields and the agricultural pesticides in the Koca Stream (Figure).

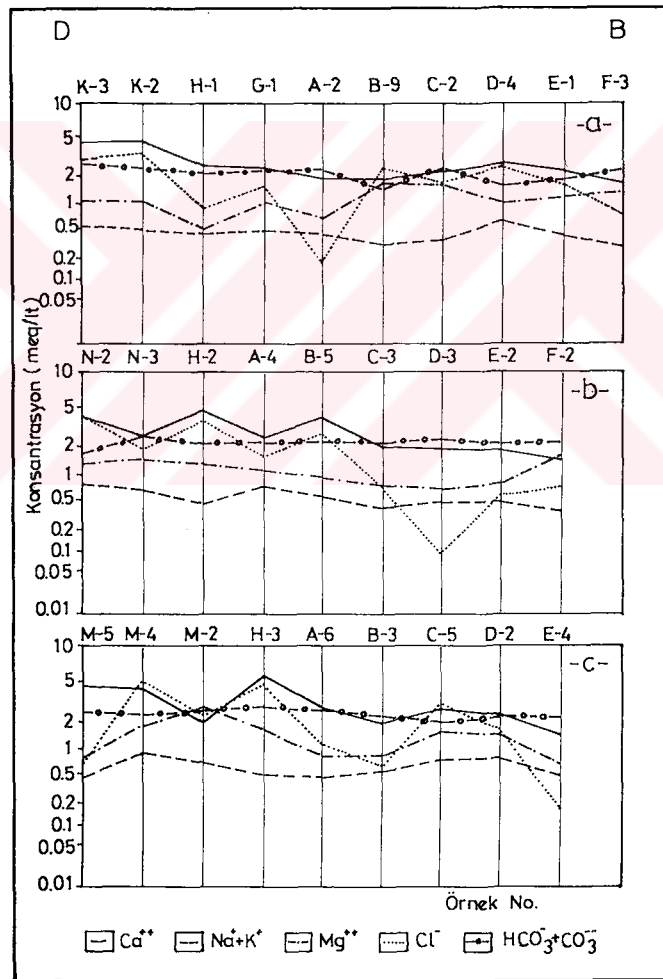


FIGURE: The ion exchanges of Sapanca Lake Water (a. Southern part b. Central part c. Northern part of the Lake).

On the other hand, high concentration of nitrit nitrogen was found in all the streams and lake water. This is due to the fertilized fields and the industrial and urban wastes.

No heavy metal concentrations were found in the Sapanca Lake and the stream waters, however, such metals were found in the deep sediments.

A number of chemical classification criteria published by Salin, Piper, Schaeller were used in this study. The results are shown below,

1. The Lake water is classified as "low hardened water"

2. The total amount of the solved ions in the water is lower than 1000 mg/lit. So that these waters are classified as "fresh water".

3. According to Sulin; $qNa/qCl < 1$. So that the lake water is classified as "the magnesium chlorine type". But in the northern part of the lake, qNa/qCl is higher than 1. So that the lake water in this region is classified as "the calcium chlorine type".

4. According to Schoeller diagrams, the lake water is classified as "very quality water". On the other hand, $rSO_4^{-2} < rCa^{+2}$ values show that the lake water is not saturated with sulphate.

5. The lake water is classified as "mixed water" according to Piper diagrams.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi göller, fiziksel ve kimyasal maddelerin çoğunu bünyelerinde tutan ortamlar olmaları nedeniyle gerek litolojik gereksede antropojenik kirlenmelere açıktır. Sapanca Gölü kendi doğal yapısı nedeniyle çeşitli amaçlarla kullanılan bir göldür. Bu çalışmada Sapanca Göl suyu ve dere sularının jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesinin yanısıra, dip sedimanlarının mineralojik ve kimyasal açıdan incelenmesi ve kirlilik kaynaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Su jeokimyası çalışmalarında bilinen klasik analiz yöntemleri kullanılarak göl suyu ve derelerin kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle göl suyunun kirlenmesine neden olan etkilerin hangi kaynaklarla ve ne şekilde olduğu saptanmıştır.

Sapanca Gölü dip sedimanlarında tane boyu analizleri yapılarak sedimanların göl ortamına ne şekilde taşındığı ve göl dibindeki dağılımlarının nasıl olduğu belirlenmiştir. Kimyasal analizler sonucunda sedimanlarının bünyesinde zenginleşen ağır metal konsantrasyonlarına neden olan etkiler saptanmıştır. Bu parametrelerle ilişki kurmak amacıyla dip sedimanların mineralojisi ve bileşenlerin oranları saptanmış ve ağır metallerin kil boyutlu sedimanlardaki konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla kil fraksiyon çözümlemeleri yapılarak tane boyu ile metal konsantrasyonları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

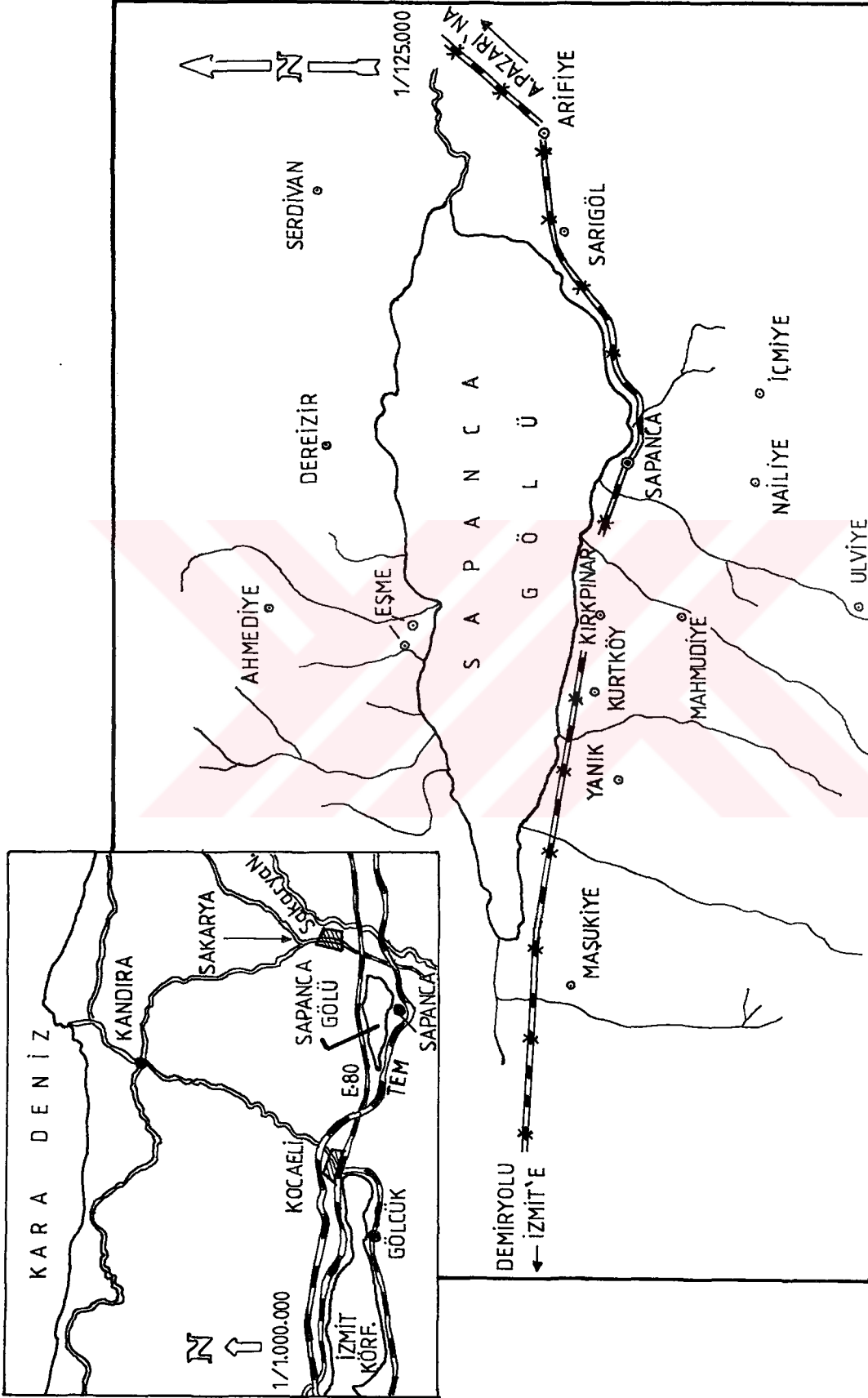
Elde edilen bu verilerden hareketle Sapanca Gölü havzasında yeralan ve değişik litolojilerden derlenen kaya birimlerinin kimyasal analizleri yapılarak kaya-su-sediman arasındaki ilişkiler saptanmıştır.

1.1. ÇALIŞMA ALANI

1.1.1. Coğrafi Durum

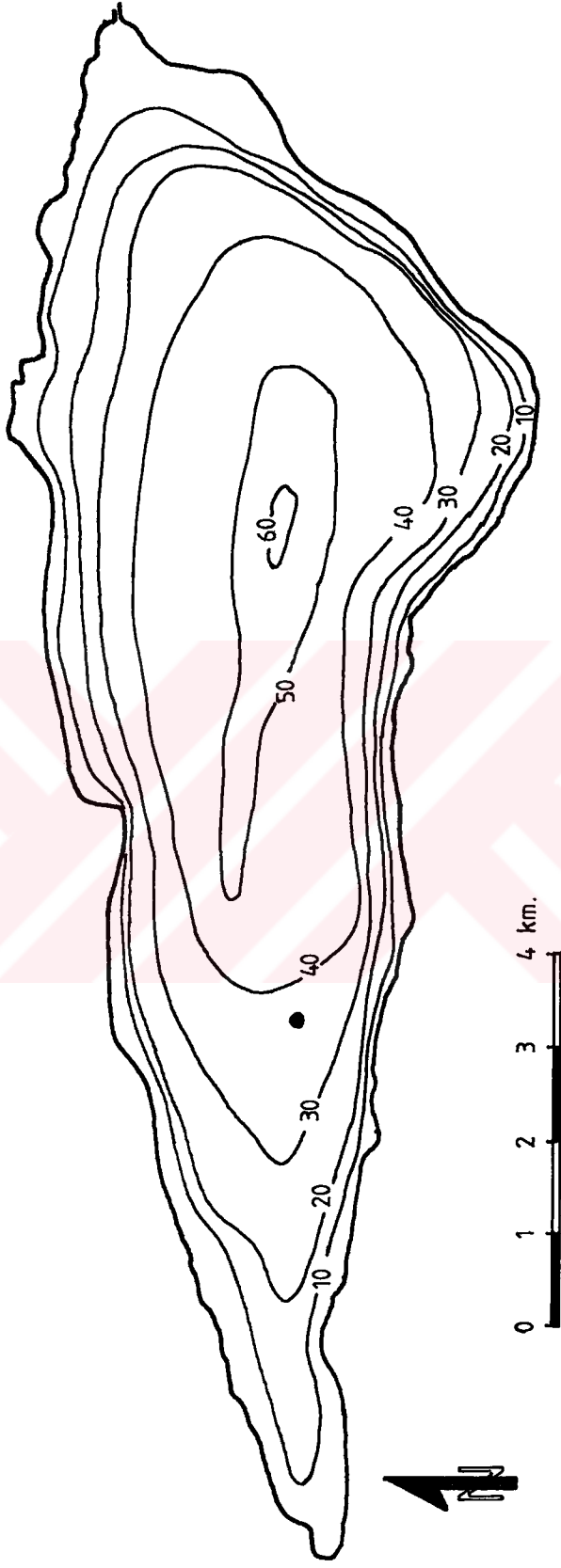
Çalışma alanı, Sapanca Gölü ve onu besleyen dereleri de içerisine alan kuzey ve güney havzalarıdır. Sapanca Gölü, Marmara Bölgesinde, batıda İzmit Körfezi, doğuda Adapazarı Ovası ile çevrili olup, bir kısmı Kocaeli, diğer kısmı Sakarya il sınırları içerisinde kalacak şekilde 1/25.000 ölçekli "Adapazarı G24 d2 ve c1 paftalarında yer alır (Şekil 1.1). Deniz seviyesinden 30 m. yükseklikte, elips görünümlü alüvyon baraj, tatlı su gölüdür. Gölün doğu-batı eksenindeki uzunluğu 17 km.'yi, kuzey-güney eksenindeki genişliği ise 5.5 km.'yi bulur ve alanı yaklaşık 47 km²'dir (ERİNÇ, 1949). Yine, Erinç (1949) göl çanağını tersine çevrilmiş ve tepesi kesik piramit olarak verir ve göl morfolojisinde (Şekil 1.2) en derin zonun, gölün uzun eksenine uyumlu olduğunu saptamıştır. Göl başlıca beslenmesini güneydeki Samanlı Dağlarından çıkan derelerden alır ve fazla suyunu doğudaki Çark Suyu vasıtasıyla Sakarya Nehri'ne boşaltır. Doğuda daha geniş, batıda ise daha dar bir alanda ışı ve bataklık özelliğindedir. Tüm kıyı uzunluğu 39 km olan Sapanca Gölü, Kocaeli sınırından başlamak üzere, güneyde Yanıkköy, Acısu, Maşukiye, Kurtköy, Kırkpınar, Mahmudiye, Sapanca, Uzunkum, Arifiye ve Serdivan, kuzeyde ise Yeni Eşme, Eski Eşme, Uzuntarla, Yukarıdere, Aşağıdere, Kırçalı yerleşim birimleri ile çevrilmiştir. Bunlardan gölün hemen güneyinde yer alan ve Gazipaşa, Velioğlu, Yeniköy gibi mahalleleri olan Sapanca ilçesi en önemli yerleşim birimidir.

Sapanca Gölü havzasının güneyinden doğu-batı istikametli ve yüksekliği doğuya doğru azalan tepeler dizisi bulunur (Şekil 1.3. ve 1.4). Güney kesimde; 4.300 m yüksekliğe ulaşan Samanlı Dağları en yüksek noktalar olup, göle yakın kesimlerde Kel Tepe (1600 m.), Çamlı Tepe (1300 m.), Mahmudiye Tepe (1180 m.), Soğuksu Tepe (856 m.) ve Çan Tepe (674 m.) önemli yükseltilerdir. Ortalama 600 m. yükseltisinden itibaren toplu veya gruplar halinde iyi nitelikte orman alanları bulunmakla birlikte daha alçak kesimlerde orman tahrip olmuş ve yerini maki grubu topluluklara bırakmıştır. Gölün kuzeyinde ise orman özelliğini yitirmiş, düşük verimli ağaç gruplarının yer aldığı az yüksek topoğrafya hakimdir (Şekil 1.5 ve 1.6). Taş Tepe (410 m.), Kıрма Tepe (350 m.), Kocapınar Tepe (246 m.) ve Pirinçlik Tepe (308 m.)

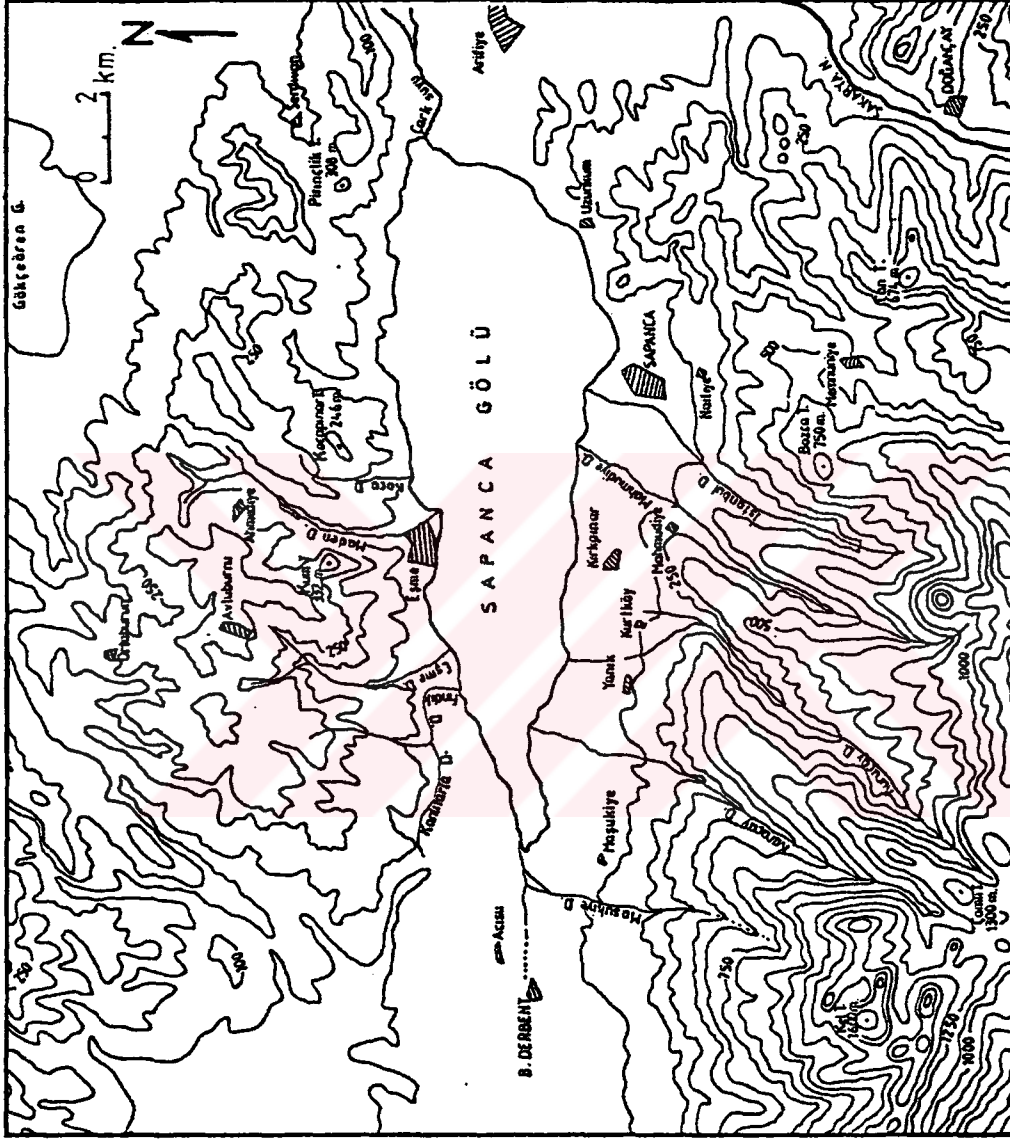


Şekil 1.1. Çalışma Alanı Bulduru Haritası

SAPANCA GÖLÜ DERİNLİK HARİTASI



Şekil 1.2. Sapanca Gölü Derinlik Haritası (Erinç, 1949).



Şekil 1.3. Çalışma Alanı Fizyografya Haritası

belli başlı yüksekliklerdir. Göl, batıda 20-50 m. kotları arasındaki düzlükler ve doğuda da yaklaşık 50 m. kotundaki Sakarya Nehri ve Çark Suyu (Şekil 1.7) ile sınırlıdır. Sapanca Gölü, başlıcaları güneyde olmak üzere hem kuzey hem de güneyde yeralan, çoğu yüksek akış rejimine sahip, bir kısmı da yazları kuruyan akarsularla beslenmektedir (Şekil 1.3).

İklim, ulaşım kolaylığı ve doğal yapısının uygunluğu nedeniyle Sapanca Gölü havzası tarım, sanayi ve kentsel yapılaşmaya uygun bir ortam olmuştur. Dolayısıyla, atıklar ile gölün kirlenmesine neden olan çok sayıda sanayi ve ticari kuruluşlar ile büyük yerleşim alanları kurulmuştur. Güneyde Maşukiye mevkiinde Onduline Yapı Malzemeleri A.Ş., Kırkpınar mevkiinde İstanbul Segman Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Isı Metal Sanayi, kuzeyde Eşme köyü yakınlarında Güneri Gıda Sanayi A.Ş. ve Motif Duvar Kağıtları Üretim ve Pazarlama A.Ş. gibi büyük sanayi kuruluşları yer almaktadır. Bunların dışında göl kıyısındaki birçok lokanta, otel, özellikle gölün kuzeyinde Kanlıtarla ve Eşme dere civarında yer alan Mobil benzin istasyonları ile Petkim ve Seka pompaj istasyonları da küçük sanayi tesislerini oluşturmaktadır.

Bölgede en zengin tarımsal faaliyet Adapazarı ovasında yapılmaktadır. Göl havzasındaki yerleşim birimlerinde daha küçük çapta, ancak ekonomik açıdan önemli tarımsal üretim yapılmaktadır. Zengin bir meyve potansiyeline sahip olan bölgede su ürünleri de ekonomik açıdan büyük bir önem taşımaktadır. Sapanca gölü, çeşitli türde balıkların yaşadığı zengin bir canlı faunasına sahiptir. Ancak, çevre halkının ticaret ve tarımla uğraşması, balıkçılıkla geçimini sağlayanların sayısının azlığı, balıkçılığın gelişmesini engellemektedir. Balıkçılık açısından çok elverişli olan gölde, daha çok sazlıkların bulunduğu kıyı kesimler balıkların üremeleri için uygun bir ortam oluşturmuştur. Avlanmanın az olması nedeniyle, oldukça iri sazan balıklarına rastlanmaktadır. Bölgede Sapanca Balık Üretim ve İslah İstasyonu balık üretimi için çalışmalar yapmaktadır.

Bölgeye ulaşım oldukça kolay olup hem karayolu, hem de demiryolu mevcuttur. Sapanca ilçesi Haydarpaşa-Ankara demiryolu üzerindedir. İstanbul-Ankara devlet karayolu uzun yıllar Sapanca ilçesinden geçmiş, daha sonra gölün kuzeyinden E-5 yolu geçirilmiştir. Bu yol ile İstanbul'dan göl bölgesine yaklaşık 120 km. sonra ulaşılır. İstanbul-Sakarya il merkezi arası 135 km. ve Kocaeli-Sakarya arası ise 41 km.'dir. Çalışma alanının güney kesimlerine olan ulaşım ise demiryolu haricinde İstanbul-Ankara TEM otoyolu ile mümkündür.

Bu ana yolların dışında tüm sahada YSE tarafından açılmış orman ve köy yolları mevcuttur. Ancak, özellikle kış aylarında bu stabilize yollardan faydalanmak güçleşmektedir.

1.1.2. İklim

Bölge, yazları sıcak ve kurak, kışları serin ve yağışlı, karasal iklime sahiptir. Bu nedenle yağışın ve göle giren akışın minimum olduğu ve dolayısıyla göl kirliliğinin en kritik olduğu dönem Temmuz-Ağustos aylarıdır.

Bölgede meteoroloji istasyonlarının çok olması nedeniyle iklim hakkında oldukça uzun zaman dilimlerine ait bilgiler bulmak mümkündür. Muhtelif istasyonlarda tespit edilen ve istatistiksel olarak hesaplanmış aylık yağış değerleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Sapanca Gölü Havzasında Ölçülen Yağış Değer Ortalamaları (DSİ, 1984)

AYLAR	ORTALAMA YAĞIŞ DEĞERLERİ (mm)
Ocak	95.9
Şubat	85.7
Mart	78.5
Nisan	59.8
Mayıs	48.6
Haziran	57.3
Temmuz	48.6
Ağustos	45.0
Eylül	72.4
Ekim	84.3
Kasım	90.7
Aralık	113.0
Yıllık Ortalama Değer : 73.3	



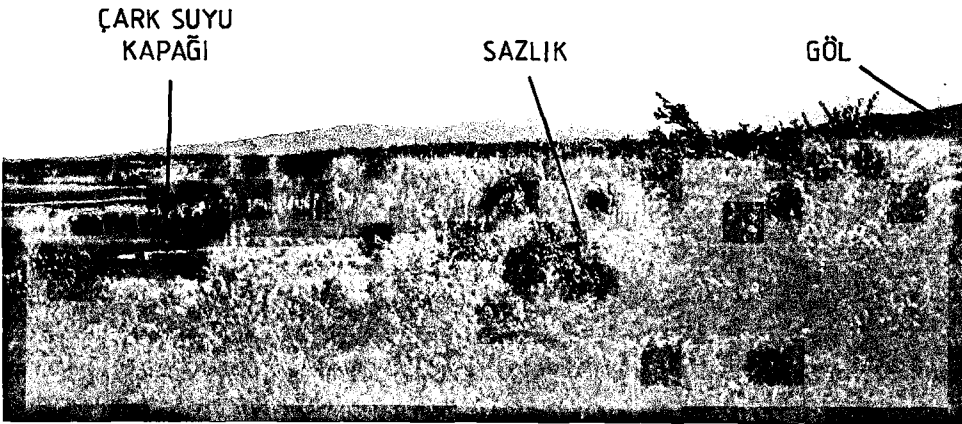
Şekil 1.4. Sapanca Gölü ve Güneyindeki Topoğrafyanın Genel Görünümü



Şekil 1.5. Sapanca Gölü ve Havzasının Güneybatıdan Görünümü



Şekil 1.6. Sapanca Gölü Doğu Ucu ve Kuzey Kesim Topoğrafyasının Görünümü



Şekil 1.7. Sapanca Gölü Kuzeydoğu Ucunda Çark Suyu'na Boşalım Noktası

Gözlem sonuçlarından Ekim'den Mayıs ayına kadar olan sürede yağışın 2 günde bir yağmur şeklinde olduğu, senenin ortalama 20 günü görülen kar yağışının azami 90 cm. kalınlığa eriştiği anlaşılmaktadır. Gerek yağmurun şiddetli yağması gerekse de kar suyunun erimesi neticesinde yüzey akışının artması bölgede toprak erozyonlarına neden olmaktadır.

Sapanca Gölü Havzasında ölçülen ortalama yıllık sıcaklık 13.5°C olup, Ocak ayında sıcaklık ortalaması $0-6^{\circ}\text{C}$, Temmuz ayının ortalaması ise 29°C dir.

1.1.3. Hidroloji

249 km^2 lik drenaj alanına sahip Sapanca Gölü, Çark Suyu üzerine inşa edilerek 1970 yılında işletmeye başlatılan ve belirli aralıklarla açılan Çark suyu kapaklı regülatörü ile Sakarya nehrine boşalmaktadır. Regülatörün eşik kotu 29.90 m. olup, halen içme, kullanma ve endüstri suyu temini için devamlı su çekilmesi nedeniyle kullanılabilir maksimum su kotu 31.50 m. olarak belirlenmiştir. Gölün bu kottaki ortalama su tutma hacmi $112 \times 10^7\text{ m}^3$ tür (DSİ, 1984).

Göl Havzasının güney kesiminde yeralan dik yataklı ve ani taşkınlara neden olabilecek, çoğu yüksek akış rejimine sahip Keçi, İstanbul, Mahmudiye, Koca, Yanık, Karaçay, Maşukiye, Balıkhane dereleri ile kuzeydeki Fındık, Kanlıtarla, Eşme, Maden, Kuru dereleri gölü besleyen derelerdir. Yüksek akış rejimine sahip derelerin kaba taneli sedimentleri taşınması nedeniyle bu dereler üzerinde, göl yatağının dolmasını önlemek amacıyla, DSİ tarafından tersip bentleri yapılmıştır. Bu derelerden başka göl içerisinde mevcut olan kaynaklar da gölü devamlı olarak beslemektedirler. Bölgede DSİ ve EİE tarafından açılan gözlem istasyonları ile gölün su seviyesi değişimi ve akımı denetlenebilmektedir.

1.2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Bu çalışma, Sapanca Göl suyu ile gölü besleyen derelerin hidrojeokimyasal ve dip sedimanlarının mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi amacına yönelik olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla su ve

sedimanların incelenmesi arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarının bazılarına ait detay metodoloji ilgili bölümlerde verilmiştir.

1.2.1. Saha Çalışmaları

Saha çalışmalarında örnekleme noktaları, yerleşim ve sanayi tesisleri ile bunların atıklarının boşaltım yerleri, göle karışan akarsu ve derelerin konumları, örnekleme noktasına ulaşılabilirlik v.b. gibi faktörlerin gözönünde tutulmasıyla saptanmıştır. Amaca uygun olarak numune alımı 1992-1993 yılları yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Göl üzerinden su numunesi alımı kişisel olarak geliştirdiğimiz su alma aleti kullanılarak, dip numunesi alımı da Maden Yatakları - Jeokimya Anabilimdalı (İTÜ)'nın göl çalışmalarında kullanılmak üzere özel olarak yaptırdığı, daldırma kepçesi ile ve motorlu su aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Gölde oluşturulan yatay ve dikey kesitlerde (Ek-2) su örneklerinin alımı, 5-15-30 m. derinliklerde, bazı kesitler için 500 m. bazı kesitlerde de 1000 m. aralıklı olmak üzere gerçekleştirilmiştir (108 adet örnek). Sapanca Gölü havzasında yeralan ve bu göle dökülmeleri nedeniyle, gölün kompozisyonu üzerinde etkileri olan derelerde (11 adet) kaynaktan-dökülme noktasına kadar, sistematik olarak 45 adet örnek derlenmiştir. Bu örneklerle de göl suyundan alınan örneklerle uygulanan analizler uygulanmıştır. Bu amaçla tüm su numuneleri 0.6 lt'lik polietilen şişelerde depolanarak saklanmıştır. Sıcaklık, pH, iletkenlik ve çözünmüş oksijen gibi fiziksel parametre ölçümleri; standart tampon çözeltilerle standardizasyonu yapılmış ve referans elektrotlarla donatılmış olan, WTW-pH 96 ve WTW-OXI 96 tip portatif cihazla, iletkenlik ölçümleri de yine pille donatılmış ve portatif olarak taşınabilen WTW-LF 92 tip konduktivite cihazı kullanılarak arazide gerçekleştirilmiştir.

Çökelme ortamlarına taşınan ve nitelikleri topografik, hidrolojik ve biyolojik değişimlerin farklılığından kaynaklanan dip çökellerinin tür ve dağılımlarını ortaya koyabilmek amacıyla, göl dibinden kepçe örnekleyicisi kullanarak, göl suyu örneklemesine paralellik teşkil edecek kesitlerden ve çeşitli derinliklerdeki göl tabanından 33 adet yüzeysel dip çökel numunesi alınmıştır (Ek A).

Ayrıca, Sapanca Gölü çevresinde jeolojik yapının değişken olması nedeniyle, derelerin farklı kaya birimlerini katederek göle ulaşmış olmaları sonucu, su kimyasında değişimler olabileceği düşünülerek, göl çevresindeki kaya birimlerinden derlenen örneklerin 13 tanesinde kimyasal analizler yapılmıştır (Ek A).

1.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

1.2.2.1. Kimyasal Analizler

Su ve sediman örneklerinin majör ve minör elementlerinin tayini için uygulanan komple kimyasal analiz yöntemleri literatürde çok farklıdır. Bu prosedürler bazı çalışmacılar için ekonomikken, bazılarına göre yararlı değildir. Örneğin, ROSSMANN (1973) sedimentler için asid-peroksit ekstraksiyonunu kullanırken, bazıları emisyon spektrometre tekniklerini (DEGENS and KULBICKI, 1973) veya HF-HNO₃-HCl kullanılarak yapılan klasik spektrometrik analizlerini (TWENHOFEL, 1933) ve atomik absorpsiyon analizlerini (BORTLESON, 1970) kullanırlar.

Bu çalışmadaki göl ve derelerden alınan su örnekleri ile sediman ve kayaların kimyasal analizleri, klasik spektrometrik yöntemler doğrultusunda; TARAS, M.J: (1971)'nin editörlüğünü yaptığı, su ve atıksuların kimyasal analizleri için uygulanan metodların yer aldığı "Standart Methods"daki yöntemlerden, ASTM'nin önerdiği standart metodlardan ve BÜRKÜT (1986)'ün önerdiği yöntemlerden faydalanılarak ve en uygun yöntemler seçilerek yapılmıştır. Bu analizler İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Yatakları - Jeokimya Anabilim Dalı Laboratuvarlarında ve İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, Üretim Metalurjisi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Analizler için, Rank Hilger H-1550 Atomik spektrometre, Eppendorf-7000 Flam fotometre, Metrohom E-1009 spektrofotometre ve Metrohom Dosimat E-535, E-549 titrasyon cihazı kullanılmıştır. Dip sedimanlarının iz element analizleri, ayrıca ACME (Kanada) Laboratuvarında ICP yöntemi kullanılarak yaptırılmıştır.

1.2.2.2. X-Işınları Difraksiyon İncelemeleri

Alınan dip çökellerinin bir kısmı 105 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutulmuş, daha sonra Bölüm 3'de ayrıntılı olarak verilen X-ışınları Difraksiyon yöntemi ile mineralojik bileşimleri saptanmıştır. Ayrıca, ileride verilecek olan kil fraksiyon yöntemi ile 2 μ altına indirilen kil boyutlu malzemelerde, X-ışınları difraksiyon yöntemi ile kil fraksiyonu çözümlemelerine tabi tutulmuşlardır. Analizler M.T.A. Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri Teknoloji Dairesi, X-Işınları Laboratuvarlarında ve İ.T.Ü. Kimya - Metalurji Fakültesi, Malzeme Anabilimdalı Laboratuvarlarında Philips Difraktometre, $\text{CuK}\alpha$ radyasyon Ni filtre kullanılarak, farklı çekim hızı ve duyarlıklarda gerçekleştirilmiştir.

Kil boyutlu sedimanlarda XRD çekimleri, üç farklı standart ve şartta uygulanmıştır. Kil fraksiyonu ile 2 μ altına indirilen örnekler, normal şartlarda, etilen glikol ile muamele edildikten ve 300°C'de 1 saat fırınlandıktan sonra X-ışınları difraktogramları alınarak kil mineralleri saptanmıştır.

1.2.2.3. Kil Fraksiyon Yöntemi

Bu yöntemde çalışmalar, kurutulmuş ve öğütülmüş 10 gr. dip çökel numunesi ile sürdürülmüştür. Ayırım işleminden önce, karbonat ve organik malzemenin ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu amaçla örnekler pH'ı 5'e ayarlanmış sodyum asetat ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ile süspansiyon haline getirilmiş ve dağılımın üniform olabilmesi için 1 gece bekletilmiştir. Bu süspansiyon, çözeltide bulunması muhtemel organik maddeler nedeniyle, %30'luk H_2O_2 çözeltisi ile muamele edilmiş, böylelikle, organik maddenin oksitlenerek ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra karıştırıcıda 10-20 dak. karıştırılan çözelti, santrifüj tüplerine aktararak 2500 devir/dakika ile 2 dak.40 sn. çökmesi sağlanmıştır. Santrifüj tüplerindeki, numunenin üzerinde kalan malzeme başka bir behere aktarılmış ve çözelti bitene dek bu işlemler sürdürülmüştür. Yıkama işlemi denilen işlem, beherin üstünde kalan sıvı berrak hale gelene dek sürdürülerek 2 μ altındaki kil minerallerinin ayrılması sağlanmıştır.

1.2.2.4. Tane Boyu Analizleri

Dip çamurlarından kimyasal analiz, kil fraksiyonu ve XRD için ayrılan örneklerin dışında kalan numuneler tane boyu dağılımının saptanması amacıyla ayrılmıştır. Bu örneklerde, Bölüm 4'te ayrıntılı olarak verilen, elek ve pipet yöntemi (FOLK, 1974) ve Hidrometre Analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bulunan sonuçlarla, Sapanca Gölü dip sedimanları, FOLK (1974) ve SHEPARD (1954) sınıflamalarına göre isimlendirilmiştir. Elek ve pipet yöntemi Çubuklu, D.K.K. Seyir ve Oşinografi Daire Başkanlığı Laboratuvarlarında, Hidrometre analizi ise İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

1.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sapanca Gölü, konum itibarı ile Kocaeli ve Sakarya il bölgelerinde yer aldığından ve gölün Kuzey Anadolu Fay zonunun içinde bulunmasından dolayı, gerek jeolojik ve jeoteknik gerekse de maden jeolojisi açısından önem kazanmıştır. Özellikle de Sapanca Gölünün güney kesimi ile doğusunda kalan ve Sakarya Nehri'ni de içine alan Orta Sakarya ve batısındaki Kocaeli Yarımadası, çeşitli araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Ayrıca, nüfus artışına paralel olarak artan su ihtiyacının, günümüzde çok önemli boyutlara ulaşması ve gölün yapısı itibarı ile suyun henüz kirlenmemiş olması nedeniyle, çeşitli araştırmacılar tarafından korunması ve daha iyi hale getirilmesi amacıyla çalışılmıştır.

Bu bölümde, daha önce yapılan çalışmalar, iki başlık altında sunulmuştur.

1.3.1. Bölge Jeolojisi ile İlgili Çalışmalar

Sapanca Gölü ile ilgili en eski çalışma RISCH, (1909) tarafından yapılmıştır. "Der Sabandjasee und seine Umgebung-Sapanca Gölü ve Çevresi" isimli çalışmasında, Sapanca Gölü ve Kocaeli yarımadasının güneyinde D-B doğrultusunda ve doğudan batıya doğru eğimli bir grabenin varlığından söz etmiş, bu grabenin oluşumundan sonra çevre dağlardan akarsularla taşınan materyallerin Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi'ne bırakıldığını ve Sapanca

Gölünün bir zamanlar deniz olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Sapanca Gölüne akarsular tarafından taşınan çakılları inceleyerek, Keltepe'nin çekirdeğinin mikaşist, klorit şist, kristalen kalker ve kuvarsit gibi eski kayalardan oluştuğunu, bu çekirdeğin kendisinden daha genç ve fosilsiz olan marnlı kumlarla temsil edilen bir örtüye sahip olduğunu kaydetmiştir.

SALINET (1913), Sapanca Gölü'nün güneyinde, 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yaparak, bölgeyi jeokimyasal olarak incelemiştir. Yaptığı jeokimyasal çalışmada, bölgeyi iki kısma ayırmış, birinci kısımda çinkonun daha yaygın olduğunu ve kayaların %49 Zn, %3 Pb, %0.12 S içerdiğini, ikinci kısımdaki prospeksiyon alanında ise Fe'nin daha fazla dağılım gösterdiğini ve %64.54 Fe, %0.21 Mn, %0.05 P içeren kayalardan ibaret olduğunu söylemiştir.

WIJKERSLOOTH (1939-1940), Bilecik'ten Sakarya (Adapazarı) Soğanlı dağlarına kadar olan bölgede maden jeolojisi çalışmaları yapmış ve daha sonra Alaçamdere oluşumları adı altında bir rapor derlemiştir.

BAYKAL (1940) Kandıra ve Adapazarı bölgesinde yaptığı jeolojik çalışmada, bölgenin stratigrafik olarak, Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer Formasyonları ile dere ve nehir yataklarındaki alüvyonlarını ayırtlamıştır. Ayrıca, paleontolojik çalışmalar da yapmıştır. Baykal'a göre, Sakarya'dan itibaren batıya doğru gidildikçe Kretase formasyonunun kalınlığı muntazam olarak artmakta, gölün kuzeyindeki sahilde Kretase tabakaları dikey bir fayla kesilmektedir. Adapazarı ve Kandıra bölgesinde Neojen'e rastlanılmadığını ancak, Karadeniz civarlarında kuvars, kuvarsit, killi şist, andezit çakıllarını ihtiva eden Neojen çökellerinin olduğunu söylemektedir. Yine çalışmacı, Sapanca Gölü'nün kuzeyindeki Eşme köyü civarında Kuvaterner yaşlı tüflerden bahsetmektedir. Adapazarı ovasındaki alüvyonların iri elemanlı, Eşme'deki çökellerin ise daha ince taneli olmasını, bu bölgelerin Sapanca Gölü'nün eski bir taraçası olmasına bağlamaktadır. Ayrıca bu çalışmada, bölgenin Hersinyen ve Alp Orojenezlerinin etkisinde kaldığını, bölgedeki yükseltilerin Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer'de gelişen 3 erüpsiyon safhasından geçtiğini belirtmektedir.

LAHN (1948), "Türkiye Göllerinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Etüd" adlı çalışmada, Türkiye'deki gölleri sınıflandırarak, oluşumları hakkında bilgiler vermiştir. Sapanca Gölü'nü alüvyal baraj gölleri sınıfı içinde değerlendiren çalışmacı, eski zamanlarda Sapanca Gölünün İzmit Körfezi'ne

kadar uzandığını ve Sakarya Nehri'nin de bu körfeze aktığını, sellerin getirdiği alüvyonlarla gölün İzmit körfezinden ve Sakarya Nehrinden ayrılarak, deniz seviyesinden 30 m. yükseldiğini ve bugünkü şeklini aldığını söylemiştir.

AKARTUNA (1968), Armutlu yarımadası ile İzmit Mekeci yolunun güneyinde kalan sahayı etüd etmiştir. Oldukça geniş bir sahayı içine alan çalışmasında, jeolojik birimleri ayrıntılı olarak çalışmış, temelde Permokarbonifer veya Devoniyen yaşlı kristalen şistlerin altında yeralan seprantinitlerin, metamorfik kayaların sedimantasyonları sırasında ultrabazik magma faaliyetleri ile oluştuğunu ve daha sonraki tektonik hareketlerle bugünkü şeklini aldığını ve bu şistlerin üzerinde Permokarbonifer, Mesozoyik yaşlı birimlerle, Senozoyik yaşlı birimlerin bulunduğunu ve denizel çökellerin üzerinde de traverten ve alüvyonların yeraldığını söylemiştir. Ayrıca incelemelerinde, sahanın jeolojik olarak oluşumunda bazen kara haline gelen sahanın, bazen denizlerle bazen de acı ve tatlı sularla kısmen veya tamamen örtüldüğü sonucuna varmıştır.

SARI ve KURT (1975), Adapazarı-Sapanca-Geyve-Akyazı çevresindeki maden prospeksiyonu amaçlı çalışmalarında 394 km²'lik bir alanda metalik ve endüstriyel hammadde oluşumlarını incelemişlerdir. Çalışmalarının başlangıç noktasının bölgede ayırtlanmamış metamorfik birimler içinde Fe ve Mn cevherleşmeleri, ultrabazik birimlerde krom ve manganez oluşumları ile üst Kretase sedimanları ve volkanitlerle genç andezitik kayalar içindeki cevherleşmeler olduğunu söyleyen çalışmacılar, birincil cevherin sedimenter karakterde olduğunu ve daha sonra metamorfizma ve ikincil (sekonder) olaylarla pirolusit ve psilomelan minerallerinin zenginleşerek bugünkü konumunu kazandıklarını saptamışlardır. Ayrıca, Sapanca-Nailiye yöresinde önemli rezervlere sahip talk yatakları ile Sapanca - Şerefiye manyezit oluşumlarından ve Maşukiye bölgesindeki kireçtaşlarının ayrışması, bozuşması sonucunda çok geniş bir alanda yayılım gösteren, 8-10 m. kalınlıkta kırmızı renkli terrarosa şeklinde yığılmış toprakların varlığından bahsetmişlerdir. Bu toprakların %5.80 Fe, %19.16 Al içeriklerinden yararlanılarak, tuğla toprağı olarak işletilebilecek özellikte olduklarını söylemişlerdir.

KETİN (1976) ve ŞENGÖR (1979), Sapanca Gölünü kuzey kolunun iki segmenti arasına alan Kuzey Anadolu Fay Zonunun orta-üst Miyosende oluştuğunu belirtmektedirler.

YILMAZ (1977) ve ŞENGÖR ile YILMAZ (1981), Kuzey Anadolu Fay zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimini çalışmışlar ve Sapanca Gölünün güneyinde Sakarya kıtasına ait kaya birimlerinin varlığını saptamışlardır.

OKAY (1989), "Tectonic units and sutures in the Pontides, Northern Turkey" isimli çalışmasında, Pontidleri Istanca zone, İstanbul zone ve Sakarya zone olmak üzere üç zone ayırmış ve Sapanca ve çevresinin yer aldığı bölgeyi "İstanbul Zone" içinde göstermiştir.

YILMAZ ve diğ. (1994), yaptıkları çalışmada kuzeybatı Anadolu'da Armutlu yarımadası ve Sakarya bölgesinin jeolojik evrimini incelemişler, bölgeyi kuzeyden güneye doğru, Rodop-Pontid fragmanı, İç Pontid Okyanusu ve Sakarya Kıtasına ait birlikler olmak üzere birbirinden farklı tektonik birliklerin bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Sapanca Gölü ve çevresini, bu birlikler içindeki Rodop-Pontid fragmanında göstermişlerdir.

1.3.2. Göl ile İlgili Çalışmalar

ERİNÇ (1949), Sapanca Gölü morfometrisini çalışmış ve derinlik haritasını vermiştir. Çalışmacı, bu haritadan faydalanarak yapmış olduğu hesaplamalar sonucu gölün hacmini 1.7 km^3 olarak vermiş ve yaptığı sondajların (156 adet) hiçbirinde yerlikayaya rastlamadığını rapor etmiştir.

DSİ Umum Müdürlüğünü 1960 yılında Sapanca Gölü Bölgesindeki erozyon ve sel araştırmalarını amaçlayan projelerinde, Sapanca Gölü güneyindeki dağlardan inen Kurt, Mahmudiye, İstanbul, Hamamcı, Kaymacı, Keçi ve Sarp dereleri havzaları ile bunlar arasında kalan alan incelenmiştir. Toprakların erozyonlaşmaya uygunluğunu ortaya çıkarmak amacıyla Sapanca Bölgesinin toprak haritası yapılmış, sedimanların erozyonla ilişkisi, vejetasyon etkinliği araştırılmıştır. Sapanca bölgesinde sel ve toprak erozyonundan meydana gelen zararları;

1. Eğimin fazla olduğu yukarı kısımlarda erozyon, oyulma, mecratıkanıklığı ve rüsubat taşınmasından doğanlar,

2. Eğimin az olduğu yerlerde ise kenar erozyonu, sel tahribi ve rüsubat yığılmasıyla oluşanlar

olarak ikiye ayrıldığını ve toprak erozyonuna bağlı olarak, özellikle de yüksek kesimlerde, bahçe ve tarım sahalarındaki verimli toprakların akıp gitmesi nedeniyle, verimin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Raporda, orman, mera, ziraat arazileri ve mecralarda alınacak tedbirlerle yüzeysel akışın ve erozyonun asgariye indirilmesi, kenar erozyonuna engel olunarak, derelere karışan sedimanların büyük bir kısmının azaltılması gerektiği belirtilmiş ve uygun yerlerde kaplama duvarları yapılarak, gerekli mühendislik tedbirlerinin alınması önerilmiştir.

DSİ (1965)'te Sapanca Ovası Planlama ve Arazi Tasnifi isimli projede de, bölgedeki erozyona bağlı olarak arazinin ne şekilde kullanılmasının uygun olacağı araştırılarak çeşitli öneriler getirilmiştir. Yine DSİ (1966)'daki raporda da, Sapanca Bölgesindeki Bahçelerin planlanması ve drenaj için yapılması gerekenler araştırılmıştır.

Çevre Müsteşarlığı ile Sakarya Valiliğinin birlikte düzenledikleri ilgili kamu kuruluşları (DSİ, TKİ, Tarım ve Orman Bakanlığı gibi) ve bilimsel kuruluşların (İ.T.Ü., İ.Ü. Su Ürünleri Yüksek Okulu gibi) katılımı ile 26-28 Mayıs 1983'te düzenlenen "SAPANCA 83 Sempozyumu", Sapanca Gölü ve Havzasında karşılaşılan sorunları ve çözümlemelerini geniş kapsamlı olarak ortaya koyan bir toplantıdır. Bu sempozyumda verilen bildiriler toplanarak, çalışmacılara bir kitap halinde sunulmuştur. Bildirilerde, bölgesel olarak göl suyu ve derelerin kirlilik parametreleri, içme suyu olarak kullanılabilirliği, toprak ve su erozyonu açısından incelenmesi, göl çevresinde yapılacak konut, sanayi, ve ulaşım planlama çalışmalarının ne şekilde olacağı, tarımsal faaliyetlerin göl üzerine etkileri, göl havzasındaki bitki örtüsü ve ağaçlandırma çalışmaları, göldeki balık üretme ve ıslahı çalışmaları, gibi konular ele alınarak çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur.

AKA (1983), "Sapanca Gölü Hidrolijisi" raporunda, gölün hidrolojisini çalışmıştır. Raporda, gölün 29.90 m. regülatör eşik kotu ile 31.50 m. su kotu arasındaki $69 \times 10^6 \text{ m}^3$ aktif hacimdeki kullanılabilir veriminin uygunluğu araştırılmış, bu verilerle kot alan, hacim arasındaki ilişkiler incelenerek, çeşitli amaçlar için gölden çekilebilecek maksimum su miktarları saptanmıştır.

"Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması" konulu DSİ (1984) raporunda, göl ve Çark Suyu'ndaki 8 örnekleme noktasından 5 tanesinde, çeşitli derinliklerde olmak üzere toplam 31 örnek alma noktası ile gölü besleyen 10 akarsuyun,

göle en yakın noktalarında bir örnek noktası seçilmiş, bu örneklerde fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik analizler ile, olasılık yüzdelерinin hesaplanması amaçlayan istatistiksel değеrlendirmeler yapılmış, bu veriler su kaynaklarına uygulanan standartlarla karşılaştırılmıştır.

YİĞİT ve MÜFTÜGİL (1984)'de, Sapanca Gölünün su kirliliğini ve nutrient'lerin (besleyici) su kirlenmesi üzerindeki etkilerini ortaya koyan bir rapor hazırlamışlardır. Yaptıkları bu limnolojik çalışmada, göl suyunun içme ve çeşitli amaçlarla (sanayi, tarım gibi) kullanılabilecek nitelikte olduğunu söylemişlerdir.

MORKOÇ ve TUĞRUL (1991), Sapanca Gölünün limnolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, göldeki azot bileşiklerini inceleyerek fosfat derişiminin düşük olduğunu, termoklin tabakasının altında dinamik bir biyolojik sistemin gözleendiğini, Trofik State İndeks (TSI) değеrlerinden gölün oligotrofik özellikte olduklarını saptamışlardır.

SALİHOĞLU (1991), Sapanca Gölü ve havzasında su kalitesinin araştırılmasını amaçlayan proje çalışmasında (DSİ 1984) seçilen su örnekleme istasyon noktalarında, fiziksel, kimyasal, hidrobiyolojik ve mikrobiyolojik ölçümleri yorumlanmıştır. Sonuçta göl ve havzasındaki suların her türlü amaca uygun olarak kullanılabileceğı belirlenmiştir. Ayrıca, göldeki kirlilik düzeyi, tabakalaşma ve alt-üst olma olaylarını ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Çalışmasının sonucunda göl suyunun Sınıf I kalitesinde olduğunu, termoklin tabakasının mevsim ve derinliğe bağılı olarak 8-18 m. arasında değıştığını, ortalama 2 m. derinliğe kadar ışıık geçirgenliğinin %50 olduğunu ve yaklaşık 20 m. derinlikte geçirgenliğin sıfıra düştüğünü saptamıştır. Isı ve ışıık geçirgenliğine bağılı olarak gölde yaşayan fitoplanktonların çoğalma mevsimlerinde oksijen doygunluk yüzdesinin arttığını, özellikle kış aylarında ortamdaki silis miktarının arttığını, azot ve fosfor değеrlerinin ilkbahar ve yaz aylarında azaldığını söylemektedir.

YALÇIN ve SEVİNÇ (1993)'in, "Sapanca Gölüne Besi Maddesi Yüklenmesi ve Gölün Trofik Durumu" isimli çalışmalarında, gölün N ve P miktarlarındaki değışim tayin edilmiştir. Mezotrofik sınıra yaklaşan göl suyunun kirlenmesinin önlenmesi için alınması gereken tedbirleri saptamaya çalışmışlardır.

ERTÜRK (1994), Sapanca Gölünün dip çökellerinde yaptığı mineralojik ve jeokimyasal incelemede, sedimanların düşük toplam organik karbon içeriklerinin oligotrofik göllere özgü sınırlar içinde olduğunu, sedimanların tane boyları dağılımlarının ne şekilde değiştiğini otaya koymuş ve birtakım önlemlerin alınmasıyla, çevre nüfusun göl suyundan içme ve kullanma amaçlı faydalanabileceğini saptamıştır.



BÖLÜM 2. SAPANCA GÖLÜ ÇEVRESİNİN JEOLojİSİ

Sapanca Gölü, batıda İzmit Körfezinden doğuda Düzce ve Gerede'ye kadar uzanan ve bölgesel anlamında Kuzey Anadolu Fay Zonu (Orta-Üst Miyosen; KETİN, 1976; ŞENGÖR, 1979) içersinde kalan bir çöküntüde yeralır. Göl ve daha geniş anlamda bu çöküntü alanının güneyinde Sakarya Kıtası'na (YILMAZ, 1977; ŞENGÖR ve YILMAZ, 1981), kuzeyinde ise İstanbul Zonu'na (OKAY, 1989) ait kaya birimleri bulunur. Sapanca Gölü'nün, batısındaki İzmit Körfezi'nden ve doğusundaki Sakarya Nehri ve Adapazarı Ovası'ndan, göl seviyesinden birkaç metre yükseklikteki alüvyon birikintileri ile ayrılıyor olması; jeolojik olarak yakın bir zamanda İzmit Körfezi'nin, dolayısıyla Marmara Denizi'nin Adapazarı Ovası'na kadar uzanıyor olduğunu gösterir ve muhtemelen Sakarya Nehri'nin Marmara Denizi'ne döküldüğünün göstergesidir (LAHN, 1948). Sapanca Gölü'nün Marmara Denizi'nin bir devamı olduğuna dair önemli bir delil de, tuzlu suda yaşayan faunanın (*Dreissensia polymorpha* pall, *Neritina fluviatilis* L. , Lit. *hoglyphus naticoides* C.FR. cinsi molluskler) tespitidir (RİSCH, 1909). Gölün batısındaki alüvyon birikintisi ise kuzeyden ve güneyden yoğun olarak gelişmiştir ve meydana gelen alüvyon baraj ile gölün İzmit Körfezi'nden ayrılması gerçekleşmiştir.

Tektonik bir çöküntü olan Sapanca Gölü, doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunun iki segmenti arasında yer almaktadır. Kollardan birisi gölün kuzeyinden (hemen su-kara sınırının yaklaşık izi gibi), diğeri gölün hemen yakın güneyinden (Arifiye-Sapanca-Maşukiye hattı) geçmektedir. Sapanca Gölü'nün güney ve kuzey su toplama havzaları iki farklı kıtasal temele (Sakarya Kıtası ve İstanbul Zonu) ait olup, dolayısıyla farklı kaya birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.1 ve Ek A). Güneyde Paleozoyik yaşlı metamorfikler (sişitler, mermerler ve gnays ile kuvarsitler) ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşı ve mermerler ile metaofiyolit topluluğuna ait kayalar (peridotit, gabro, amfibolit, metalav) bulunurken, kuzeyde Üst Kretase-Paleosen yaşlı fliş özelliği gösteren çökeller (kireçtaşı, marn) ve yine fliş özelliğinde Eosen yaşlı birimler (konglomera, kumtaşı, marn, kireçtaşı) yeralır. Neojen'e ait çökeller

gölün güneydoğu ve doğusunda, nihayet Kuvaterner alüvyonlar batı, güneybatı ve doğuda genişçe yüzeylerler. Birimlerin genel özellikleri şu şekildedir.

2.1. PALEOZOYİK

Paleozoyik oluşumlar Sapanca Gölü'nün güney yamaçlarını ve dağlık kesimlerini meydana getiren bölgenin en yaşlı kaya birimleridir. İznik Metamorfikleri olarak tanımlanan (YILMAZ ve diğ., 1990) bu birimler başlıca şistler, mermerler, gnayslar ve kuvarsitlerdir (AKARTUNA, 1968). Topluluk YILMAZ ve diğ., (1990) tarafından; "Taşlık Mermeri", şist ve fillatlardan oluşan "Orhaniye Metapeliti" ve şist, fillat ve mermerlerden oluşan "Tacirköy Formasyonu" olarak ayırtlanmıştır. Bu metamorfik topluluğun metamorfizma derecesi alttan üste doğru azalmakta ve en ileri dereceli metamorfizma, en alt düzeylerdeki, metabazit-metapelitlere ait albit+hornblend+granat ve biotit+albit+kuvars+epidot+granat parajenezleri ile temsil edilmiştir (YILMAZ ve diğ., 1990).

Sapanca Gölü'nün güneyindeki Paleozoyik birimler en yaygın olarak killi şist, grovak, serisit şist, mikalı ve şisti kuvarsit, klorit, klorit şist, kristalen kalker ve mermerlerden müteşekkil seridir ve bunlar gnayslı bir alt seri ile tedrici geçişlidirler (AKARTUNA, 1968). Esasen tüm Armutlu Yarımadasındaki en yaygın yüzeyleyen oluşumlardır. Bu serinin Sapanca Gölü güneyindeki başlıca kayaları serisit şistler, klorit şistler, kalkışistler, şisti kuvarsitler, kristalen kalkerler, mermerler ve az yaygın diyabazlardır. Serisit şistler, başlıca serisit, kil mineralleri ve kuvars içerirler. Sapanca-Memnuniye arasında yaygınlaşan kalkışistlerde ise kalsit ve daha az olarak serisit ve kuvars bulunur (AKARTUNA, 1968). Sapanca Gölü güney havzasının hemen tüm dereleri bu birimlerden kaynaklanır ve bu birimleri katederek göl drenaj alanına ulaşırlar. Balaban Köyü batı ve kuzeyindeki ve Şerefiye Köyü çevresindeki Paleozoyik başlıca gnays ve amfibolşistler olup bu birimlerden kaynaklanıp göle dökülen herhangi bir dere yoktur. Metamorfik serinin en üst kısmını meydana getiren mermerler ve kristalen kalkerler ise şistlerden sonra ikinci yaygın yüzeylemelerdir. Başlıca alanlar Maşukiye ve Yanık Güneyi, İstanbul dere-Balkaya Mevki ve daha güneyde Sağucak Mevki'leridir.

2.2. MESOZOYİK

Mesozoyik birimler, Sapanca Gölü güneyinde YILMAZ ve diğ. (1990) tarafından; çörtlü-fosfatlı "Keltepe Mermeri", metalav, gabro, amfibolit ve serpantinitlerden oluşan "Geyve Metamorfikleri" ve yine benzer olarak bloklu fliş özelliğindeki metagrovak, metaşeyl, silttaşı, serpantinit, gabro ve amfibolitlerden oluşan "Akçay Grubu" ve kumtaşı ve silttaşı türü çökelleri içeren "İkisu Formasyonu" olarak verilmektedir.

Gölün kuzey kesimindeki Mesozoyik birimler ise göl alanının kuzeydoğusunda yayılım gösteren (Şekil 2.1) Üst Kretase yaşlı kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı tipinde fliş özelliğindeki çökellerdir. Bu birimleri kateden bir dere bulunmaz.

2.3. SENOZOYİK

Sapanca Gölü'nün kuzey ve kuzeybatısında çok geniş yayımlı Eosen ve dar alandaki Paleosen (üst Kretase-Paleosen) oluşumlar fliş özelliğindeki konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşı ardışıkları ile andezit ve tüflerdir (M.T.A. , 1946; ERTÜRK, 1994). Sarımsı kahve ve yeşil hakim renkli, ince-orta kalınlıkta tabakalıdır. Doğudan batıya doğru sırasıyla Maden Dere, Kuru Dere, Değirmen Dere ve Fındık Dere bu birimleri katederek göle dökülen derelerdir.

AKARTUNA (1968) tarafından Ponsiyen-Pliyosen yaşlı olarak verilen; marn, kil, kumtaşı, konglomera, çakıl ve kum ardışıklı, sarımsı beyaz renkli seviyeler ile kireçtaşı seviyelerinden oluşan Neojen çökeller Sapanca Gölü'nün güneybatısında (Maşukiye Batısı) ve güneydoğusunda (Uzunkum-Yeniköy-Hacımercan-İlimbey) genişçe yüzeylerler. Güneydoğuda sarımsı gri renkli kumtaşları ile yeşilimsi renkte marnlar hakim litolojiyi oluşturur. Maşukiye batısında ise kireçtaşı, kiltası, kumtaşı ve konglomera seviyeleri yaygındır.

Nihayet; çakıl, kum, silt ve kil boyutlu tutturulmamış malzemeden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar Sapanca Gölü'nün güney ve güneybatısı (Sapanca-Kırk-pınar-Yanık) ile doğusunda (Uzunkum-Yeniköy Kuzeyi) geniş alanlarda (Şekil 2.1) ve kuzeyde (Eşme batısı) daha dar alanda yayılım gösterir. Güneydeki birçok dere ve kuzeyde Maden ve Eşme Dereler göle dökülmeden önce bu alüvyon çökelleri de katederler.

BÖLÜM 3. DİP ÇÖKELLERİNİN MİNERALOGİSİ

Sapanca Gölü sediman örneklerindeki mineralojik çalışmalar x-ışınları difraksiyonu ve optik mikroskop incelemeleri olarak iki başlık altında toplanabilir. Çalışma yöntemleri bahsinde (bkz. 1.2) verildiği gibi, özel olarak hazırlanan dip çökel örneklerinden elde edilen ince kesitlerin mineralojik tanımlamaları, tane boyut ve biçim tayinleri optik mikroskopta yapılmıştır. X-ışınları difraksiyonu incelemelerinde ise seçilmiş 12 örnekte "tüm sediman" çekimleri ve yine seçilmiş 4 örnekte "kil fraksiyonu" çekimleri yapılmış, özellikle örneklerdeki bileşen (mineral) miktarlarının oranlaması yoluna gidilmiş ve bu sonuçlar optik mikroskop çalışmalarıyla da ayrıca kontrol edilmiştir.

3.1. X-IŞINLARI DİFRAKSİYONU İNCELEMELERİ

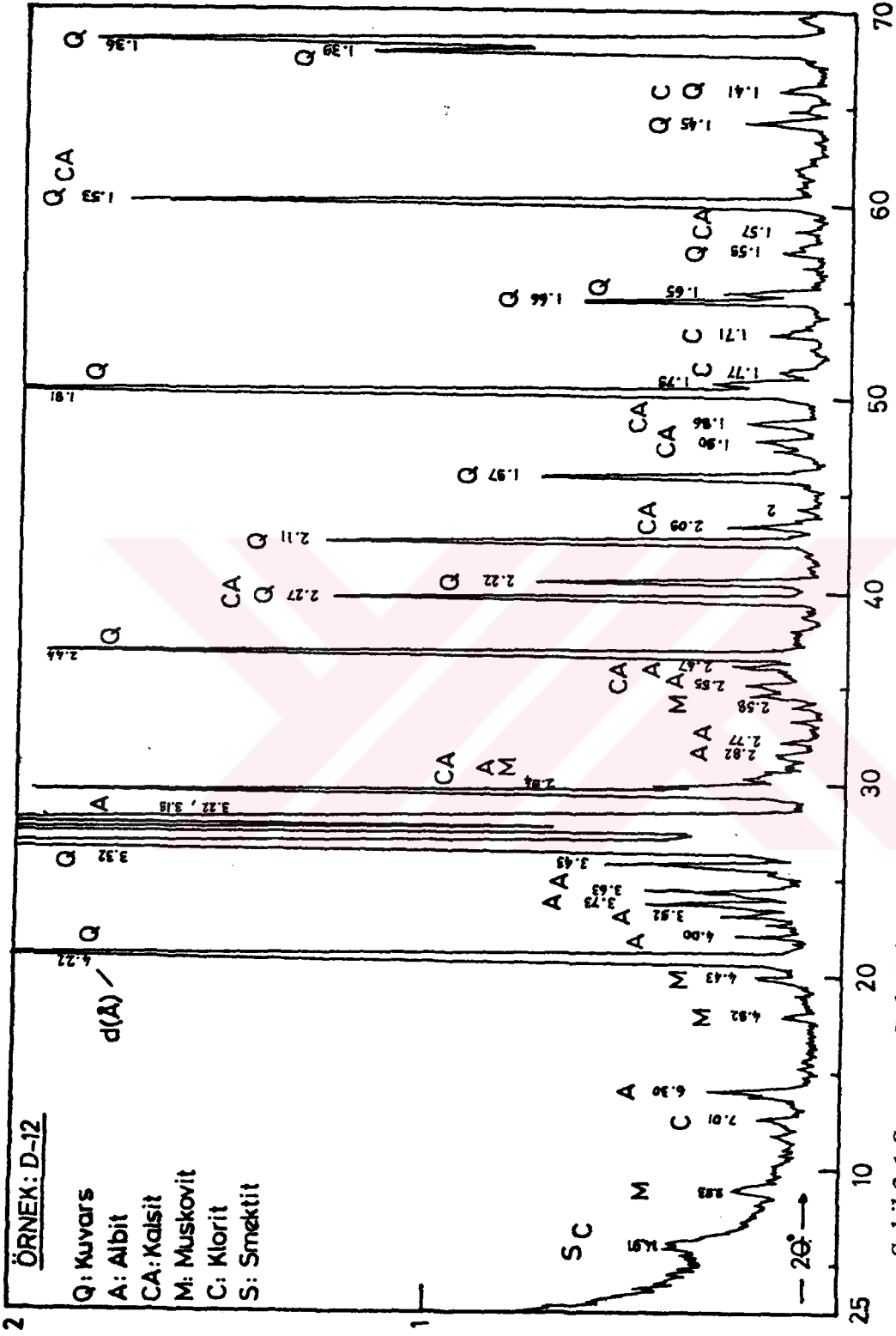
3.1.1. Tüm Sediman Çözümlemeleri

Sapanca Gölü dip çökel örnekleri, birbirlerine göre oranlarında farklılıklar olmasına karşın, homojen bir mineralojik bileşime sahiptirler. Örnekler genelinde belirlenen mineral birliği;

"kuvars + feldspat + kalsit + muskovit + klorit + illit + smektit"

şeklindedir. Bu mineraller çekimleri yapılan tüm örneklerde az veya çok saptanmıştır. Kuvars, feldspat, muskovit ve klorit birçok örnekte ana mineral konumunda, kalsit, illit ve smektit ise birçok örnekte az miktarlarda belirlenen minerallerdir.

Kuvars, difraktogramların tümünde, kendisine ait yansıma çizgilerinin hemen hemen tamamını gösteren başlıca mineraldir (Şekil 3.1). Mesafe değeri, $d = 3.32\text{-}3.33\text{\AA}$ genel aralığında olan en önemli yansıması ile $d = 4.23\text{\AA}$ yaklaşık mesafe değerli yansımasına ait çizgileri her zaman yüksek şiddetli olarak izlenmiştir.

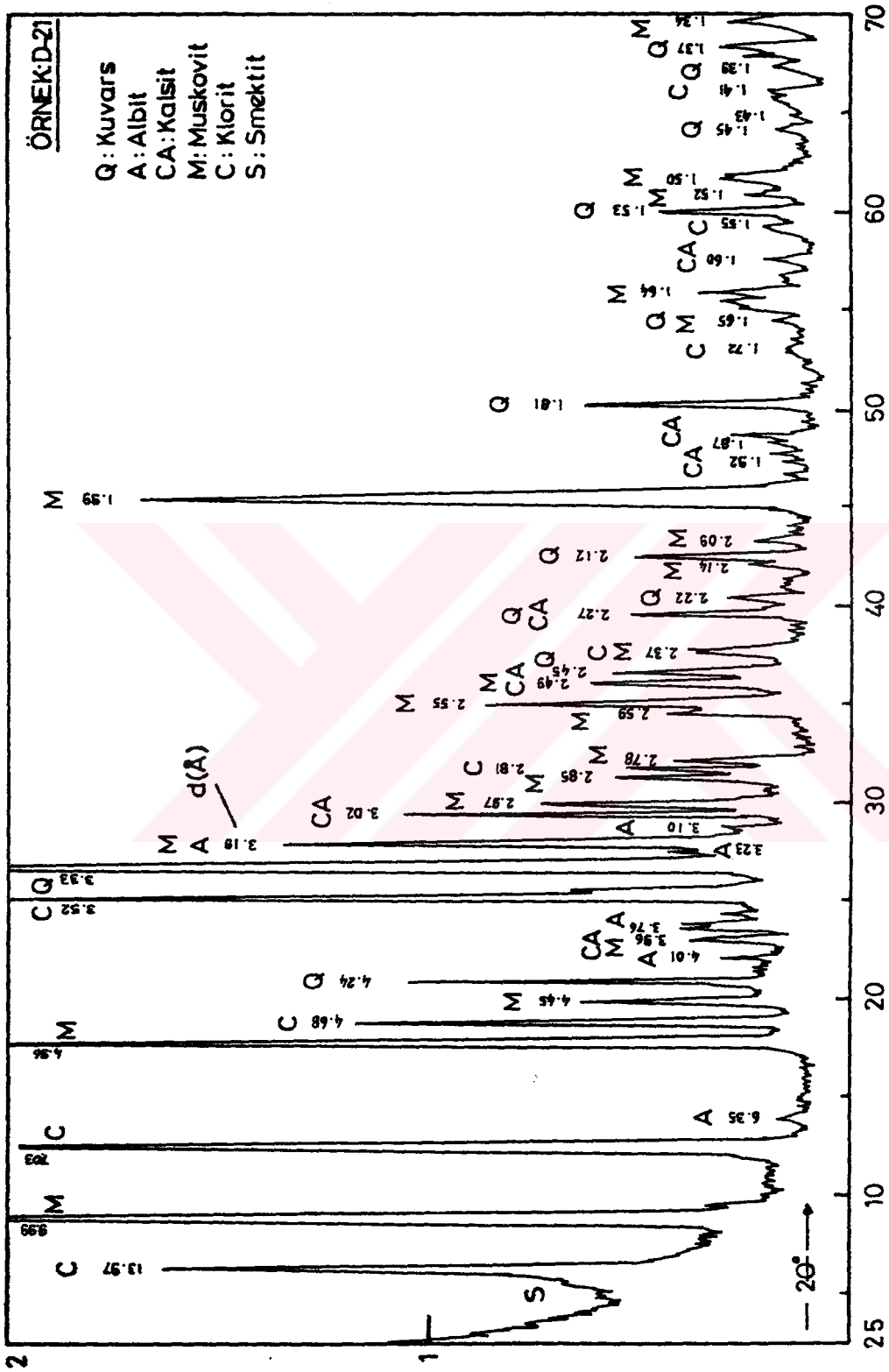


Optik mikroskop incelemelerinde albit ve ortoz olarak saptanan feldspat minerallerini x-ışınları çözümlemelerinde ayırt etmek, özellikle bir çok örnekte azlıklarından dolayı, mümkün olmamıştır. Albit tüm örneklerde hakim feldspat olup, $d=3.19\text{\AA}$ mesafe değerli yansıma çizgisi ayırtedici ve nispeten şiddetlidir. Bu çizginin muskovitle örtme yapması hernekadar zorluk meydana getirir her iki mineralin diğer çizgilerinin konum ve şiddetlerinden hareketle tespit mümkün olabilmektedir. Albite (albit-low) ait çizgilerin büyük bir bölümü şekil 3.1' deki difraktogramda görülmektedir. Ortoza ait çizgiler hiçbir örnekte belirgin değildir. Bu mineralin en şiddetli yansımasının kuvarsla örtme yapması ve/veya mineralin deteksiyon limitine yakın bir azlıkta olması bu belirsizliğin muhtemel nedenleridir.

Kalsit çoğu örnekte az, bazılarında ise çokaz miktarlardadır. $d= 3.02\text{\AA}$ yaklaşık mesafe değerli yansımasına ait çizgi her zaman belirgindir. Bu minerale ait çizgilerin büyük bölümünün izlendiği bir örnek (D-29 no' lu örnek) şekil 3.2' de görülmektedir.

Muskovit (2M1 ve 3T) başlıca $10\text{\AA}$ minerali olarak saptanmıştır. Bu mineral, tüm çizgilerinin izlenemeyeceği beklentisine karşın, çoğu örnekte hemen hemen tamamına yakın çizgileriyle belirlenmiştir. Örneklerimizin çok bileşenli olmaları ve karışım içersindeki muskovit tanelerinin her konumda durabilme şanslarının böylece çoğalması, onun tüm yüzeylerinden olan yansımaların elde edilmesini sağlamış olabilir. Mustovite ait çizgilerin ideal olarak ve yüksek şiddetlerde izlenebileceği bir örnek şekil 3.3' de verilmiş ve buna karşıt olarak çok düşük miktarda muskovit içerikli bir örnek difraktogramda şekil 3.1' de görülmektedir.

Klorit yaklaşık $d= 7\text{\AA}$ mesafeli yansıma çizgisi ile tipiktir. Şekil 3.3' de (D-21 no' lu örnek) birçok çizgisi ile tipik olarak izlenirken şekil 3.1' de (D-12 no' lu örnek) hemen hemen deteksiyon limitine yakın azlıktadır. Klorit grubu mineraller arasındaki farklılıklar çizgi konum ve şiddetlerinde kendini önemli ölçüde gösterir. Buradan hareketle, örneklerimizdeki klorit tipi Mg ve Fe' li bir tür olan (Mg, Fe, Al Silikat hidroksil) "Daphnite" ve/veya "Aphrosiderite" olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3.3. Muskovit ve Klorite ait Çizgilerin İdeal izlendiği Örnek Difraktogram (D-21 no'lu örnek).

Diğer bir 10Å minerali olan illitin tüm çökel örneklerine ait çözümlemelerden saptanması hemen hemen olanaksızdır. Birçok çizgisi diğer mineraller ile örtme yapmıştır. Bu mineralin oransal yorumu -doğruluğu tartışılır olmasına rağmen- $d=1.50\text{\AA}$ yaklaşık mesafeli yansıma çizgisi dikkate alınarak ve çoğu kez diğer bileşenlerden sonra tümünden kalan oran kabul edilerek yapılmış ve muskovit ile toplam şeklinde (10Å mineralleri) ifade edilmiştir.

Smektit $d=14-15\text{\AA}$ arası mesafeli yansıma çizgisi ile bazı örneklerde belirgin bazılarında ise az veya çokaz belirgindir. Diğer önemli çizgileri örtme yapmıştır. Smektitçe zengin bir difraktogram örneği (D-29 no'lu örnek) şekil 3.2' de görülmektedir.

3.1.2. Bileşenlerin (Minerallerin) Oransal Tahmini

Sapanca Gölü dip çökel örneklerindeki minerallerin oransal tahminleri "doğrudan çekim" sonucu difraktogramlardaki en şiddetli çizgi veya çizgiler kullanılarak ve ayrıca "standart ilaveli çekim" sonucunda difraktogramlardaki bileşenlerin x-ışınları yansıma şiddetlerinin bu bileşenlerin karışım içindeki oranlarına önemli derecede bağlı olması prensibinden hareketle; çekim yapılan örneklerdeki minerallere ait en yüksek şiddetli bir veya iki çizgi dikkate alınarak ve bu çizgilerin yükseklikleri kullanılarak tahmin yapılmıştır. Tüm örneklerimizde aynı sayıda ve aynı tip minerallerin bulunuyor olması-her ne kadar standart kullanmadan bir miktar tayinini yapıyor olsakda-hata payımızı düşük tutabilecektir. Kuvars ait $d=3.33\text{\AA}$ ve $d=4.24\text{\AA}$ değerli yansımalar, albite ait yaklaşık $d=3.75\text{\AA}$ değerli yansıma, klorite ait $d=13.9\text{\AA}$, $d=7\text{\AA}$ ve $d=3.52\text{\AA}$ yaklaşık değerli yansımalar, muskovite ait $d=4.95\text{\AA}$ yaklaşık değerli yansıma ve kalsite ait $d=3.02\text{\AA}$ değerli yansımanın çizgileri bu minerallerin örnekler arasındaki azlık-çokluk ilişkisinde düzenli ilişkiler verdiği anlaşılmıştır.

Öte yandan, bu ilişkilerin dikkate alınmasını takiben, iç standartlı kantitatif analizin değişik ve basit bir uygulaması olarak "standart ilaveli" bir kantitatif x-ışınları analiz metodu kuvars, feldspat (albit), kalsit, muskovit ve klorite uygulanmıştır. BRINDLEY and BROWN (1980) tarafından tanımlanan bu yöntemde test edilen mineralin karışım içersindeki ağırlık fraksiyonu $[W(\text{mineral})]$

$$W(\text{mineral}) = \frac{W(\text{standart}) (I_1 / I_2)}{1 + W(\text{standart}) - (I_1 / I_2)} \quad (3.1)$$

formülünden hesaplanır. Burada $W(\text{standart}) = 1$ gr. karışıma (tüm örnek) ilave edilen saf mineral, I_1 : Mineralin seçilmiş çizgisinin doğal çekimdeki yüksekliği (mm.) ve I_2 : Aynı çizginin tüm karışıma 0.2 gr saf mineral katıldıktan sonraki yüksekliğidir.

Buradan hareketle örneklerimizdeki kuvars, albit ve kalsit doğrudan çekimlerindeki ilişkilerine oldukça uyumlu oranlarda tespit edilmiştir. Muskovit ve kloritin bu yöntemle tespit edilen oranları tartışmalıdır. Muhtemelen bu minerallerin levhamsı yapıları iyi bir karışımı engellemiş olabilir. Bu nedenle bu iki mineralin bazı örnekler için saptanan anormal değerleri doğrudan çekimlerdeki karşılaştırmalar esas alınarak düzeltilmiştir. Nihayet smektit için; klorite ait $d = \sim 13.95\text{\AA}$ mesafeli yansıma çizgisinin hemen başlangıcındaki ($d = 14-15\text{\AA}$ arası) hörgüç dikkate alınarak ve illit için $d = 1.49\text{\AA}$ mesafeli çizgi dikkate alınarak ve ayrıca tümünden kalan oran kullanılarak bir değerlendirmeye varılmıştır.

Sonuç olarak; yukarıda anlatılan tahminleme ile saptanan Sapanca Gölü dip çamur örneklerine ait minerallerin oranları tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Sapanca Gölü Sediman Örneklerinde X-Işınları Difraksiyon Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Oransal Mineralojik Tahmin.

% Örnek	Kuvars	Feldspat	Kalsit	Klorit	Muskovit +İllit	Smektit
D-4	37	15	5	15	18	10
D-8	34	16	16	18	16	< 5
D-10	40	10	15	10	15	10
D-11	42	12	13	11	10	12
D-12	60	25	15	< 5	< 5	< 5
D-15	34	16	8	14	21	7
D-21	32	10	12	18	20	8
D-22	22	10	16	14	20	18
D-24	33	12	10	17	18	10
D-26	38	16	12	10	16	8
D-29	30	10	15	11	4	20
D-32	28	12	13	12	20	15

3.1.3. Kil Fraksiyonu Çözömlmeleri

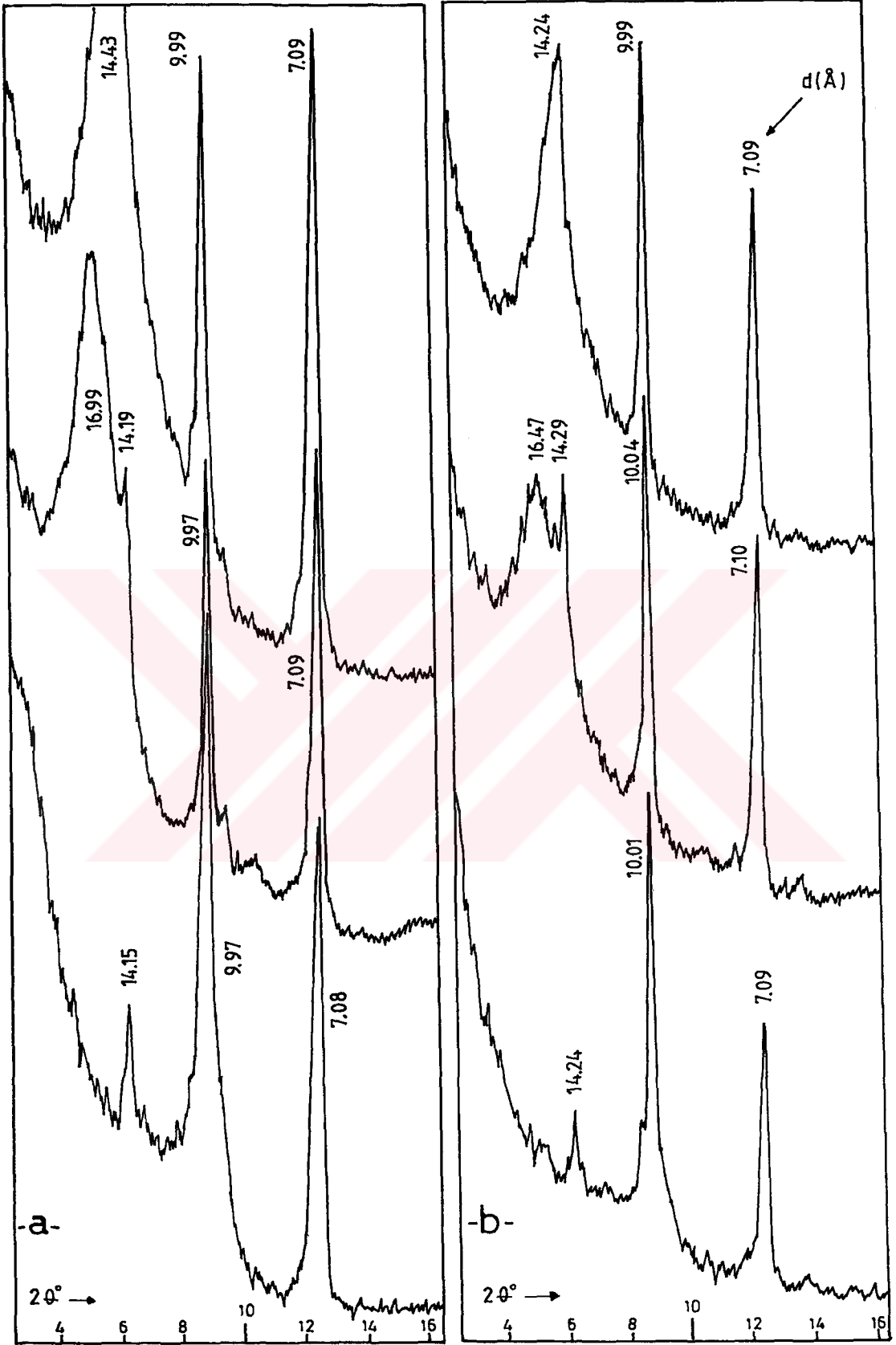
Sapanca Gölü dip çökel örneklelerinden seçilmiş 4 adet örnekte, kil fraksiyonu çözömlmeleri, çalışma yöntemi bahsinde (Bölüm. 1) verilen metod doğrultusunda yapılmıştır.

Kil fraksiyonuna ait örneklelerin x-ışınları (normal) çekimlerinde smektit-muskovit-illit ve klorit ana mineraller olarak gözlenmiştir. Normal çekimlerde 14-15Å mesafe değeri keskin olmayan, geniş aralıklı pik, smektit ve kloriti (001 yüzeyine ait yansıma çizgisi) birlikte temsil eder. 10Å ve 7Å mesafe değeri pikler, keskin ve dar aralıklı olarak gözlenirler ve sırasıyla muskovit-illit ve kloritin (001) yüzeylerine ait yansıma çizgileridirler.

Etilen glikollü çekimlerde, 14-15Å yaklaşık mesafe değeri yayvan pik, belirgin olarak ikiye ayrılır. 17Å civarında mesafe değeri sahip, dioktahedral smektitin (montmorillonit) ve 14.2Å civarında mesafe değeri sahip, kloritin (001) yansımalarına ait çizgiler ayrı ayrı tesbit edilmişlerdir. (Şekil 3.4, a ve b). Bunlardan smektite ait pik yine yayvandır, ancak klorite ait olan çizgi keskindir ve kristallik derecesinin yüksekliğini ifade eder. Muskovit-illite ait 10Å mesafeli ve klorite ait 7Å mesafeli çizgiler yine keskin yapılı olarak gözlenmişlerdir.

Fırınlanmış (300°C-1saat sürede) çekimlerde, smektite ait çizgi tamamen kaybolmuş (Şekil. 3.4, a ve b), klorite ait 14.2Å ve 7Å mesafeli çizgiler yine keskindirler. Muskovit-illite ait 10Å mesafeli pik ise daha geniş aralıklı ve yüksek şiddetli olarak gözlenir. Bu çizginin normal ve glikollü çekimlerinde belirgin olmayan, ancak fırınlanmış çekiminde gözlenen bir farklılığı da; pik başlangıcında daha az şiddetli diğeri bir çizginin varlığıdır. Ve muhtemelen özgül illiti ifade eder (Şekil. 3.4, b).

Sonuç olarak; Sapanca Gölü dip çökellerinin kil fraksiyonu çekimlerinde, sonuçlar ve tartışmalar bölümlerinde de genişçe değinileceği gibi, göl çevresi litolojisi ile uyumlu olarak, kristallik derecesi yüksek muskovit-illit ve kloriti ifade eden (10Å) ve (14.2Å ve 7Å) mesafe değerlerine sahip çizgiler ile kristallik derecesi yüksek olmayan bir disktahedral smektiti ifade eden, 14-15Å (glikollü çekimlerde 17Å) mesafe değeri çizgi saptanmıştır. İnce boyutlu bu



Şekil 3.4 Kil Fraksiyonu Çözümlemeleri

(a: D-29 no' lu örnek, b: D-22 no' lu örnek).

malzemelerde saptanmış olan bu üç mineralin tahmini çokluk oranları, çekimi yapılan örnekler bazında,

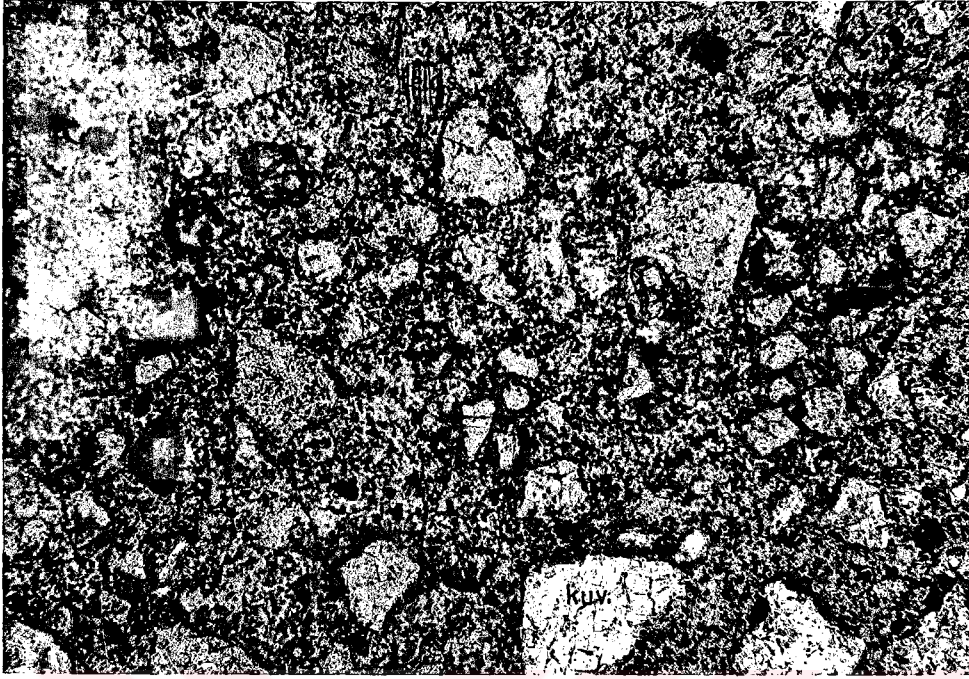
Smektit + Muskovit - İllit + Klorit	(D-32 no' lu örnek)
Muskovit - İllit + Smektit + Klorit	(D-22 no' lu örnek)
Smektit + Klorit + Muskovit - İllit	(D-29 no' lu örnek)
Klorit + Muskovit - İllit + Smektit	(D-24 no' lu örnek)

olarak saptanmıştır.

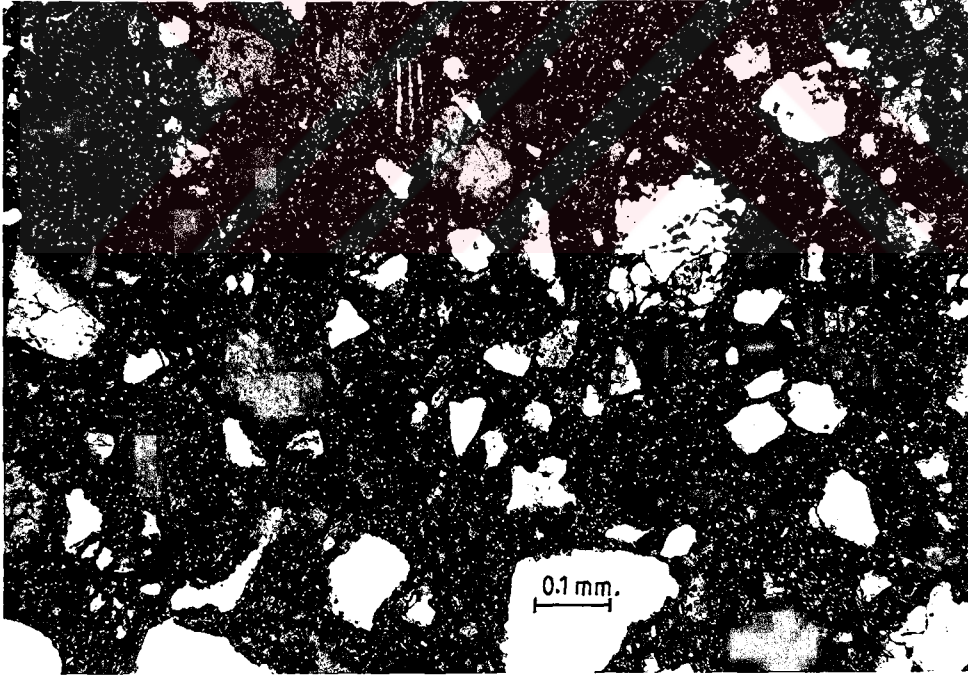
3.2. OPTİK MİKROSKOP İNCELEMELERİ

Sapanca Gölü dip çamurlarının hazırlanan ince kesitlerinde x-ışınları difraksiyon incelemelerinde saptanmış minerallerden illit ve smektit hariç diğerleri tanımlanabilmiştir. Mineral tanımlamalarının ötesinde, bu bileşenlerin boyut ve biçimlerinde gözlem-lenmiş, özellikle çakıl ve kum boyutlu bileşenlerde çokluk oranları belirlenebilmiş, tane boyutu dağılımları ile mineral tipleri arasındaki ilişkiler kurulabilmiştir.

Kuvars; kum ve çakıl boyutlu malzemenin başlıca mineralidir ve silt hakim boyutlu malzemede de önemli oranlardadır. Gölün kıyı kesimlerine ait kum ve kum + çakıl boyutlu bileşenlerce zengin örneklerin hemen hepsinde, kendisi ile aynı boyuta ulaşan feldspat ve mikadan daha bol orandadır. Bu tip örneklerde (0.3x0.4) mm boyutuna ulaşan, genelde ise (0.05x0.1) mm ve (0.1x0.15) mm boyutlarında yaygın taneleri bulunur (Şekil 3.5, a ve b). Silt ve kil boyutlu malzemece zengin olan, gölün merkezi kesimlerine ait örneklerin ince kesitlerinde de kuvars belirgin çokluktadır (Şekil 3.6). Bu tip örneklerde 0.01 mm boyutlu yaygın taneler ve yanısıra 0.05 mm' ye varan iri boyutlu taneler izlenir. Genellikle köşeli-yarı köşeli ve nadiren yavurlaklaşmış görünümlü kuvars tanelerinin tüm optik özellikleri belirgin olup, her zaman berrak, çoğu kez kırıklı oluşları ve dalgalı yanıp sönmeleri ön plandadır. Bir yönde uzun taneleri nadirdir ve daha ziyade silt-kil hakim boyutlu örneklerdeki kuvars için bahsedilebilir. Öte yandan, kuvars, özgün tanelerinin haricinde başlıca kuvarsitlere ait kaya parçalarında da rastlamak olağandır.



(a)



(b)

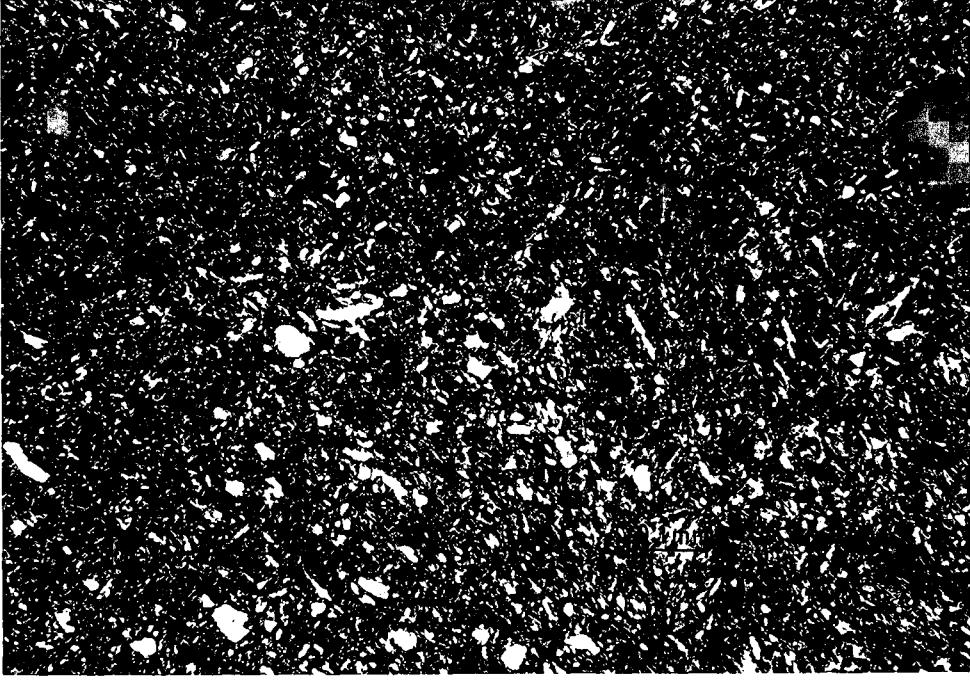
Şekil 3.5. a ve b. Sapanca Gölü Kenar Kesimine ait İri Bileşenli Kuvarsca Zengin Örnekte Bol Oranda Kuvars Özgün Taneleri ve Kuvarsça Zengin Kaya Parçası (a: tabi ışık, b: polarize ışık) (D-12 no' lu örnek).

Kuvarsla birlikte iri taneleri oluşturan ve çok ufak boyutlu olarakta bulunabilen ikinci önemli grup, feldspatlardan, büyük oranda albit ve nadir ortoz mineralleridir. Plajioklazlar tüm ölçümlerinde 5° - 12° arası sönme açısı vermişlerdir (albit). Çoğunlukla net bir polisentetik ikizlenmeye sahiptirler, az sayıda ikizsiz ve çok nadir zonlu yapılarıdır. Albitlerin çoğu temiz görünümlü ve ayrışmamışlardır ancak, az oranda kısmen ve yüksek altere taneler bulunur ve yine nadir ortoz taneleride çoğunlukla kirli görünümlü ve alteredirler. Bu tip tanelerde (kirli görünümlü-altere albit ve ortoz) 2V açıları yüksek değerlerde (70° - 80°) saptanmışken, temiz görünümlü -ayrışmamış albitlerde düşük 2V açıları (5° - 25°) belirlenmiştir. Bu farklılıklar muhtemelen iki tip plajioklazın varlığından (yaşlı ve genç plajioklazlar) olabilir. Feldspatlara kaya parçaları içersinde rastlanmamıştır veya bir diğer ifade ile kuvarscaya zengin ve karbonat kaya parçaları bolca izlenirken, feldspatlar hemen tümüyle, sadece özgün taneler olarak saptanmışlardır. Feldspatlar göl kenar kesimlerinden derlenen örneklerde (Şekil 3.7) hemde iç kesimlerden derlenen hakim olarak ince bileşenli örneklerdeki iri ve ufak boyutlu taneler olarak bulunabilir (Şekil 3.8).

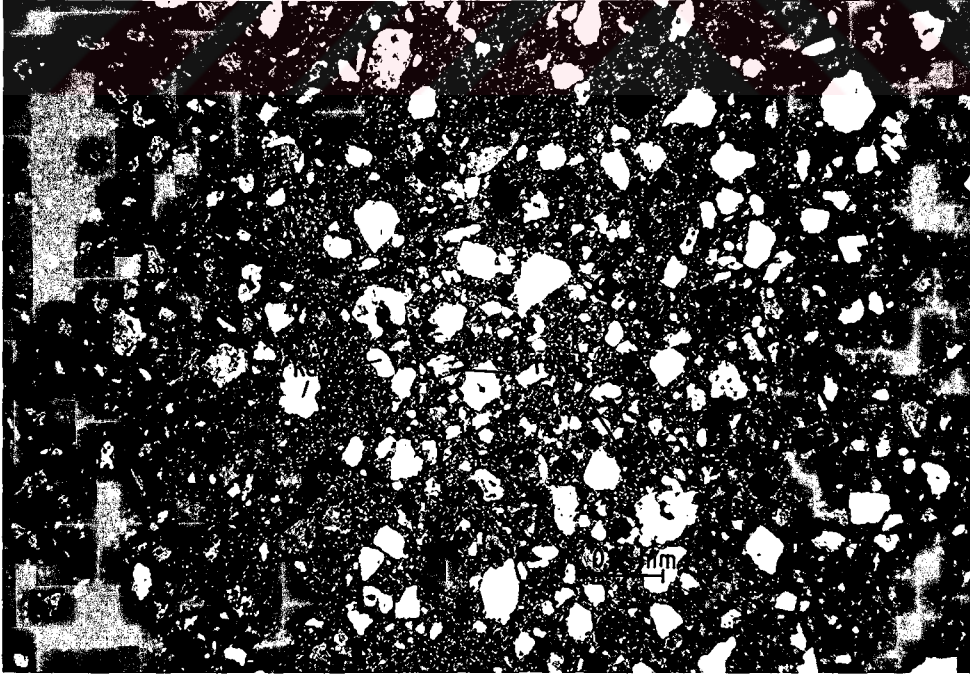
Kalsit; çoğunlukla 0.01 mm civarı boyutlu taneler halinde (Şekil 3.9), ince kesitlerde kil ve kloritle birlikte ayrımı zor bir karışım oluşturur. Ancak karbonat kaya parçası olarakda bolca rastlanır (Şekil 3.9)

Muskovit başlıca mika mineralidir. Genellikle (0.01x0.02) mm yaklaşık boyutlarda olup, (0.02x0.1) mm ve hatta daha iri boyutlu, bir yönde uzun taneler halindedir (Şekil 3.6 ve 3.8). Çoğunlukla berrak, bazen az veya çok oranda FeO'lidirler. Diğer bir mika minerali olarak biotite nadiren (örnekler genelinde %1-4) rastlanır ve genellikle FeO'ce değişime uğramış ve opaklaşmıştır (Şekil 3.10, a).

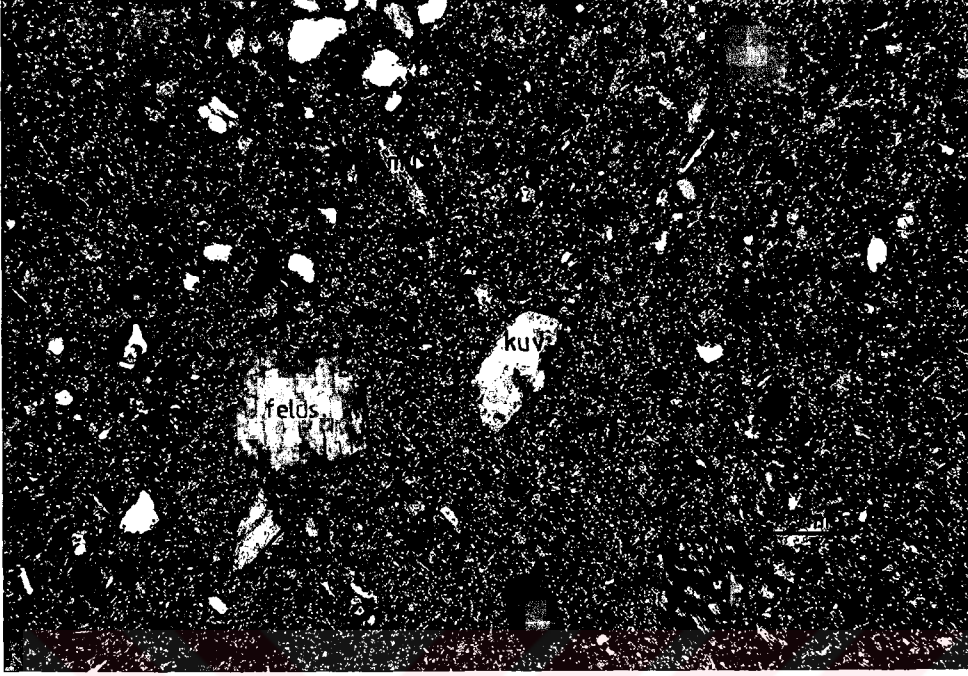
Klorit, ancak büyük büyütmelelerde sağlıklı izlenen, ufak boyutlu taneler halindedir. X-ışınları incelemelerinde yüksek oranda kloritli bulunan örneklerde de net bir ayrım zordur ve yeşilimsi tonlarda pleokroizması ile düşük anizotropisi sayesinde belirirler (Şekil 3.10, a ve b). Bazen muskovitle birlikte FeO etkisindeki yarı opak taneleri oluştururlar.



Şekil 3.6. Yaygın Olarak Kuvars ve Muskovitden Oluşmuş Silt Hakim Boyutlu Bir Örnek (Polarize ışık) (D-22 no' lu örnek).



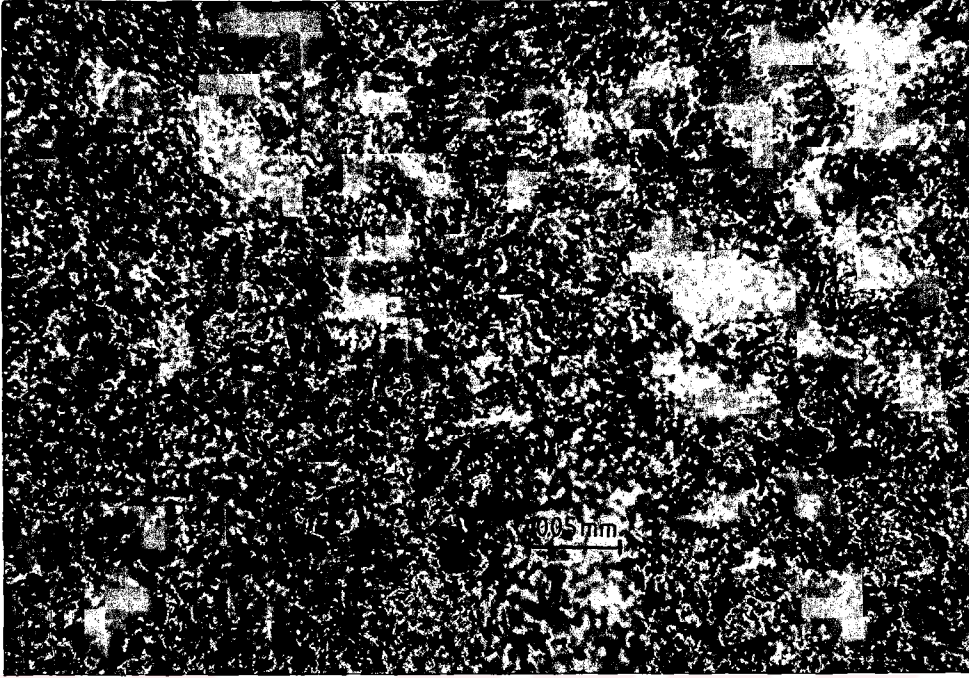
Şekil 3.7. Kum + Çakıl Boyutlu Malzemece Zengin Örnekte Kuvarsın Yanısıra Yaygın Feldspat Taneleri (polarize ışık) (D-12 no' lu örnek).



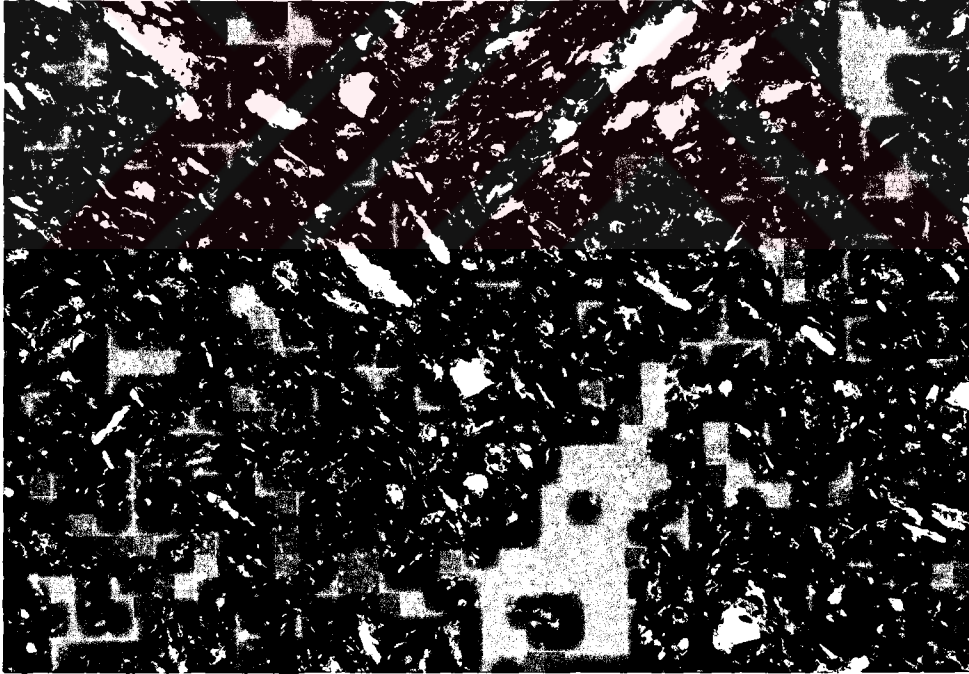
Şekil 3.8. İnce Boyutlu Malzemece Zengin Örneklerdeki Az Oranda İri Taneleri Oluşturan Kuvars ve Feldspatlar (polarize ışık) (D-26 no' lu örnek).



Şekil 3.9. Kalsit Çok Ufak Boyutlu Tanelerinin Yanısıra Karbonat Kaya Parçası Olarakda Yaygındır (tabi ışık) (D-14 no' lu örnek).



(a)



(b)

Şekil 3.10. a ve b. Büyük Büyütmede Yeşilimsi Tonlarda Yaygın Klorit ve Az Sıklıkta Kahverengimsi Biotit. Bu mineraller ve yanısıra muskovitde kısmen FeO' ce zenginleşmiş yarı opak-opak taneler (a: tabi ışık, b: polarize ışık) (D-5 no' lu örnek).

BÖLÜM 4. SAPANCA GÖLÜ DİP SEDİMANLARINDA TANE BOYU DAĞILIMLARI

Sedimanter oluşumların meydana gelmesinde birikme alanının jeolojisi ve tektoniği, kimyasal, fiziksel ve organik tesirler gibi faktörler etkili olmaktadır. Sedimanların dağılımında en büyük rolü oynayan etken çökeltme ortamlarıdır. Çökelen sedimanların tane boyları ve bunların dağılımı ise incelenmesi gereken önemli bir özelliktir. Tanelerin boyutu ve üniformluluğu, su, rüzgar, akıntı hızı v.s. gibi taşıyıcı faktörlerin etkisi ile yakından ilişkilidir ve sedimanların tane boyu dağılımları dokusal özelliklerin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Tane boyu analizi, taneciklerin taşınması ve çökmesi hakkında bilgi vermesi açısından, araştırmacıların kullandığı önemli özelliklerden birisidir.

4.1. TANE BOYU ANALİZLERİ

4.1.1. Elek Analizi (Yaş Metod) Yöntemleri

Klastik materyallerin çeşitli büyüklükteki tanelerinin dağılımlarını saptamak amacıyla yapılan elek analizi, numunelerin özelliklerine bağlı olarak yaş veya kuru olmak üzere iki şekilde uygulanır. Kuru yöntem; ASTM (1974) C 371-71 Kod No' lu standart yöntemle göre, kurutulup tartılan malzemenin üst üste sıralanan çeşitli incelikteki eleklerin bir sarsıcı yardımı ile sarsılması ve bu işlemin sonucunda tartılarak, kullanılan ana malzeme miktarına göre yüzdesinin hesaplanması prensibine dayanır. Yaş yöntem ise; örneklerin saf su ile yıkanması ve çöktürülmesi esasına dayanır.

Bu çalışmada yaş yöntemle tane boyu dağılımları saptanmıştır. Analizlerde Folk, R.L. (1974)' ün kullandığı ve birçok çalışmacısında başvurduğu standart elek ve pipet analiz yöntemleri kullanılmıştır. Alınan örnekler saf su ile yıkandıktan sonra santrifüj ile çöktürülüp, 230 nolu elekte saf su ile yıkanarak elenmiştir. Elek üstünde kalan 0.0625 mm' den (62.5μ) büyük taneler elek analizine tabi tutulmuştur. Elekten geçen ince malzemeler

yaş analiz yapılmak üzere saklanmıştır. İri boyutlu malzemeler, 100-110°C' de 24 saat kurutulup, elek açıklıkları 0.062-0.1-0.2-0.5-1-2-4-8-32 mm. olan eleklerden elenerek tane büyüklüklerine göre ayrılıp tartılarak, tüm malzeme içindeki kümülatif ağırlık yüzdeleri saptanmıştır. 0.0625 mm' nin altındaki ince taneli malzemelerin tane boyu dağılımları ise, "stokes kanunu" esasına dayanan ve Tablo 4.1' de tariflenen zaman değerlerine uygun olarak pipet yöntemi ile saptanmıştır.

Tablo 4.1 Pipet Analizi Uygulama Değerleri

Pipeti Batırma Derinliği	DENEY TAKVİMİ			
	GÜN	SAAT	DAKİKA	SANİYE
20 cm	Salı	10	16	30
10 cm	Salı	10	18	00
10 cm	Salı	10	26	58
10 cm	Salı	11	02	54
10 cm	Salı	13	14	54
5 cm	Salı	16	39	01
5 cm	Çarşamba	11	46	51
3.5 cm	Cuma	09	44	13

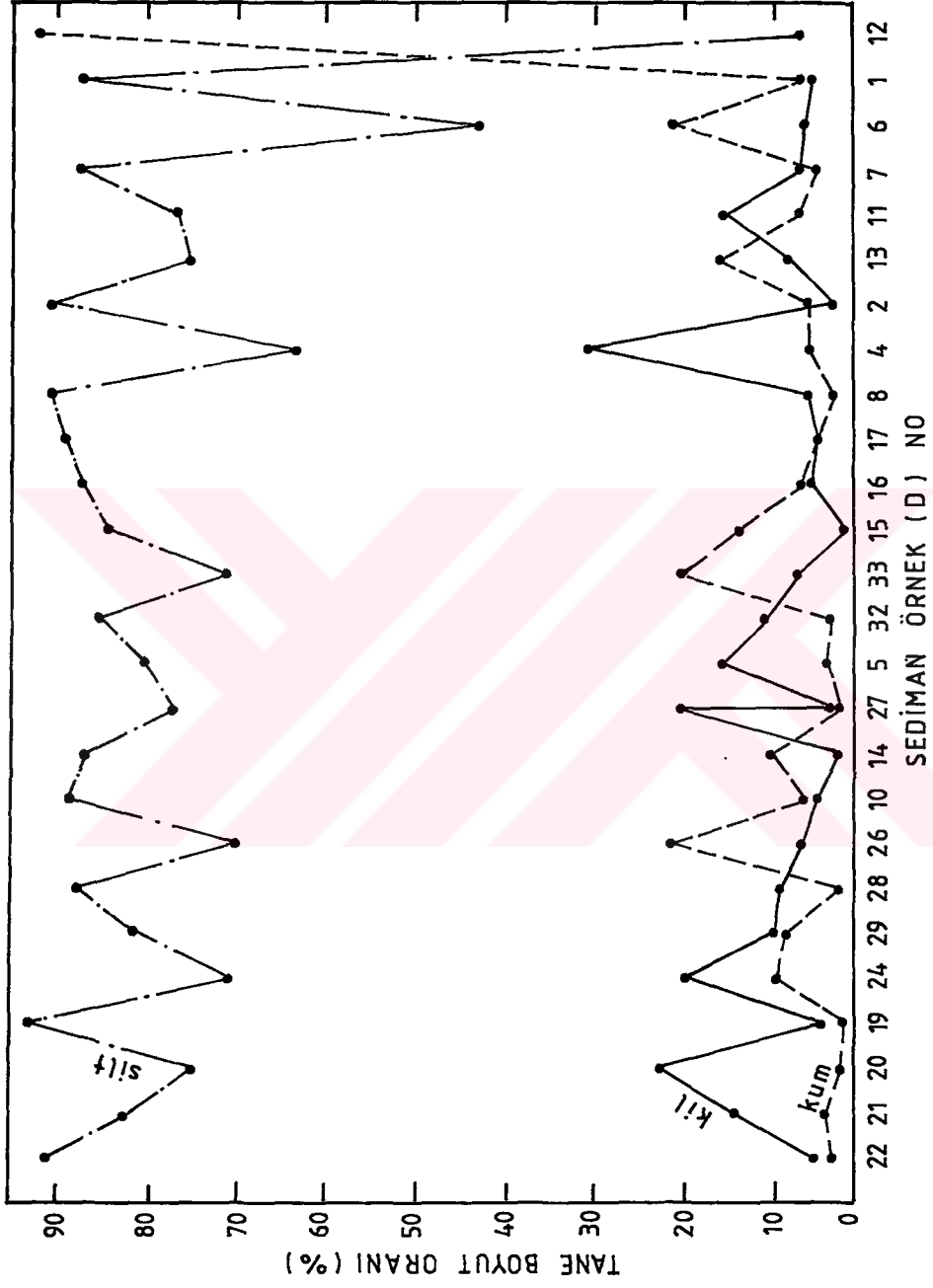
230 no' lu eleğin altına geçen ve silindirik kaplara alınan örnekler, 1000 ml.' ye tamamlanarak, çalkalanmaya başlanır. Tablo 4.1' de verilen zamanlara bağlı kalınarak pipetle numuneler alınıp, etüvde yine 100-110°C sıcaklıkta, 24 saat kurutularak tartılmış ve gerekli hesaplamalar sonucunda Tablo 4.2' de verilen kümülatif yüzde miktarları saptanmıştır.

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin ışığında yapılan analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi, Sapanca Gölü' nde depolanmış güncel çökeller, kilden kumlu çakıl' a kadar değişen sediman türlerini içermektedir. Bu sedimanların kümülatif tane boyu dağılımları (herbir örnek alım noktası için) göl dibindeki güncel çökellerin daha çok silt boyutlu malzeme içerdiğini göstermektedir (Şekil 4.1).

Yüzey sedimanlarındaki analiz sonuçlarından, silt boyutlu malzemelerin %7-93 arasında olduğu, kum boyutlu malzemelerin %2-91 arasında değişen değerler alırken, diğer çökellerin sırasıyla, çakıl için %0.5-30 arasında, kil içinde %1.5-32 arasında değiştikleri saptanmıştır.

Tablo 4.2 Sapanca Gölü Sedimanlarının Kümülatif Yüzde Değerleri ve Folk (1974), Sheppard (1954)' e Göre Sınıflaması.

ÖRNEK NO	% ÇAKIL	% KUM	% SİLT	% KİL	SEDİMAN	TİPİ
					FOLK	SHEPARD
D-1	-----	6.9607	87.0873	5.9520	silt	silt
D-2	-----	6.1463	90.6108	3.2429	silt	silt
D-3	-----	89.2263	9.2538	1.5199	siltli kum	kum+çakıl
D-4	-----	6.2500	63.2184	30.5316	silt	killi silt
D-5	-----	4.0157	80.1225	15.8619	silt	silt
D-6	29.1980	21.1123	42.8467	6.8430	siltli kum	siltli kum
D-7	-----	5.0360	87.5899	7.3341	silt	silt
D-8	-----	3.3134	90.5305	6.1561	silt	silt
D-9	-----	91.8250	7.7211	0.3539	kum+çakıl	kum+çakıl
D-10	-----	6.3258	88.5742	5.1001	kumlu silt	silt
D-11	-----	7.4214	76.8969	15.6817	silt	silt
D-12	1.1480	91.6206	7.2314	-----	kum+çakıl	kum+çakıl
D-13	-----	16.3348	75.2412	8.4240	silt	kumlu silt
D-14	-----	10.1279	86.5207	3.3514	kumlu silt	silt
D-15	-----	14.1019	84.2399	1.6583	kumlu silt	silt
D-16	-----	6.7459	87.3982	5.8558	silt	silt
D-17	-----	5.3064	89.3336	5.3600	silt	silt
D-18	1.1488	90.6204	8.2310	-----	kum+çakıl	kum+çakıl
D-19	-----	2.1751	93.2702	4.5546	silt	silt
D-20	-----	2.3277	75.0799	22.5924	silt	kumlu silt
D-21	-----	4.0426	81.7186	14.2388	silt	silt
D-22	-----	3.4392	91.1229	5.4380	silt	silt
D-23	-----	90.8992	7.9513	1.1495	kum+çakıl	kum+çakıl
D-24	-----	9.5887	70.6736	19.7377	silt	killi silt
D-25	0.7897	91.5872	7.6234	-----	kum+çakıl	kum+çakıl
D-26	1.6163	21.3860	70.0610	6.9367	kum+çakıl	kum+çakıl
D-27	-----	2.5603	77.4899	20.3498	silt	silt
D-28	-----	2.5548	87.8522	9.5931	silt	silt
D-29	-----	8.7880	81.2162	9.9958	silt	silt
D-30	0.7742	87.5321	8.5675	3.1262	siltli kum	kum+çakıl
D-31	1.9047	86.2940	10.7251	1.0762	siltli kum	kum+çakıl
D-32	-----	3.8334	85.2379	10.9287	silt	silt
D-33	1.3207	20.4950	71.0572	7.1271	kumlu silt	kumlu silt



Şekil 4.1 Sapanca Gölü Sedimanlarının Kümülatif Tane Boyu Dağılımları

Silt bileşeni yoğun olan karasal kökenli yüzey sedimanları Sapanca Gölü'nde izlenen en yaygın sediment türü olup, kıyıya yakın güney kesimler daha çok kil bileşeni açısından zenginleşmişlerdir. Özellikle gölün kıyıya yakın kuzey kesimlerinde kaba taneli materyallerin yoğun olması, bu kesimlerde eğimin fazlalığı nedeniyle, malzeme getiriminin de çok olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak havza içersinde, göle sediman taşıyan derelerde ani taşkınları önlemek amacıyla, tersip bentlerinin yapılması nedeniyle iri boyutlu malzeme taşınımı kısmen engellenmiştir. Dolayısıyla, göl içindeki sedimanların tane boyları, taşınım mesafesine bağlı olarak küçülmekte ve kıyıdan gölün ortalarına doğru iyi bir boylanma göstermektedir. Göl dibinde silt bileşenli malzemenin fazla olması hem bölgeye büyük bir su girişinin olmamasından hemde gölde hakim olan su akıntı hızının, silt boyutlu taneceklerin göl içinde çökmesine uygun olmasından kaynaklanmaktadır. Buda, göl dibinde düşük enerjiye sahip bir ortamın varlığına işaret etmektedir. Öte yandan gölün merkezi kesimlerinde kil boyutlu malzemenin diğer bileşenlere oranla daha az olmasının bir nedenide; göl sularının Çark suyu çıkışı ile Sakarya Nehrine boşalması ve dolayısıyla göl içersindeki akıntı hareketleri ile çok ince boyutlu malzemenin gölün dışına taşınması olabilir.

Havzadaki toprak-bitki örtüsü arasındaki doğal dengenin çeşitli nedenlerle bozulması, arazinin dikliği, yağışların şiddetli ve sık olması, toprakların gevşek yapıda olması yüzünden, bölgede erozyon kolaylıkla meydana gelmektedir (D.S.İ. Rapor No:19-1). Dolayısıyla havzadaki bütün derelerden göle, erozyona bağlı olarak, sediman taşınımı vardır. Göl havzası içinde yeralan ve gölü besleyen derelerin bulunduğu yamaçlarda eğim %20' den daha fazladır. Ancak eğimin gölün güneyinde, güneyden kuzeye doğru, kuzey kesimde ise kuzeyden güneye doğru bir azalma göstermesi, iri taneli sedimanların göle taşınımını yavaşlatmıştır. Bu yüzden de tane boyu analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi (Tablo 4.2), çakıl boyutlu kaba malzeme çökelişi, ancak gölün kenar kesimlerinde ve oldukça az miktarlardadır.

Göl dibinde depolanmış olan çökellerin, Folk (1974) ve Sheppard (1954)' in çakıl, kum, silt ve kil boyutlu ana bileşenleri, tanelerin relatif özelliklerine bağlı olarak yaptıkları sınıflamaları esas alan tane dağılımları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' te verilen üçgen diyagramlarda gösterilmiştir. Temelde aynı özelliklere sahip olan bu diyagramlardaki örneklerin dağılım değerleri incelendiğinde, çökelen malzemelerin her iki çalışmacının sınıflamasında da - birkaç örnek dışında- benzer özellikleri içeren sediman türleri olduğu

gözlenmiştir. Yine diyagramlardan, sedimanların çoğunun silt boyutlu, diğer örneklerin ise kumlu silt-killi silt-siltli kum bölgelerinde toplandıkları izlenmiştir (Şekil 4.8 ve 4.9).

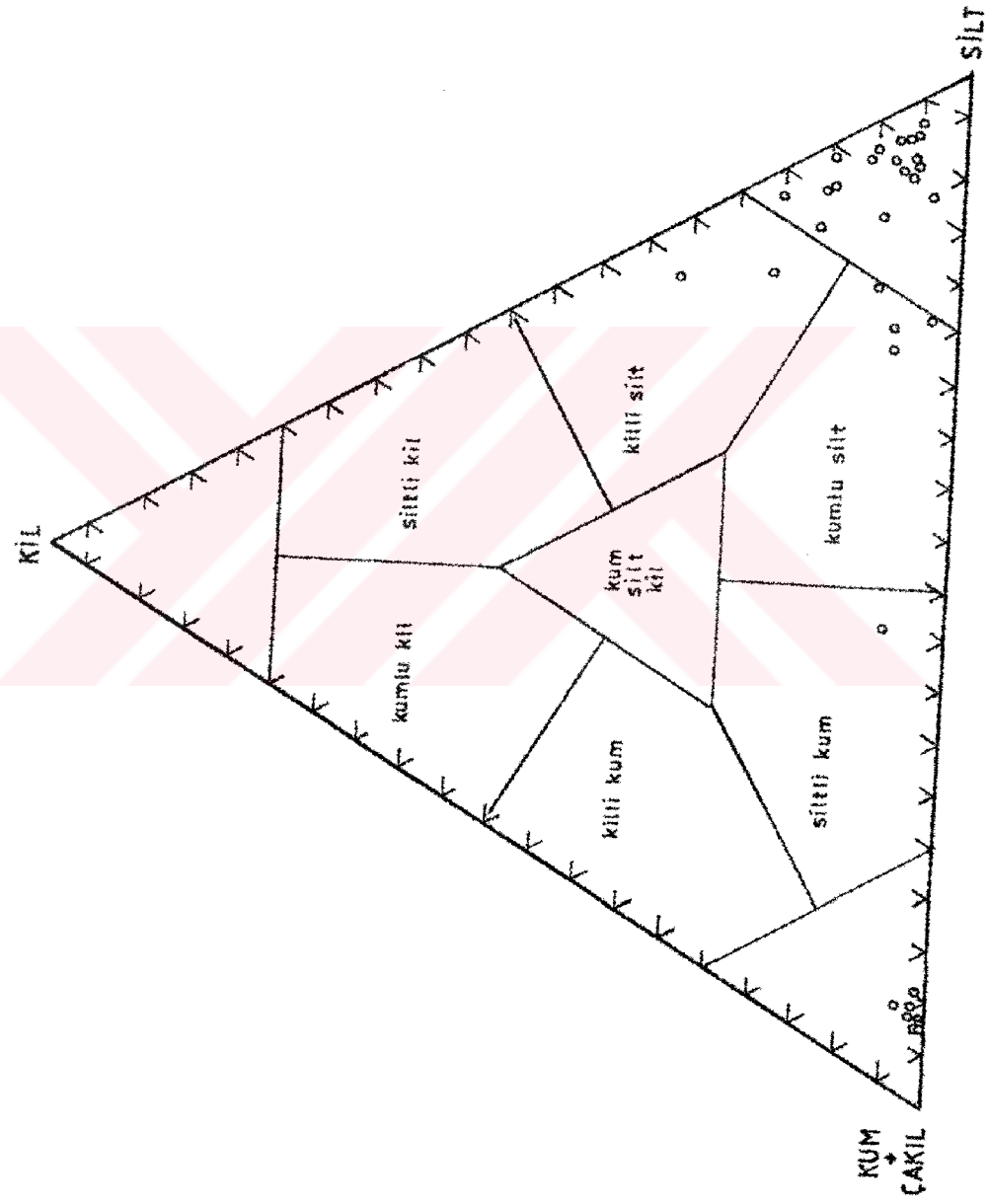
4.1.2. Hidrometre Analizi

Hidrometre Analizi, çapı 0.074 mm' den küçük olan tanelerin dağılımlarının saptanması amacıyla yapılan bir yöntemdir. Analiz sonunda materyal içindeki silt ve kil oranının belirlenmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, 200 no' lu elekten geçen 50 gr. kuru numune kullanılmıştır. Başlangıç malzemesinden itibaren farklı boyutlu tanelerin ayırma ve üniform hale geçişlerini sağlamak amacıyla, numuneler 100-150 ml. ayrıştırıcı madde (%0.6' lık sodyum heksameta fosfat) içersinde 12 saat süre ile bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda 1000 ml.' lik dereceli silindir kaba alınan numuneler, damutık su içinde 15 dakikalık bir sürede basınçlı hava ile karıştırma işlemine tabi tutulmuş ve 1000 ml.' ye tamamlandıktan sonra hidrometre kabına aktarılıp, tekrar çalkalanarak hidrometre aleti ile, $t = (0.25-0.5-1-2-4-8-15-30)$ dak., 1-2-4-8 ve 24 saat hidrometre okumaları yapılmıştır. Gerekli hesaplamalar sonucunda malzemelerin tane çaplarına (D-mm) karşılık gelen % değerleri (çapları D' den küçük olan tanelerin ağırlık yüzdeleri) saptanmış ve Sapanca Gölü sedimanlarındaki granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.4).

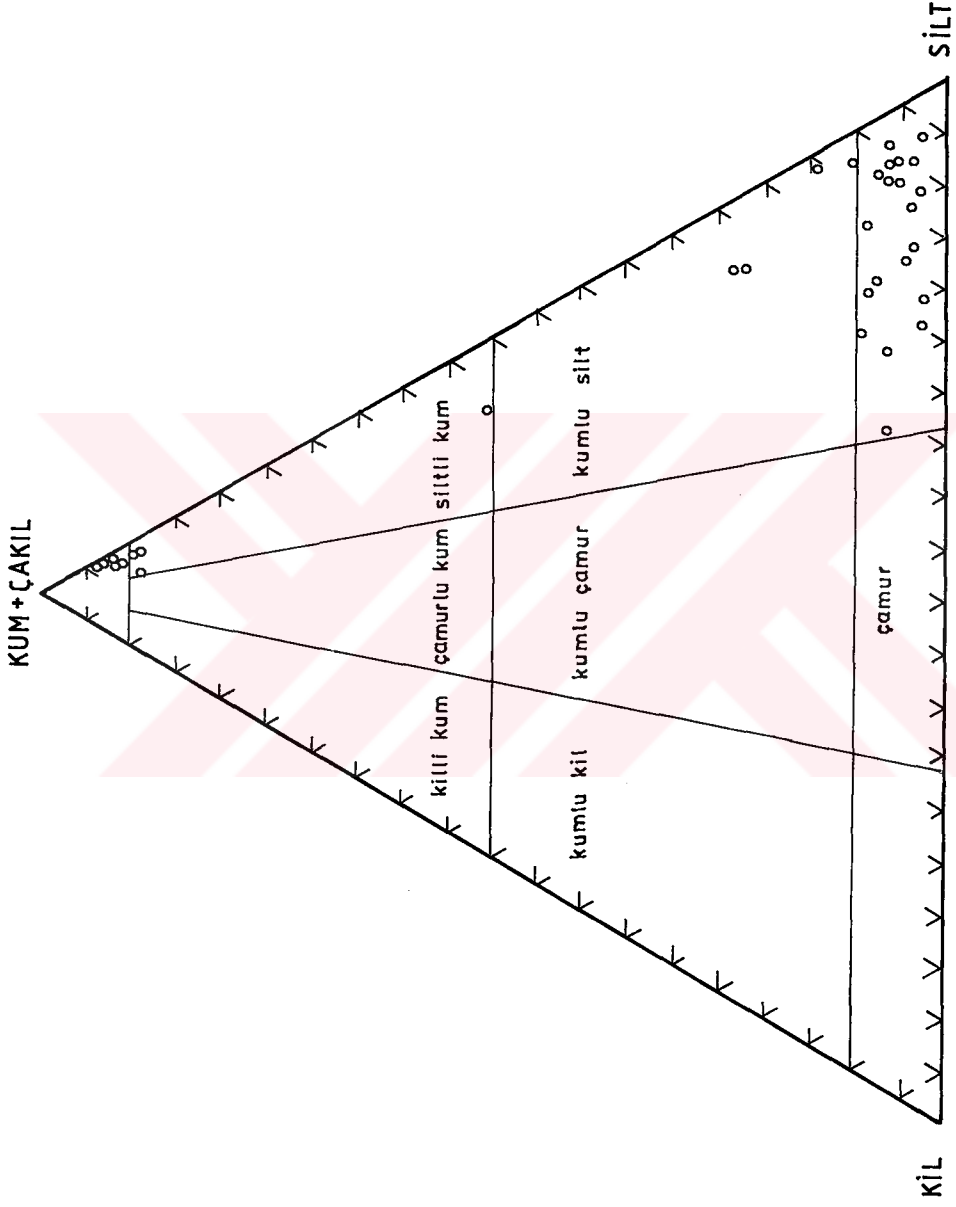
Temelde benzer özelliklere sahip olan hidrometre ve elek analizleri, çökellerin yüzde miktarlarının doğruluğundan emin olabilmek amacıyla yapılmıştır. Hidrometre analizi sonucunda elde edilen veriler, Folk (1974) yöntemi ile yapılan pipet analiz sonuçlarını destekler mahiyettedir. Analiz edilen örneklerin, %1.5 ile %32 arasında değişen değerlerde kil boyutlu malzeme olduğu saptanmıştır.

4.2. SEDİMANLARIN TİPİ VE DAĞILIMLARI

Sapanca Gölü yüzey çökellerinde başlıca üç ana sediman tipi tanımlanmıştır. 1) Kum, 2) Silt, 3) Kil. Bu birimlere ek olarak gölün en kıyısından alınan 5 örnekte çakıl boyutlu malzeme de ayrıca saptanmıştır. Kil ve çakıl boyutlu bileşenler ise bütün içersinde daha az bir bölüm oluşturmuşlardır.

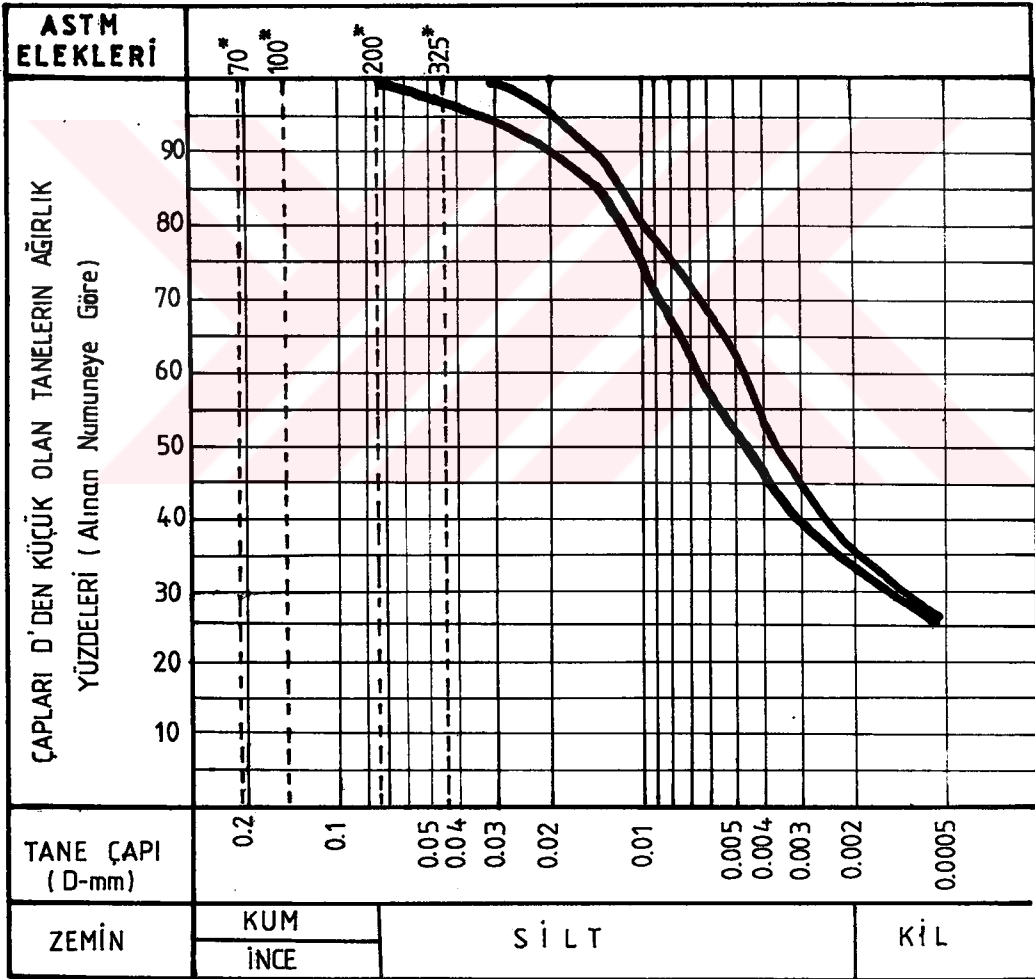


Şekil 4.2 Sapanca Gölü Sedimanlarının Shepard (1954)' e göre Dağılımı.

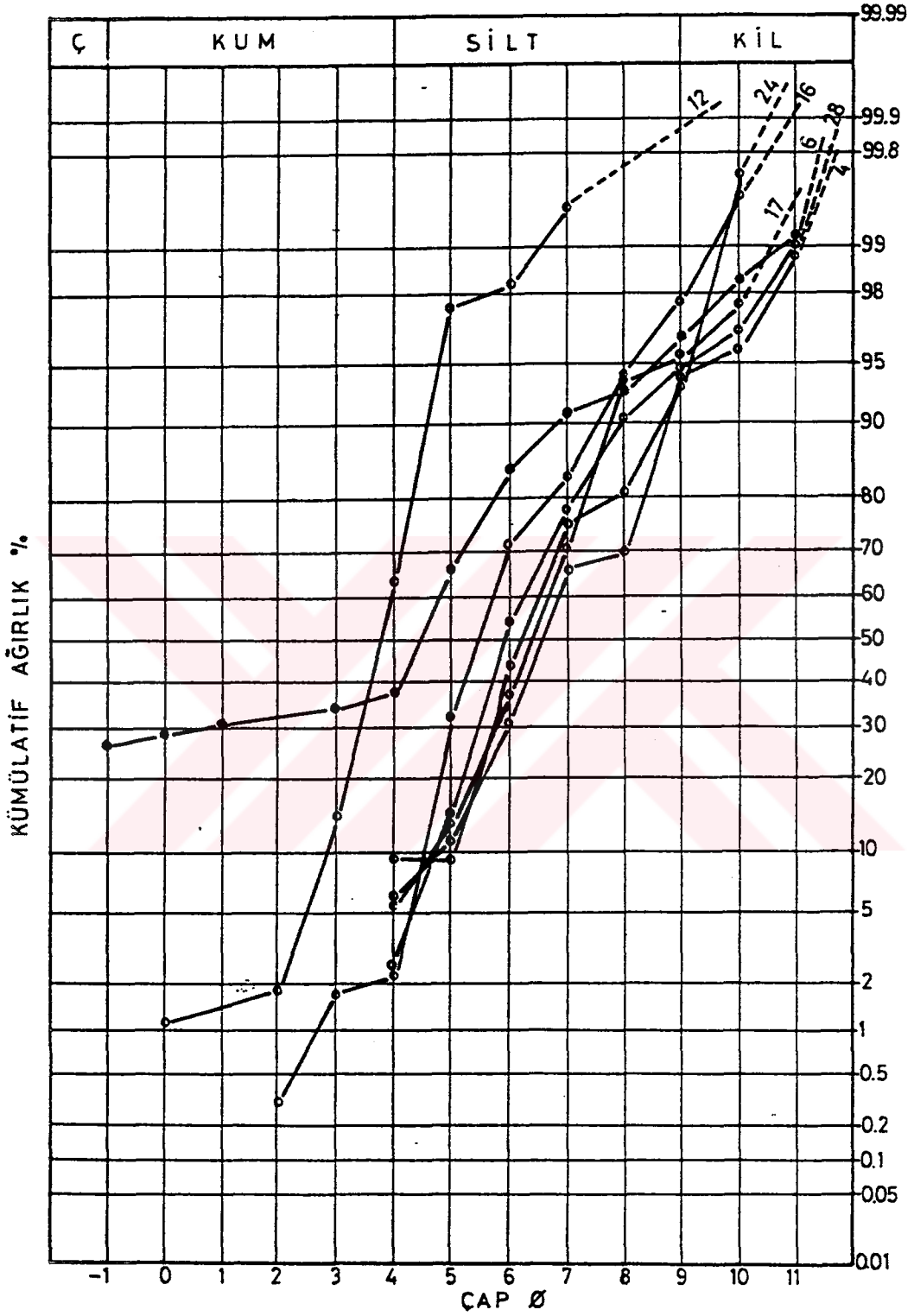


Şekil 4.3 Sapanca Gölü Sedimanlarının Folk (1974)' e göre Dağılımları

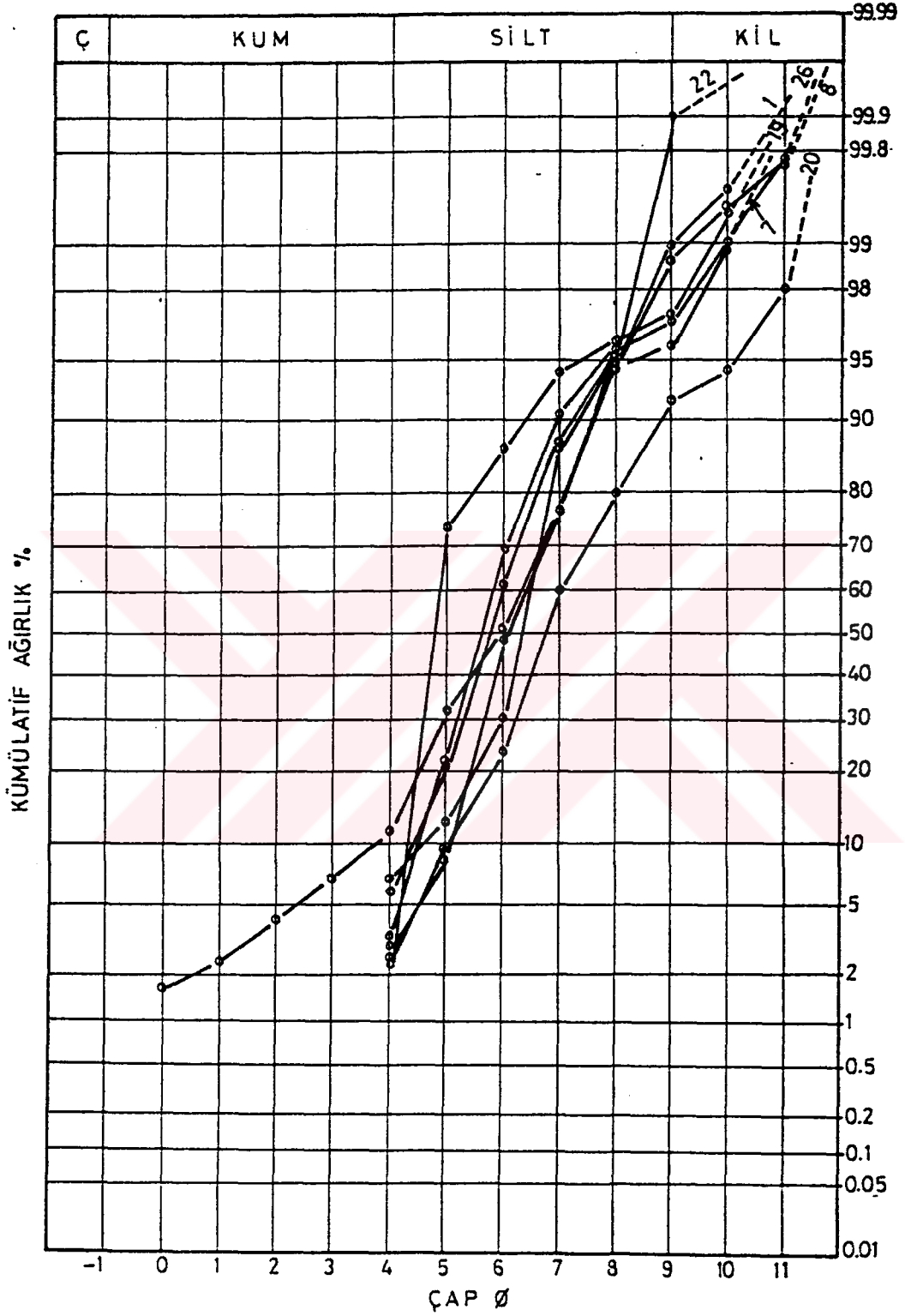
FOLK and WARD (1957), SPENCER (1963) ve DAVIS and EHRLICH (1970), THOMAS and OTHERS (1972)'in, sedimentlerin karışım miktarlarını gözönüne alarak oluşturdukları tane boyu dağılım eğrileri, Sapanca Gölü sedimanları için de sedimantolojik karakterleri gözönüne alınarak tanımlanmıştır. Bu eğrilerden de (Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7) Sapanca Gölü sedimanlarının depolanma esnasında, daha önceki verilerle de uyumlu olarak, kaba taneliden ince taneli sedimentlere doğru bir dağılım izledikleri gözlenmiştir.



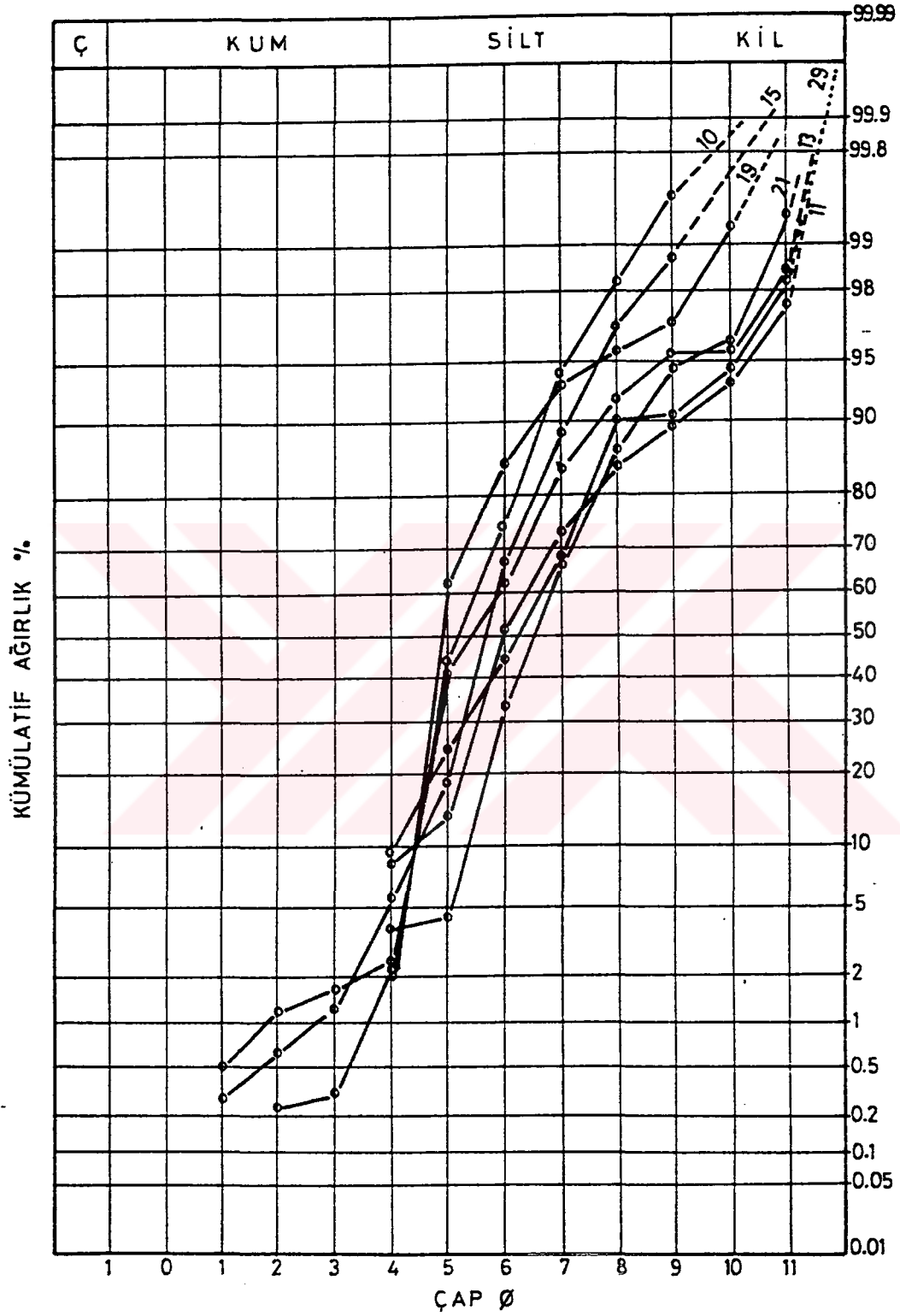
Şekil 4.4 Sapanca Gölü Çökellerinin Granülometri Eğrileri



Şekil 4.5 Sapanca Gölü Sedimanlarının Tane Boylarına göre Kümülatif Yüzde Dağılım Eğrileri.



Şekil 4.6. Sapanca Gölü Sedimanlarının Tane Boylarına Göre
Kümülatif Yüzde Dağılım Eğrileri



Şekil 4.7. Sapanca Gölü Sedimanlarının Tane Boylarına Göre
Kümülatif Yüzde Dağılım Eğrileri

Sapanca Gölü sedimanları, göl içine taşınan kaya birimleri ile kıyı erozyonu, dalga ve erozyonu, dalga ve akıntı aktiviteleri ile meydana gelen dip erezyonu gibi kaynaklardan türemişlerdir. Özellikle erezyona bağlı olarak, havzada yer alan dereler, çökellerin tane dağılımlarını denetlemektedir.

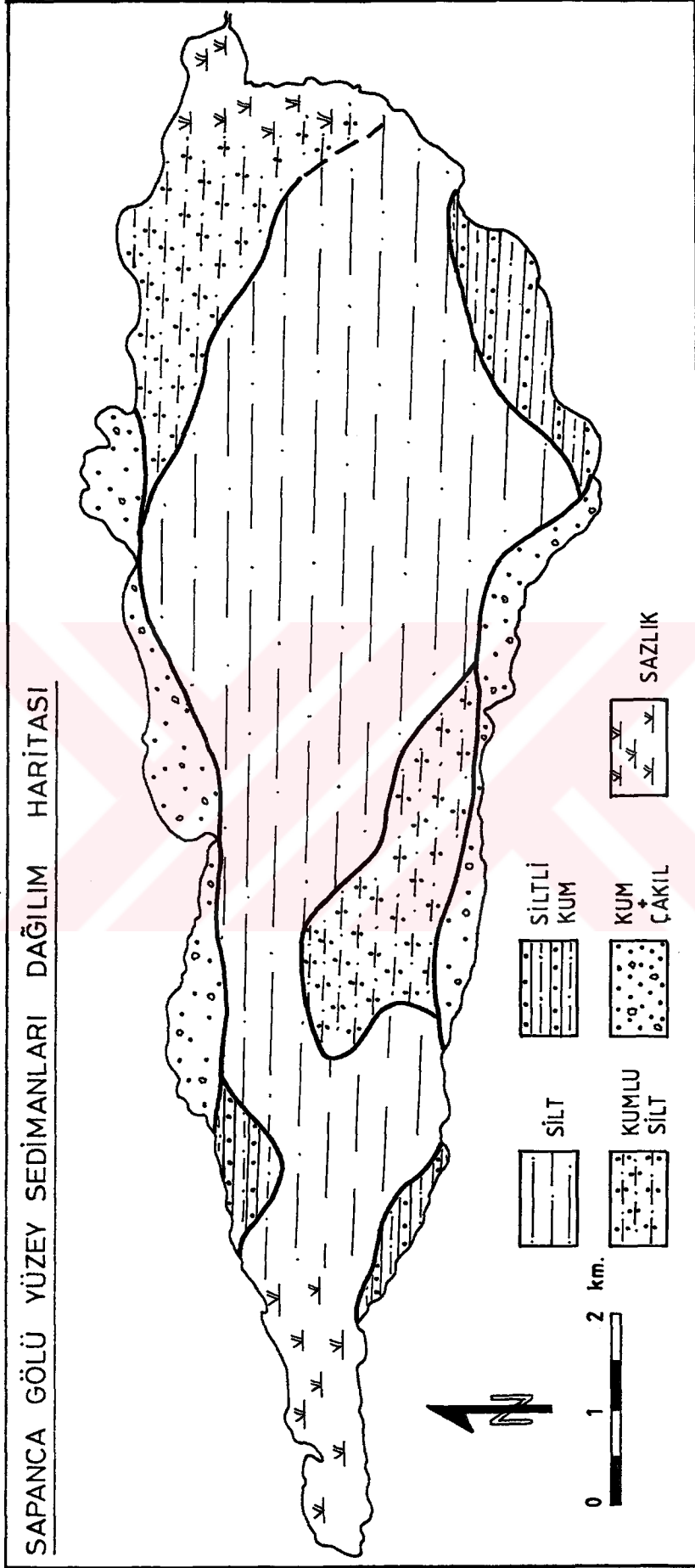
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9, göldeki yüzey sedimanlarının Folk (1974) ve Shepard (1954)' a göre tane boyu dağılımlarını göstermektedir. Her iki dağılım haritasından da, gölün orta kesimlerinde silt tipi, kuzey ve güney kıyı kesimlerinde kum+çakıl tipi, orta-sığ kesimlerinde ise killi-silt, siltli-kum, kumlu-silt tipinde malzemeler izlenmektedir.

4.2.1. Kum Dağılımı

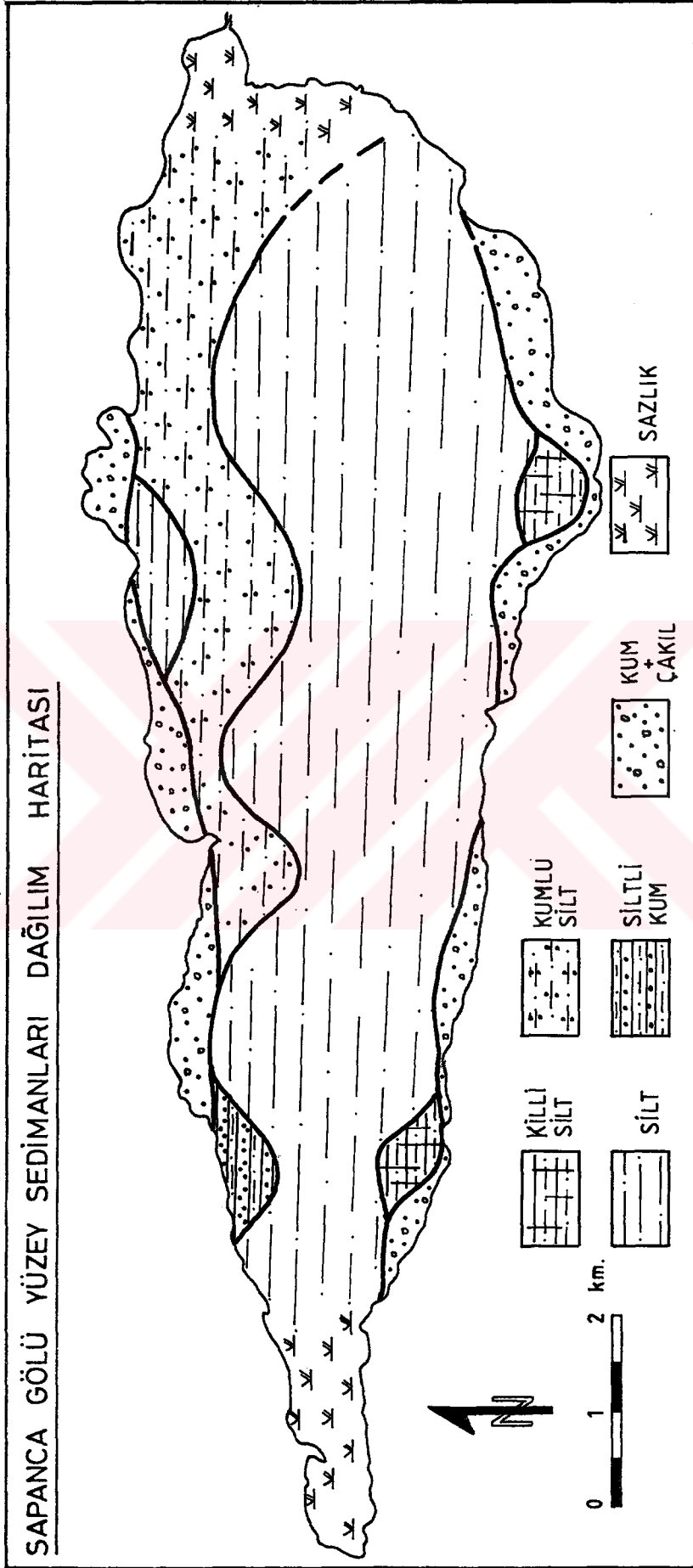
Göl sedimanlarındaki kum boyutlu malzemeler tane yoğunluklarına bağlı olarak, özellikle gölün kıyıya yakın kesimlerinde kümelenmişlerdir. Derinlikle orantılı olarak gölün orta kesimlerinde azalma izlenmektedir (Şekil 4.10). Özellikle gölün güney kesimlerinde kum boyutlu malzemenin birikimi, havzadaki jeolojik kaynak ve göle sediman taşıyan debisi yüksek derelerle yakından ilişkilidir. Gölün güneyinde göl kıyı çizgisi ile yükseklikleri oluşturan tepe dizileri arasında genişçe bir düzlüğün meydana gelmiş olması ve bu kesimlerde Neojen yaşlı çakıllı kumlu birimlerin varlığı kum boyutlu malzemelerin gölün güneyinde artış göstermesini etkilemiştir.

4.2.2. Silt Dağılımı

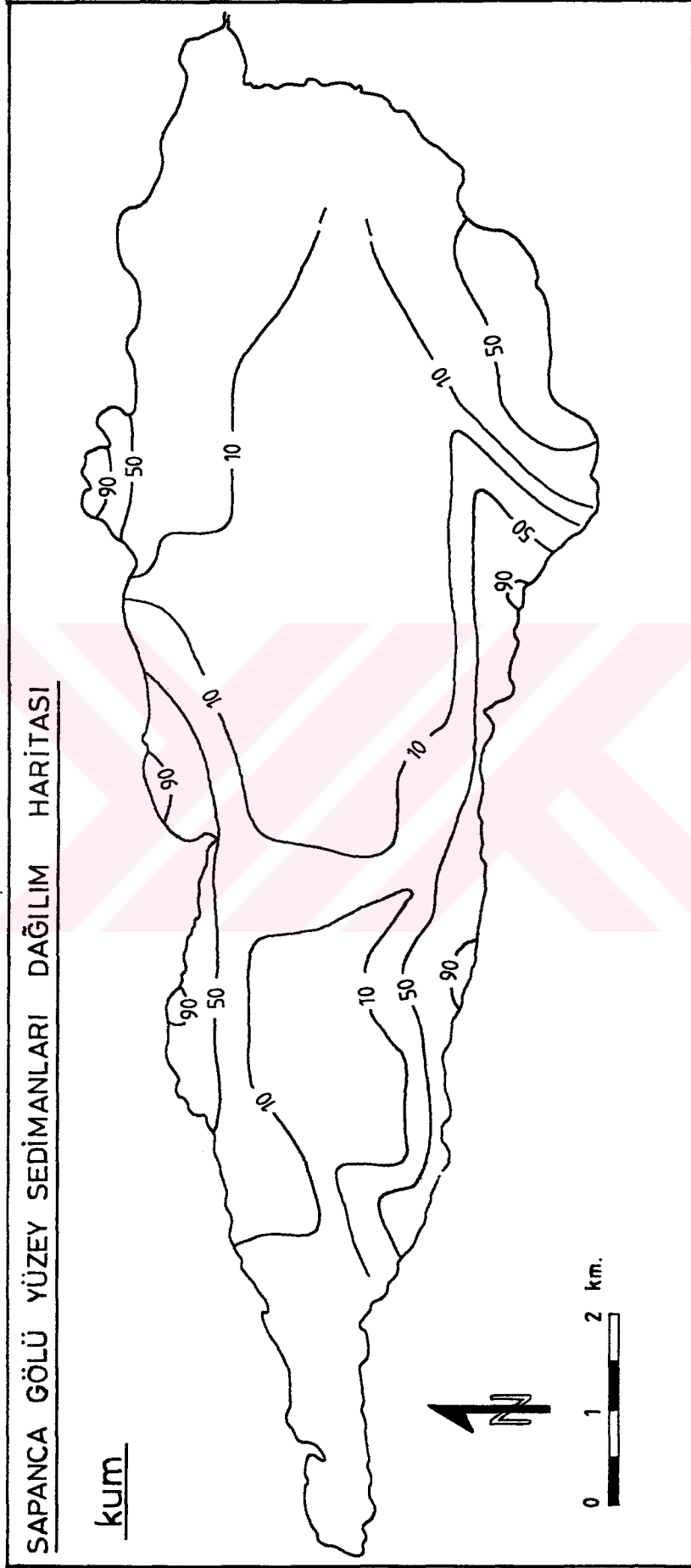
Sapanca Gölü sedimanlarında silt boyutlu malzeme dağılımı incelendiğinde, göl suyunun Sakarya Nehrine bağlantısını sağlayan Çark suyu çıkışından gölün batı-güneybatı kesimlerine doğru arttığı izlenmiştir (Şekil 4.11). Gölün doğu ve batısındaki sazlık kesimlerde de silt boyutlu malzemeler artış göstermektedir. Bu dağılım sedimantolojik çökelimle de doğru orantılıdır. Şekil 4.10 incelendiğinde silt boyutlu sedimanların akıntı hızına ve rüzgara bağlı olarak, Çark suyu çıkışına doğru sürüklendiği izlenir. Yine kıyı kesimlerde bu oranın azlığı, malzemenin gölün orta kesimlerine sürüklenebilecek etkenlerin varlığını göstermektedir.



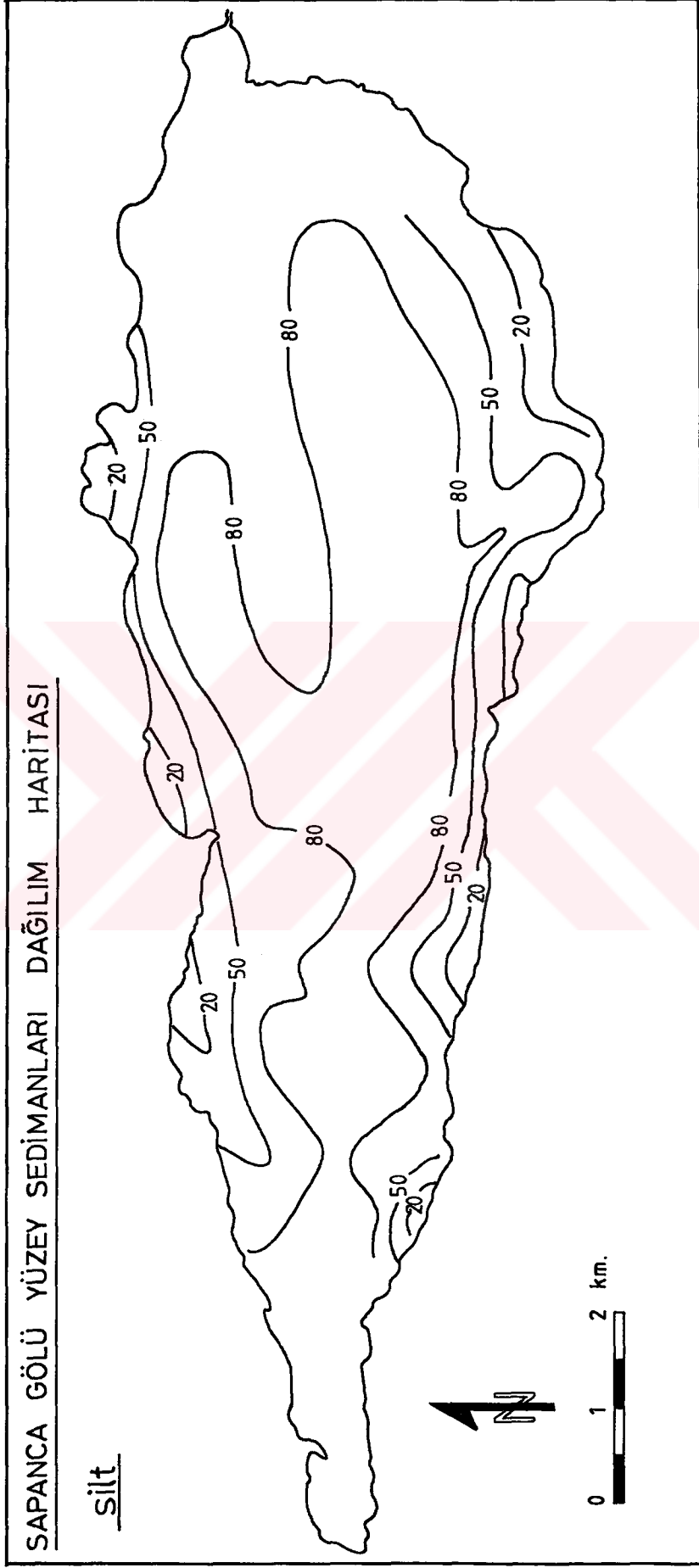
Şekil 4.8 Sapanca Gölü Yüzey Sedimanlarında Folk (1974) Sınıflamasına Göre Tane Boyu Dağılım Haritası



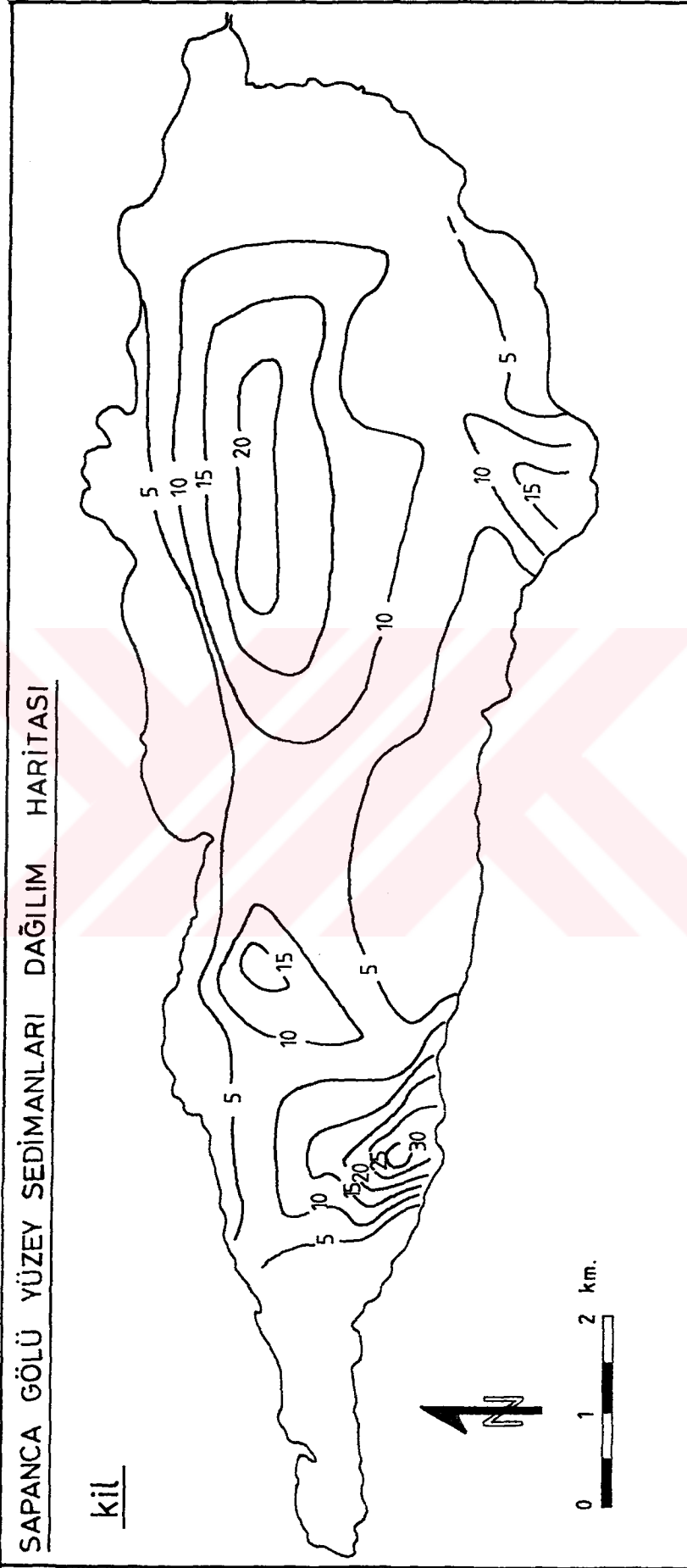
Şekil 4.9 Sapanca Gölü Yüzey Sedimanlarında Sheppard (1954) Sınıflamasına Göre Tane Boyu Dağılım Haritası.



Şekil 4.10 Kum Boyutlu Sedimanların Göl İçinde Dağılımları



Şekil 4.11 Silt Boyutlu Sedimanların Göl İçindeki Dağılımları



Şekil 4.12 Kil Boyutlu Sedimanların Göl İçindeki Dağılımları

4.2.3. Kil Dağılımı

Gölün güneybatı kesiminde, kil boyutlu malzemin yoğun olarak izlenmesi, bu kesimdeki malzeme getiriminin ve çökelme koşullarının uygun olduğunu ve taşıyıcı etkenlerin bu kesimde fazla etkili olmadığını göstermektedir. (Şekil 4.12). Öte yandan bu kesim hariç tutulduğunda kil boyutlu malzemenin gölün batısından doğusuna doğru yoğunlaşma gösterdiği ve kuzeydoğuda maksimuma ulaştığı gözlenir. Bu dağılımda, daha önce değinildiği gibi, göl sularının Çark Suyu Kanalı ile boşaltılmasının etkili olduğu muhtemeldir. Ancak gölün batimetrisi gözönüne alındığında, bu kesimdeki kil boyutlu malzemenin zenginleşmesi beklenir bir sonuçtur.



BÖLÜM 5. DİP SEDİMANLARININ JEOKİMYASI

Klastik sedimanların kimyasal bileşimleri, onların tane boyuna bağlı olarak geniş sınırlar içinde değişebilir. Yine bölgedeki jeolojik birimlerin, taşıyıcı faktörlerin etkisi ile su ortamındaki sedimantasyonuna bağlı olarak, gerek mineralojik gerekse kimyasal bileşimde de farklılıklar gözlenebilir.

Ağır metaller, kimyasal elementler içinde çok geniş gruplar oluştururlar. Bu elementlerin bazıları litosferde önemsiz miktarlarda bulunuyorsa, doğal olarak çıkarılabilen fosil yakıtlarda ve bazı kaynaklarda artış gösterebilirler (STUMM and BACCINI, 1978). Tarımsal ve endüstriyel aktivitelerinde atmosfer ve hidrosferdeki metallerin dağılımlarına etkileri vardır. Bu metallerin göl ve denizlerdeki konsantrasyonları, analitik kimyadaki iki temel nedenden dolayı ortaya çıkarılamaz (STUMM and BACCINI, 1978).

1. Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Hg gibi ağır metallerin eriyikleri düşük konsantrasyonlar gösterirler ($\ll$ mg/l). Dolayısıyla bu elementlerin içeriklerinin belirlenmesinde bazı ön konsantrasyon metodlarının kullanılması gerekir (STUMM and MORGAN, 1970).

2. Ağır metaller, iyi bir tampon olmadıklarından dolayı, örnekleme ve kimyasal muamele adımları sürecinde kontaminasyona bağlı olarak azalır.

Bu yüzden göl sularındaki metal konsantrasyonları için güvenilir background ve referans değerleri saptamak oldukça zordur (TUREKIAN, 1969). Sediman analizi ile bu analitik problemleri en aza indirebilmek ve göl ve havzasındaki jeolojik olaylar hakkında bilgi sahibi olabilmek mümkündür. Bu nedenle, göl ve havzasındaki sedimanlar birçok araştırmacı tarafından göl sularındaki ağır metal konsantrasyonlarını açıklamada bir indikatör olarak kullanılmaktadır.

5.1. SEDİMANLARDA TANE BOYU İLE KİMYASAL BİLEŞİM ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Bugüne değin sedimanların tane boyu ve kimyasal bileşimleri arasındaki ilişkiler, çeşitli çalışmacılar tarafından incelenmiştir. Sapanca Gölü güncel dip çökellerinden alınan ve kil-silt'ten kum-çakıla kadar değişen sediman türleri içeren 33 örnekten 24'ünde çalışma yöntemlerinde bahsedilen metodlar doğrultusunda kimyasal analizler yapılarak, örneklerde hem majör element hemde ağır metal miktarları saptanmıştır. Tablo 5.1 çalışma alanındaki çökellerin tane boyu fraksiyonuna bakılmaksızın yapılan analiz sonuçlarını göstermektedir. Örneklerde; toplam karbonat, organik karbon ve su içeriği analizleri yapılmamıştır. Elek ve pipet analizi ve hidrometre analizleri ile sediman tipi belirlenen Sapanca Gölü çökelleri ile kimyasal bileşimler arasındaki ilişkilerde GRAUT (1925) ve CLARKE (1924)'ın yaptığı çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tablo. 5.2'de CLARKE (1924) çeşitli kayaçlarla, sediman örneklerinin kimyasal bileşimleri arasındaki ilişkiyi gösterirken, GRAUT (1925) çeşitli sediman örneklerinde tane boyuna bağlı olarak ortalama kimyasal bileşimler arasındaki ilişkileri Tablo 5.3'te verildiği şekilde özetlemiştir. Buradan da görüldüğü gibi, kaba taneli materyallerin ince taneli materyallere oranla Si içeriği zenginleşmekte, Al, Fe ve K bakımından da fakirleşmektedir. GRAUT (1925), bu zenginleşmeyi kum parçacıklarında karakteristik olarak kuvars tanelerinin varlığı ile açıklarken, Al, K ve Fe'in ince taneli kil fraksiyonunu tercih ettiğini söylemektedir.

Sedimanla su arasındaki ilişki, tane boyutu, boşluk akışkanları, biyolojik işlevler ve sedimantasyon oranı ile kontrol edilir. İnce taneli elemanlar bu etkileşimi kolaylaştırmaktadır. Kil boyutlu sedimanlarda 1 gram için ifade edilebilecek yüzey alanını m^2 'lerle söylenebileceği, kum boyutlu tanelerde ise bunun cm^2 'lerle ifade edildiği bilinmektedir. İz elementler ve organik bileşenlerin su kimyası çalışmalarında silikatlar ve oksitler önemli rol oynarlar. JENNE (1968), göl sedimentlerinde yaptığı çalışmada, sedimentlerin tane boylarına bağlı olarak, amorf ve kristalin Fe-oksit konsantrasyonlarında farklılıklar olduğunu göstermiştir. Ancak GIBBS (1977), iri taneli malzemelerde permeabilitenin yüksek olmasından dolayı, Fe ve Mn-oksitlerin çok küçük tanelerin yüzeylerinde değil, silt boyutlu tanelerin yüzeylerinde oluştuğunu tesbit etmiştir.

Tablo 5.1 Sapanca Gölü Sedimanlarının Kimyasal Analiz Sonuçları

	Si %	Na %	K %	Ca %	Mg %	Al %	Fe %	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Cr ppm	Sr ppm	V ppm	Ba ppm	As ppm
D-1	21.13	0.45	0.185	3.0	2.6	2.00	3.83	36	34	99	77	16	737	46	79	36	61	33
D-2	24.07	0.95	0.26	-----	1.9	1.59	3.31	32	28	77	57	16	5414	36	22	23	42	40
D-4	27.20	0.95	0.245	0.2	2.8	1.43	3.27	28	31	70	43	13	429	22	24	16	42	31
D-5	22.03	0.65	0.21	3.2	2.2	2.13	3.18	36	37	89	59	14	432	26	69	21	46	27
D-6	20.57	0.6	0.1	14	1.7	1.19	2.26	18	10	49	62	14	439	28	198	23	47	9
D-7	20.95	0.4	0.12	5.8	2.1	2.06	3.54	33	19	62	876	16	568	50	104	44	64	15
D-8	21.53	0.55	0.31	2.0	3.0	2.03	4.79	48	39	104	79	20	626	39	35	28	58	64
D-11	21.98	0.4	0.165	6.4	1.5	2.02	3.43	38	28	82	80	16	817	45	94	39	77	20
D-12	38.04	0.6	0.08	4.4	1.0	0.31	0.62	5	<2	7	11	4	141	7	41	10	20	<2
D-13	26.62	0.6	0.155	3.2	1.8	1.48	2.69	34	23	63	62	14	724	32	88	32	64	17
D-15	28.39	0.85	0.18	0.6	1.6	1.29	2.85	28	32	72	36	12	310	19	24	14	39	40
D-16	22.42	0.3	0.16	3.6	2.2	2.55	4.34	46	28	92	119	19	1333	62	106	48	103	31
D-17	20.99	0.4	0.145	9.8	2.2	2.34	3.97	37	16	77	100	16	686	46	152	49	93	15
D-19	21.83	0.39	0.21	0.75	2.8	1.99	4.25	47	20	92	114	24	842	102	138	47	67	12
D-20	25.01	0.4	0.22	0.8	3.0	2.49	4.53	49	28	102	154	23	1174	96	56	42	81	36
D-21	21.34	0.5	0.29	1.2	3.1	1.96	4.49	50	38	103	107	22	1038	63	44	31	66	41
D-22	25.40	0.55	0.24	0.2	2.7	1.91	4.50	50	30	98	112	21	690	63	39	29	53	45
D-24	23.16	0.45	0.16	2.6	4.2	2.35	4.17	56	21	99	270	28	1160	169	70	44	62	26
D-26	20.71	0.65	0.135	13.6	2.8	2.09	3.49	37	13	67	93	17	638	50	127	48	63	14
D-28	21.67	0.55	0.28	1.3	3.1	1.85	4.51	41	33	102	219	21	1102	109	62	44	64	31
D-29	21.81	0.35	0.15	6.6	2.5	2.14	3.86	44	21	87	230	23	795	117	106	42	66	34
D-31	32.04	0.59	0.29	1.5	3.2	2.01	4.52	54	26	97	238	26	1056	152	62	59	64	22
D-32	25.63	0.56	0.29	1.4	3.0	1.89	4.50	51	37	106	174	24	963	113	58	56	58	28
D-33	23.27	0.55	0.27	1.3	2.8	1.67	4.48	43	22	89	106	19	817	97	143	52	56	17

Göllerde meydana gelen detritik materyaller, ince taneli ve düşük yoğunluklu olup, göl sistemlerinin en önemli kimyasal reaktifleridir. ROBBINS and CALLENDER (1975), göl çamurlarının porozitesini %70-95 olarak vermişlerdir. Bu değer BLATT, et. al., (1972)'nin kumlar için verdiği %40'ın altındaki değerlere göre oldukça yüksektir. Dolayısıyla çamurlar daha yüksek kompaktlaşma kapasitesine sahip olurlar ve tane boylarına bağlı olarak solüsyonlarla metal transferi çamurlarda kumlara göre daha fazla olur.

Tablo 5.2. Kayaçlarda Ortalama Kimyasal Bileşimler (Clarke, 1924).

Element	Magmatik Kayaç	Şeyl	Kumtaşı	Kireçtaşı	Sediment
SiO ₂	59.14	58.10	78.33	5.19	57.95
TiO ₂	1.05	0.65	0.25	0.06	0.57
Al ₂ O ₃	15.34	15.40	4.77	0.81	13.39
Fe ₂ O ₃	3.08	4.02	1.07	0.54	3.47
FeO	3.80	2.45	0.30		2.08
MgO	3.49	2.44	1.16	7.89	2.65
CaO	5.08	3.11	5.50	42.57	5.89
Na ₂ O	3.84	1.30	0.45	0.05	1.13
K ₂ O	3.13	3.24	1.31	0.33	2.86
H ₂ O	1.15	5.00	1.63	0.77	3.23
P ₂ O ₅	0.30	0.17	0.08	0.04	0.13
CO ₂	0.10	2.63	5.03	41.54	5.38
SO ₃		0.64	0.07	0.05	0.54
BaO	0.06	0.05	0.05		
C		0.0			0.66
	99.56	100.00	100.00	99.84	99.93

İnce taneli sedimanlarda, kil minerallerinin fazlalığı ile orantılı olarak yüzey alanlarının, organik madde bileşimlerinin ve Fe-Mn oksitlerin varlığına bağlı ağır metal konsantrasyonlarının artması prensipleri (HAGUE and SUBRAMANIAN, 1982) gözönüne alınarak, Sapanca Gölü sediman örneklerinde, silt/kum oranına göre ağır metallerin birikimi incelenmiştir. Bu iki oran arasında kurulacak ilişkide korelasyon katsayılarının çok düşük ($r=0.07-0.40$) olduğu izlenmiştir. Bu ilişkinin zayıf olmasına rağmen izlenen değişim, tüm metallerin kaba taneli malzemelerde azaldığıdır. K ve Al'da ise

tane boyuna bağılı olarak bir değişim izlenmemiştir. Bu da, K ve Al'un mobil olmayan element olmasından kaynaklanan ve ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanan sonuçlarla uyum göstermektedir.

Tablo 5.3. Tane Boyu ile Kimyasal Bileşim Arasındaki İlişki (Graut, 1925).

Element Oksit	İnce Kum	Silt	Kaba Kil	İnce Kil
SiO ₂	71.15	61.29	48.07	40.61
TiO ₂	0.50	0.85	0.89	0.79
Al ₂ O ₃	10.16	13.30	18.83	18.97
Fe ₂ O ₃	3.72	3.94	6.91	7.42
MgO	1.66	3.31	3.56	3.19
CaO	3.65	5.11	4.96	6.24
Na ₂ O	0.86	1.32	1.17	1.19
K ₂ O	2.20	2.33	2.57	2.62
Ateş Kaybı	5.08	7.05	10.91	12.51

5.2. SEDİMANLARDA AĞIR METAL DAĞILIMI

Ağır metaller, atmosferden, havzadaki derelerden ve kaya birimlerinden, evsel ve endüstriyel atıklardan, suda veya sudaki katı parçacıklar üzerinde absorbe olarak veya çökellerdeki partiküllerin kristal yapılarında zenginleşebilirler. Eğer suda yaşayan bitki cinsleri varsa, nehir veya göl suları ağır metaller açısından ölümlere varan kazalara neden olurlar (FORSTNER and MULLER, 1973). Biyokimyasal işlemler için gereken Cu, Zn, Fe, Mn ve Co gibi elementlerdeki aşırı konsantrasyonlar, toksik etkilere neden olur ve BOWEN (1966)'a göre, enzim zehirlenmeleriyle sonuçlanabilir (NTEKIM, EKWERE and UKPONG, 1993).

Tablo. 5.1.'deki ağır metal miktarları kullanılarak yapılan metal dağılım haritaları ile göl dibindeki çökellerin metal konsantrasyonlarının nedenleri araştırılmıştır. Ayrıca, ağır metallerin litojenik veya antropojenik kökenli olmasından hareketle, onların kökensel farklılıkları bazında oluşabilecek kirlilik saptanmaya çalışılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla, Tablo. 5.4'te verilen TUREKIAN and WEDEPOHL (1961)'in ortalama çamur

değerleri ile AZMATULLAH and EKWERE (1985)'in ortalama sediman bileşimleri gözönünde tutulmuştur.

Tablo 5.4. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Ortalama Konsantrasyonların (ppm) Diğer Bazı Çalışmacıların Verileri İle Karşılaştırılması.

Element	Cross River Körfezi (Azmatullah and Ekwere, 1985)	Ortalama Çamur Değerleri (Turekian and Wedepohl, 1961)	Bu Çalışma (Esenli, 1995)
Fe		46.700	37.242
Cu	28	45	40
Pb	25	20	26
Zn	53	95	83
Ni	39	68	112
Co	38	19	18
Mn		850	752
Cr	39	90	66

Genellikle silikatça zengin kayalardaki elementlerin bazıları düşük mobiliteye sahiptirler. Örneğin, Fe hareketli veya reaktif bir bileşen gibi davrandığı halde, Al tipik olarak hareketsiz bir bileşen gibidir (SUBRAMANIAN, GRIEKEN and DACK, 1987). Metal/Al oranları nehir veya göl sistemlerindeki ağır metallerin dinamik davranışlarını yani göreceli mobilitelerini incelemekte kullanılır (BRULAND et. al., 1974).

Sedimanlarda, ağır metal dağılımlarının incelendiği tüm çalışmalarda, Al'un sabit bir durumda olduğu düşünülerek erozyonla artış gösterdiği saptanmıştır (MARTIN and MYBECK, 1979). Al konsantrasyonu büyük ölçüde sedimanlardaki kil materyalinin dağılımına bağlıdır. Bu yüzden de metallerdeki yüksek konsantrasyonlarla, Al dağılımı arasında kurulacak ilişki ile tane boyu etkileri en aza indirgendiğinden, çökeltme ortamındaki kil dağılımı saptanabilir (CHAKRAPANI and SUBRAMANIAN, 1993). Ayrıca kloritleşme, Fe ve Mg'lu minerallerden itibaren gelişir ve çökeller daha çok Fe'li kloritçe zenginleşebilir (YILMAZ, 1993).

Sapanca Gölü sedimanlarındaki kil dağılımını ortaya koyabilmek ve ağır metallerin nereden kaynaklandığını saptamak amacıyla, metal/Al ve Fe/metal değişimi açısından tek tek incelenerek sedimentasyon şekli belirlenmiştir. Tablo. 5.5'de ise, sedimanlardaki metallerin birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren korelasyon matrisi izlenmektedir. Bu matris incelendiğinde, bütün elementlerin (bazılarında daha düşük) arasında pozitif bir korelasyon izlenmektedir. Fe'in diğer elementlerle ilişkisi ise oldukça yüksektir.

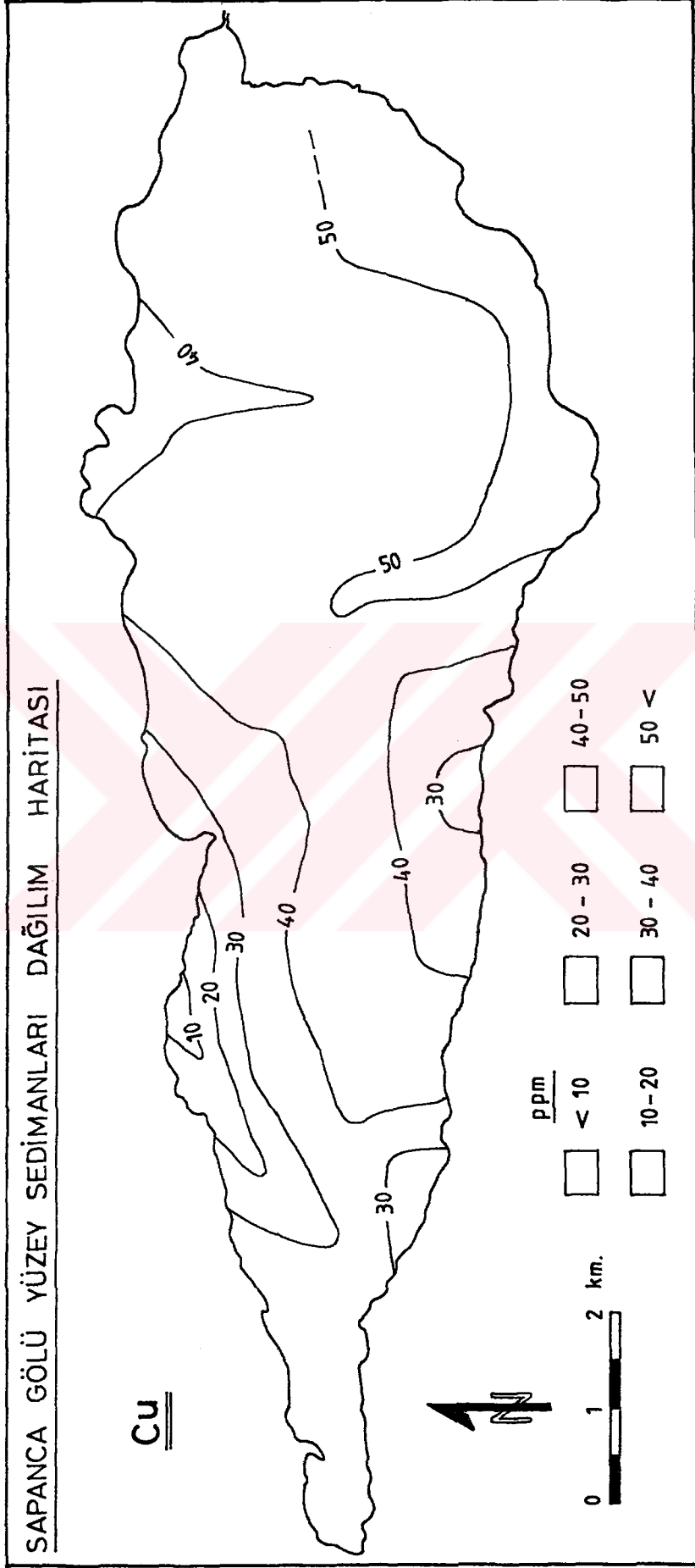
Tablo. 5.5 Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Metaller Arası İlişkiler, Korelasyon Katsayıları Matrisi.

Element	Fe	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Cr
Fe	1.0							
Cu	0.98	1.0						
Pb	0.71	0.83	1.0					
Zn	0.98	0.95	0.91	1.0				
Ni	0.83	0.84	0.52	0.76	1.0			
Co	0.93	0.94	0.70	0.90	0.93	1.0		
Mn	0.85	0.87	0.61	0.80	0.90	0.89	1.0	
Cr	0.78	0.82	0.47	0.71	0.97	0.92	0.89	1.0

5.2.1. Bakır

Bakır konsantrasyonu 5-56 ppm olup, ortalama değer 40 ppm. dir. Bu değer literatürdeki ortalama değerlerle uyum içersindedir (Tablo 5.4). Bakır değerleri, bölgenin güney ve özellikle güneybatı kesimlerinde oldukça yüksektir. Gölün güneyinde 44 ppm olan Cu konsantrasyonu, kuzeyde ortalama 34 ppm.'e düşmüştür (Şekil 5.1).

Araştırmacılar, organik materyallerle Cu ve Zn'nun birleşebileceklerini göstermişlerdir. Örneğin GRAF (1960), bitkilerde Zn'nun zenginleşebileceğini, çeşitli kömür küllerinin %1-2 Zn içerirken, bitkilerdeki küllerin %1-5 Zn içerebileceğini göstermiştir. Yine VARNAVAS (1983), Patraicos Körfezindeki (Yunanistan) yüzey sedimentlerinde yaptığı çalışmada organik maddeler ile Cu arasında pozitif bir korelasyon olduğunu saptamıştır. Hernekadar bu çalışmada organik maddeler incelenmemişse de, bölgedeki yerleşim alanlarının fazlalığı nedeniyle evsel lağım sularından ve endüstriyel atıklardan türeyen organik maddelerin Cu ve Zn konsantrasyonunu arttırmış olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 5.1.1. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Cu'nın Dağılımı.

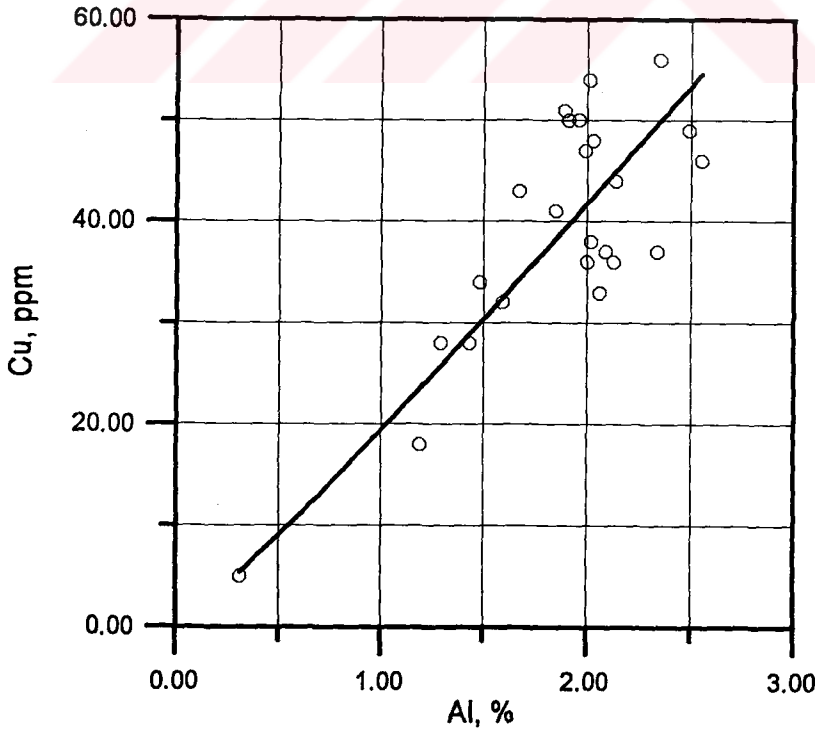
Tablo 5.6. Sapanca Gölü Çevresindeki Kaya Birimlerinden Derlenen Örneklerin Kimyasal Analiz Değerleri

Örnek Kodu	Lokalizasyon	Kayacın Adı	Al (%)	Na (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
KUR-1	Güney kesim. Kurtköy-Kurudere	Şist	5.0	0.90	0.13	5.4	2.0	0.80	57	-	23
KUR-3	Güney kesim. Kurtköy-Kurudere	Mermer	0.65	-	0.005	24	1.8	0.16	60	-	21
MAH	Güney kesim. Kurtköy-Kurudere	Şist	9.58	0.65	0.17	4.8	2.4	1.80	97	40	23
KAR	Güney kesim. Mahmudiye Dere	Şist	10.13	1.50	0.11	4.0	5.4	2.87	133	20	46
MAŞ	Güney kesim. Karçay (Yanık) Dere	Kristalize Kireçtaşı	1.35	-	0.01	40.0	1.7	0.32	57	38	-
İST	Güney kesim. Maşukiyiye Dere	Şist	4.68	0.85	0.16	0.6	2.2	0.48	135	20	35
UZUN	Güney kesim. İstanbul Dere	Kumtaşı	2.35	0.80	0.09	0.2	1.5	0.64	13	-	-
ELMA	Kuzey Kesim. Uzunlarla Köyü	Kumlu Tuf	9.44	1.25	0.06	5.2	2.2	1.97	78	-	12
HAS	Kuzey Kesim. Elma yalak Dere	Andezit	5.07	2.00	0.04	1.1	2.0	1.80	56	14	35
CEHN	Kuzey Kesim. Kunduzkaya	Kireçtaşı	1.85	0.20	0.04	26.0	2.7	0.80	55	17	12
CEH	Kuzey Kesim. Cehennem Dere	Kireçtaşı	2.45	0.15	0.06	18.0	1.7	0.56	99	16	12
ARIŞ	Kuzey Kesim. Çark Kanalı Kuzeyi	Kumtaşı	2.40	0.90	0.14	1.4	2.8	0.96	38	-	12
KAV	Kuzey Kesim. Çark Kanalı Kuzeyi	Konglomera	4.60	0.80	0.15	0.4	1.7	1.52	78	15	23

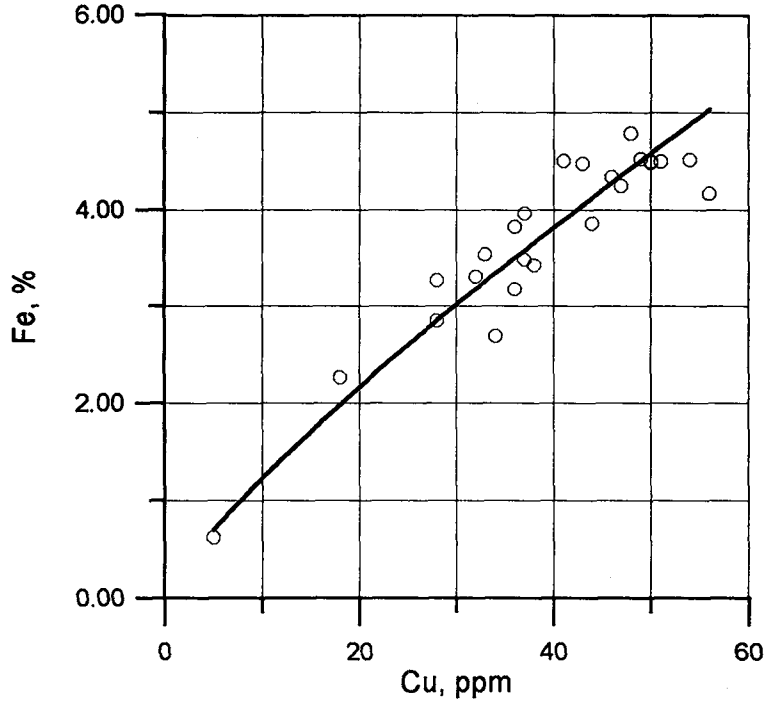
Havzadaki jeojik birimlerden alınan örneklerde yapılan kimyasal analiz değerleri de (Tablo 5.6) dip çamurlarındaki yüksek Cu konsantrasyonunu destekler mahiyettedir. Gölün güneyine ait kaya birimlerindeki Cu'nun ortalama konsantrasyonu 90 ppm. dir. Bu değer, kuzey kesime ait kaya birimlerinde 60 ppm'e düşmektedir. Dip sedimanlarındaki Cu konsantrasyonlarının ortalama değerleri gözönüne alındığında, kayalarda izlenen konsantrasyonlara benzer sonuçların elde edilmesi, güney kesimdeki dip çökellerindeki yüksek Cu değerlerinin litoloji ile yakından ilişkili olduğu söylenebilir. Öte yandan güney kesime ait kaya örneklerindeki Cu konsantrasyonu şistlerde zengin, mermer ve kristalize kireçtaşlarında konsantrasyon azalmaktadır.

Tüm saha genelinde, örneklerin Cu/Al oranları arasında kuvvetli bir ilişki vardır (Şekil 5.2). Özellikle kum+çakıl boyutuna sahip örneklerde Cu/Al oranlarının düşük olması, Cu'nun sedimantasyon sonrasında ince taneli materyallerde zenginleştiğini göstermiştir.

Ayrıca, Fe/Cu arasında da kuvvetli bir korelasyonun bulunması ve analizlerde Fe değerlerinin yüksek olması killerin Fe'ce zengin olduğunu göstermektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.2 Cu- Al ilişkisi



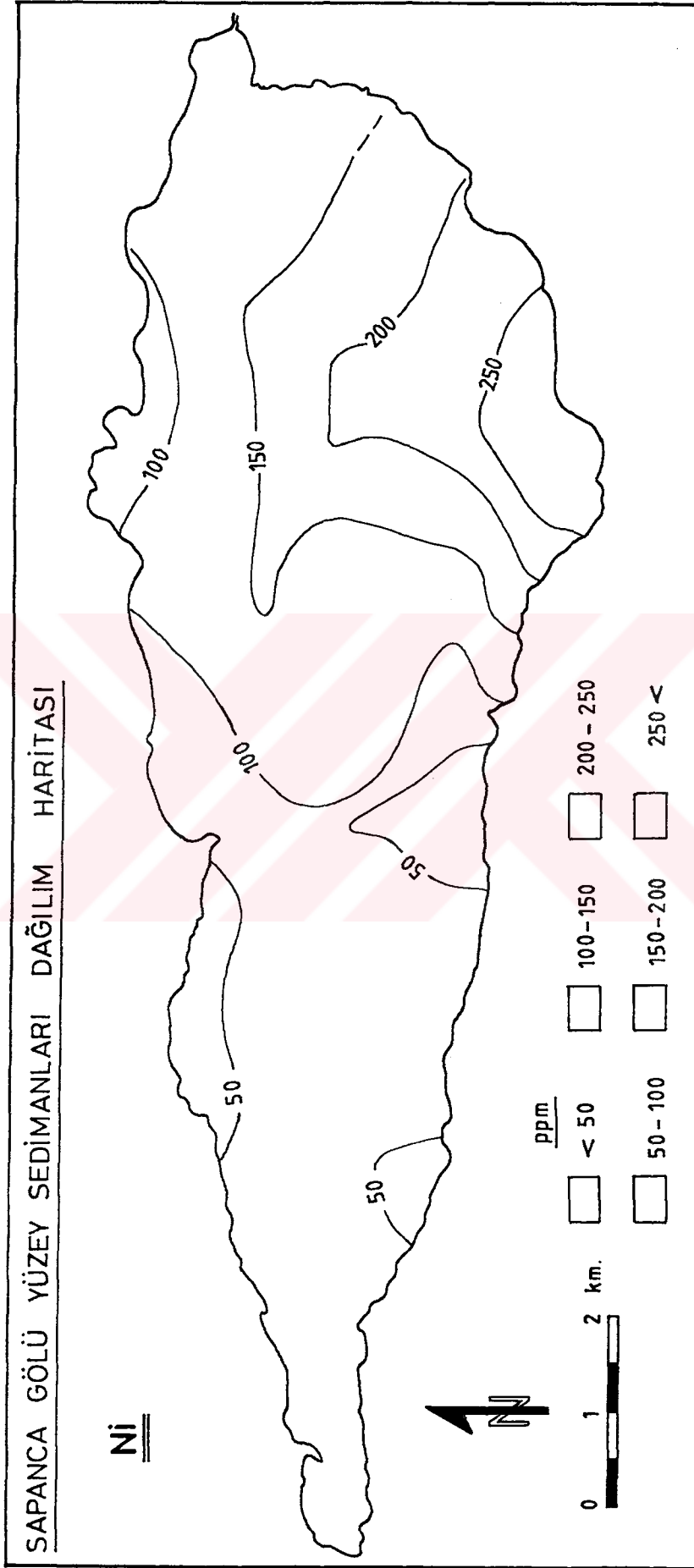
Şekil 5.3 Fe-Cu ilişkisi

Çalışma alanının güney kesiminde Litolojinin yanı sıra, bölgedeki Sekman fabrikasının bulunuşuna bağlı olarak, Cu konsantrasyon artışını hem litojenik hemde antropojenik bir kirlenmeyle açıklamak doğru olacaktır.

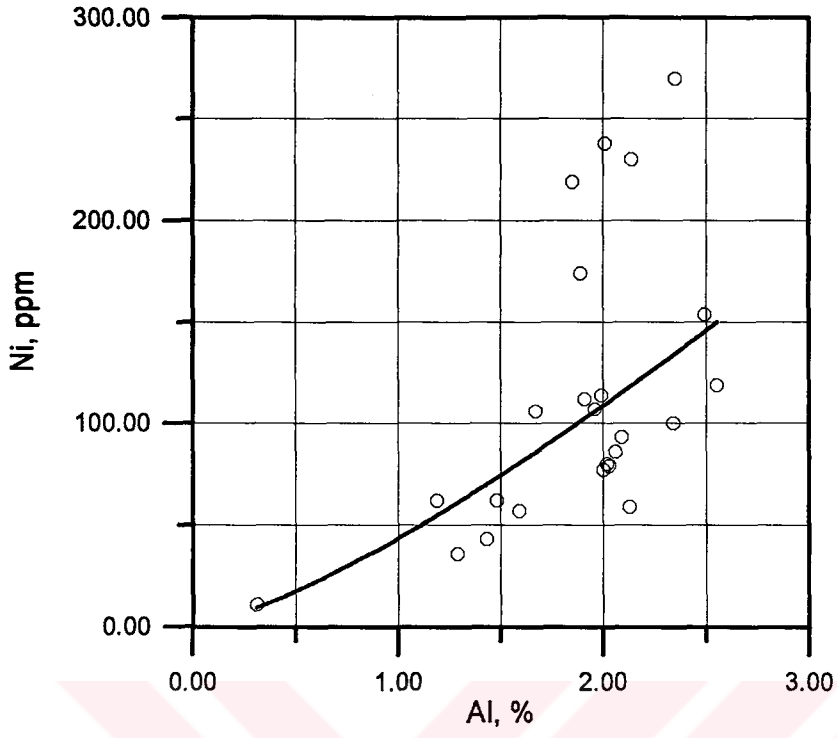
5.2.2. Nikel

Nikel konsantrasyonu 11-270 ppm arasında olup ortalama değer 112 ppm. dir. Bu değer, Tablo 5.4.'te verilen ortalama değerlerden oldukça fazladır. Gölün doğusunda, özellikle de güneydoğu kesimlerinde en yüksek konsantrasyona ulaşmaktadır (Şekil 5.4).

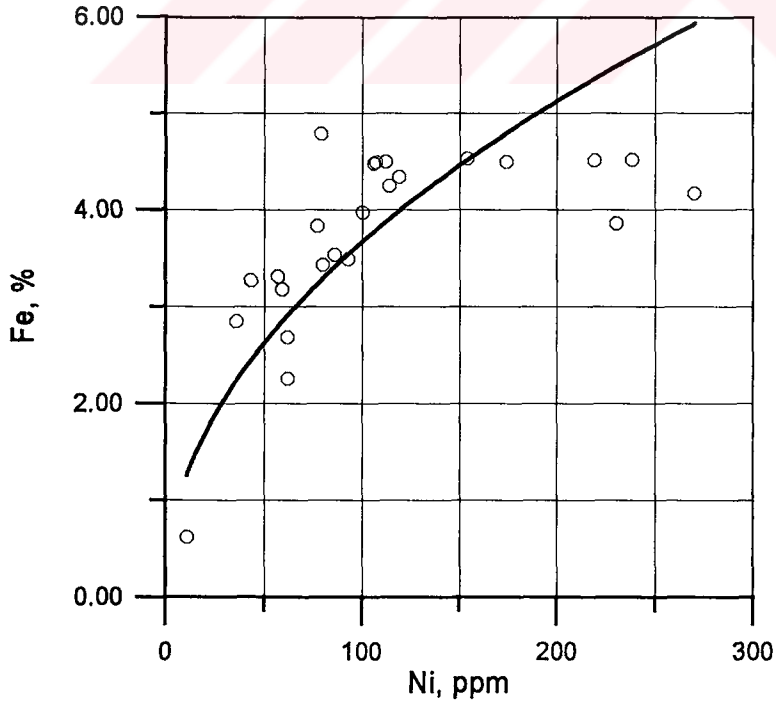
Göldeki Al konsantrasyonu %0.31-2.55 arasında değişir ve en yüksek konsantrasyona gölün merkezi kesimlerinde rastlanmıştır. Sedimanların tane boylarına ve mineral bileşimlerine bağlı olarak değişen konsantrasyonlar, kuzeydeki D-12 no'lu kum+çakıl tane boyuna sahip örnekten, ince taneli örneklerle doğru giderek artan değerlere ulaşmaktadır. Ni/Al arasında, nikel'ce zengin D-32, D-28, D-31, D-29 ve D-24 no'lu örneklerin haricindeki tüm örnekler rölatif olarak üniformaluluk gösterirler (Şekil. 5.5). Ni ile Fe arasında da izlenen pozitif korelasyondan dağılımın Al gibi üniform olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.6).



Şekil 5.4. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Ni Dağılımı.



Şekil 5.5. Ni-Al İlişkisi



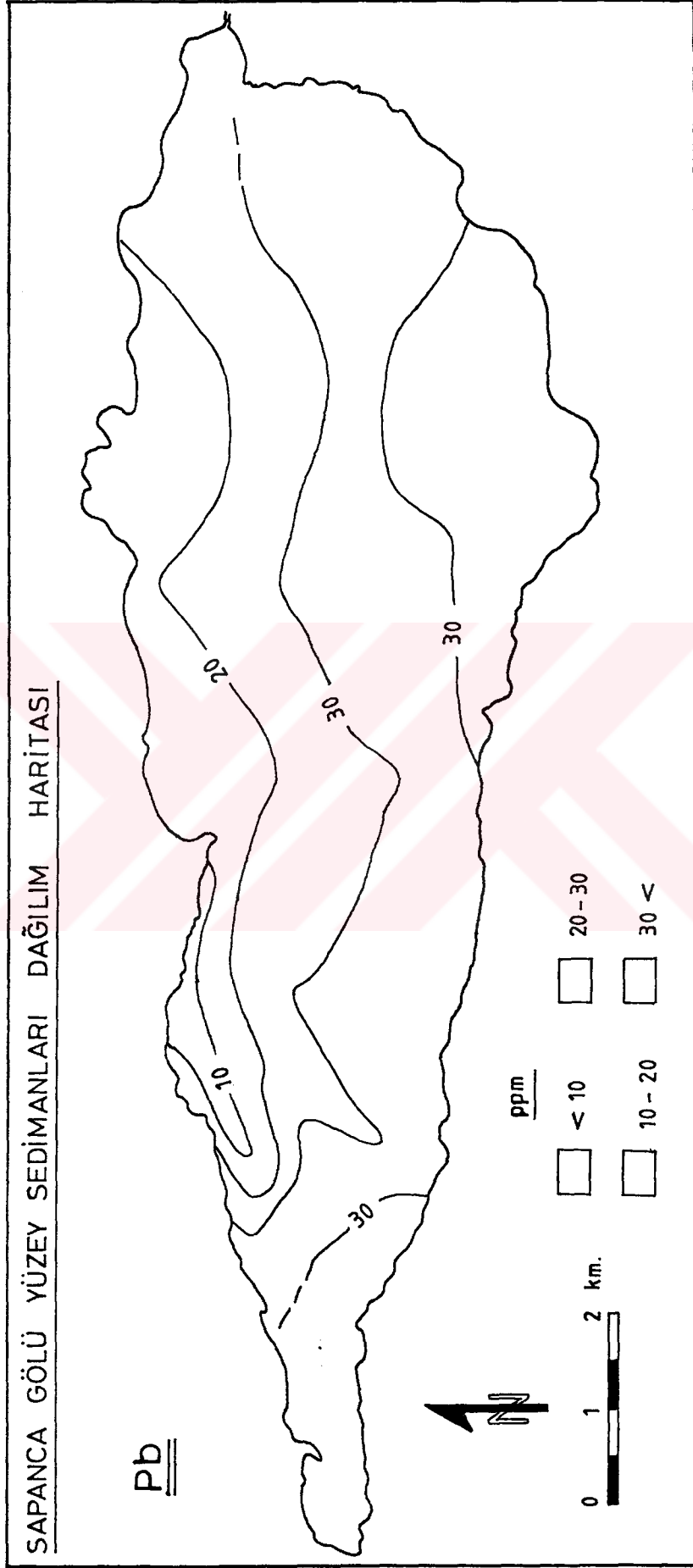
Şekil 5.6. Fe-Ni İlişkisi

Şekilden de izleneceği gibi sedimanların tane boyu küçüldükçe, metallerin konsantrasyonlarında da artış izlenmektedir. Nikel konsantrasyonunun, göl güney havzasındaki, Paleozoyik yaşlı serisit şist, kuvarsit, kristalen kalker, gnays ve amfibol şistlere bağlı litolojiden kaynaklandığı ve özellikle güneydoğu kesimlerde bu litolojinin yanı sıra, yerleşim alanlarından ve rejenerasyon, filtrasyon ve kaplanmış malzemelerin yıkanmasında kullanılan atık sularını Mahmudiye Deresi ile göle boşaltan, döküm, fiziksel temizleme ve kaplama gibi işlemler içeren Segman fabrikasından dolayı artış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

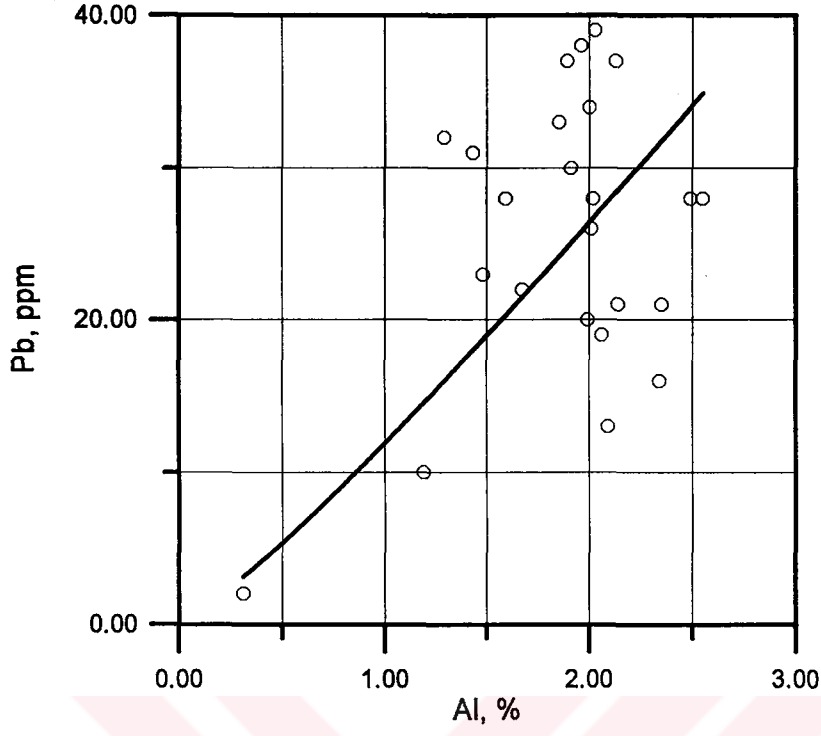
5.2.3. Kurşun-Pb

Kurşun değerleri 2-39 ppm arasında olup, ortalama değer 26 ppm. dir. Genelde, sedimanter kayaçlar, diğer metallere oranla daha düşük Pb değerlerine sahiptirler (Tablo. 5.4). Bu çalışmadaki kurşun değerleri benzer bir dağılım göstermesine rağmen, gölün doğu-batı doğrultusunda ve merkezi kesimlerinde en yüksek değerlere ulaşmıştır (Şekil. 5.7). Çeşitli etkilerle göle sediman birikimi sırasında özellikle ince taneli sedimanların biriktiği kesimlerde yüksek Pb konsantrasyonuna ulaşılması, buradaki sedimantasyonla ilişkilidir. Şekil. 5.8'deki Pb/Al oranları arasındaki pozitif korelasyon, bu sonucu doğrulamaktadır. Öte yandan, Sapanca Gölü çevresinden derlenen kaya örneklerinin Pb konsantrasyonları, güney kesimdeki örneklerde ortalama 20 ppm iken kuzey kesimdeki örnek ortalamaları 9 ppm'e düşmektedir. Bu kesimden alınan kumtaşı ve kumlu tuf birimlerinde Pb değerleri sıfırken, konglomera, kireçtaşı ve andezitlerde ortalama 15 ppm. Pb değerleri ölçülmüştür. Güney kesimde de kristalize kireçtaşlarında ölçülen yüksek konsantrasyon (38 ppm) değerleri dip sedimanlarındaki Pb konsantrasyonlarının litolojiye bağlı olduğunu göstermektedir.

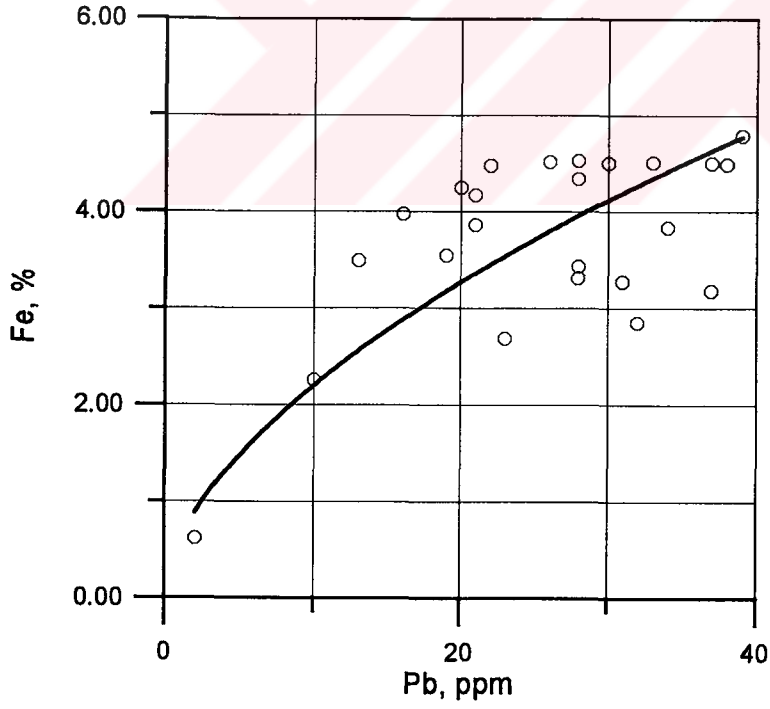
Fe ile Pb arasındaki pozitif korelasyon Pb konsantrasyonunun ince taneli sedimanlarda fazlalaştığını açıkça göstermiştir (Şekil. 5.9). Ancak yapılan kil fraksiyon çalışmalarında 2 μ boyutundaki malzemelerde Pb konsantrasyonlarına rastlanmaması, bu elementin büyük bir olasılıkla silt bileşenli malzemelerde zenginleştiğini düşündürmektedir. Ayrıca Al ile Pb arasında izlenen pozitif korelasyon, Pb'nun feldspattan gelen Al'a bağlı olarak da zenginleştiğini işaret eder.



Şekil. 5.7. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Pb Dağılımı.



Şekil 5.8. Pb-Al ilişkisi.



Şekil. 5.9. Pb ile Fe Arasındaki İlişki.

5.2.4. Çinko

Çinko değerleri, 7-106 ppm arasında değişirken, ortalama değer 83 ppm. dir. Bu değer sedimanter kayaç ortalamalarıyla benzerdir (Tablo. 5.4). Değerler, yerleşim alanının ve sanayi kuruluşlarının yoğun olduğu güney kesimlerde en yüksek konsantrasyona ulaşmaktadır (Şekil. 5.10). Bu kesimdeki kristalize kireçtaşlarından alınan örnekte Zn değerine rastlanmazken (Tablo. 5.6) şistler içinde en yüksek konsantrasyon (46 ppm) değerlerine ulaşılmıştır.

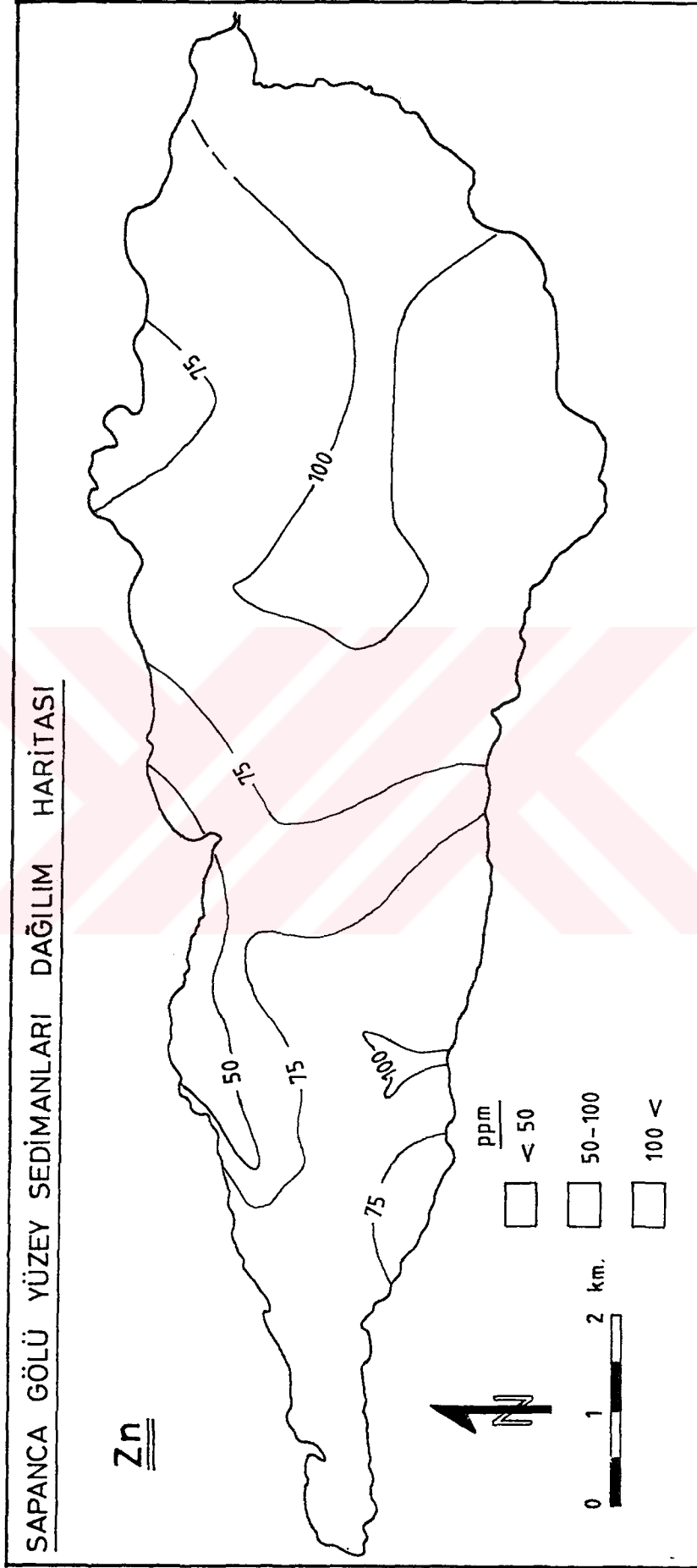
Zn/Al oranları arasında kurulan ilişkide pozitif bir korelasyonun varlığı (Şekil. 5.11), bu metalin killi materyallerle olan bilikteliğini desteklemektedir. Ayrıca çinkonun demir ile olan ilişkisi de kuvvetli bir korelasyonu vermekte ve dolayısıyla bu killi malzemenin Fe'ce zengin kloritlerden gelmiş olabileceği ihtimalini kuvvetlendirmektedir (Şekil. 5.12).

Yine çalışma alanının güneybatı kesiminde, metamorfik şistler içinden geçen İstanbul Dere'nin yakınlarından alınan örnekte de (2 no'lu örnek), Zn konsantrasyonu yüksektir. Güney kesimde, Zn konsantrasyonunun artması buradaki litolojik birimlerle ilişkili olmasına rağmen kuzey ve güney kesimden derlenen kaya örneklerinde ölçülen Zn değerlerinin ortalama 20 ppm olması , Litolojik bir kirlenmeden çok, bu kesimde yeralan Mandıra ve Kalıtarla Dere civarındaki Serflex fabrikası ve bir Süthane ile motorlu su deposunun bulunuşuna ve çevre köylerle de ilintili olarak antropojenik bir kirlenmeye işaret etmektedir.

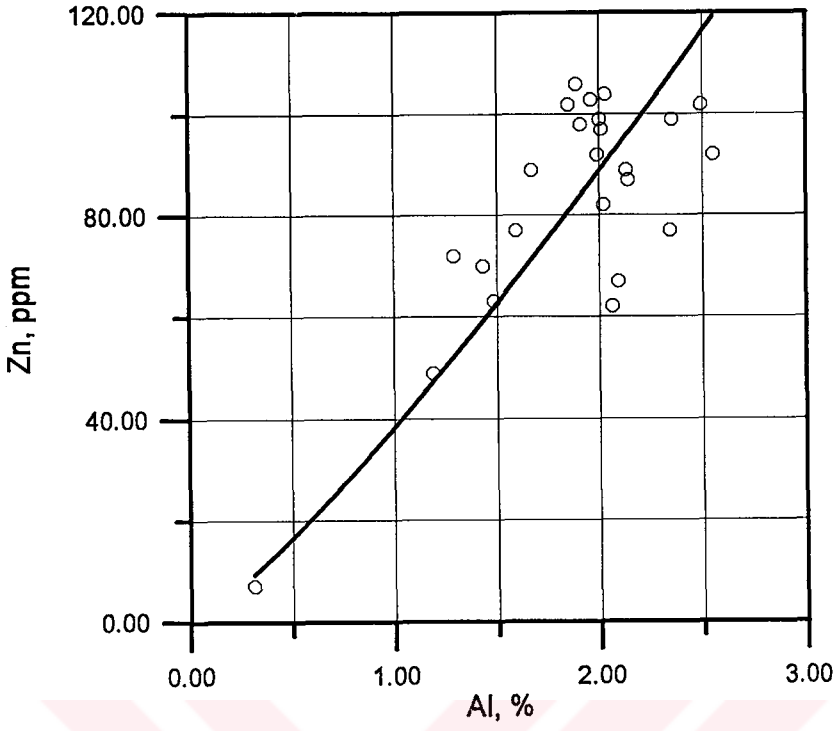
5.2.5. Kobalt

Kobalt konsantrasyonu, 4-28 ppm arasındadır. Ortalama değer ise 18 ppm. dir. Bu değer, ortalama sedimanter kayaçlarla benzerlik gösterir. Diğer metaller gibi gölün güneydoğu kesimlerinde yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşılmıştır (Şekil. 5.13).

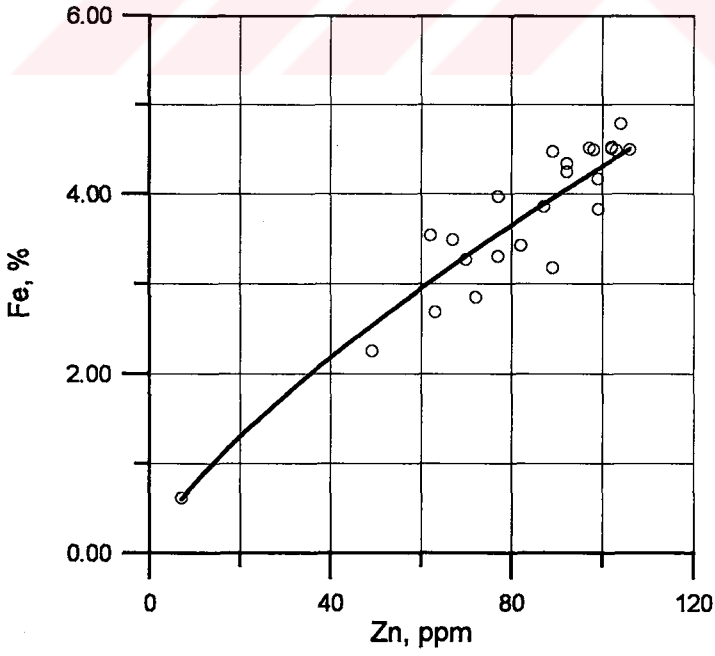
Co ile Al arasında kuvvetli pozitif ilişki vardır (Şekil. 5.14). Bu kuvvetli ilişki, COSMA and et. al., 1982, VARNAVAS and et.al., 1987, tarafından da önerilen genel litolojik karakterle yakından ilgilidir.



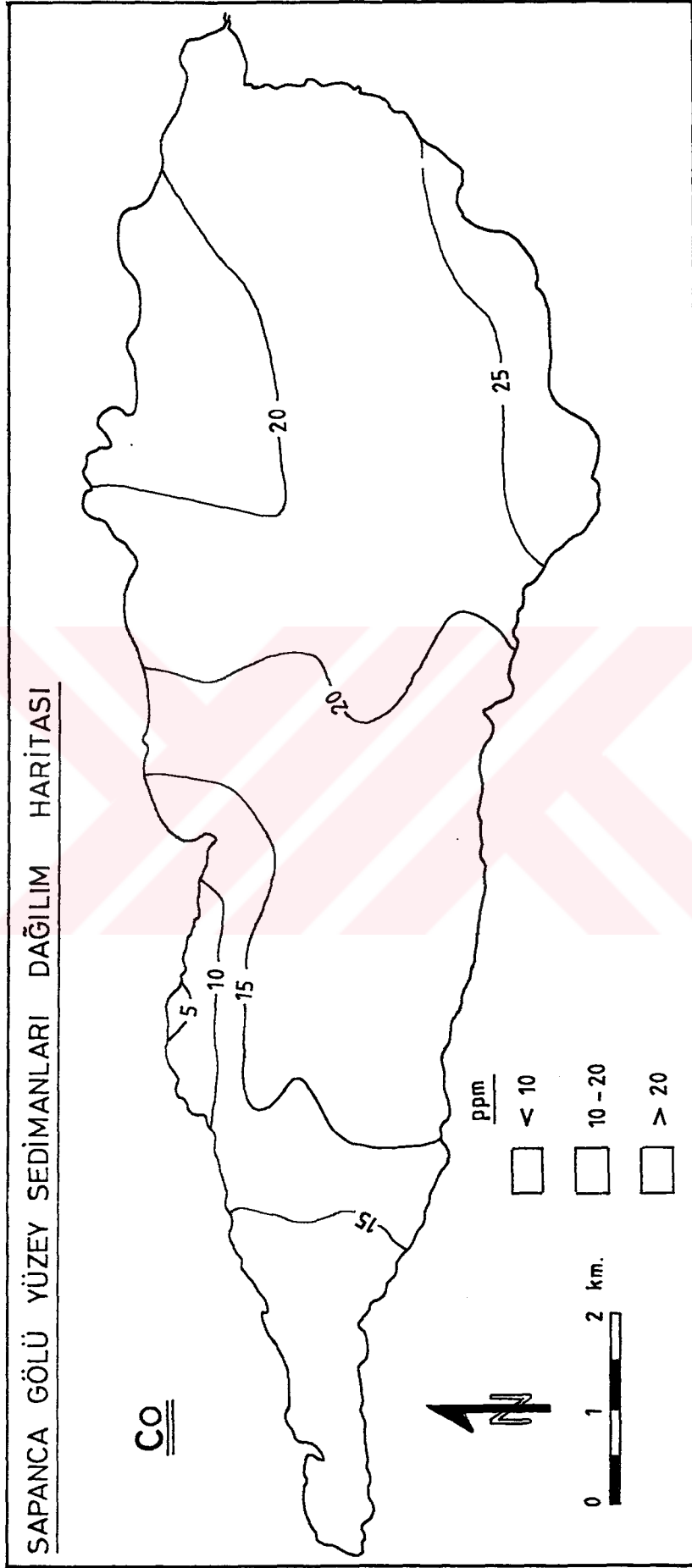
Şekil. 5.10. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Zn Dağılımı.



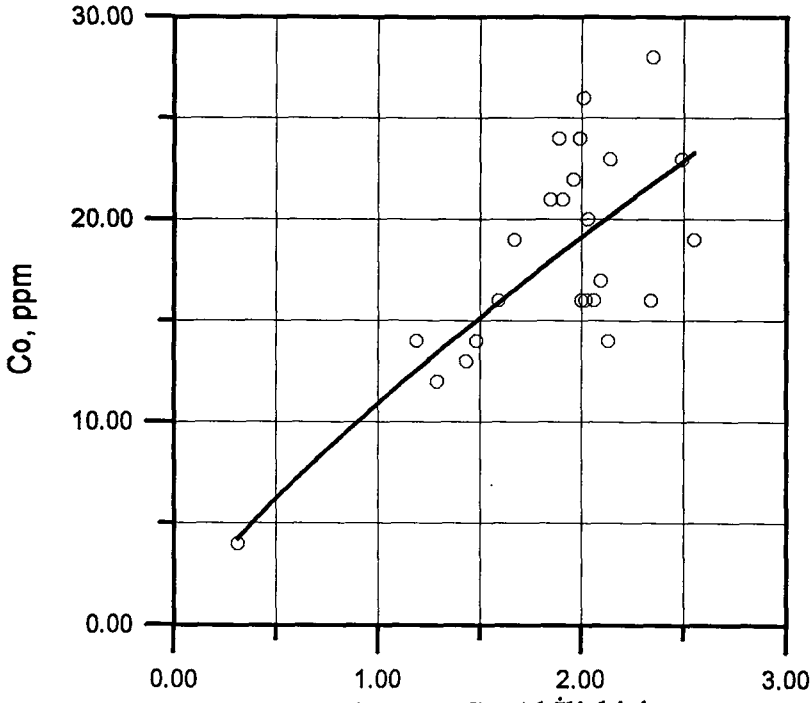
Şekil. 5.11. Zn-Al ilişkisi.



Şekil. 5.12. Fe-Zn ilişkisi.

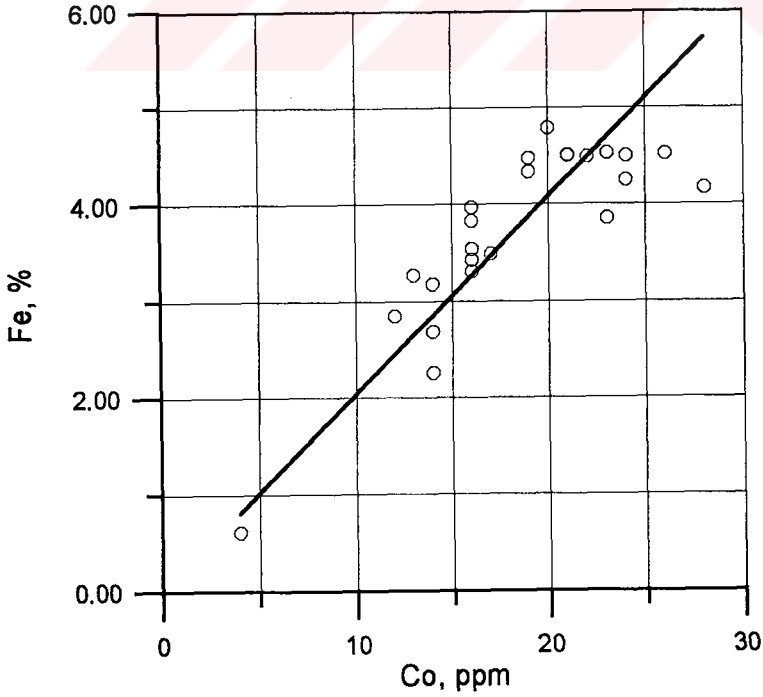


Şekil. 5.13. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Co Dağılımı.



Şekil. 5.14. Co-Al İlişkisi.

Ayrıca Co ile Fe arasında oldukça kuvvetli pozitif bir korelasyon izlenmesi litojiyle bağlı olarak, bu metalin ince taneli Fe'ce zengin killeri seçtiğini göstermektedir (Şekil. 5.15).



Şekil 5.15. Fe-Co İlişkisi.

5.2.6. Mangan

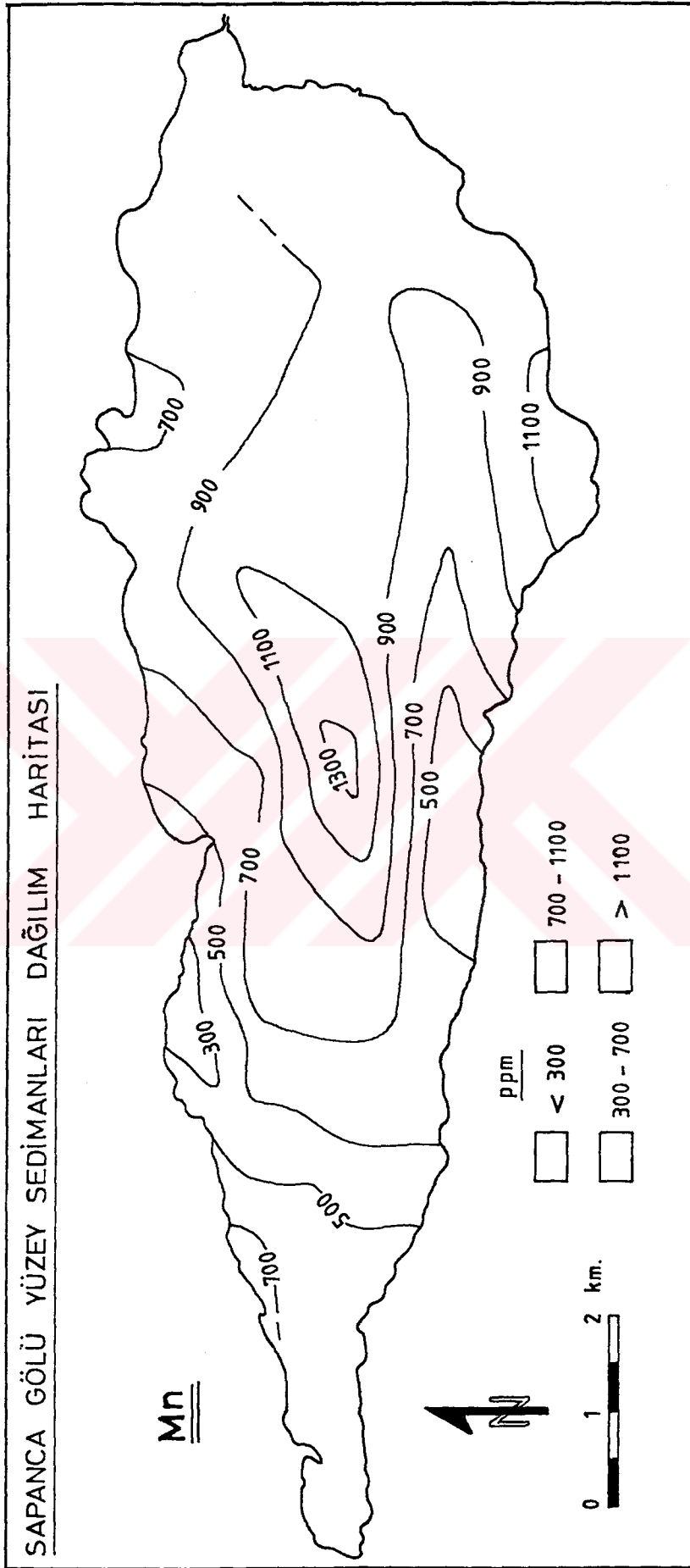
Mangan değerleri, 141-1333 ppm arasında olup, ortalama değer 752 ppm. dir. Diğer metallerle benzer ilişkisi gösteren mangan, özellikle gölün merkezi kesimi ile güneydoğu kesiminde en yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşmıştır (Şekil. 5.16).

Mn/Al arasında pozitif bir korelasyonun olması, sedimantasyonla ilişkili olarak, bu elementin killi materyalleri seçerek artış göstermesidir (Şekil. 5.17). Ayrıca Fe ile Mn arasında da Al'a benzer bir korelasyonun olması bu düşüncüyü doğrulamaktadır.

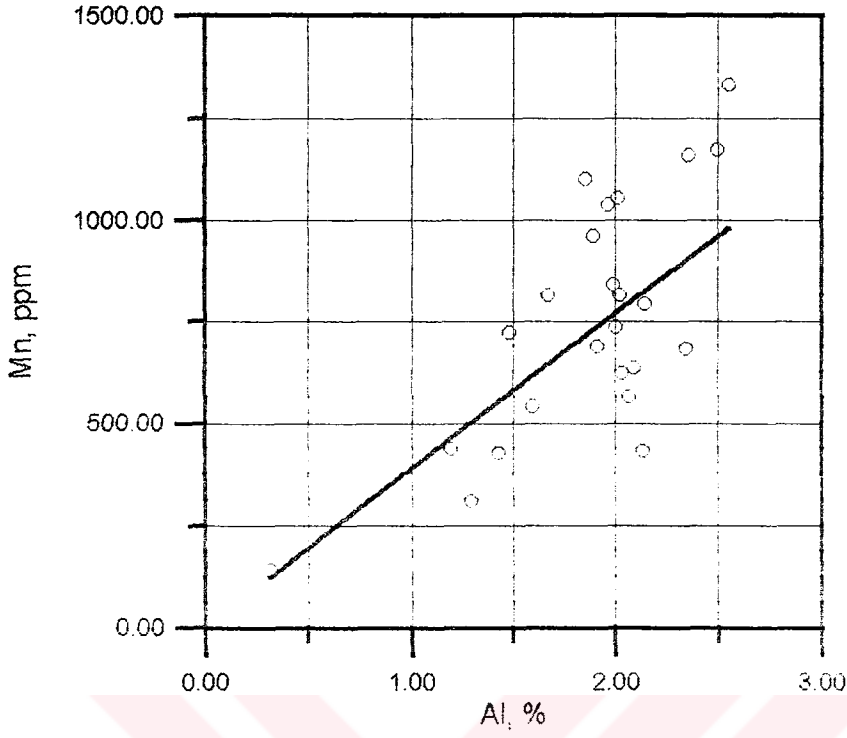
5.2.7. Krom

Krom değerleri 7-169 ppm arasındadır. Ortalama değer ise 66 ppm. dir. Bu değer, TUREKIAN and WEDEPOHL, (1961)'in ortalama çamur değerlerinden daha azdır. Kromun yüksek konsantrasyon değerlerine gölün doğusunda, özellikle de güneydoğu kesiminde rastlanır (Şekil 5.19).

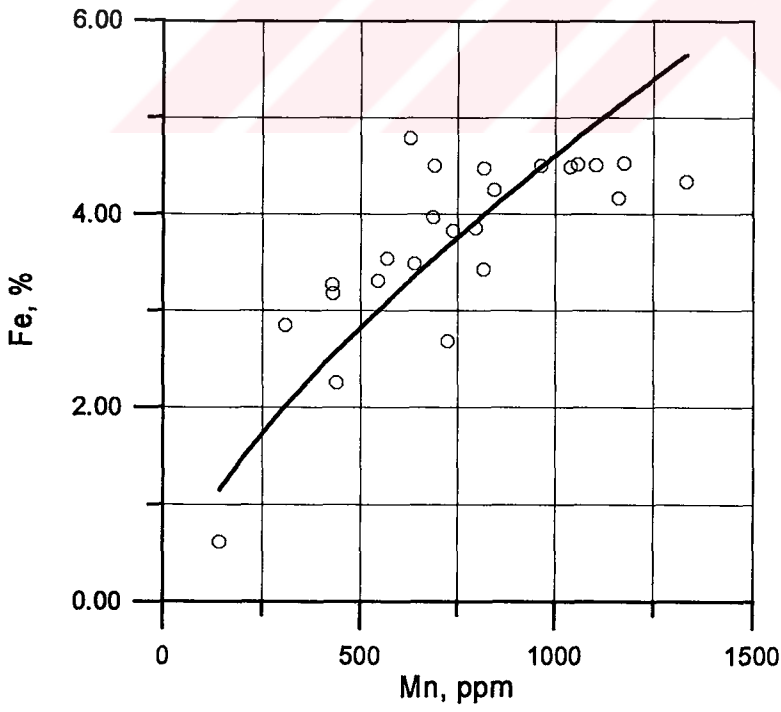
Sapanca Gölünün doğusundan geçen Sakarya Nehri'nde yapılan çalışmalarda, 55-179 ppm. Cr değerlerinin saptanması ve bu çalışmada da özellikle doğu kesimlerde benzer artışların izlenmesi kısmen de olsa jeolojik kaynaklarla ilişkili bir zenginleşmeyi ifade etmektedir (YÜCESOY, 1991). Ancak diğer elementlere oranla Cr ile Al arasında daha düşük bir korelasyonun ($r=0.72$) olması ve özellikle güneybatı kesiminde Cr'un Al'dan farklı davranması (Şekil 5.20), Fe ile Cr arasında D-24, D-31, D-32, D-29, D-28, D-19, D-33 nolu örneklerin dışındaki örneklerde de benzer bir ilişkinin olması, krom konsantrasyonunun sadece jeolojik kaynaklarla ilişkili olmadığını ve antropojenik bir kirlenmenin söz konusu olduğunu göstermektedir (Şekil 5.21).



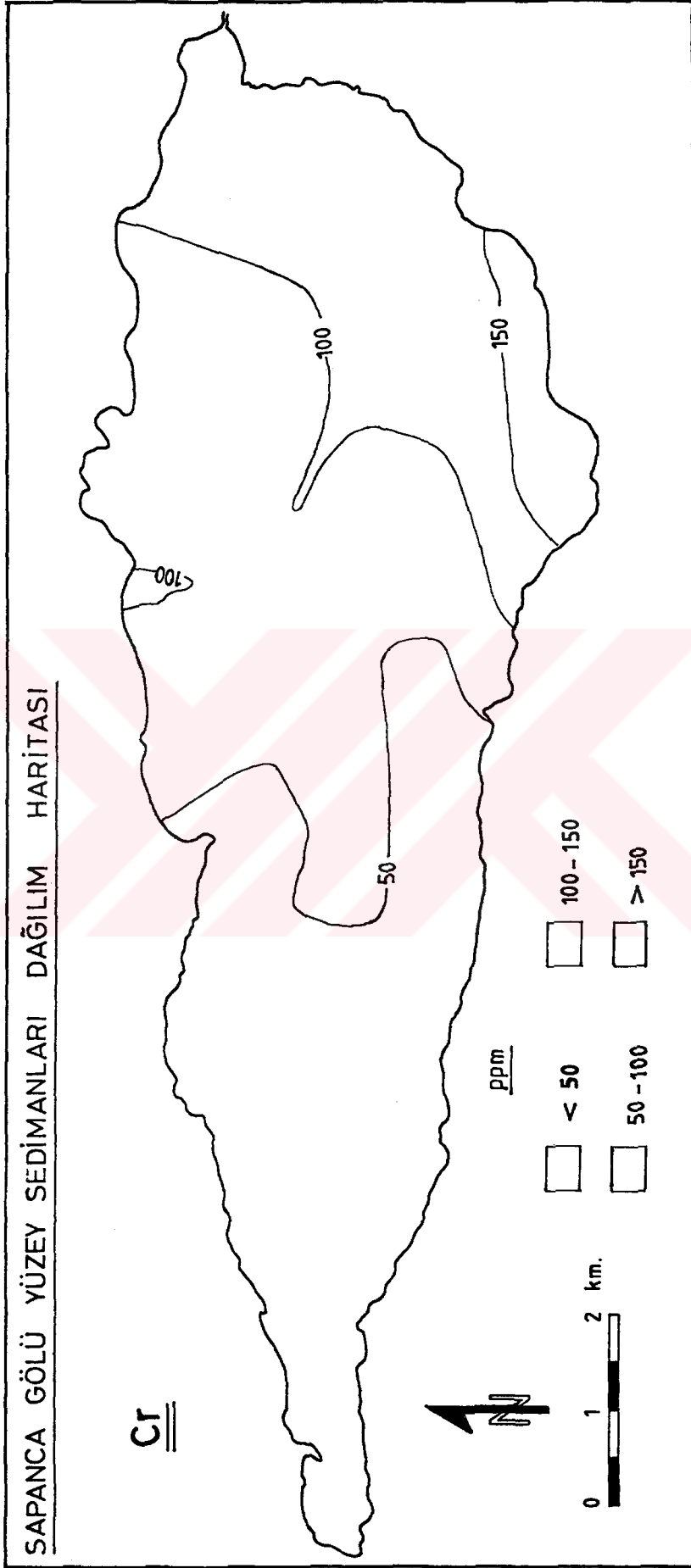
Şekil. 5.16. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Mn Dağılımı.



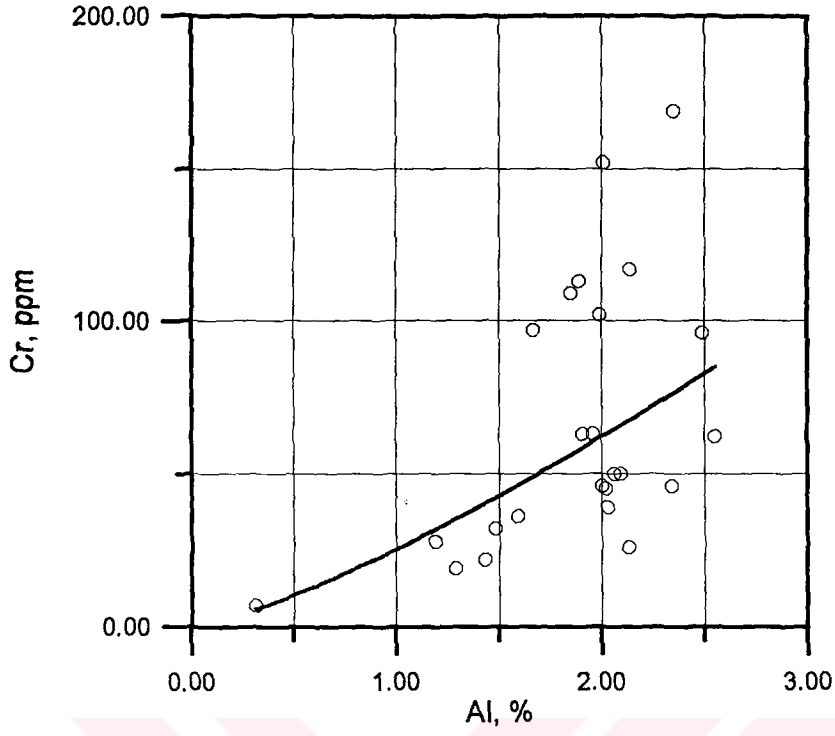
Şekil 5.17. Mn-Al İlişkisi.



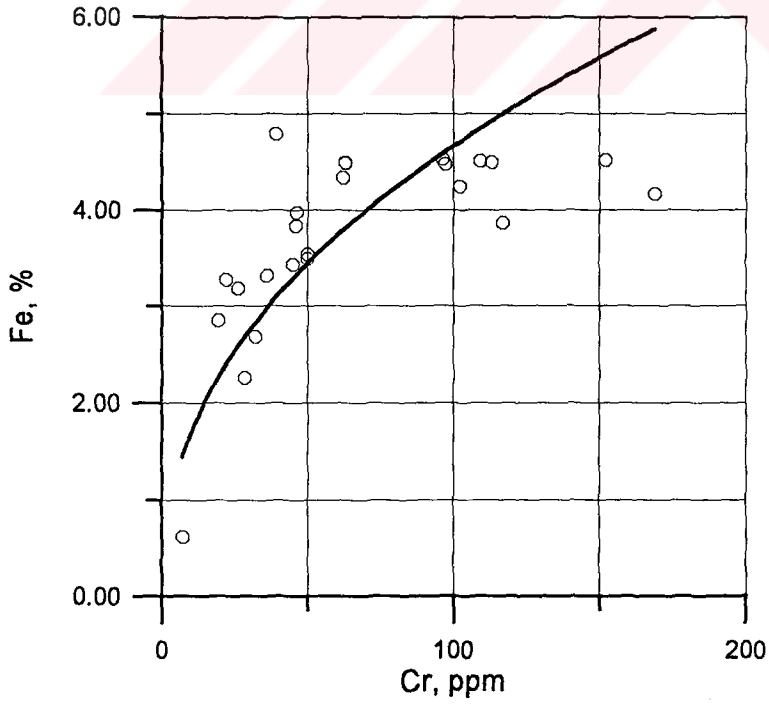
Şekil 5.18. Fe-Mn İlişkisi.



Şekil 5.19. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Cr Dağılımı.



Şekil 5.20. Cr-Al İlişkisi



Şekil 5.21. Cr-Fe İlişkisi

5.3. SEDİMANLARDA MİNÖR ELEMENT DAĞILIMI

5.3.1. Vanadyum

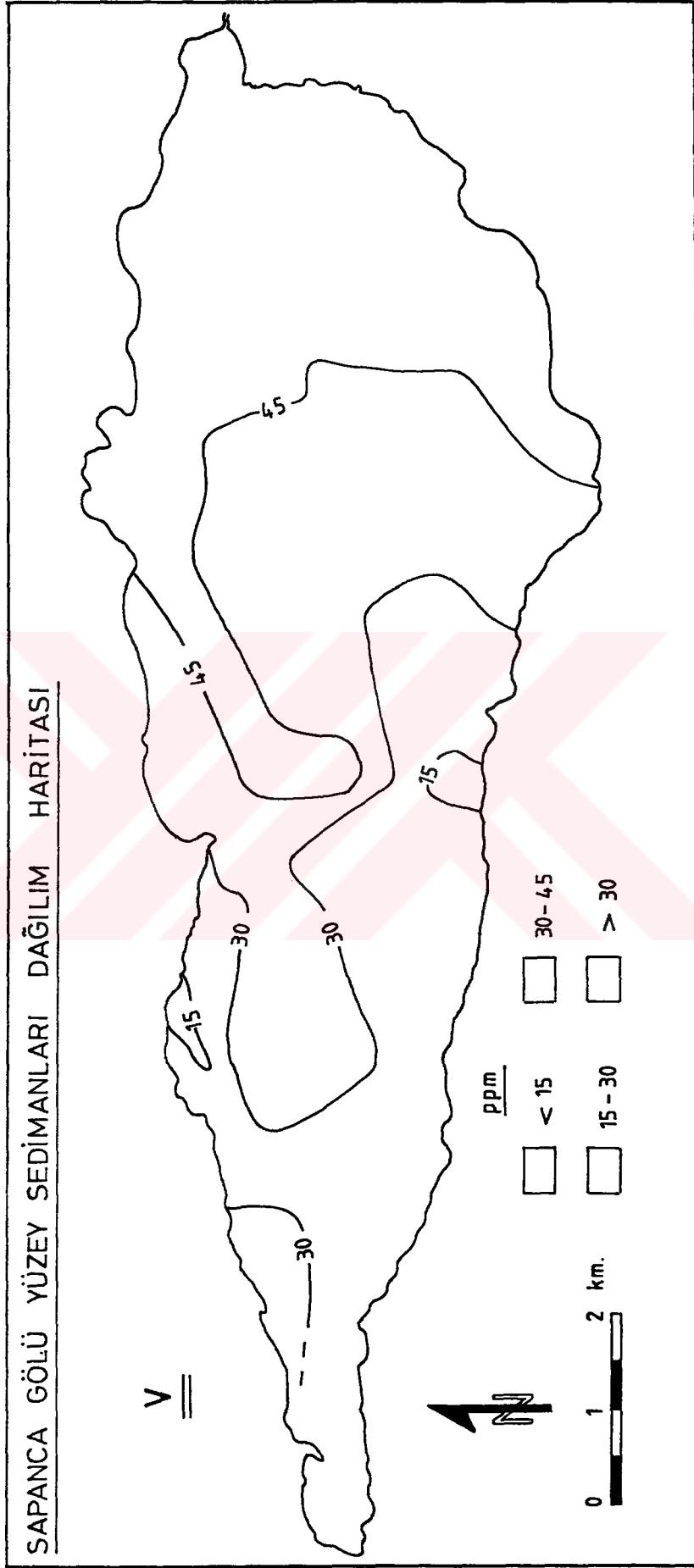
Sapanca Gölü dip sedimanlarında vanadyum miktarları özellikle 30-35 m. derinlikteki kuzey kesimlerde ve doğuya doğru artan değerlerde izlenmektedir (Şekil 5.22). Kil mineralleri içersindeki vanadyum değerleri özellikle şistli killerde 2000 ppm.'e kadar çıkabilmektedir (BÜRKÜT, 1986). Gölün doğu kesiminde ortalama vanadyum değeri 43 ppm dir. Bu değer literatürde, sedimanter kayaçlar için verilen sınırlar içersindedir ve göl sedimanlarındaki silt, kumlu-silt boyutlu malzemelerin izlendiği kesimlerde yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşılmıştır. Öte yandan bu kesimlerde Ni, Pb, Mn gibi ağır metallerin depolanması ve yüksek konsantrasyonlarda izlenmesi vanadyumla benzer bir görünüm içersindedir. Bu pozitif anomali nedeniyle V dağılımının litolojinin yanı sıra antropojenik bir kökene işaret etmektedir.

5.3.2. Baryum

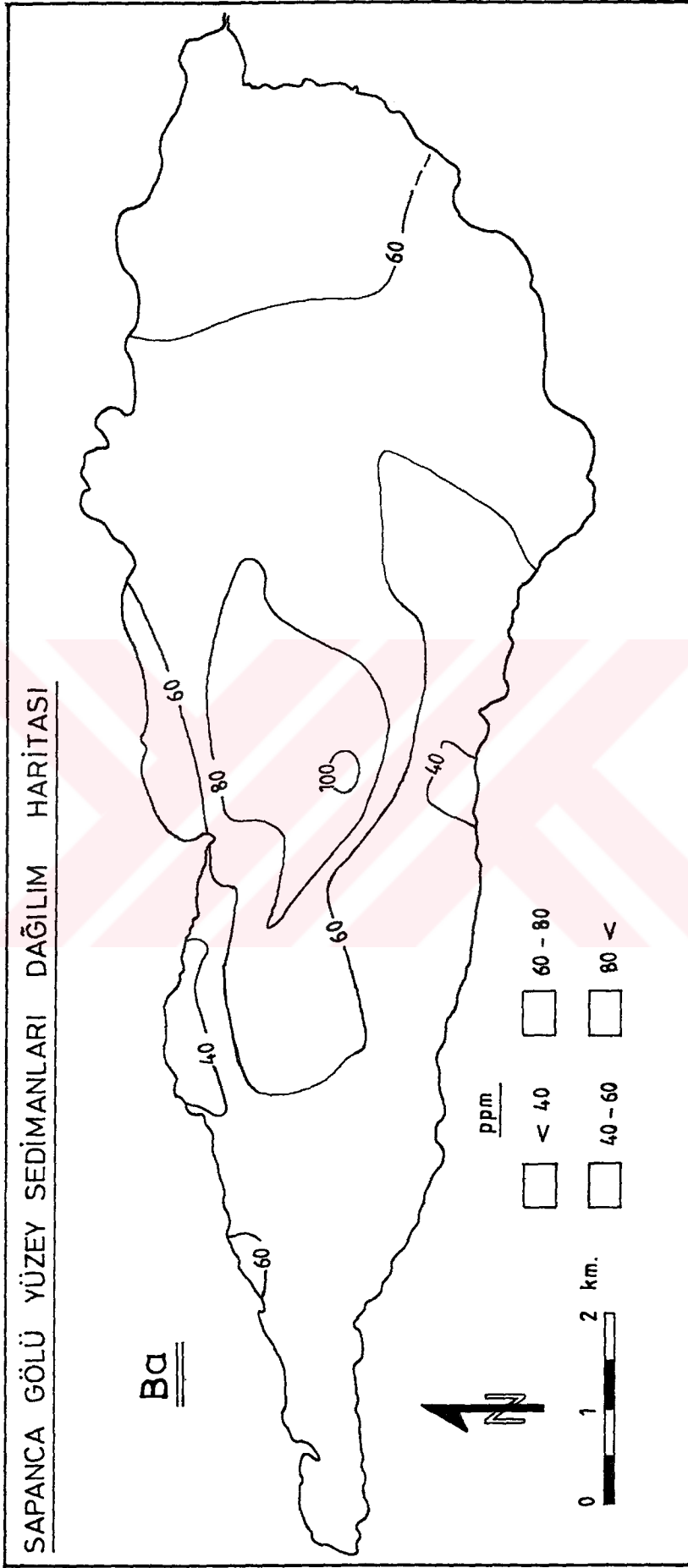
Baryum değerleri derinlikle ilişkili olarak genelde üniform bir dağılım göstermekle birlikte gölün kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda, merkezi kesimleri de içine alan bölgede pozitif anomaliler göstermektedir (Şekil 5.23). Çökelen sedimanların tane boyutuna bağlı olarak (kaba tanelilerde daha az) artış gösteren konsantrasyon değerleri, özellikle gölün merkezi kesiminde ve silt boyutlu malzeme içersinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Öte yandan baryumun diğer elementlere oranla kaba tanelilerde hissedilir bir artış göstermesi, sediman mineralojisi ile ilişkili olan bir zenginleşmeyi gösterir. Ve dip sedimanları içersinde feldspat mineralinin bolluğu, baryumun, göl çevresinde kuvars ve feldspatça zengin kumtaşlarının erozyonu sırasında, detritik Si mineralleri ile taşınmış olduğunu düşündürür.

5.3.3. Stronsiyum

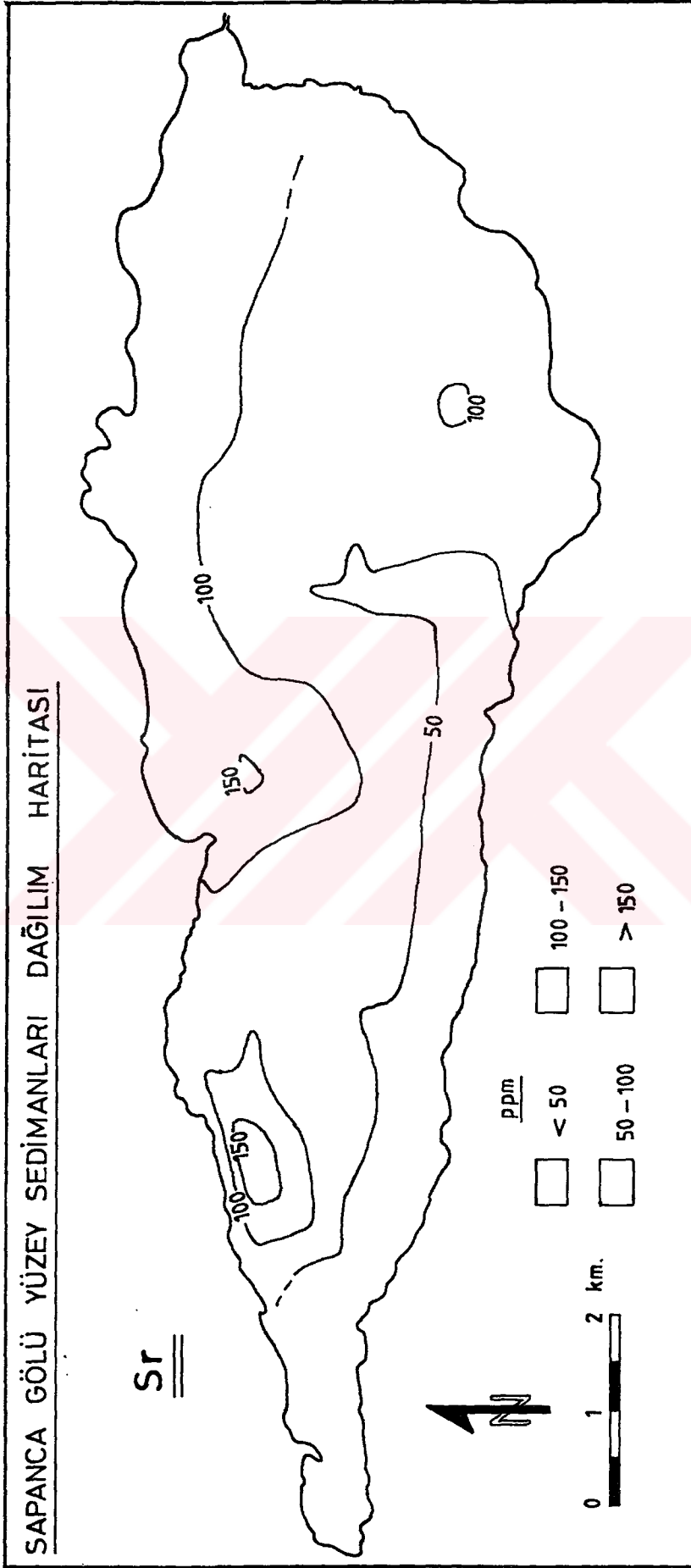
Stronsiyumun göl sedimanları içersindeki dağılımı oldukça düzensizdir (Şekil 5.24). Özellikle güney kesimde oldukça düşük konsantrasyonlarda izlenen Sr değerleri, gölün kuzeyinde ve özellikle kuzeybatı kesimde, derinlikle ters orantılı olarak son derece yüksek bir konsantrasyona ulaşmıştır.



Şekil 5.22. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki V Dağılımı.



Şekil 5.23. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Ba Dağılımı.



Şekil 5.24. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Sr Dağılımı.

Kimyasal özellikler açısından Ba'a benzer davranışlar gösteren stronsiyumun, en fazla yığılma gösterdiği sistemler çamur ve şeyl'lerdir. Dolayısıyla göller, haliç ve lagünler, stronsiyumun fizikokimyasal çökelme ortamına uygun sistemlerdir. Ve özellikle klorürlü sular, stronsiyumun zenginleşmesi için en uygun ortamlardır. Sapanca Gölü sularında klor konsantrasyonunun oldukça yüksek değerlerde izlenmesi, çeşitli etkenlerle (litoloji-antropojenik kirlilik v.b. gibi) su kolonu içinde bulunan stronsiyumun zenginleşerek uygun şartlarda çökelişi ile sedimanlarda zenginleştiği sonucuna varılmıştır.

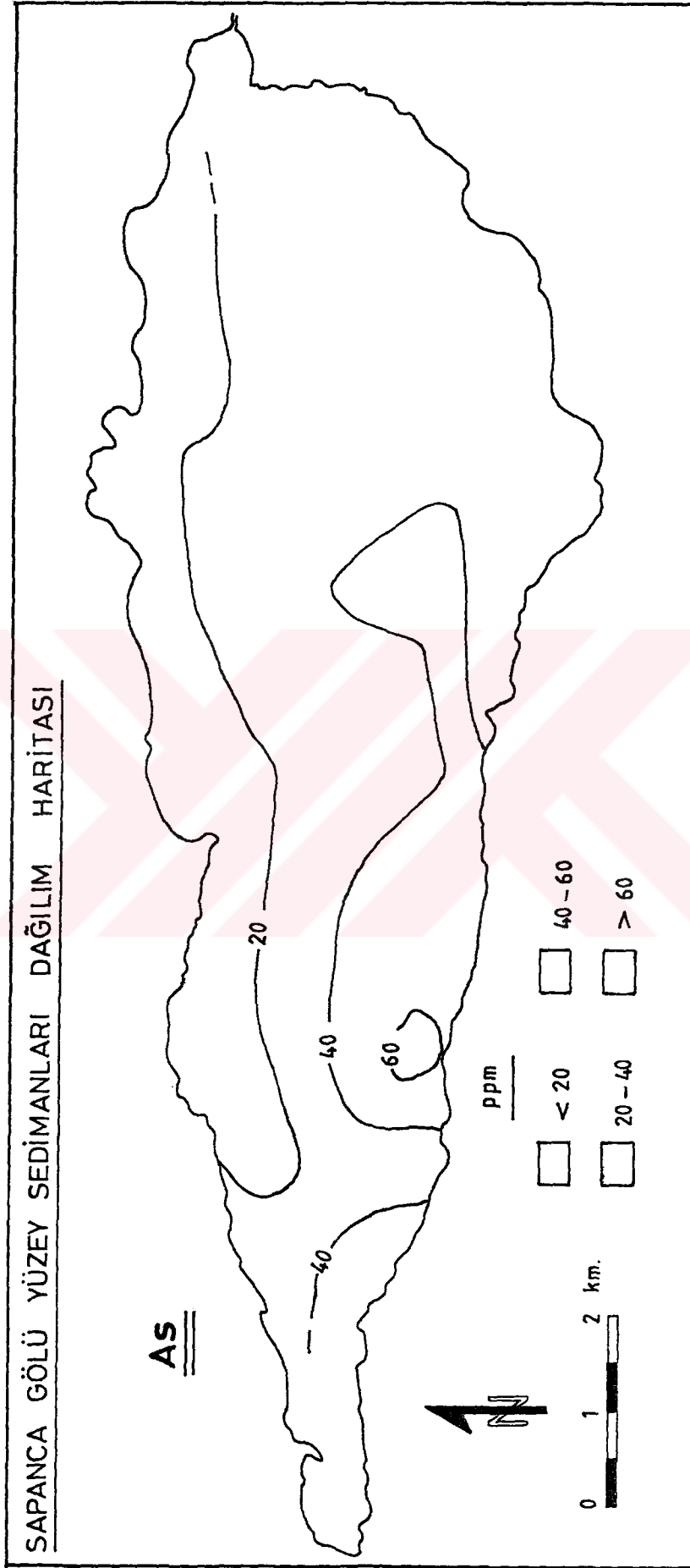
5.3.4. Arsenik

Gölün güney kesimleri kuzey kesime oranla daha yüksek As konsantrasyonuna sahiptir (Şekil 5.25). Ortalama As konsantrasyonu 27 ppm. dir. Şeyl, kumtaşı gibi sedimanter kayalar içinde izlenen stronsiyumun, manyetit ve ilmetler içinde 41 ppm'e varan miktarlarda zenginleştiği, göl sedimanlarının ise 15 ppm As içerdiği literatürde verilmiştir (ŞAHİNCİ, 1991).

Sapanca Gölü güneybatı kesiminden (Segman Fabrikasının bulunduğu kesim) alınan sediman örneklerinde As değeri 40-64 ppm. arasındadır. Bu ise As zenginleşmesinin antropojenik etkilere oldukça bağımlı olduğunu gösterir. Öte yandan, killi-silt tane boyutuna sahip D-8 no'lu örnekte As konsantrasyonunun çok yüksek olması, bu elementin killi tanelerle olan birlikteliğine işaret eder.

5.4. MİNERALOGİNİN SEDİMAN KİMYASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sedimanların mineralojik karakteristikleri, göl veya nehir ortamına taşınan malzemenin elementel bileşimleri ve bununla ilişkili olarak ta hidrosferdeki elementel çevrim ile kontrol edilir. Birçok çalışmacı (VAITHIYANATHAN et. al., 1992; JHA et. al., 1993), elementler arasındaki ilişki ve konsantrasyonların sedimentlerin mineralojik bileşimlerini de yansıtabileceklerini söylemektedirler.



Şekil 5.25. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki As Dağılımı.

Göl sedimanlarındaki mineral kaynakları allojenik, endojenik veya otijenik proseslerin ürünleri olarak oluşurlar (JONES and BOWSER, 1978). Bu fraksiyonların tümü, birkaç özellik dışında, fiziksel, kimyasal ve iklimsel değişimlere, kültürel aktivitelere, biyolojik işlevlere, sedimanların iyon değişim kapasitelerine ve tane boylarına bağlı olan proseslerdir.

Allojenik fraksiyon; göl dışındaki kıyı erozyonuna, atmosferik kirlenmelere, kültürel kaynaklara, drenaj alanındaki jeolojik birimlere, dalga ve akıntılara bağlı olarak türeyen sedimanter materyalleri kapsar. Endojenik fraksiyon; iklimsel ve kültürel değişimlerle oluşan organik ürünlerin, su kolonu içinde zenginleşen organizmaların kimyasal çökelişi ile oluşmuş materyalleri içerir. Nihayet otijenik fraksiyon ise; boşluk akışkanları ile ilişkili olarak, tane boyutu, biyolojik işlevler, sedimantasyon, organik ve inorganik fazlar arasında gelişen kimyasal reaksiyonlar, moleküler difüzyon, kompaktlaşma, iyon değişim karakterlerine bağlı olarak türeyen sedimanları kapsarlar.

Temiz sulara sahip göl sedimentlerinde rapor edilen mineral ve kaynakları Tablo 5.7'de verilmiştir. Sapanca Gölü dip çökellerinden alınan örneklerin X-ışınları difraksiyon verilerine dayanılarak tanımlanan mineralojik bileşimden (Tablo 3.1) faydalanılarak, sediment kimyası ile mineraloji arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde Sapanca Gölü dip çökellerindeki mineral kaynaklarının hakim olarak allojenik olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışılan sediman örneklerinde kuvars dominant mineraldir (Bölüm 3). Feldspat, klorit, muskovit ve kalsit içerikleri birbirine yaklaşık olarak eşittir. İllit ve smektit ise diğer minerallere oranla daha düşük miktarlardadır. Bilindiği gibi çökel malzemelerinin, %25-35 kadarını oluşturan kil boyutlu materyaller içinde illit, doğada en yaygın olarak rastlanılan kil mineralidir ve çoğunlukla muskovitle birlikte izlenir. Bunun yanında klorit, montmorillonit, serisit ve kaolene de sıklıkla rastlanır. Sapanca Gölü sedimanlarındaki mineraller arasında izlenen oransal farklılık, süspansiyon şeklinde su kolonu içinde taşınan sedimanların tane boylarına da bağlı olarak, farklı yerleşimleri sonucudur. Kuvars büyük tane boylarından dolayı çok kolaylıkla çökerken, diğer mineraller küçük taneli yapılarından dolayı süspansiyondaki katılarla askıda kalmıştır. Bu veriler, önceki çalışmacıların rapor ettikleri sonuçlarla da uyumludur (MANICKAM and et. al., 1985).

Tablo 5.7. Göl Sedimentlerinde Rapor Edilen Mineral Ve Kaynakları
(JONES and BOWSER, 1978)

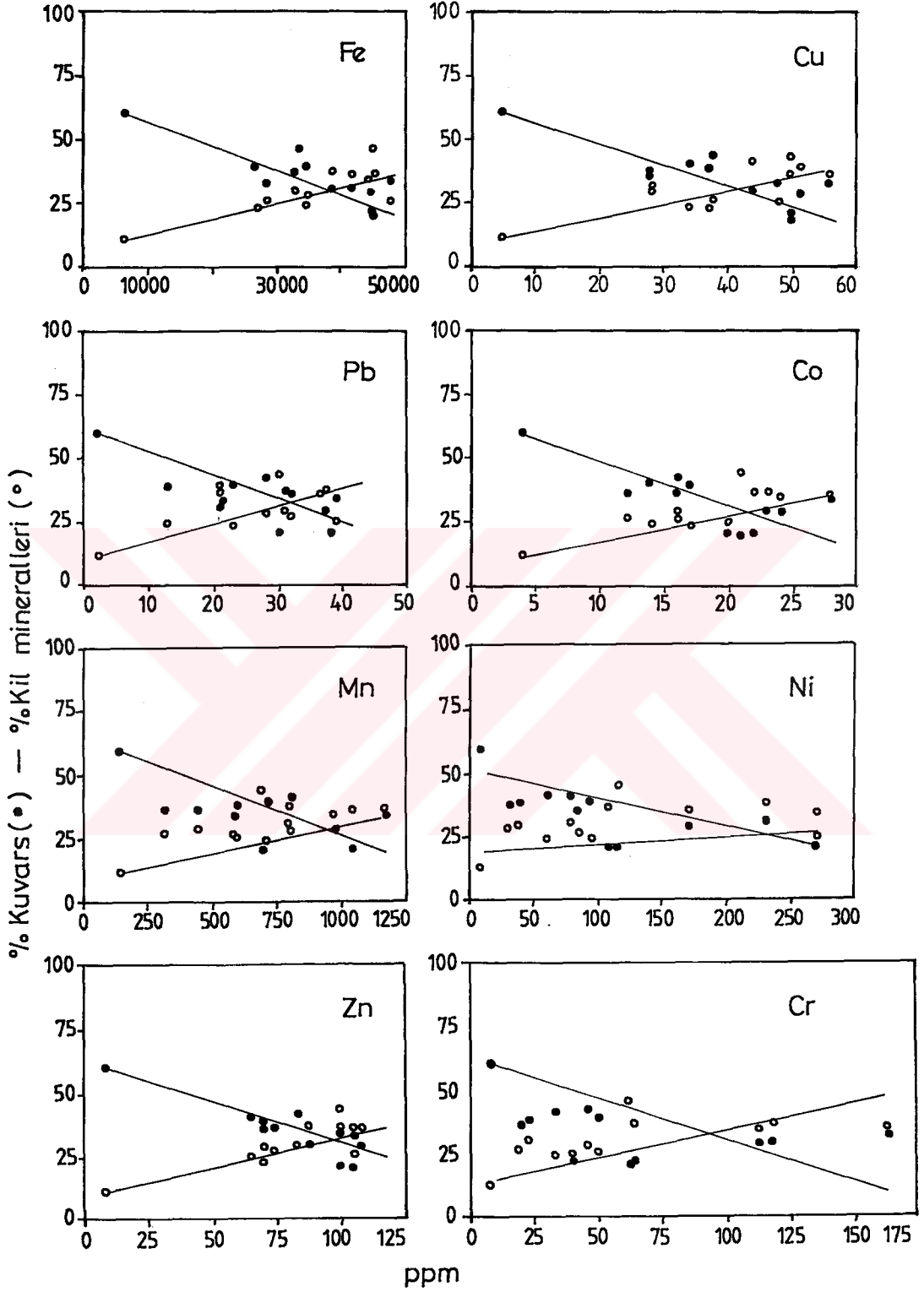
Mineral		Kaynak Tipi		
		Allojenik	Endojenik	Otijenik
Kil Harici Sikatlar				
SiO ₂	Kuvars	X		
KAlSi ₂ O ₈	K-Feldspat	X		
(Na,Ca)(Al,Si)Si ₂ O ₆	Plajiolklaz	X		
Mika-K(Mg,Fe,Al) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂		X		
(Ca,Mg,Fe,Al) _{3.5} Si ₄ O ₁₁ (OH)	Amfibol	X		
(Ca,Mg,Fe)Si ₂ O ₆	Piroksen	X		
Killer				
İLLİT-K ₆ Mg _{3.5} Al _{2.26} Si _{3.43} O ₁₀ (OH) ₂		X		
SMEKTİT-X ₃ Mg ₂ Al _{1.9} Si _{3.9} O ₁₀ (OH) ₂		X		
Klorit-Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₅ (OH) ₈		X		
Kaolerit-Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		X		
Vermikulit		X		?
Paligorskit-(Ca,Mg,Al) _{2.5} Si ₄ O ₁₀ (OH)-4H ₂ O		X		?
Karbonatlar				
KALSİT-CaCO ₃		X	X	x
DOLOMIT-CaMg(CO ₃) ₂		X		?
Aragonit-CaCO ₃		x	X	
Mg-Kalsit			x	X
rodokrosit MnCO ₃				X
Siderit-FeCO ₃		?		?
Fe-Mn Oksitler				
FeOOH GÖTİT		X	x	X
Fe ₃ O ₄ MANYETİT		X		
Hematit-Fe ₂ O ₃		X		?
Psilomelan-(Ba,K)(MnO ₂) _{2.5} H ₂ O				X
İlmenit-FeTiO ₃		X		
Fosfatlar				
APATİT-Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F)		X		x
Vivianite-Fe ₃ (PO ₄) ₂ -8H ₂ O				X
Sülfidler				
FeS ₂	Pirit	X		x
ZnS	Sfalerit		x	
Flüorit				
CaF ₂	Flüorit			X

Eğer bir gölde klastik sedimanlar (allojenik kökenli) hakimse, Si/Al değerleri Kuvars/Feldspat oranını yansıtabilir (HUTCHINSON and WOLLACK, 1940). Örneklerimizdeki Si/Al oranları ~ 1.5-4 arasında değerler alır. Bu değerler, literatürde verilen feldspatik sediman tipine benzerdir. Dolayısıyla gölde çökelen sedimanların feldspatik karakterde olduğunu söylemek herne kadar mümkün ise de, Sapanca Gölü dip sedimanlarındaki mineral bileşimleri dikkate alındığında, Al kaynağının feldspat haricindeki bazı minerallerden de (kil mineralleri-muskovit gibi) kaynaklanmış olabileceği aşıkardır. Ayrıca, göl sedimanlarının Si/Al ile Kuvars/Feldspat oranları arasında, herhangi bir ilişkinin izlenmemesi, bu sedimanların feldspat kökenli olmadığını açıklamamızda doğru bir veriyi oluşturmuştur.

Sapanca Gölü dip sedimanlarındaki ağır metal konsantrasyonlarının, sedimanlardaki kuvars ve kil mineralleri ile olan ilişkileri Şekil 5.26'd verilmiştir. Genellikle nehir ve göl sedimanları suyun etkilerine bağlı kuvars içeriklerindeki artışla, onların ağır metal konsantrasyonlarındaki azalmayı gösterir (JHA, et. al, 1993; VAITHIYANATHAN et. al., 1992). Şekilden de izlenebileceği gibi sedimanlardaki ağır metal konsantrasyonları, kuvars içeriğindeki azalma ve kil mineralleri içeriklerindeki artmaya bağlı olarak, genel bir çoğalma göstermişlerdir. Sedimanlardaki kil mineral içeriklerindeki benzer bir artışla, ağır metal konsantrasyonlarında izlenen yükselme, kil minerallerinin yüzey özelliklerine, katyon değişim kapasitelerine ve spesifik yüzey alanlarına bağlı olan bir artışı göstermektedir.

5.5. KİL BOYUTLU SEDİMANLARIN METALLERLE İLİŞKİSİ

Çeşitli yerleşim alanlarının çevresinde yeralan nehir, körfez, haliç ve göl gibi ortamların, o bölgedeki kirlenmeden direkt olarak etkileneceği, dolayısıyla da bu ortamlarda izlenen metal konsantrasyonlarının tortulların, özellikle silt, kil boyutlu malzemelerde yoğunlaşacağı düşüncesi ile Sapanca Gölü dip çökellerinden alınan 4 örnekte, çalışma yöntemleri bölümünde verilen metod doğrultusunda kil fraksiyon çalışmaları yapılmış, tane boyu 2µ altına indirilen bu örnekler, Fe, Zn, Pb, Cu ve Ni açısından analize tabi tutulmuşlardır. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 5.8' de verilmiştir.



Şekil 5.26. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Kuvars ve Kil Mineral İçerikleri İle Ağır Metal Konsantrasyonlarındaki Değişim.

Tablo 5.8. Sapanca Gölü'nün 2 μ Altındaki Sedimanlarının
Ağır Metal Bileşimleri

Element Örnek No	Fe %	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Ni ppm
KF-1	5.6	-----	160	100	125
KF-2	6.9	-----	130	55	70
KF-3	6.0	-----	150	90	120
KF-4	7.1	-----	115	40	55

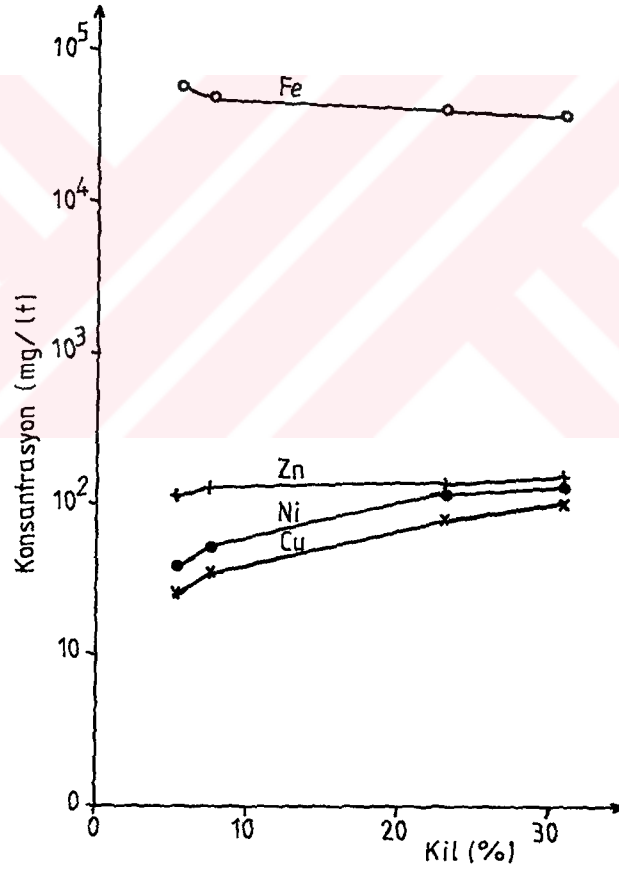
2 μ altında tane boyuna sahip materyallerin, metal konsantrasyonu ile kil yüzdeleri arasındaki ilişki Şekil. 5-27'de görülmektedir. İzlendiği gibi tane boyu küçüldükçe Fe dışında, örneklerin içerdiği kil yüzde miktarlarına bağlı olarak metal konsantrasyonu artmaktadır.

GRIM and JOHNS (1953, a), Meksika körfezinde yaptıkları çalışmalarda killeri incelemişler ve oluşan killerin çoğunun klorit, illit ve montmorillonit'ten oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmadaki sediman örneklerinde %5-22 arasında değişen değerlerde (Tablo 3.1) klorit ile daha az oranda illit ve smektit saptanmıştır. Kil fraksiyonu yapılan örneklerin kimyasal analizlerinden de izleneceği gibi Fe konsantrasyonu oldukça yüksek değerlerdedir. Bu nedenle göl dibindeki güncel sedimanlar içinde izlenen klorit'in, altere olmuş Fe ve Mg mineralleri içinde otijenetik olarak geliştiğini ve çökel ortamına taşınmış olabileceğini ve çok daha önemli oranda metamorfikler içersindeki kloritlerden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Ayrıca kloritin alkali ve indirgen ortamların bir ürünü olması nedeniyle, Sapanca Gölü'ndeki çökel ortamının alkali ve indirgen bir ortam olduğu sonucuna varılmıştır.

Analiz edilen diğer metallerin, kil boyutlu malzemelerde artış göstermesi, sedimentasyon esnasında göl dibinde çökelen kil boyutlu malzemelerin bu metallerin zenginleşmesine olanak sağlayabilecek bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. SARIN et. al., (1989), Bengal Körfezindeki (Hindistan) sedimentlerde yaptıkları jeokimyasal çalışmalarda da kil yüzdesi ile ağır metallerin doğru orantılı olarak arttıklarını söylemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında 2 μ altındaki materyallerde Co ve Zn saptayamamışlardır. Sapanca Gölü çökellerinde de Pb'nun bulunmayışı hayli ilginçtir. Büyük bir

olasılıkla Pb seçici davranarak 2-63 μ boyutundaki malzemelerde çökelmektedir.

Kil minerallerinin Cu için adsorpsiyon kapasiteleri oldukça yüksektir (GRIM, 1968; HAUKES and WEBB, 1962). Bu çalışmada da Cu, kil mineralleri içinde oldukça yüksek konsantrasyonlarda izlenmektedir. Göl sedimanlarındaki kil yüzdeleri ile kurulan ilişkide Cu'nun kil boyutlu malzeme miktarının artması ile arttığı gözlenmiştir. Fe'in aksine Ni konsantrasyonunda da Cu'a benzer bir ilişki saptanmış olması nedeniyle, göl sedimanlarında Fe haricindeki tüm metallerin aynı ilişkiyi gösterdiğini söylemek mümkündür. Bu sonuçlar diğer çalışmacıların (LEONI, et. al., 1991; SUBRAMANIAN, et. al., 1987) verileri ile de uyum içersindedir.



Şekil 5.27. Sapanca Gölü Sedimanlarındaki Kil Yüzdeleri İle Metal Konsantrasyonları Arasındaki Değişim.

BÖLÜM 6. SU KİMYASI

Dünyanın evrimi ile sıkı bir ilişkiye sahip olan doğal sular, evrim esnasında jeolojik olaylara bağlı olarak çeşitli şekillerde oluşmuşlardır. Doğada, kimyasal olarak saf halde olan sulara rastlanmamıştır. Genellikle çözünmüş veya süspansiyon halinde yabancı maddeler içerirler. Bu maddelerin cins ve miktarlarına bağlı olarak kullanım amaçları değişiktir.

Suları kökenlerine göre,

1. Meteor suları (yağmur ve kar suları)
2. Yeraltı ve kaynak suları
3. Yeryüzü suları (nehir, göl, deniz ve barajlar)
4. Maden (mineral) suları, olmak üzere dörde ayırmak mümkündür.

İçersinde havada bulunan gazlarla bazı organik ve anorganik maddeleri içeren meteor suları diğerlerine oranla en saf olanlarıdır. Yeraltı suları, içinde bulunduğu ve geçtiği kaya birimlerine bağlı olarak çeşitli çözünmüş maddeleri içerebilirler. Yeryüzü suları, yüzeylerinin açık olması nedeniyle bilhassa organik yapıdaki yabancı maddelerle zenginleşmiş ve hava ile temas halinde olmaları nedeniyle karbonat sertlikleri daha az olan sulardır. Maden suları ise diğer tip sulara oranla daha fazla çözünmüş madde ihtiva eden, sıcaklığı ve radyoaktivitesi daha yüksek olan sulardır.

Günümüzde, hemen hemen her yerde, dünya insanının ve üzerinde yaşadığı ortamın ihtiyaçları büyümektedir. Bu yüzden hem kendi doğal çevrelerini değiştirirlerken hem de onlarla birlikte yaşayan diğer organizmaların çevrelerini de değiştirmektedirler. Bu değişiklikler, sadece dünyadaki insan nüfusunun artmasıyla oluşan ihtiyaçlar düzeyinde kalmaz, aynı zamanda yaşam standardının büyümesiyle de ilişkilidir. İnsan hayatının en önemli ihtiyaçlarından birini teşkil eden su, sadece yaşayan diğer organizmaların fiziksel yaşamı için değil, endüstriyel su sağlama, sulama, balıkların ve diğer suda yetişen canlıların çoğalması v.b. gibi pek çok işlevin sağlıklı bir şekilde yürütmesinde de önem kazanmıştır. İşte günümüzde, artan ihtiyaçlar, çeşitli şekillerde oluşmuş su birikimlerinden-göller, denizler, yeraltı

suları gibi- yararlanılması gerçeğini gözler önüne sermiş ve varolan bu kaynakların en uygun şekilde kullanılması, oluşabilecek kirliliğin en uygun yöntemlerle ortadan kaldırılması yoluna gidilerek, su çalışması yapan araştırmacıların çalışma konularını oluşturmuştur. Bu konuda çalışan pek çok araştırmacı kirliliğin saptanmasında kullanılacak parametreleri çeşitli şekillerde belirlemişlerdir.

Bir kısım çalışmacı, sadece içme amaçlı kullanılacak sularda kirliliğin izlenmesi gerektiğini söylemektedir. İkinci görüşte olanlar, tüm sularda, toplam organik karbon (TOC), biyolojik oksijen gereksinimi (BOD), çözülmüş oksijen (DO), pH, kondüktivite, bazı metal iyonları, SO_4 , Cl , HCO_3-CO_3 gibi anyonlar, asılı maddeler gibi parametrelerin ölçülmesini kirliliğin izlenmesi için yeterli bulmaktadırlar. Üçüncü görüş ise sudaki tüm maddelerin izlenmesi yolunu tercih etmektedir. Bunlardan birincisi pek fazla taraftar bulmamıştır. Ancak günümüzde su kimyası çalışmalarını tam bir şekilde yapabilecek analitik tekniklerin kısıtlı yada pahalı olması nedeniyle, ikinci grupta savunulan görüşlerin ışığı altında kirlilik parametreleri belirlenmektedir.

Ülkemiz su kaynakları açısından çok zengin değildir. Dünyadaki yıllık yağış ortalaması 1000 mm. iken ülkemizde bu değer 640 mm. civarındadır. Ancak hızla artan nüfusun gereksinimi ile yine bu artışa bağlı sanayileşme gözönüne alındığında, varolan bu kaynakların tüketimi ve buna paralel olarak kaynakların, hızlı bir şekilde kirleneceği söz konusu olduğundan, mevcut kaynakların en kısa zamanda öncelikle korunması ve ileri aşamalarda değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Sapanca Gölü ve havzası da birçok çalışmaya konu olmuş ve halen de çalışılmaktadır.

Sapanca Gölü ve havzasını içine alan böyle bir çalışma, son yıllarda şehirleşme ve sanayileşmenin yoğunlaşmasına bağlı olarak, çeşitli amaçlarla kullanılan göl suyunun, gelecekte de içme, kullanma ve endüstri su kaynağı olabilmesi için gereken önlemlerin alınmasına yardımcı olabilmek amacıyla, sadece göl suyu değil, havzayı besleyen derelerin ve onlarla çökeltme havzasına taşınan sedimanların fiziksel ve jeokimyasal özellikleri de incelenerek yapılmıştır.

Su kimyası çalışmaları göl suyu ve gölü besleyen dereler olmak üzere iki kısma ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Sapanca Gölünde, 5-15-30 m.

derinliklerden (Ek A ve Şekil 6.1) derlenen örneklerde ve dere suyu örneklerinde fiziksel parametre ($T^{\circ}\text{C}$, Kondüktivite-EC, pH ve Çözünmüş Oksijen-DO) değerleri yerinde ölçülmüş ve uygun şekilde saklanarak laboratuvara getirildikten sonra anyon ve katyon değerleri ile ağır metal içerikleri saptanmıştır. Ölçülen fizikokimyasal parametreler Tablo 6.1'de verilmiştir.

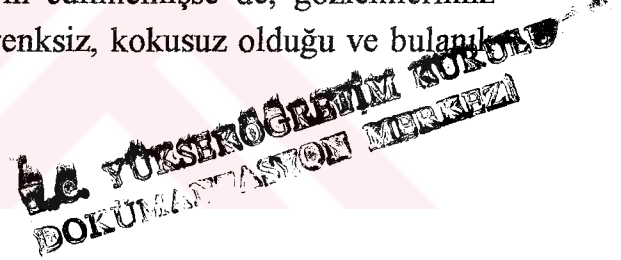
6.1. GÖL SUYU ÖRNEKLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

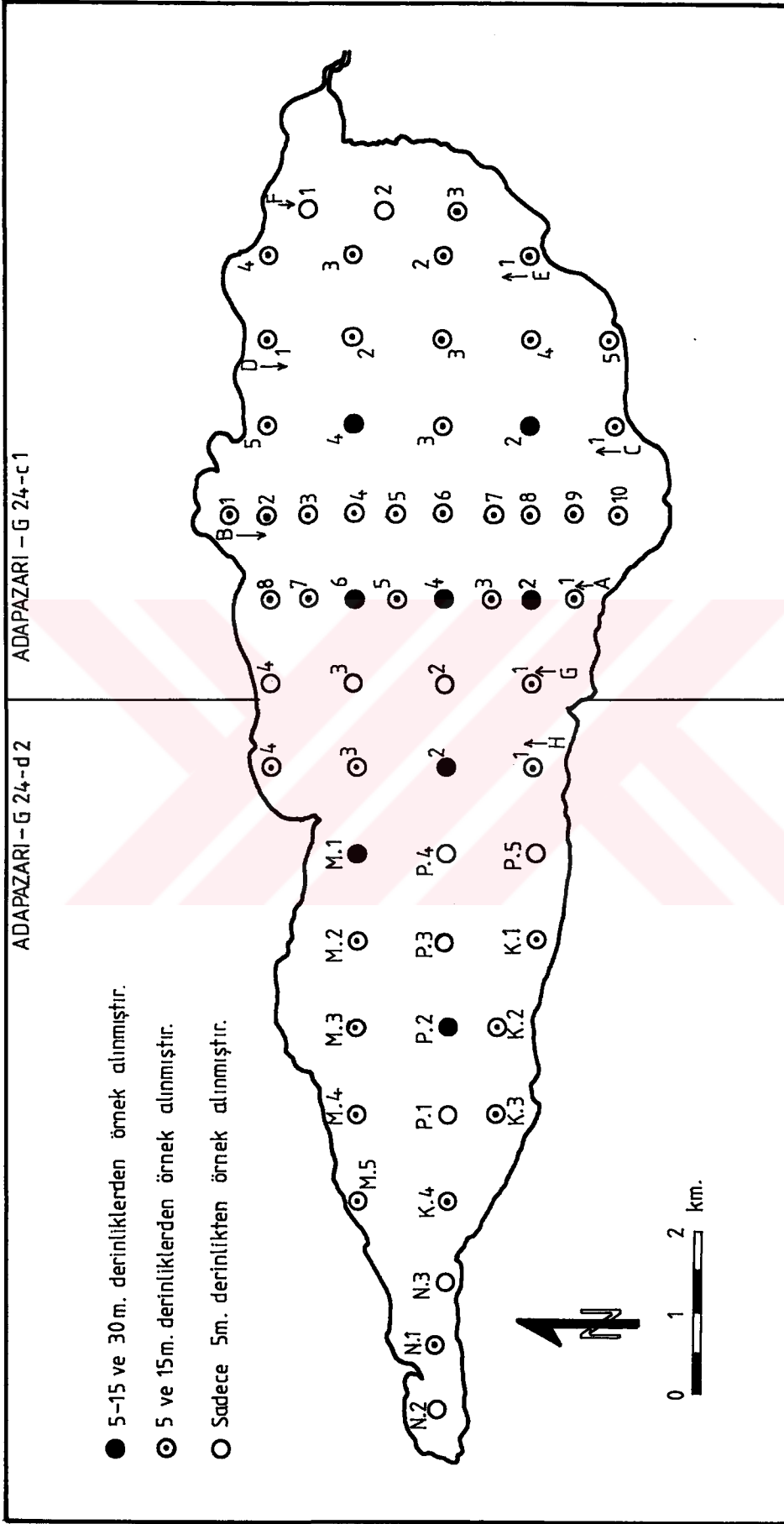
6.1.1. Fiziksel Parametre Analizleri

Doğal suların fiziksel parametreleri, onların verimi kadar, kullanma amacını ortaya koyması açısından büyük önem taşırlar. Kullanım süresince bu parametrelerin izlenmesi gereklidir. Bulanıklılık, renk, koku, tat gibi özelliklerin dışında, sıcaklık, kondüktivite, çözünmüş oksijen, pH, radyoaktivite, viskozite, polarite gibi parametrelerde su çalışmalarında değerlendirilen fiziksel özelliklerdir. Alınan su örneklerinde renk, bulanıklılık, koku ve tad gibi fiziksel parametreler tayin edilmemişse de, gözlemlerimiz sonucunda göl suyunun içilebilecek tatda, renksiz, kokusuz olduğu ve bulanık olmadığını söylemek mümkündür.

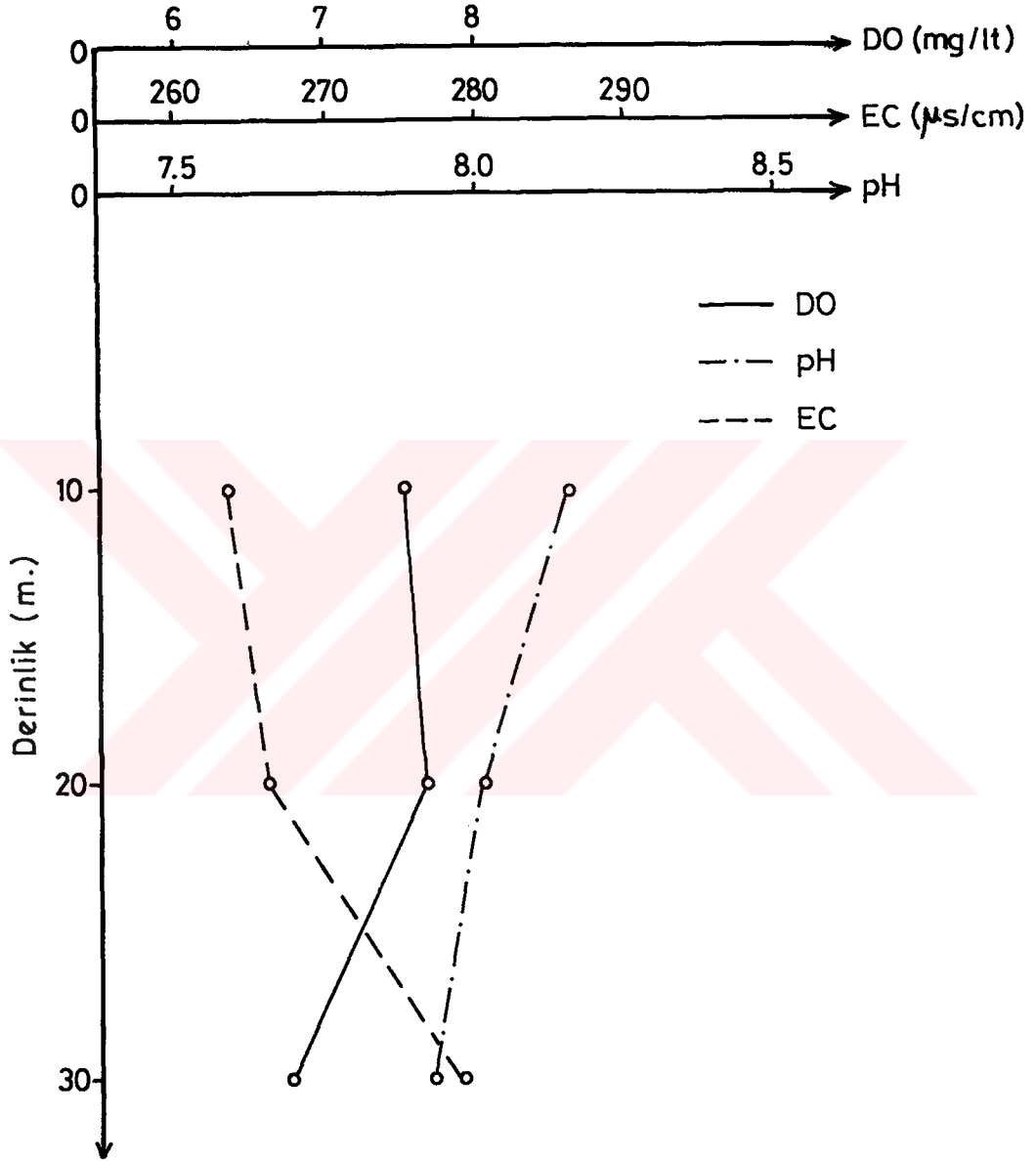
6.1.1.1. pH

Suların hidrojen iyon konsantrasyonunu yani asidik veya alkalın olma özelliğini belirleyen pH değeri, Sapanca Gölü'nde suların, 20°C su sıcaklığında; 5 m. derinlikte 7.59-8.42., 15 m. derinlikte 7.72-8.34, 30 m. derinlikte 7.80-7.99 değerleri arasında ölçülmüştür. Derinlikle azda olsa bir değişimin izlendiği göl suyunda, derinliğin artmasıyla suyun alkalın özelliğinin azaldığını söylemek mümkündür (Şekil 6.2). Göl suyunun derin kesimlerinde (30 m. civarında), pH değerinin azalması (ortalama 7.895 gibi bir değere inmesi), organik maddelerin göl dibine yığılması sonucu biyokimyasal oksidasyon ile açığa çıkan CO_2 miktarındaki artışa bağlıdır.





Şekil 6.1 Sapanca Gölü Su Örnekleri Haritası



Şekil 6.2 Sapanca Göl Sularından Seçilmiş Örneklerin pH, EC ve DO Değerlerinin Derinlik Değişimi.

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri
(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	A-1*	A-1**	A-2*	A-2**	A-2***	A-3*	A-3**	A-4*	A-4**	A-4***	A-5*	A-5**	A-6*	A-6**
pH	7.59	7.83	8.29	8.24	7.99	8.03	8.15	7.97	8.03	7.98	8.32	7.77	8.24	8.21
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	264	266	263	266	282	263	265	264	265	278	264	264	263	264
DO mg/l	7.6	6.8	7.2	7.0	6.8	7.8	7.9	7.9	7.7	6.7	7.6	7.5	7.7	7.4
Ca Mg/l	40	40	40	20	90	40	40	50	40	40	60	50	60	90
Mg mg/l	9	7	9	10	12	10	8	13	9	21	8	9	9	14
Na mg/l	10	9.5	8	8.5	10	9.5	10	15	9.8	7.25	10	8.75	9.0	10
K mg/l	2	1.5	2.5	1	1.5	1.8	1.5	2	1.5	1.75	1.5	3	1.5	2
Cl mg/l	21.62	20.93	6.11	2.27	—	26.40	5.18	55.67	16.19	—	47.76	31.75	36.42	120.96
HCO ₃ mg/l	98.03	87.14	119.82	76.25	—	98.03	113.28	101.30	117.64	—	98.03	104.57	104.57	108.95
CO ₃ mg/l	20.93	17.44	17.44	13.95	—	15.70	19.18	18.44	13.95	—	20.93	20.93	31.39	15.70
NO ₃ -N mg/l	0.96	1.15	—	—	1.19	—	—	1.15	1.22	1.34	1.12	—	0.99	1.03
NO ₂ -N mg/l	0.067	0.077	0.077	0.089	0.087	0.083	0.089	0.077	0.082	0.085	0.077	0.093	0.069	0.085
SO ₄ mg/l	13.75	19.5	20.5	20.5	13	18.5	21.75	20.5	16.75	16	21.5	18.5	17.75	19.25
HCO ₃ meq/l	1.61	1.43	1.96	1.25	—	1.61	1.86	1.66	1.93	—	1.61	1.71	1.71	1.79
CO ₃ meq/l	0.70	0.58	0.58	0.46	—	0.52	0.64	0.61	0.46	—	0.70	0.70	1.05	0.52
NO ₂ -N meq/l	0.0015	0.0017	0.0017	0.0019	0.00185	0.0018	0.0019	0.0017	0.0018	0.0018	0.0017	0.002	0.0015	0.0018
SO ₄ meq/l	0.29	0.41	0.43	0.43	0.27	0.39	0.45	0.43	0.35	0.33	0.44	0.39	0.37	0.40
Cl meq/l	0.61	0.59	0.17	0.06	—	0.74	0.15	1.56	0.46	—	1.35	0.89	1.03	3.41
Ca meq/l	1.99	1.99	1.99	0.99	4.49	1.99	1.99	2.5	1.99	1.99	2.99	2.5	2.99	4.49
Mg meq/l	0.74	0.58	0.74	0.82	0.99	0.82	0.64	1.07	0.74	1.73	0.64	0.74	0.74	1.15
Na meq/l	0.43	0.41	0.35	0.37	0.43	0.41	0.43	0.65	0.43	0.32	0.43	0.38	0.39	0.43
K meq/l	0.051	0.038	0.064	0.026	0.038	0.046	0.038	0.051	0.038	0.045	0.038	0.077	0.038	0.051

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	A-6***	A-7*	A-7***	A-8#	A-8**	B-1*	B-1**	B-2*	B-2**	B-3*	B-3**	B-4*	B-4**	B-5*
pH	7.96	8.42	8.09	8.01	7.94	8.10	8.11	8.30	7.92	8.19	8.05	8.32	8.06	7.95
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	279	—	265	263	265	263	264	—	264	263	265	263	265	263
DO mg/lt	6.7	7.1	7.6	7.9	7.7	8.0	7.6	7.2	7.0	8.0	7.8	7.9	7.5	7.8
Ca Mg/lt	20	90	90	40	30	70	40	20	50	40	50	40	70	110
Mg mg/lt	12	16	12	18	15	12	16	6	17	9	7	21	10	21
Na mg/lt	10	9.0	9.75	7.5	14.25	9.8	14.25	10	14	10	9.75	8.0	9.0	9.5
K mg/lt	2	1.8	1.8	3.7	2.5	1.5	2	1	2	2.8	1	1	1.75	1.8
Cl mg/lt	23.43	126.43	—	46.68	—	—	48.96	25.39	82.27	20.23	26.47	—	61.85	—
HCO ₃ mg/lt	119.82	95.85	—	108.93	—	—	105.80	98.03	94.54	108.93	100.21	—	130.71	—
CO ₃ mg/lt	26.16	20.93	—	13.95	—	—	15.08	19.18	8.38	15.70	20.93	—	13.95	—
NO ₃ -N mg/lt	0.95	2.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NO ₂ -N mg/lt	0.067	0.105	0.093	0.089	0.076	0.115	0.074	0.083	0.090	0.081	—	0.090	0.081	0.069
SO ₄ mg/lt	14	19.5	19.25	21.75	19.25	19.5	17.5	19.25	19.5	17.5	21.5	13.5	19.25	15.75
HCO ₃ meq/lt	1.96	1.57	—	1.78	—	—	1.73	1.61	1.55	1.78	1.64	—	2.14	—
CO ₃ meq/lt	0.87	0.70	—	0.46	—	—	0.50	0.64	0.28	0.52	0.70	—	0.46	—
NO ₃ -N meq/lt	0.0015	0.0023	0.002	0.0019	0.0016	0.0025	0.0016	0.0018	0.0019	0.00176	—	0.0019	0.00176	0.0015
SO ₄ meq/lt	0.29	0.41	0.40	0.45	0.40	0.41	0.36	0.40	0.41	0.36	0.44	0.28	0.40	0.33
Cl meq/lt	0.66	3.56	—	1.20	—	—	1.38	0.71	2.32	0.57	0.75	—	1.74	—
Ca meq/lt	0.99	4.49	4.49	1.99	1.49	3.49	1.99	0.99	2.5	1.99	2.5	1.99	3.49	5.48
Mg meq/lt	0.99	1.32	0.99	1.48	1.23	0.99	1.32	0.49	1.40	0.74	0.58	1.73	0.82	1.73
Na meq/lt	0.43	0.39	0.43	0.33	0.62	0.43	0.62	0.43	0.61	0.43	0.42	0.35	0.39	0.41
K meq/lt	0.051	0.046	0.046	0.095	0.064	0.038	0.051	0.026	0.051	0.072	0.026	0.026	0.045	0.046

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	B-5**	B-6*	B-6**	B-7*	B-7**	B-8*	B-8**	B-9*	B-9**	B-10*	B-10**	C-1*	C-1**	C-2*
pH	7.80	8.02	8.13	7.77	8.08	8.01	7.90	7.84	8.12	7.96	7.78	7.98	7.80	8.02
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	264	264	264	263	265	263	265	263	264	---	267	264	268	263
DO mg/lt	7.0	7.8	7.6	7.4	7.3	7.8	7.5	7.9	7.7	7.3	7.2	7.9	7.7	8.1
Ca Mg/lt	80	30	150	60	30	100	30	40	40	40	100	60	130	50
Mg mg/lt	10	12	24	7	8	11	9	22	8	10	14	7	9	22
Na mg/lt	10	16	10	9.75	10	10	10.5	6.75	9.75	10.5	9.75	9.75	10	8.0
K mg/lt	4.5	2.5	1.5	1.75	1.5	1.75	2	1	2	3	1.5	2	2	1
Cl mg/lt	94.48	43.0	249.28	55.11	1.55	---	17.35	76.07	2.10	39.22	120.12	53.90	199.72	65.42
HCO ₃ mg/lt	108.93	81.04	108.93	100.21	95.85	---	93.68	76.25	102.39	82.79	108.93	111.10	108.93	95.85
CO ₃ mg/lt	15.70	10.06	20.93	12.21	19.18	---	8.72	8.72	27.90	15.70	19.18	12.21	20.93	29.65
NO ₃ -N mg/lt	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.37	0.73	0.88
NO ₂ -N mg/lt	0.089	0.085	0.077	0.075	0.085	0.069	0.083	0.089	0.081	0.073	0.103	0.081	0.067	0.093
SO ₄ mg/lt	18.5	17.5	19.5	20.5	20.5	17.75	17.75	20.5	20.5	17.5	13.75	14	19.5	13
HCO ₃ meq/lt	1.78	1.33	1.78	1.64	1.57	---	1.54	1.25	1.68	1.36	1.78	1.82	1.78	1.57
CO ₃ meq/lt	0.52	0.34	0.70	0.41	0.64	---	0.29	0.29	0.93	0.52	0.64	0.41	0.70	0.99
NO ₂ -N meq/lt	0.0019	0.0018	0.0017	0.0016	0.0018	0.0015	0.0018	0.0019	0.00176	0.00158	0.0022	0.00176	0.0016	0.002
SO ₄ meq/lt	0.39	0.36	0.41	0.43	0.43	0.37	0.37	0.43	0.43	0.36	0.29	0.29	0.41	0.27
Cl meq/lt	2.66	1.21	7.02	1.55	0.04	---	0.49	2.14	0.06	1.11	3.38	1.52	5.63	1.84
Ca meq/lt	3.99	1.49	7.48	2.99	1.49	4.99	1.49	1.99	1.99	1.99	4.99	2.99	6.48	2.49
Mg meq/lt	0.82	0.99	1.97	0.58	0.64	0.91	0.74	0.81	0.64	0.82	1.15	0.58	1.56	1.81
Na meq/lt	0.43	0.7	0.43	0.42	0.43	0.43	0.46	0.29	0.42	0.46	0.42	0.42	0.43	0.35
K meq/lt	0.115	0.064	0.038	0.045	0.038	0.045	0.051	0.026	0.051	0.077	0.038	0.051	0.050	0.026

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	C-2**	C-2***	C-3*	C-3**	C-4*	C-4**	C-4***	C-5*	C-5**	D-1*	D-1**	D-2*	D-2**	D-3*
pH	8.00	7.80	8.21	8.19	8.05	8.01	7.94	8.21	7.93	8.28	—	8.01	7.76	8.10
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	266	280	263	264	264	268	278	261	265	263	270	263	269	262
DO mg/lt	8.0	6.5	8.0	7.7	7.0	7.6	7.0	—	8.0	7.8	7.6	—	7.7	7.9
Ca mg/lt	50	50	40	50	110	50	70	60	70	50	50	50	100	40
Mg mg/lt	15	14	9	13	14	13	14	19	16	8	7	17	17	8
Na mg/lt	15.75	13.75	8.0	8.31	10	9.25	10	15	14.25	10.5	10	16	9.8	9.5
K mg/lt	3.75	5.75	1	2	3	1.8	1	1.75	2.25	2	2	1.75	2	2
Cl mg/lt	84.20	66.18	23.57	61.71	173.68	59.76	—	103.0	97.44	50.35	28.0	61.49	—	2.82
HCO ₃ mg/lt	78.79	101.30	87.14	90.04	82.78	89.32	—	85.54	90.04	80.61	115.46	105.80	—	118.28
CO ₃ mg/lt	11.73	10.06	20.93	8.38	17.44	13.95	—	15.08	25.14	13.95	12.21	21.79	—	20.93
NO ₃ -N mg/lt	0.77	0.85	—	—	0.87	0.92	1.03	—	—	—	—	0.93	0.76	—
NO ₂ -N mg/lt	0.072	0.081	0.069	0.083	0.077	0.076	0.085	0.075	0.076	0.081	0.077	0.085	0.064	0.064
SO ₄ mg/lt	21.75	24.75	15	22.75	14.5	19	23	21.5	20	21.25	22	21.5	17	18
HCO ₃ meq/lt	1.29	1.66	1.43	1.48	1.36	1.46	—	1.40	1.48	1.32	1.89	1.73	—	1.94
CO ₃ meq/lt	0.39	0.34	0.70	0.28	0.58	0.46	—	0.50	0.84	0.46	0.41	0.73	—	0.70
NO ₂ -N meq/lt	0.00156	0.00176	0.0015	0.0018	0.0017	0.0016	0.0018	0.0016	0.0016	0.00176	0.0017	0.0018	0.0014	0.0014
SO ₄ meq/lt	0.45	0.52	0.31	0.47	0.30	0.40	0.48	0.44	0.42	0.44	0.46	0.44	0.35	0.37
Cl meq/lt	2.37	1.86	0.66	1.73	4.89	1.68	—	2.90	2.75	1.42	0.79	1.73	—	0.08
Ca meq/lt	2.49	2.49	1.99	2.49	5.48	2.49	3.49	2.99	3.49	2.49	2.49	2.49	4.99	1.99
Mg meq/lt	1.23	1.15	0.74	1.07	1.15	1.07	1.23	1.56	1.32	0.64	0.58	1.40	1.40	0.64
Na meq/lt	0.69	0.6	0.35	0.36	0.43	0.40	0.43	0.65	0.62	0.46	0.43	0.7	0.43	0.41
K meq/lt	0.095	0.147	0.026	0.051	0.077	0.046	0.026	0.045	0.058	0.051	0.051	0.045	0.051	0.051

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	D-3**	D-4*	D-4**	D-5*	D-5**	E-1*	E-1**	E-2*	E-2**	E-3*	E-3**	E-4*	E-4**	F-1*
pH	7.96	8.34	8.04	8.04	7.96	8.28	8.23	8.19	7.89	8.20	8.18	8.32	7.72	7.92
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	267	262	267	263	265	262	268	262	262	—	259	263	292	259
DO mg/lt	7.8	8.0	7.8	7.9	8.0	8.0	7.7	—	8.0	8.0	8.1	8.0	—	—
Ca Mg/lt	100	60	60	50	90	50	60	40	20	80	80	30	110	—
Mg mg/lt	9	13	25	10	14	15	14	9	6	17	11	8	17	—
Na mg/lt	10	13.75	13	9.5	10	9.5	14.25	9.75	9.0	9.75	9.0	10	9.75	—
K mg/lt	2	1.5	2	2	2.5	1.8	2.0	1.9	2	1.5	1.8	1.8	2	—
Cl mg/lt	131.60	88.92	120.95	35.69	—	63.30	93.29	19.07	—	—	—	6.24	—	—
HCO ₃ mg/lt	102.39	83.29	92.29	98.03	—	98.03	78.79	98.03	—	—	—	108.93	—	96.79
CO ₃ mg/lt	13.95	13.41	10.06	22.67	—	10.46	15.08	19.18	—	—	—	19.18	—	16.76
NO ₃ -N mg/lt	—	—	—	0.89	1.33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NO ₂ -N mg/lt	0.077	0.081	0.087	0.069	0.105	0.084	0.076	0.071	0.065	0.081	0.085	0.093	0.083	0.073
SO ₄ mg/lt	17.5	18	19.5	18.5	19.25	20.5	18.5	19.5	13	19.5	15	17.5	23.75	21.75
HCO ₃ meq/lt	1.68	1.37	1.51	1.61	—	1.61	1.29	1.61	—	—	—	1.78	—	1.59
CO ₃ meq/lt	0.46	0.45	0.34	0.76	—	0.35	0.50	0.64	—	—	—	0.64	—	0.56
NO ₂ -N meq/lt	0.0017	0.00176	0.0019	0.0015	0.0022	0.0018	0.0016	0.0015	0.0014	0.00176	0.0018	0.002	0.0018	0.00158
SO ₄ meq/lt	0.36	0.37	0.41	0.39	0.40	0.43	0.39	0.41	0.27	0.41	0.31	0.36	0.49	0.45
Cl meq/lt	3.71	2.51	3.41	1.01	—	1.78	2.63	0.54	—	—	—	0.18	—	—
Ca meq/lt	4.99	2.99	2.99	2.49	4.49	2.49	2.99	1.99	0.99	3.99	3.99	1.49	5.48	—
Mg meq/lt	0.74	1.07	2.06	0.82	1.15	1.23	1.15	0.74	0.49	1.40	0.91	0.64	1.40	—
Na meq/lt	0.43	0.6	0.57	0.41	0.43	0.41	0.62	0.42	0.39	0.42	0.39	0.43	0.42	—
K meq/lt	0.051	0.038	0.051	0.051	0.064	0.046	0.051	0.049	0.051	0.038	0.046	0.046	0.051	—

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri)

Parametre	F-2*	F-3*	F-3**	G-1*	G-1**	H-1*	H-1**	H-2*	H-2**	H-2***	H-3*	H-3**	H-4*	H-4**
pH	7.92	8.15	8.04	8.21	8.13	8.28	8.14	8.24	8.02	7.94	8.14	8.02	8.10	8.09
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	260	261	261	263	263	262	263	263	267	277	262	268	262	266
DO mg/lt	8.1	—	8.0	7.9	8.0	7.7	7.9	8.1	8.4	6.8	—	8.0	7.9	7.5
Ca mg/lt	30	40	110	50	20	50	30	90	50	50	30	120	50	50
Mg mg/lt	21	17	16	14	8	6	9	15	13	19	7	15	9	14
Na mg/lt	7.5	7.0	9.9	9.75	10	9.0	10	9.0	9.0	7.25	8.0	9.8	10	9.9
K mg/lt	2.5	1	1.8	2	1.5	1.5	3	1.75	1.8	4	1.5	2	1.75	2.5
Cl mg/lt	28.11	29.59	154.13	49.99	7.59	30.72	16.96	133.17	45.21	—	—	162.46	40.20	56.84
HCO ₃ mg/lt	106.75	89.32	108.93	98.03	91.50	91.50	119.82	95.85	117.64	—	—	119.82	95.85	95.85
CO ₃ mg/lt	17.44	31.39	22.67	22.67	12.21	17.44	24.42	13.95	13.95	—	—	22.67	19.18	13.95
NO ₃ -N mg/lt	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NO ₂ -N mg/lt	0.085	0.081	0.085	0.083	0.089	0.093	0.069	0.067	0.078	0.078	0.077	0.087	0.084	0.084
SO ₄ mg/lt	23.5	18	18.75	15.75	19	22	21.5	17.75	16	23.5	19.25	18.5	17.5	15.25
HCO ₃ meq/lt	1.75	1.46	1.78	1.61	1.5	1.5	1.96	1.57	1.93	—	—	1.96	1.57	1.57
CO ₃ meq/lt	0.58	1.05	0.76	0.76	0.41	0.58	0.81	0.46	0.46	—	—	0.76	0.64	0.64
NO ₂ -N meq/lt	0.0018	0.00176	0.0018	0.0018	0.0019	0.002	0.0015	0.00145	0.0017	0.0017	0.0017	0.0019	0.0018	0.0018
SO ₄ meq/lt	0.49	0.37	0.39	0.33	0.40	0.46	0.44	0.37	0.33	0.49	0.40	0.39	0.36	0.32
Cl meq/lt	0.79	0.83	4.34	1.41	0.21	0.87	0.48	3.75	1.27	—	—	4.58	1.13	1.60
Ca meq/lt	1.49	1.99	5.48	2.49	0.99	2.49	1.49	4.49	2.49	2.49	1.49	5.48	2.49	2.49
Mg meq/lt	1.73	1.40	1.32	1.15	0.64	0.49	0.74	1.23	1.07	1.56	0.58	1.23	0.74	1.15
Na meq/lt	0.33	0.30	0.43	0.42	0.43	0.39	0.43	0.39	0.39	0.32	0.35	0.43	0.43	0.43
K meq/lt	0.064	0.026	0.046	0.051	0.038	0.038	0.077	0.045	0.046	0.103	0.038	0.051	0.045	0.064

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	K-1*	K-1**	K-2*	K-2**	K-3*	K-3**	K-4*	K-4**	M-1*	M-1**	M-2*	M-2**	M-3*	M-3**
pH	8.06	7.96	8.30	8.27	8.27	8.03	8.03	7.89	8.23	8.14	7.82	8.19	8.25	8.15
EC $\mu\text{S/cm}$	261	262	262	265	262	262	262	263	260	267	260	263	261	263
DO mg/l	7.2	6.8	7.0	7.2	7.0	6.7	7.1	6.8	7.0	7.9	7.3	7.8	7.3	7.9
Ca Mg/l	40	40	90	50	90	120	30	60	50	50	40	40	70	40
Mg mg/l	18	21	13	19	14	22	19	19	20	9	6	27	11	12
Na mg/l	6.75	4.0	10	6.0	9.75	10	7.75	6.0	6.75	10	9.0	14.25	9.75	14.25
K mg/l	1	2.5	1	1	2.3	2.15	2	1	1.75	7.5	7.5	1.75	1.9	1.5
Cl mg/l	—	—	111.2	—	110.24	—	—	—	—	—	—	78.17	—	—
HCO ₃ mg/l	—	—	112.85	—	119.56	—	—	—	—	—	—	112.55	—	—
CO ₃ mg/l	—	—	21	—	22.5	—	—	—	—	—	—	11.73	—	—
NO ₂ -N mg/l	1.08	0.93	—	—	—	—	0.82	0.95	1.01	1.03	1.44	—	—	—
NO ₃ -N mg/l	0.081	0.073	0.081	0.085	0.077	0.077	0.062	0.087	0.089	0.089	0.093	0.085	0.069	0.069
SO ₄ mg/l	15.25	17	15.75	23	14.5	21.5	21.25	15.75	15	27	21.35	20.5	19.25	20
HCO ₃ meq/l	—	—	1.85	—	1.96	—	—	—	—	—	—	1.85	—	—
CO ₃ meq/l	—	—	0.70	—	0.75	—	—	—	—	—	—	0.39	—	—
NO ₂ -N meq/l	0.00176	0.00158	0.00176	0.0018	0.0017	0.0017	0.0013	0.0019	0.0019	0.0019	0.002	0.0018	0.0015	0.0015
SO ₄ meq/l	0.32	0.35	0.33	0.48	0.30	0.44	0.44	0.33	0.31	0.56	0.44	0.43	0.40	0.42
Cl meq/l	—	—	3.13	—	3.11	—	—	—	—	—	—	2.20	—	—
Ca meq/l	1.99	1.99	4.49	2.49	4.49	5.98	1.49	2.99	2.49	2.49	1.99	1.99	3.49	1.99
Mg meq/l	1.48	1.73	1.07	1.56	1.15	1.81	1.56	1.56	1.64	0.74	0.49	2.22	0.91	0.99
Na meq/l	0.29	0.17	0.43	0.26	0.42	0.43	0.34	0.26	0.29	0.43	0.39	0.62	0.42	0.62
K meq/l	0.026	0.0064	0.026	0.026	0.059	0.055	0.051	0.026	0.045	0.192	0.192	0.045	0.049	0.038

Tablo 6.1 Sapanca Gölü Sularında Ölçülen Temel Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

(* : 5 m. derinlik; ** : 15 m. derinlik; *** : 30 m. derinlik numuneleri).

Parametre	M-5*	M-4*	M-4**	N-1*	N-1**	N-2*	N-3*	N-3**	M-5**
pH	8.19	8.17	8.06	8.12	7.96	7.85	8.25	8.00	8.11
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	259	260	263	-----	254	261	261	263	262
DO mg/l	7.2	7.1	7.9	7.0	6.9	-----	7.1	7.7	7.4
Ca Mg/l	40	40	90	40	30	80	50	30	50
Mg mg/l	20	18	23	9	18	15	17	8	9
Na mg/l	6.0	7.0	19	10	7.0	14	14	9.75	10
K mg/l	1	2	2	1.3	1	5.5	1	1.75	1.75
Cl mg/l	-----	-----	168.53	-----	-----	135.14	64.36	2.97	21.77
HCO ₃ mg/l	-----	-----	90.04	-----	-----	83.29	110.30	98.03	119.82
CO ₃ mg/l	-----	-----	20.11	-----	-----	11.73	15.08	13.95	20.93
NO ₃ -N mg/l	1.09	1.12	-----	0.89	0.93	-----	-----	-----	-----
NO ₂ -N mg/l	0.077	0.077	0.084	0.093	0.093	0.088	0.090	0.065	0.069
SO ₄ mg/l	17.5	16.25	17.5	15	15	19.25	19.3	21.5	20.5
HCO ₃ meq/l	-----	-----	1.48	-----	-----	1.37	1.81	1.61	1.96
CO ₃ meq/l	-----	-----	0.67	-----	-----	0.39	0.50	0.46	0.70
NO ₂ -N meq/l	0.0017	0.0017	0.0018	0.002	0.002	0.0019	0.00195	0.0014	0.0015
SO ₄ meq/l	0.36	0.34	0.36	0.31	0.31	0.40	0.40	0.44	0.43
Cl meq/l	-----	-----	4.75	-----	-----	3.81	1.81	0.08	0.61
Ca meq/l	1.99	1.99	4.49	1.99	1.49	3.99	2.49	1.49	2.49
Mg meq/l	1.64	1.48	1.89	0.74	1.48	1.23	1.40	0.64	0.74
Na meq/l	0.26	0.30	0.83	0.43	0.30	0.61	0.61	0.42	0.43
K meq/l	0.026	0.051	0.051	0.033	0.026	0.141	0.026	0.045	0.045

6.1.1.2. Konduktivite-EC

Cisimlerin elektriği geçirme özelliği olarak bilinen elektriksel iletkenliğinin sulardaki değeri, sudaki iyonların cinsine, derişimine ve suyun sıcaklığına bağılı olarak değışim gösterir. Yeni damıtılmış bir suyun iletkenliği 0.5-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. dir. Zamanla havanın karbondioksitinin absorbsiyonu ile bu değer artar. Bu yüzden su analizlerinde aletten okunan değerler çoğunlukla;

$$EC_{25} = EC_t \times f_t$$

$$EC_{25} = (k/R_t) \times f_t, \quad R_{25} = R_t / f_t$$

eşitliklerinden biri kullanılarak, 25°C'deki değerleri ile verilir (DSİ., 1981). Tablo 6.1'de verilen elektriki konduktivite değerleri de bu eşitliğe göre düzenlenerek verilmiştir. Elde edilen değerler göl suyunun elektriki konduktivite değerleri açısından içme suyu standartları içersinde olduğunu göstermektedir. Göl suyunda ölçülen konduktivite değerleri 5 m derinlikte 254-264 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 15 m derinlikte 259-269 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 30 m. derinlikte 277-282 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Göl suyunun EC değerlerinin derinliğe bağılı olarak artması katyon ve bikarbonat anyonlarının artması ile açıklanabilir.

6.1.1.3. Çözünmüş Oksijen-DO

Göllerdeki organik çevrimin gerçekleştirilmesi ve buna bağılı olarak onların temizliğinde oksijen önemli bir faktördür ve suda kolayca eriyebilir. Göllerde oksijenin asıl kaynağı atmosfer olup, fotosentez de-özellikle tropikal göllerde önemli bir kaynaktır. Oksijenin eriyebilirliği su sıcaklığı ve atmosfer basıncıyla ters orantılıdır. Normal atmosfer basıncında, sudaki oksijenin eriyebilirlik derecesi 0°C de 14.5 mg/l'ten, 30°C de 7.8 mg/l'te kadar değişen değerlerdir (ŞAHİNCİ, 1991). Çözünmüş oksijen konsantrasyonu mg/l'te veya % doğunluk olarak tanımlanır.

Bu çalışmada göl suyunda ölçülen çözünmüş oksijen değerleri 5 m. derinlikte 7.0-8.1 mg/l'te değerleri arasında olup, 15 m derinlikte 6.7-8.0 mg/l'te ve 30 m derinlikte 6.5-7.0 mg/l'te olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar Sapanca Gölündeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun derinlikle değiştiğini göstermektedir. DO konsantrasyonu, suyun ilk 10 metre derinliğinde hemen hemen doğunluk seviyelerindedir. 10-20 m arasındaki derinliklerde biyolojik

artıkların yığılmasıyla oluşan fotosenteze bağlı olarak çözünmüş oksijenin doygunluk seviyesinin azda olsa artış gösterdiği izlenir. 20-30 m derinliklerde ise DO konsantrasyonu azalmıştır. Bu sonuçlardan çalışmaların yapıldığı sürede gölde iyi bir dikey karışımın olduğu ve göl suyunun termoklin seviyelerinde (10-20 m arasında) organik madde tortullarının çürümesinin azaldığı ve verimin daha fazla olduğu, oksijen geçişinin engellendiği daha derinlerde (>20m) ise organik maddelerin çürümesine bağlı olarak biyolojik artıkların göl dibinde yığılmasıyla gölü doygun hale getirdiği saptanmıştır.

Gölün doğu ve batı kesimlerinde yer alan bataklık ve sazlık bölgelerde DO konsantrasyonunun düşük olması da oksijenin fotosentez yoluyla tüketildiğini göstermektedir.

6.1.2. Kimyasal Değerler

Çalışma yöntemleri bölümünde bahsedilen (bkz. bölüm 1.2.) metodlar doğrultusunda gölden alınarak analiz edilen suların kimyasal analiz sonuçları Tablo 6.1'de verilmiştir. Göl suları ve ileriki bölümlerde sonuçları tartışılacak olan dere suları, Na, Ca, Mg, karbonat, sülfat ve klor açısından öncelikli incelenmiştir. Doğal sularda izlenen ve çoğu çalışmacı tarafından ikincil element olarak kabul edilen K, N, Fe gibi elementler ve ayrıntıları ileriki bölümlerde verilecek olan Cu, Pb, Zn, Ni gibi ağır metaller de incelemeye tabii tutulmuşlardır.

6.1.2.1. Sodyum

Na, kimyasal açıdan hem iyonik bağ kurma özelliğinin yüksek oluşu hemde kolay çözünen tuzları oluşturması nedeniyle doğal sularda ve sulama amaçlı kullanılacak sularda önemli bir yer tutar. İklima, jeolojik kaynaklara, bitki örtüsüne bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda izlenen Na, kimyasal özellikleri nedeniyle toprak yüzeylerinde kaymak şeklinde sert bir yüzey oluşturarak hem bitki köklerinin hava almasını engeller hem de bitkiler için zehirli bir ortam oluşmasına neden olur. Bu yüzden Na konsantrasyonunun hem içme sularında hemde sulama sularında kullanılabilmesi için belirli değişim aralıklarında olması istenir.

Sapanca Gölü sularında ölçülen Na değerleri 6-19 mg/l arasında değişmektedir. Örneklerin hemen hemen tümünde yüksek konsantrasyon değerleri, 15 m. derinlikten alınan su numunelerinde izlenmekte, derinlik arttıkça çok azda olsa bir azalma izlenmektedir.

Sodyum, akarsularla taşınması sürecinde yarısının rüzgar veya yağışlarla karalara dönmesi ve yine akarsularla karalardan su ortamına taşınımı nedeniyle devirli bir element olup, bu şekilde jeokimyasal dengesini sağlar. Göl veya deniz ortamına taşınan sodyum, sedimentasyon esnasında mineral bileşiklerinde ve özellikle de feldspatların bünyesinde izlenir. Sapanca Gölü sedimanlarında %0.3-0.95 değerleri arasında bulunan sodyum jeolojik kaynakların taşınımı ile su kolonu içerisinde de kalarak diğer iyonlarla sodyum tuzları oluşturacak şekilde göl suyu bileşimine katılmıştır.

Göl suyunda ölçülen sodyum değerleri, WHO (World Health Organization)'nun içme suları için verdiği standart değer altındadır. Yine sulama sularında kullanılan ve SAR (Sodyum Adsorption Ratio) değeri olarak verilen ve;

$$\%SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$$

formülü ile hesaplanan sodyum miktarı, Sapanca Gölü sularında tüm derinlikler için %10'dan küçük bulunmuştur. EATON (1950) sulama amaçlı kullanılabilecek suların kalıntı sodyum karbonat konsantrasyonu ile elektriki konduktivite değerlerinin karşılaştırılmasını önermiştir. USDA (1954), EC ve SAR oranının belirlenmesiyle sulama suyu için kullanılabilecek suların uygunluğunun saptanabileceğini belirtmişlerdir. Sapanca Gölü su örneklerinin USDA diyagramı Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Göl suyunun orta-düşük sınırındaki tuzlulukta-düşük Na içerikli su niteliğinde olduğu görülmüştür. SAR değerlerinin çok düşük olması (<1) göl suyunun çok iyi nitelikli sulama suları sınıfına girdiğine işaret etmektedir.

6.1.2.2. Kalsiyum

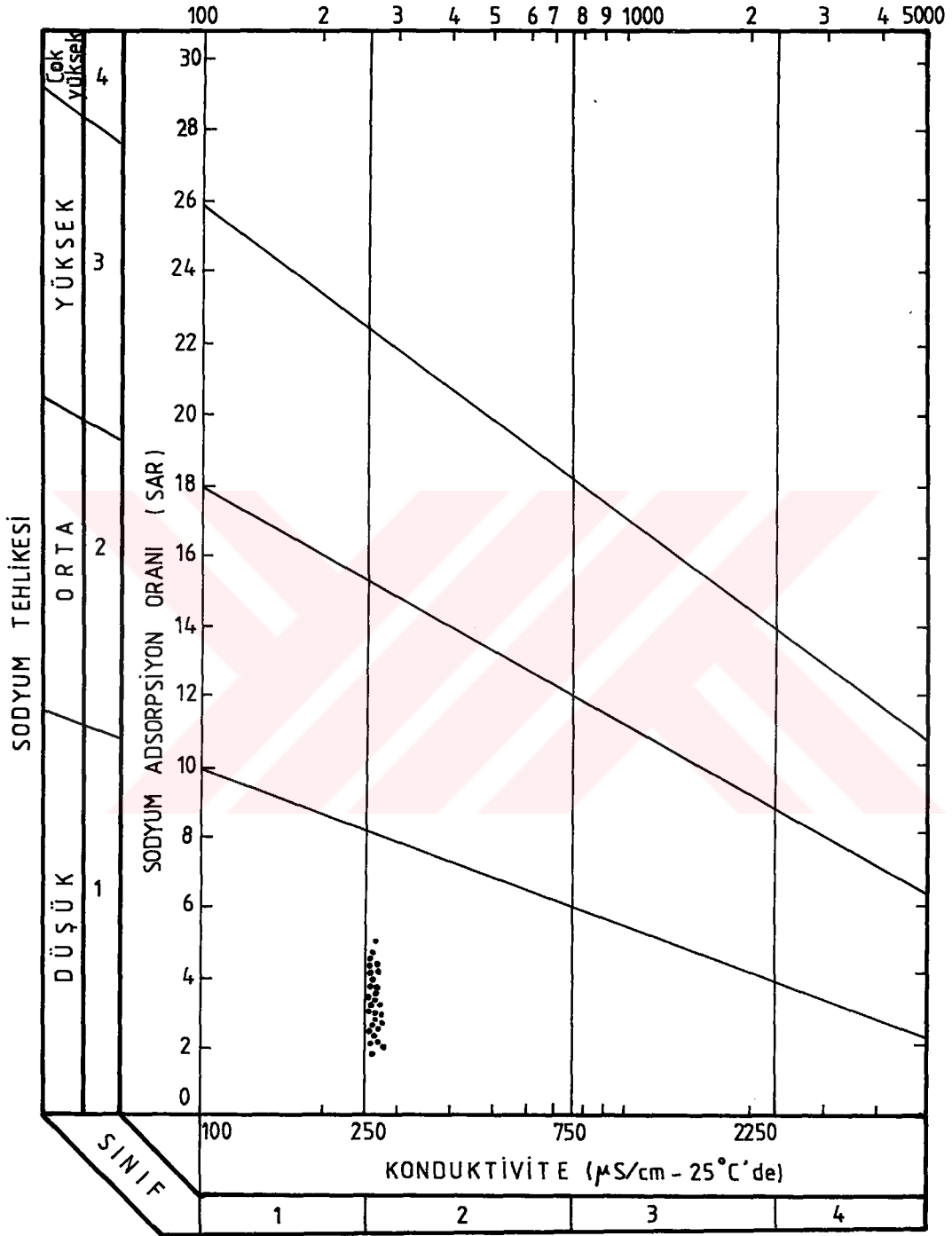
Doğal sularda sodyuma nazaran daha önemli bir element olan kalsiyumun sulu ortamlardaki göçü çok hızlı olup, özellikle biyolojik devreye güçlü bir şekilde katılım gösterir. Bu yüzden de canlılar ve bitkilerin başlıca elementlerinden birini oluştururlar. Bazı sularda, suyun pH'sının artmasına

bağlı olarak $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ oranında izlenen bir artışla, kalsiyumun kalsit şeklinde çökmesi izlenebilir (JONES, et.al., 1977). Öte yandan suda kalsiyum iyonlarının artması ile topraktaki sodyum tehlikesi azalır. Ancak kalsiyum konsantrasyonundaki artış, su sertliğinin artmasına neden olur.

Sapanca Gölü sularında ölçülen kalsiyum konsantrasyonu 20-150 mg/lt arasında değerler alır ve derinliğin artması ile hissedilir bir artış gösterir. Dip sedimanlarından alınan örneklerde Ca^{+2} konsantrasyonu %0.2-14 değerleri arasında değişim gösterir. Su kolonu içersindeki kalsiyum büyük ihtimalle, göl çevresindeki jeolojik birimlerden göle taşınan ve sedimantasyonla çökelen kalsit oranının yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Buna karşın, göl suyunda ölçülen Ca^{+2} değerlerinin Tablo 6.2'deki standart değerlerin altında olması, göl suyunun Ca^{+2} konsantrasyonu açısından da içme suyu olarak kullanılabilirliğini gösteren önemli bir parametredir ve katı malzemeden suya yüksek bir kalsiyum geçişinin olmadığını gösterir.

Tablo 6.2 Sapanca Gölünden Derlenen Su Örneklerinde Ölçülen Parametrelerin, İçme Suları İçin Verilen WHO ve TS Standartları İle Karşılaştırılması

Parametreler	Değişim Aralıkları (Bu Çalışmada)	WHO (1984) Değerleri	TS (1984)
EC($\mu\text{s}/\text{cm}-25^\circ\text{C}$)	254-282	1400	750-2200
pH	7.59-8.42	6.5-8.5	7.0-8.5
DO(mg/lt)	6.5-8.1	-----	2-5
Ca^{+2} (mg/lt)	20-150	500 CaCO_3 olarak	75-200
Mg^{+2} (mg/lt)	6-25	-----	50-150
Na^+ (mg/lt)	6-19	200	-----
K^+ (mg/lt)	1-7.5	-----	-----
HCO_3^- (mg/lt)	76.25-130.71	-----	500 ($\text{CO}_3^{+}\text{HCO}_3^-$)
Cl^- (mg/lt)	2.10-249.28	250	200-600
SO_4^{-2} (mg/lt)	13-23.75	400	200-400



Şekil 6.3 Sapanca Göl Suyunun USDA Diyagramı

6.1.2.3. Potasyum

Yerkabuğunda Na^+ ile yaklaşık değerlerde bulunan potasyum, fizikokimyasal davranışı nedeniyle doğal sulara daha az birikir ve suya taşınan potasyumun çoğunda canlı maddeler tarafından soğurulurlar. Sapanca Göl suyunda 1-7.5 mg/lt konsantrasyonlarda ölçülen potasyum değerlerinde derinlikle bağıntılı olarak herhangi bir ilişki kurmak mümkün olamamıştır. Göl sedimanlarında %1-3 arasında değerler alan potasyumun (bkz.Tablo 5.1) göl sularındaki kaynağının, göl çevresinde K'lu mineraller içeren litolojiler ve bu birimlerin sedimantasyona taşıdıkları özelliklerdir, dolayısıyla potasyumun ayrışarak suya geçmesidir.

6.1.2.4. Magnezyum

Jeokimyasal özellikleri nedeniyle, suda kolayca çözünen tuzlar oluşturan magnezyum, bu özelliği nedeniyle suyun sertliği üzerinde etkisi olan bir elementtir. Sapanca Gölü su örneklerinde 6-25 mg/lt değerleri arasında ölçülen magnezyumun genelde derinliği bağlı olarak azaldığı izlenmektedir. Göl suyunda ölçülen değerler Türk Standartlarının (Tablo 6.2) İçme Suları için verdiği değerlerin altında olup bu özelliği ile içilebilir su niteliğindedir.

6.1.2.5. Sülfat

Kimyasal etkinliği yüksek olan, bazı koşullarda çökelebilen ve suda kolayca çözünebilen kükürt bileşiği olan sülfatın, doğal suların jeokimyasında oldukça önemli bir yeri vardır. Jeokimyasal olaylardan başka biyolojik olaylarla da yakından ilişkili olan bu kükürt bileşikler bakterilerin etkisiyle (hayvan ve mikroorganizmalar tarafından) kolayca sülfür bileşikler (SO_4 , H_2S , HSO_4 v.b.gibi) haline geçebilirler.

Sapanca Gölünde ölçülen sülfat konsantrasyonu 13-23.75 mg/lt arasında olup, suyun kalitesi açısından problem oluşturmayacak ve WHO ile TS standartlarını aşmayacak şekilde, çok düşük konsantrasyona sahiptir. AMADİ et.al., (1989); FREEZE and CHERRY (1979), çalışmalarında SO_4^{2-} konsantrasyonunun düşüklüğünün, bakteri faaliyetlerine ve hidrojen sülfidlerin kimyasal etkinliklerine bağlı olduğunu söylemişlerdir. Göl sularında da

oldukça düşük konsantrasyona sahip olan SO_4^{2-} değerleri ile yine göldeki su kalitesinin içilebilir sular sınıfına dahil edilebileceğini söylemek mümkündür.

6.1.2.6. Klor

Çözünürlüğü pH değerlerinden pek fazla etkilenmeyen ve oluşturduğu tüm tuzları suda kolayca çözünebilen klor elementi, ancak buharlaşmanın veya donmanın çok yüksek olduğu sularda çökelirler. En yüksek konsantrasyon değerleri deniz sularında ölçülmüş olup, Ölü Deniz 208.020 ppm Cl^- konsantrasyonuna sahiptir (ŞAHİNCİ, 1991).

Sapanca Gölü sularında ölçülen Cl^- değerleri 2.10-249.28 mg/l arasında değişim göstermektedir. Kesin bir genelleme yapmak mümkün olmasa bile pek çok noktada Cl^- konsantrasyonunun derinlikle arttığı ve özellikle 15 m. derinlikte en yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü görülmüştür (Tablo 6.1). Sedimentasyona bağlı olarak kurulacak ilişkide, tane boyutunun silt-kum özelliğinde olması nedeniyle klorürün çökelme esnasında su kolonu içerisinde zenginleştiğini söylemek mümkündür. Öte yandan, klor konsantrasyonunun yüksek olduğu kesimlerde göle karışan derelerde de yüksek konsantrasyonunun izlenmesi, klorun dışardan bir kaynak tarafından zenginleştiğini göstermektedir. Bu çalışmada verilen klor değerlerinin WHO (1984) ile Türk Standartlarının verdiği değerlere (Tablo 6.2) uygun olması göl suyunun içilebilir kalitede olduğunun bir diğer göstergesidir.

6.1.2.7. Karbonat-Bikarbonat

Elementel karbonun bileşiklerinden olan ve hidrosferde CO_2 olarak bulunan gazın suda çözünmesi ile HCO_3^- iyonları meydana gelir. Ve doğal suların alkalinite özelliklerini belirler. Özellikle yeraltı ve yüzey sularında egemen bir iyon olup, oksitleyici ortamlarda (pH'nın düşük olması nedeniyle) izlenmeyebilir. Sapanca Göl suyunda ölçülen HCO_3^- değerleri 76.25-130.71 mg/l CO_3^{2-} değerleri ise 8.38-31.39 mg/l arasında değişim gösterir ve toplam karbonat miktarları TS (1984)'nın verdiği sınırlar altındadır. Dolayısıyla toplam karbonat değerleri açısından da göl suyu içilebilir su kalitesindedir. Ayrıca CO_3^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının egemen oluşu, göl suyunun sulama suyu açısından da iyi nitelikli olduğunu göstermektedir. Öte yandan, bu iyonların

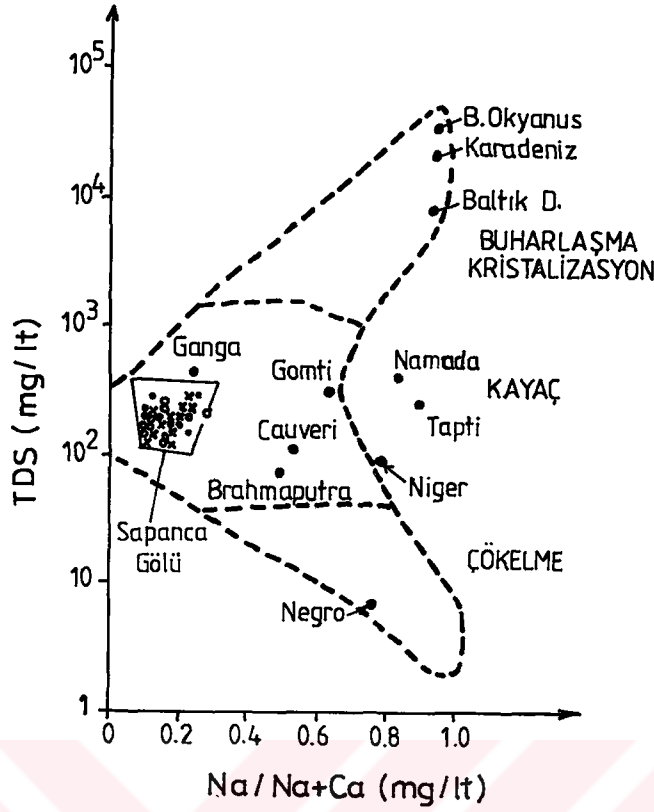
derinlikle orantılı olarak artış gösterdiği analiz sonuçlarından anlaşılmıştır (Tablo 6.1).

6.1.2.8. Azot Bileşikleri- ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$)

Azot bileşiği olan nitrit ve nitratlar suda kolay çözünmesi ve duraysız olması nedeniyle doğal sularda yüksek konsantrasyonlarda izlenmez. Azotlu gübrelerin fazla kullanımı sonucu oluşan nitroz asitler, atmosferin ozon tabakasının incelmesinin nedenlerinden bir olarak tanımlanmaktadır (KONAR, 1989). Azot bileşiklerinin sudaki konsantrasyonlarının yüksek olmasının toksik etki yaptığıda bilinmektedir. Sapanca Gölü havzasında tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapılması ve bu esnada azot ve fosforlu gübrelerin kullanımı toprakta, dolayısıyla da bu kesimlerdeki dere sularında olumsuz etkiler yaratacağı düşüncesiyle azot değerleride ölçülmüştür. Ölçülen nitrat azotu değerleri, DSİ (1984) ve YALÇIN ve SEVİNÇ (1993)'in verdikleri değerlere benzerdir. Ancak 0.06-0.1 mg/l arasında ölçülen nitrit azotu değerleri oldukça farklıdır. Geçen sürede nitrit azotu değerleri artmıştır. Bu artışın iklim ve jeolojik kaynaklardan çok bakteri etkinliğine ve göl çevresinde kurulmuş olan sanayi tesislerine bağlı bir kirlenmeden dolayı meydana geldiğini söylemek mümkündür.

6.1.3. Göl Suyu İyon Konsantrasyonları Arasındaki Kimyasal İlişkiler

Suda çökelen iyonların evrimi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. GIBBS (1970) dünyadaki doğal suların su kimyaları üzerine yaptığı incelemelerde, $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ oranlarını TDS değerleri ile karşılaştırdığı diyagramlarda örneklerin geri dönüşümlü karakteristik bir şekil verdiğini gözlemlemiş ve iyonların zenginleşmesini, buharlaşma-kristalizasyon, kayaç ve çökelmenin baskın olduğu üç bölümden biri tarafından olacağını söylemiştir. Sapanca Gölü üzerinde kuzey, orta ve güney kesimden olmak üzere seçilen 30 örnek bu diyagrama yerleştirildiğinde, göl suyundaki iyonların "kayaç baskın" olduğu gözlemlenmiştir (şekil 6.4). Göl sedimanlarından alınan örneklerde, değişik minerallerin çökelmiş olması, bu minerallerin göl suyunun kimyası üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu, gözlemlerimizde desteklemektedir.



Şekil 6.4 Sapanca Gölündeki TDS ve Na/Na+Ca Arasındaki İlişki.

Doğal sulara yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, bir iyon konsantrasyonunun diğerlerine göre göreceli olarak zenginleşmesi ortaya çıkarılabilir. Örneğin, Sapanca Gölü su örneklerinde kıyıya doğru gidildikçe Ca^{+2} oranı Mg^{+2} 'a göre daha fazladır.

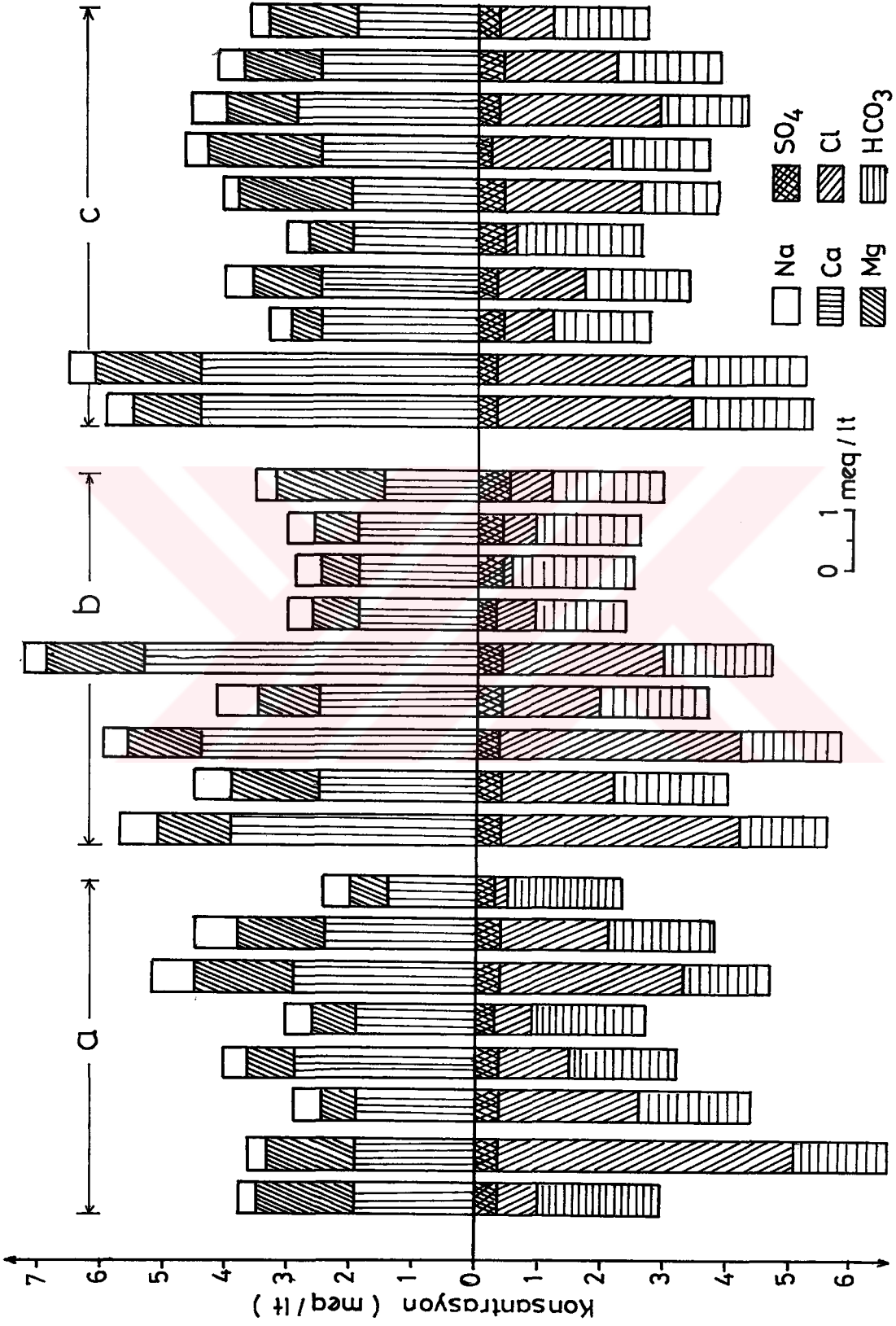
Doğal sulara izlenen bu iyonik değişimler sonucu çeşitli su tipleri ortaya çıkar. Ayrıca bu suların dip sedimanlarının farklı mineral bileşimlerine sahip olması da su kimyasını kontrol eden önemli faktörlerden birisidir. Her kesimde farklı mineral bileşimlerinin bulunması ve bu durumda termodinamik şartlarla denetlenen yeni minerallerin ortaya çıkması su bileşimini değişik şekillerde etkiler ve sonuçta katyon ve anyonları birbirinden farklılıklar gösterebilen su tipleri oluşabilir. FREEZE and CHERRY (1979) yaptıkları çalışmalarda yeraltısu evrimini farklı mineralojik bileşimlerle açıklamışlardır.

Sapanca Gölü kuzey, orta ve güney kesimlerini temsil edecek şekilde seçilmiş örneklerin tümünde ve birkaç nokta dışında bütün iyonlar (Cl iyonları hariç) hemen hemen benzer değişim çizgileri gösterirler (şekil 6.5). Cl

değerleri en batıda 168.3 mg/l'ten doğuya doğru azalan değerlerde (6.24 mg/l'ten) izlenir. Orta ve güney kesimlerden seçilen örneklerdeki Cl değerleride kuzeydeki örneklerle benzer sonuçlar verir. Bu yüksek değerler göle çeşitli şekillerde tuzlu-su girişinin olduğunun bir göstergesidir. LUSCZYNSKI and SWARZENSKI (1966), yaptıkları çalışmada 50 mg/l'ten veya daha fazla klor konsantrasyonunu tuzlu-su girişine, TREMBLAY et.al., (1973) ise, 40 mg/l'ten daha fazla klor içeriğini tuzlu-su kontaminasyonuna bağlamaktadırlar. Çalışılan göl havzasının kuzey kesimlerinden gölü besleyen dere numunelerinde klor içerikleri incelendiğinde (Tablo 6.1), bu bölgedeki derelerin çok yüksek Cl konsantrasyonuna sahip olduğunu görmek mümkündür. Bu ise, LUSCZYNSKI and SWARZENSKI (1966)'nın verdiği sonuçlarla uyum içersindedir.

Tuzluluğun belirlenmesinde kullanılan diğer bir kriterde Ca/Mg, Ca/Cl ve Na/Cl oranlarıdır. Sapanca Gölü üzerinde kuzey, güney ve orta kesimleri temsil eden seçilmiş 28 adet örneğin Ca/Mg, Ca/Cl ve Na/Cl oranları Tablo 6.3'de verilmiştir. Bulunan değerler incelendiğinde göl suyu örneklerinin birkaç nokta haricinde genel bir çizgi izlediği görülmüştür. Bulunan değerlerin ortalaması (Na/Cl için 0.63) alındığında, bu oranın temiz su (1.0) ve deniz suyu (0.86) değerlerinin altına düştüğü izlenmiştir. Ancak bazı noktalarda (A-1, D-3, E-4), bu oran temiz su değerlerinin çok üzerindedir. Temiz su özelliğini taşıyan noktaların olduğu kesimlerde gözlemlenen kaynaklar su kalitesini olumlu yönde etkilemişlerdir. Diğer noktalarda izlenen düşük değerler, MERCADO; 1985'in görüşleri doğrultusunda bu kesimlerdeki tuzlu su girişiminin bir göstergesi olup yine MERCADO, 1985'e göre bu değerlerin azalması HCO_3^- konsantrasyonunun düşüklüğüne bağlıdır. Gölü temsil eden seçilmiş noktalarda Na/Cl oranlarının temiz su-denizsu değeri altına düşmesi ve bu kesimlerdeki HCO_3^- konsantrasyonlarının azalması MERCADO, 1985'in görüşlerine benzer sonuçlardır. Ayrıca Cl^- iyonu tutucudur ve bu yüzden sudaki materyaller ile kolaylıkla reaksiyona girmez ve su molekülleri ile sıkı sıkıya birleşme eğilimi gösterir. Bu yüzden, Na/Cl oranlarının düşük olduğu kesimlerde Cl konsantrasyonu yüksek derelerin varlığı Cl^- iyonunun kaynağını oluşturur.

Öte yandan bu çalışmada, genel bir kaide olmamakla birlikte Mg/Ca oranlarında izlenen düşüşün Na/Cl oranlarındaki artışla ilgili olduğu saptanmıştır. Klor konsantrasyonunun yüksek olduğu kesimlerde bu oran azalmaktadır.



Şekil 6.5 Göl Suyundaki İyonların Batı'dan-Doğu'ya Değişimini Gösteren Bar Diyagramı
(a) Kuzey b) Orta c) Güney Kesimden Derlenen Örnekler).

Tablo 6.3 Göl Suyundaki Tuzluluk Parametreleri, Schoeller İndeksi, TDS ve SAR Değerleri.

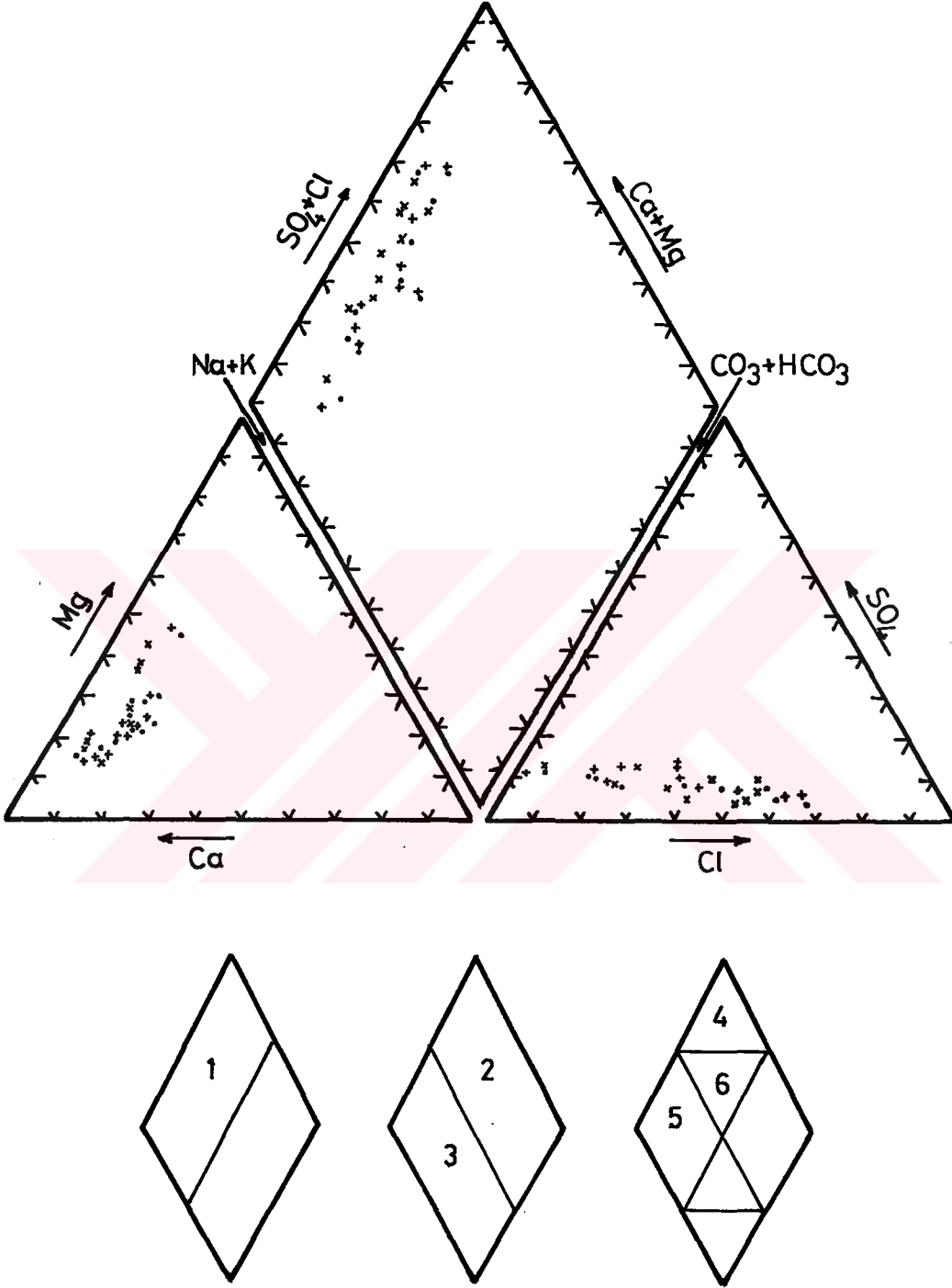
Parametreler	TDS (mg/lt)	Na/Na+Ca (mg/lt)	Ca/Mg (meq/lt)	Ca/Cl (meq/lt)	Na/Cl (meq/lt)	Schoeller indexi	SAR değerleri
Örnek No.							
1-A-2	223	0.17	2.69	11.71	2.06	-1.44	0.30
2-B-9	251	0.14	1.10	0.93	0.14	0.85	0.21
3-C-2	285	0.14	1.38	1.35	0.19	0.79	0.24
4-D-4	292	0.19	2.32	1.19	0.24	0.75	0.42
5-E-1	269	0.16	2.02	1.40	0.23	0.74	0.30
6-F-3	233	0.15	1.42	2.40	0.36	0.60	0.23
7-G-1	262	0.16	2.17	1.77	0.30	0.66	0.31
8-H-1	228	0.15	5.08	2.86	0.45	0.51	0.32
9-K-2	375	0.1	4.19	1.43	0.14	0.85	0.26
10-K-3	383	0.09	3.90	1.44	0.14	0.85	0.25
11-A-4	276	0.23	2.34	1.60	0.42	0.55	0.49
12-B-5	342	0.11	4.87	1.50	0.16	0.79	0.28
13-C-3	205	0.17	2.69	3.02	0.57	0.42	0.29
14-D-3	220	0.19	3.11	24.88	5.13	-4.75	0.36
15-E-2	217	0.2	2.69	3.69	0.77	0.13	0.36
16-F-2	237	0.2	0.86	1.89	0.42	0.51	0.26
17-H-2	377	0.09	3.65	1.20	0.11	0.88	0.23
18-N-2	364	0.15	3.24	1.05	0.16	0.80	0.38
19-N-3	291	0.22	1.78	1.38	0.34	0.65	0.44
20-A-6	270	0.13	4.04	2.90	0.38	0.58	0.29
21-B-3	224	0.2	2.69	3.50	0.75	0.12	0.17
22-C-5	337	0.2	1.92	1.03	0.23	0.76	0.43
23-D-2	311	0.24	1.78	1.44	0.40	0.57	0.50
24-E-4	202	0.25	2.33	8.27	2.39	-1.67	0.42
25-H-3	470	0.08	4.86	1.31	0.09	0.90	0.22
26-M-2	360	0.26	0.90	0.90	0.28	0.70	0.43
27-M-4	430	0.17	2.38	0.95	0.17	0.81	0.46
28-M-5	254	0.16	3.36	4.08	0.70	0.21	0.34

BACK (1966), tuzlu suların kaynağının, 1) tuzlu sudaki iyonların tutulmasına bağlı olarak depolanma sırasında bunların hapsolmasına, 2) göl seviyelerindeki değişimlere bağlı olarak depolanma sonrası tuzlu suyun girişimine, 3) minerallerin eriyik hale geçebilmesine, 4) killerin absorpsiyonu ile bileşenlerin konsantrasyonuna, 5) atmosferde varolan iyonların yine atmosferik çökelim ile geri dönmesine, bağlı olabileceğini söylemiştir. Sapanca Göl suyu örneklerindeki tuzluluk kaynağı, BACK (1966)'in verdiği bütün faktörler için mümkün olup, bu faktörler bulunan sonuçlarla da desteklenmiştir.

Sapanca Göl sularını temsil edecek şekilde seçilmiş örnekler arasındaki kimyasal ilişkileri saptamak amacıyla PIPER (1953)'in önerdiği üçgen ve paralelkenar diyagramları kullanılmıştır (Şekil 6.6). Bu diyagramlarda katyon değişimleri incelendiğinde gölün güney kesiminde Ca , HCO_3 , Cl iyonlarının baskın olduğu, gölün orta ve kuzey kesimlerinde ise çoğunluk Ca iyonu olmak üzere Mg iyonlarının birlikte bulundukları izlenmiştir. Bu değişim Şekil 6.5'de ki bar diyagramları ile de benzerdir.

Güney kesimde HCO_3 iyonlarının baskın olduğu, kuzey ve orta kesimlerde ise Cl ve HCO_3 birlikteliği gözlenmiştir. Piper (1953) diyagramında göl suyunun kimyasal karakterinin toprak alkali su grubu içine düştüğü ve baskın olarak $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$ su tipinde olduğu görülmüştür. Paralelkenar diyagramlarda da alkali-toprak elementlerin baskın olduğu ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$) izlenmektedir. (1 alanı). Kıyıya yakın kuzey ve güney kesimlerde ve özellikle gölün batısında anyonların $\text{SO}_4^{-2} + \text{Cl}^{-} > \text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-}$ şeklinde dağılım gösterdikleri (2 alanı), gölün doğusunda ise zayıf asitlerin hakim oldukları ($\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-2} > \text{SO}_4^{-2} + \text{Cl}^{-}$) izlenmiştir (3 alanı). Yine bu diyagramlar incelendiğinde göl suyunun iyonlarının konsantrasyonu nedeniyle "karışık sular" sınıflaması içinde kaldığı görülmüştür (4-5-6 alanı).

Göldeki suyun evriminin, çözülmüş katıların çokluğu ve Cl iyonlarındaki göreceli yükselmeye bağlı olarak hernekadar kimyasal bileşimleri farklılıklar gösterse de deniz suyu ile benzer bir ilişkiye sahip olduğu izlenimini uyandırmaktadır. Ca oranı yüksek Mg-Na -klorür-karbonatlı su özeliğine sahip göl suyunun bu bileşimi, göl havzasında yeralan litolojilerden ve göl dibinde çökelen sedimanlardan etkilenmektedir.



Şekil 6.6. Sapanca Göl Suyu Örneklerinin Piper, (1953) Diyagramındaki Konumları (•: Kuzey, x: Güney, +: Orta Kesimlere ait Örnekler).

Öte yandan göl suyunun Çark suyuna akıtılması nedeniyle mevcut olan dolaşıma ve su ile çökelen sediman arasındaki etkileşime bağlı olarak suyun bileşimi kimyasal değişimler göstermektedir.

6.1.4. Göl Suyundaki İyon Değişim İşlemleri

Göl suyundaki iyon konsantrasyonlarının SCHOELLER (1959) ve ROBINSON (1962)'nin çalışmalarına uygun olarak ne tür değişimler gösterdikleri saptanmıştır. Bu amaçla Schoeller indeksi (SCHOELLER, 1959);

$$b = r \frac{Cl - (Na + K)}{Cl}$$

formülü ile hesaplanarak göl suyunun iyon değişim işlemleri matematiksel anlamda ortaya konmuştur (Tablo 6.3). Göl suyunun 1-14-24 no'lu örneklerin olduğu kesimlerde katyon ve anyon değişimlerinin çok iyi geliştiği ve suyun kloro-alkalin kararlılığına sahip olduğu izlenmiştir. Ancak genelde düşük bir değişim reaksiyonunun izlendiği göl suyunda pozitif değerlerin izlenmesi Na^+ ve K^+ 'un Mg^{+2} ve Ca^{+2} ile çok az bir değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu değerler kimyasal analiz yorumları ve PIPER (1944) diyagramları ile ortaya konan sonuçlarla uyumludur.

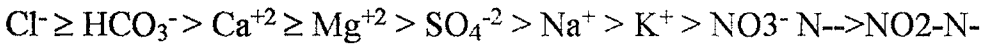
Genelde düşük değişim reaksiyonlarının izlendiği göl suyu örneklerinde $Ca^{+2}+Mg^{+2}>HCO_3^-$ tir. RAJU and GOUD (1990) çalışmalarında suların iyon değişimlerini HANDA (1969)'a göre yorumlamışlardır. Çalışmacılar $HCO_3^->Ca^{+2}+Mg^{+2}$ değerlerinin iyon değişiminin az olduğu yumuşak sulara karşılık geldiğini, $Ca^{+2}+Mg^{+2}>HCO_3^-$ değerlerinin ise sert sularda izendiğini söylemişlerdir. Bu çalışmada da gözlemlediğimiz kaynak noktalarının olduğu kesimler haricindeki örneklerde Schoeller indeksi pozitif değerlerde çıkmıştır. Dolayısıyla tüm göl suyunun genelde $Ca^{+2}+Mg^{+2}>HCO_3^-$ tipine karşılık gelen düşük değişim reaksiyonlu sert sular olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 6.7'de gölün kuzey-orta-güney kesimlerine ait seçilmiş noktaların doğu-batı doğrultusundaki iyon değişimleri gözlenmektedir. $HCO_3^-+CO_3^{+2}$ ve Na^++K^+ değerleri tüm alanda üniform bir dağılım gösterirken, özellikle Cl^- anyonları bariz bir şekilde düzensiz bir dağılım arz etmektedir. Gölün batı kesimleri Cl^- anyonları açısından zenginleşirken doğu kesimlere doğru azalan

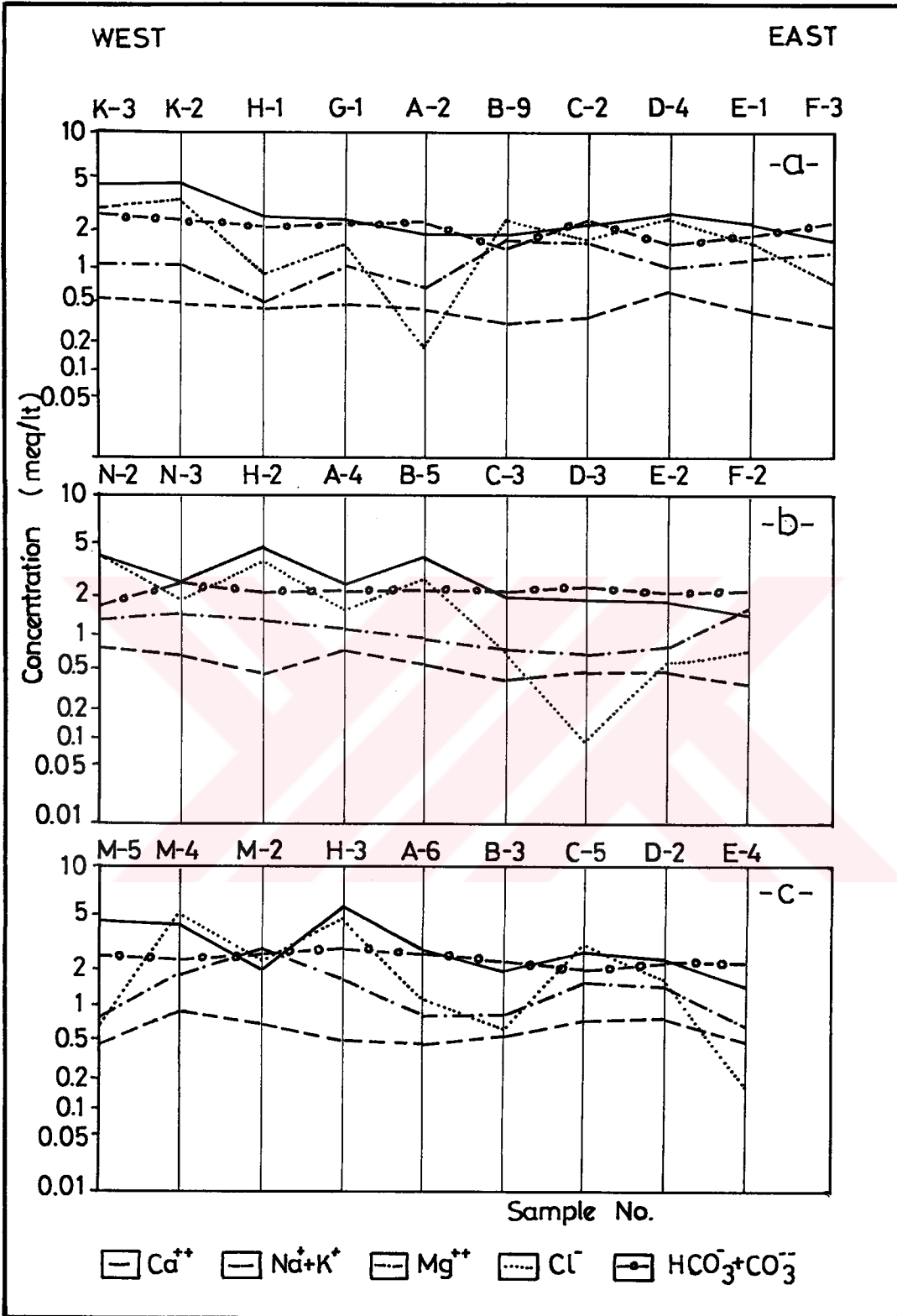
bir dağılım göstermektedir. Ca^{++} , güneybatı kesimlerde artış gösterirken doğuya doğru Mg^{+2} 'ca zenginleşmiştir. Şekil 6.7'de $\text{SO}_4^{=}$ değerleri, tüm göl suyunda hemen hemen aynı konsantrasyonlarda izlendiği için verilmemiştir. Göl havzasında yer alan jeolojik birimlerin özellikleri ve göle karışan derelerin bu birimleri katetmeleri göl suyunun Ca'ca zenginleşmesine ve HCO_3 değerlerinin yüksek olmasına neden olmuştur. Kalsiyum ve magnezyum, bikarbonatça zengin suların oluşumu ile zenginleşebilir. GUPTA and SUBRAMANIAN (1994) çalışmalarında HCO_3 'ın bol olduğu sulara Mg^{+2} zenginleşmesi saptamışlardır. Bu çalışmada Ca^{+2} ve HCO_3^- in molar oranlarının yaklaşık 1:2 olduğu saptanmıştır. Göl sularındaki HCO_3^- iyonlarının kaynağının atmosferik CO_2 ve kireçtaşı çökmesi ile organik aktivitelerden olması mümkündür. Göl suyundaki $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ molar oranların 1/2 gibi bir değerde olması, bu iyonların göl suyunda, kalsitçe zengin ürünlerin kimyasal ayrışması sonucu konsantre olabileceğini düşündürmektedir. Öte yandan $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranlarında da izlenen düşük değerler, kireçtaşlarının kimyasal ayrışması sonucu hem göl suyunun hem de dip sedimanlarının Ca'ca zenginleşmiş olabileceğini göstermiştir.

SARIN and KRISHNASWAMY (1984), doğal sulara yaptıkları çalışmalarda $(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}):(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ oranının 1'den büyük değerler almasını karbonat ve silikatların ayrışmasına bağlamışlar ve silikat ayrışmasının daha az önemli olduğunu söylemişlerdir. Sapanca Gölü sularında da bu iyonların oranlarının 1'den daha büyük değerler göstermesi karbonat ayrışmasını açıkça ortaya koymaktadır. Öte yandan Bölüm 3'te mineralojik bileşimi ortaya konan göl sedimanlarında da kalsit minerallerinin varlığı Ca^{+2} , HCO_3 iyonlarının oluşumunu açıklamaktadır.

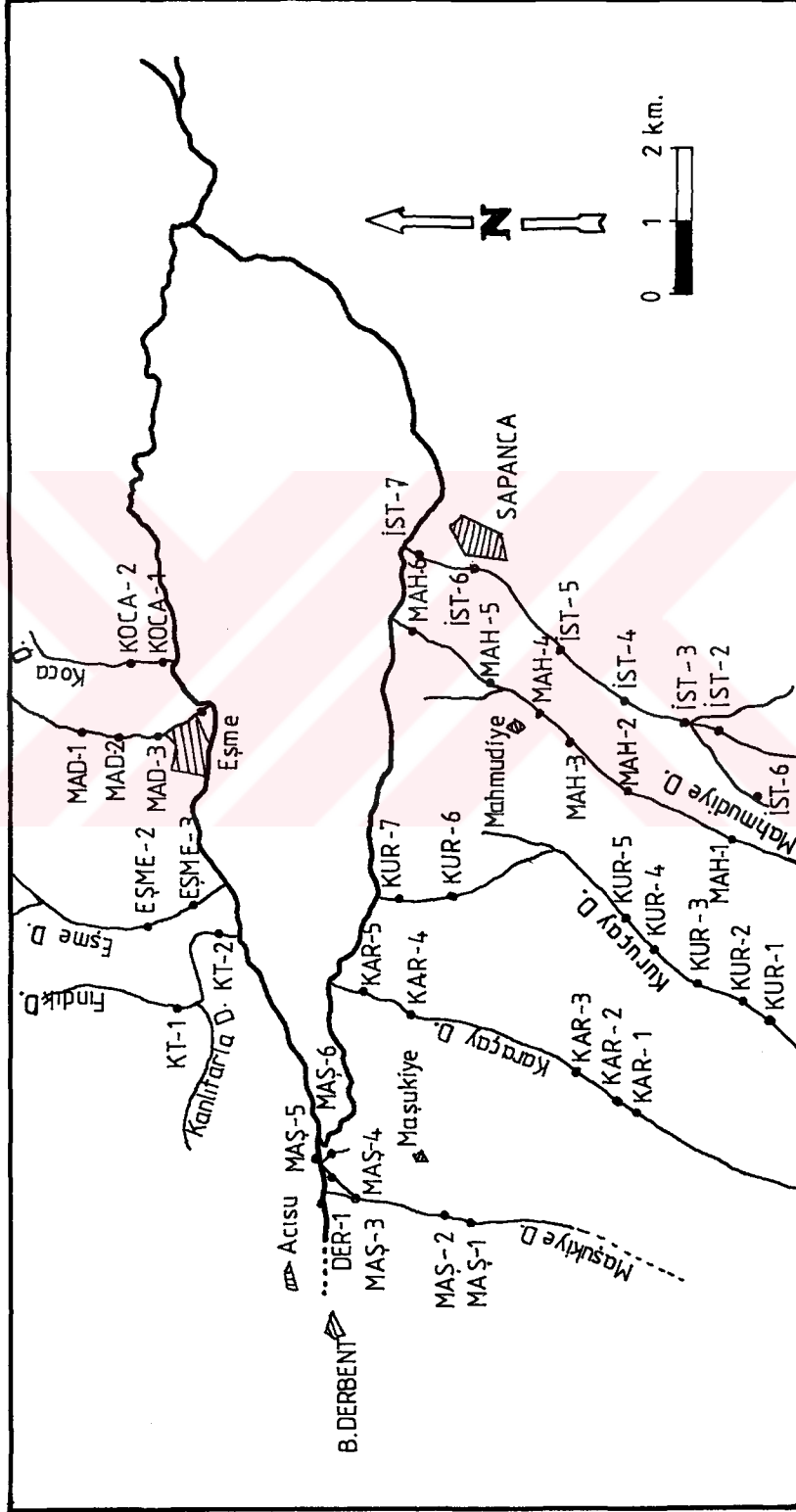
Sapanca Göl sularındaki toplam çözülmüş katıların (TDS) oldukça yüksek değerlerde izlenmesi (200-470mg/lf), göl suyu kimyasal bileşiminin, fiziksel ayrışmadan çok kimyasal ayrışma ile denetlendiğini göstermektedir. Ca-(Mg)-Cl- HCO_3 su tipine sahip olan göl suyundaki iyon değişiminin,



şeklinde olduğu izlenmiştir.



Şekil 6.7 Sapanca Gölü Sularının, a) Güney, b) Orta, c) Kuzey Kesimlerindeki Suların İyon Değişimleri.



Şekil 6.8 Sapanca Gölü Havzasındaki Dereceleri Ait Örnek Lokasyonları

6.2. DERE SUYU ÖRNEKLERİNİN ANALİZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sapanca Gölü havzasında yeralan ve gölü kuzey ve güneyden besleyen 11 dereden, çalışma yöntemleri bölümünde (bknz. Bölüm 1.2.) bahsedilen şekilde, alınan 45 adet örneğin (Ek-2 ve Şekil, 6.8) fizikokimyasal parametre değişimleri incelenmiştir (Tablo 6.4, 6.5).

Havzada yeralan bu derelerin çoğu özellikle kışın yüksek akış rejimi göstermekle beraber, yazın bu oran azalmaktadır. Öte yandan dereler, çıkış noktasından göle dökülme noktasına gelene dek tedrici bir azalma gösterirler. pH, EC ve DO gibi fiziksel parametre değerleri göl suyundan alınan örneklerin değerleriyle benzerdir. Dere örneklerinde pH değerleri 7.73-8.67 arasında değişim gösterirken, EC değerleri (176-262) $\mu\text{s}/\text{cm}$, DO değerleri ise (6.9-10.5)mg/lt arasındadır. Alkalın özelliğe sahip olan derelerin bazı kesimlerinin çeşitli nedenlerle-özellikle sanayi tesislerinin ve yerleşim alanlarının olduğu kesimlerde-kirlenmiş oldukları gözlemlenmiştir.

Havzada yer alan derelerin göl suyunun kimyasal bileşimini gerek taşıdıkları sedimanlarla gerekse de sanayi tesislerinin ve yerleşim alanlarının atıkları ile değişime uğrattıkları saptanmıştır. Havzanın kuzey ve güneyinde yeralan derelerdeki su örneklerinin kimyasal bileşimleri birbirlerinden oldukça farklıdır. Özellikle kuzeybatı kesiminde yeralan derelerin çoğu göl suyunu kirlletici yönden olumsuz olarak etkilerken, güneyde yeralan Mahmudiye ve İstanbul derelerinde benzer etkiler gösterdikleri izlenmiştir.

6.2.1. Dere Sularındaki İyon Değişimleri

Deresuyu örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları (Tablo 6.4, 6.5) incelendiğinde K^+ , HCO_3^- , CO_3^- , $\text{NO}_2\text{-N}$ değerlerinin tüm derelerde değişim göstermediği ve göl suyuna benzer konsantrasyonların izlendiği görülmüştür. Potasyum 1-2.5 mg/lt, bikarbonat 78.24-130.56 mg/lt, karbonat 10.06-21.79 mg/lt ve nitrit azotu 0.075-0.090 mg/lt arasında değerler almaktadır.

Tablo 6.4 Sapanca Gölü Havzasının Kuzeyindeki Derelerin Fizikokimyasal Parametre Değerleri.

Parametre	ÇARK	ÇARK	KOCA-1	KOCA-2	MAD-4	MAD-3	MAD-2	MAD-1	EŞM-4	EŞM-3	EŞM-2	KT-2	KT-1
pH	8.16	7.79	8.40	8.04	8.03	8.22	8.05	8.35	8.37	8.09	8.13	8.30	8.05
EC μ S/cm	242	240	215	182	190	245	197	295	252	232	245	240	235
DO mg/lit	7.4	7.6	8.3	8.0	7.8	8.0	7.9	8.2	7.4	6.8	7.1	8.0	7.8
Ca mg/lit	40	70	80	20	100	70	150	90	50	50	40	70	50
Mg mg/lit	14	12	19	14	34	20	47	37	34	32	34	42	22
Na mg/lit	12	9.5	56.5	64	30	27	28.5	27.5	26	23	26	42	49
K mg/lit	2.2	1.8	2.5	2	3	2	2	1.9	2	2	2	2	1.8
Cl mg/lit	56.56	94.17	184.22	77.32	227.25	134.44	352.28	227.32	131.25	117.78	111.40	195.81	112.97
HCO ₃ mg/lit	83.29	78.43	112.55	108.05	108.05	83.29	94.54	78.79	108.05	108.05	112.55	112.55	78.43
CO ₃ mg/lit	11.73	19.18	15.08	11.73	11.73	13.41	18.44	13.41	11.73	13.41	11.73	20.11	34.88
NO ₃ -N mg/lit	0.079	0.085	0.079	0.082	0.084	0.082	0.081	0.083	0.076	0.076	0.085	0.087	0.087
SO ₄ mg/lit	17.5	16.75	25.25	30.5	29.25	35.75	26.25	29.75	29.25	30.5	28.5	37.5	40.5
HCO ₃ meq/lit	1.37	1.29	1.85	1.77	1.77	1.37	1.55	1.29	1.77	1.77	1.85	1.85	1.29
CO ₃ meq/lit	0.39	0.64	0.50	0.39	0.39	0.45	0.61	0.45	0.39	0.45	0.39	0.67	1.16
NO ₂ -N meq/lit	0.0017	0.0018	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0017	0.0018	0.00165	0.00165	0.0018	0.0019	0.0019
SO ₄ meq/lit	0.36	0.35	0.53	0.63	0.61	0.74	0.55	0.62	0.61	0.63	0.59	0.78	0.84
Cl meq/lit	1.59	2.65	5.19	2.18	6.41	3.79	9.93	6.41	3.7	3.32	3.14	5.52	3.18
Ca meq/lit	199	3.49	3.99	0.99	4.99	3.49	7.48	4.49	2.49	2.49	1.99	3.49	2.49
Mg meq/lit	1.15	0.99	1.56	1.15	2.80	1.64	3.87	3.04	2.80	2.63	2.80	3.45	1.81
Na meq/lit	0.52	0.41	2.46	2.78	1.31	1.17	1.24	1.19	1.13	1.0	1.13	1.83	2.13
K meq/lit	0.056	0.046	0.064	0.051	0.077	0.051	0.051	0.049	0.051	0.051	0.0511	0.051	0.046

Tablo 6.5 Sapanca Gölü Havzasının Güneyindeki Derelerin Fizikokimyasal Parametre Değerleri.

Parametre	DER-1	MAŞ-6	MAD-5	MAŞ-4	MAŞ-3	MAŞ-2	MAŞ-1	KAR-5	KAR-4	KAR-3	KAR-2	KAR-1	KUR-7
pH	8.02	7.91	7.73	7.93	8.09	7.89	7.92	8.14	8.03	8.08	8.27	8.24	8.31
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	235	239	220	240	242	225	240	240	230	235	249	245	250
DO mg/l	7.9	7.5	6.9	7.5	7.8	7.1	7.6	8.2	7.7	7.9	8.5	8.4	7.7
Ca mg/l	70	70	60	70	60	100	20	70	50	40	90	170	30
Mg mg/l	8	8	6	9	10	7	11	8	14	7	7	17	15
Na mg/l	8.0	7.0	8.0	4.25	4.25	5.0	4.0	4.0	1.0	4.75	4.0	4.5	2.0
K mg/l	1.5	1.5	1.5	1	1.8	2	1.5	1	0.5	1	1.5	1	0.75
Cl mg/l	63.37	85.02	39.61	76.08/	70.75	125.22	287.60	75.00	64.26	12.57	99.56	273.34	27.57
HCO ₃ mg/l	121.55	81.34	121.55	90.04	81.04	85.54	130.56	78.79	72.03	87.79	90.04	90.04	74.29
CO ₃ mg/l	15.08	11.73	13.41	11.73	11.73	16.76	18.44	16.76	10.06	15.08	16.76	11.73	15.08
NO ₃ -N mg/l	0.083	0.081	0.079	0.076	0.085	0.067	0.077	0.082	0.086	0.083	0.082	0.076	0.090
SO ₄ mg/l	12.25	17.75	14.75	20	15.25	16.75	11.5	17.5	17.5	24.5	20.5	24.75	15.75
HCO ₃ meq/l	1.99	1.33	1.99	1.48	1.33	1.40	2.14	1.29	1.18	1.44	1.48	1.48	1.22
CO ₃ meq/l	0.50	0.39	0.45	0.39	0.39	0.56	0.61	0.56	0.34	0.50	0.56	0.39	0.50
NO ₂ -N meq/l	0.0018	0.00176	0.0017	0.00165	0.0018	0.00145	0.0017	0.0018	0.00186	0.0018	0.0018	0.00165	0.00195
SO ₄ meq/l	0.26	0.37	0.31	0.42	0.32	0.35	0.24	0.36	0.36	0.51	0.43	0.52	0.33
Cl meq/l	1.79	2.39	1.12	2.14	1.99	3.53	8.11	2.11	1.81	0.35	2.81	7.70	0.78
Ca meq/l	3.49	3.49	2.99	3.49	2.99	4.99	9.98	3.49	2.49	1.99	4.49	8.48	1.49
Mg meq/l	0.66	0.66	0.49	0.74	0.82	0.58	0.91	0.64	1.15	0.58	0.58	1.40	1.23
Na meq/l	0.35	0.30	0.35	0.18	0.18	0.22	0.17	0.17	0.04	0.21	0.17	0.19	0.09
K meq/l	0.038	0.038	0.038	0.026	0.046	0.051	0.038	0.026	0.013	0.026	0.038	0.026	0.019

Tablo 6.5 Sapanca Gölü Havzasının Güneyindeki Derelerin Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

Parametre	KUR-6	KUR-5	KUR-4	KUR-3	KUR-2	KUR-1	MAH-6	MAH-5	MAH-4	MAH-3	MAH-2	MAH-1	IST-7
pH	8.00	8.22	8.26	7.82	8.39	8.21	8.14	8.28	8.13	8.28	8.67	8.18	8.12
EC $\mu\text{S/cm}$	239	245	248	220	262	245	180	195	176	195	245	182	233
DO mg/lt	7.1	7.3	7.5	6.9	8.1	7.3	7.9	9.8	7.8	9.8	10.9	8.3	9.7
Ca mg/lt	40	140	50	40	40	50	120	90	80	130	70	50	100
Mg mg/lt	14	19	18	11	10	19	15	14	10	16	10	11	13
Na mg/lt	4.0	4.0	2.0	4.0	4.0	1.0	5.0	5.5	5.5	5.0	4.0	4.5	5.0
K mg/lt	1.5	7.5	1.	1	7.5	1	1	1	1	7.5	1	1	1
Cl mg/lt	23.63	233.81	52.29	31.37	30.16	66.15	170.80	122.19	83.53	200.46	72.17	46.98	145.97
HCO ₃ mg/lt	110.30	85.54	101.30	83.29	81.04	78.79	105.80	85.54	99.04	99.58	100.21	74.28	83.29
CO ₃ mg/lt	15.08	18.44	16.76	13.41	16.76	15.08	15.08	21.79	21.79	16.03	15.70	10.06	15.08
NO ₃ -N mg/lt	0.086	0.083	0.090	0.086	0.086	0.076	0.081	0.084	0.078	0.080	0.085	0.078	0.085
SO ₄ mg/lt	18	14.5	18.5	18.5	20.5	22	19.5	16	18	19.25	14.75	35.25	15.25
HCO ₃ meq/lt	1.81	1.40	1.66	1.37	1.33	1.29	1.73	1.40	1.62	1.63	1.64	1.22	1.37
CO ₃ meq/lt	0.50	0.61	0.56	0.45	0.56	0.50	0.50	0.73	0.73	0.53	0.52	0.34	0.50
NO ₂ -N meq/lt	0.00186	0.0018	0.00195	0.00186	0.00186	0.00165	0.00176	0.0018	0.0017	0.0017	0.0018	0.0017	0.0018
SO ₄ meq/lt	0.37	0.30	0.39	0.39	0.43	0.46	0.41	0.33	0.37	0.40	0.31	0.73	0.32
Cl meq/lt	0.67	6.59	1.47	0.88	0.85	1.86	4.81	3.44	2.35	5.65	2.03	1.32	4.11
Ca meq/lt	1.99	6.98	2.49	1.99	1.99	2.49	5.98	4.49	3.99	6.48	3.49	2.49	4.99
Mg meq/lt	1.15	1.56	1.48	0.91	0.82	1.56	1.23	1.15	1.82	1.32	0.82	0.91	1.07
Na meq/lt	0.17	0.17	0.09	0.17	0.17	0.04	0.22	0.24	0.24	0.22	0.17	0.19	0.22
K meq/lt	0.038	0.192	0.026	0.026	0.192	0.026	0.026	0.026	0.026	0.192	0.026	0.026	0.026

Tablo 6.5 Sapanca Gölü Havzasının Güneyindeki Derelerin Fizikokimyasal Parametre Değerleri (devam)

Parametre	İST-6	İST-5	İST-4	İST-3	İST-2	İST-1
pH	8.12	7.95	7.82	8.27	8.19	8.27
EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	234	225	195	215	240	245
DO mg/lt	9.7	8.9	8.4	10.5	10	10.5
Ca mg/lt	70	100	60	140	80	50
Mg mg/lt	15	17	11	20	12	14
Na mg/lt	5.75	5.0	5.0	4.0	4.0	5.75
K mg/lt	1.3	1	1	1.5	1	7.5
Cl mg/lt	98.32	121.84	47.69	224.81	101.62	68.84
HCO ₃ mg/lt	83.29	141.81	126.06	108.05	99.52	83.29
CO ₃ mg/lt	13.41	13.41	10.06	11.73	11.02	10.6
NO ₃ -N mg/lt	0.078	0.084	0.078	0.075	0.081	0.082
SO ₄ mg/lt	19.5	20.5	18.5	15.75	14.75	20.5
HCO ₃ meq/lt	1.37	2.32	2.07	1.77	1.63	1.37
CO ₃ meq/lt	0.45	0.45	0.34	0.39	0.37	0.34
NO ₃ -N meq/lt	0.0017	0.0018	0.0017	0.0016	0.00176	0.0018
SO ₄ meq/lt	0.41	0.43	0.39	0.33	0.31	0.43
Cl meq/lt	2.77	3.43	1.34	6.34	2.86	1.94
Ca meq/lt	3.49	4.99	2.99	6.98	3.99	2.49
Mg meq/lt	1.23	1.40	0.91	1.64	0.99	1.15
Na meq/lt	0.25	0.22	0.22	0.17	0.17	0.25
K meq/lt	0.033	0.026	0.026	0.038	0.026	0.192

6.2.1.1. Kalsiyum

Gölün çevresinde yeralan derelerde 20-170 mg/lit arasında değişen değerlerde izlenen kalsiyum konsantrasyonun göle varış noktasında ve yerleşim alanları ile sanayi tesislerinin bulunduğu kesimlerde artış gösterdiği saptanmıştır. Kuzeyde yeralan Serflex fabrikası ve süthane atıklarının karıştığı kesimlerde, Eskiçeşme ve Yeniçeşme köylerinin bulunduğu MAD-2 ile göle dökülme noktasındaki MAD-4 örneklerinde oldukça yüksek (100-150 mg/lit) kalsiyum değerleri izlenmiştir. Kalsiyum getiriminin antropojenik bir kirlenmeyle ilişkili olduğu saptanmıştır. Yine güneyde yeralan Kurtköy yerleşim biriminin olduğu KUR-5, Mahmudiye Köyü ve civarında yeralan İstanbul Segman Sanayi'nin atıklarını içeren MAH-5, MAH-6 VE İST-5, İST-7 örneklerinde de 100-140 mg/lit arasında kalsiyum değerleri ölçülmüştür. Bu örneklerdeki kalsiyum zenginleşmesinin antropojenik bir kirlenmeyle ilişkili olduğu açıkça izlenmektedir. Ancak MAŞ-1, MAŞ-2, KAR-1, KAR-2, MAH-3, İST-3, İST-5 örneklerinde 90-200 mg/lit arasında kalsiyum değerlerinin bulunması ve örnekleme yapılan bu noktalarda ve çevresinde antropojenik bir kirlenmeye neden olabilecek birimlerin yeralmaması kalsiyum konsantrasyonunda izlenen artışın jeolojik kaynaklara bağlı olduğunu göstermektedir. Bu kesimlerde şist, kalkışist, kristalize kireçtaşı, mermer gibi litolojilerin izlenmesi, Ca'ca zengin bu kayaların fiziksel ayrışmaları ile dere suyunun etkilendiğini ortaya koymaktadır.

6.2.1.2. Magnezyum

Göl sularına oranla, kuzeyde yeralan derelerde oldukça yüksek Mg değerleri (14-47 mg/lit) saptanmıştır. Magnezyum değerleri güney kesimde göl suyu bileşimine benzerdir. Magnezyumun sulardaki zenginleşmesi sülfat ve klorür tuzlarının suda çözünmesine bağlıdır. Konsantrasyonun arttığı kuzey kesimdeki derelerde klor iyonlarının artış göstermesi ile magnezyum zenginleşmesi arasında bir ilişki olabilir. Magnezyum değerlerinin genel olarak kuzey kesimlerde artış göstermesi antropojenik bir kirlenmeden çok buradaki jeolojik özelliklerden kaynaklandığı izlenimini uyandırmaktadır. Öte yandan güney kesimde özellikle İstanbul Dere ve Mahmudiye Dere civarında atıkları dere suyuna karışan sanayi tesislerinin yeralması ve bu kesimdeki örneklerde çok yüksek Mg^{++} değerlerinin izlenmemesi, kaynağın, litoloji ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

6.2.1.3. Sodyum

Gölün kuzeyinde yeralan derelerde oldukça yüksek sodyum değerleri ölçülmüştür (Tablo 6.8). 23-64 mg/lt arasında izlenen sodyum değerleri göl suyunda ölçülen değerlerden oldukça farklıdır. Süthane ve Serflex fabrikası ile yerleşim alanlarının olduğu kesimlerde antropojenik bir kirlenmeden bahsetmek mümkün olsa bile, KOCA-1 ve KOCA-2 örneklerinin alındığı kesimlerde 56.5 mg/lt ve 64 mg/lt gibi yüksek konsantrasyonların ölçülmesi, bu zenginleşmenin ilk bakışta litoloji ile ilişkili olduğu izlenimini vermektedir. Ancak bölgede yaygın olarak izlenen ayva-elma bahçeleri, bu kirlenmenin tarımsal faaliyetlerin yapılması sırasında toprağa atılan gübrelere de kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla kuzey kesimde sodyumda izlenen aşırı artışın litolojiyle olduğu kadar, daha çok antropojenik bir kirlenme ile ilişkili olabileceği sonucuna varılmıştır. Güney kesimde ise düşük değerler izlenmesi, yine düşük sodyum içerikli kayaçların bulunması ile bir kaynak ilişkisi arzetmekte ve antropojenik bir etkinin olmadığını işaret etmektedir.

6.2.1.4. Sülfat

Havzada yeralan derelerdeki sülfat konsantrasyonu diğer iyon değerleri ile benzer bir ilişki göstermektedir. Kuzeydeki derelerde güneye oranla bariz bir artış görülmektedir. Bu artış göl suyunda ölçülen değerlerden de yüksektir. Havzanın kuzeyindeki derelerde sülfat değerlerinin göle dökülme noktalarında artış göstermesi, artışın bu kesimdeki sanayi tesislerinin ve yerleşim birimlerinin atıklarından kaynaklandığını işaret etmektedir. Güneydeki derelerde bulunan değerler ise yüksek olmayan üniform bir dağılım göstermektedir.

6.2.1.5. Klor

Havzanın kuzeyinde yeralan derelerde klor konsantrasyonunda izlenen artış göl suyunu da oldukça etkilemiştir. Güney kesimdeki Mahmudiye ve İstanbul derelerden alınan örneklerde de klor konsantrasyonu oldukça yüksek değerlerde ölçülmüştür. Kuzey kesimdeki derelerde ortalama 170.19 mg/lt ve güney kesimde klorun artış gösterdiği derelerde ise ortalama 115.79 mg/lt klor saptanmıştır. Güneyde yeralan KUR-5 (233.81 mg/lt), KAR-1 (273.34 mg/lt),

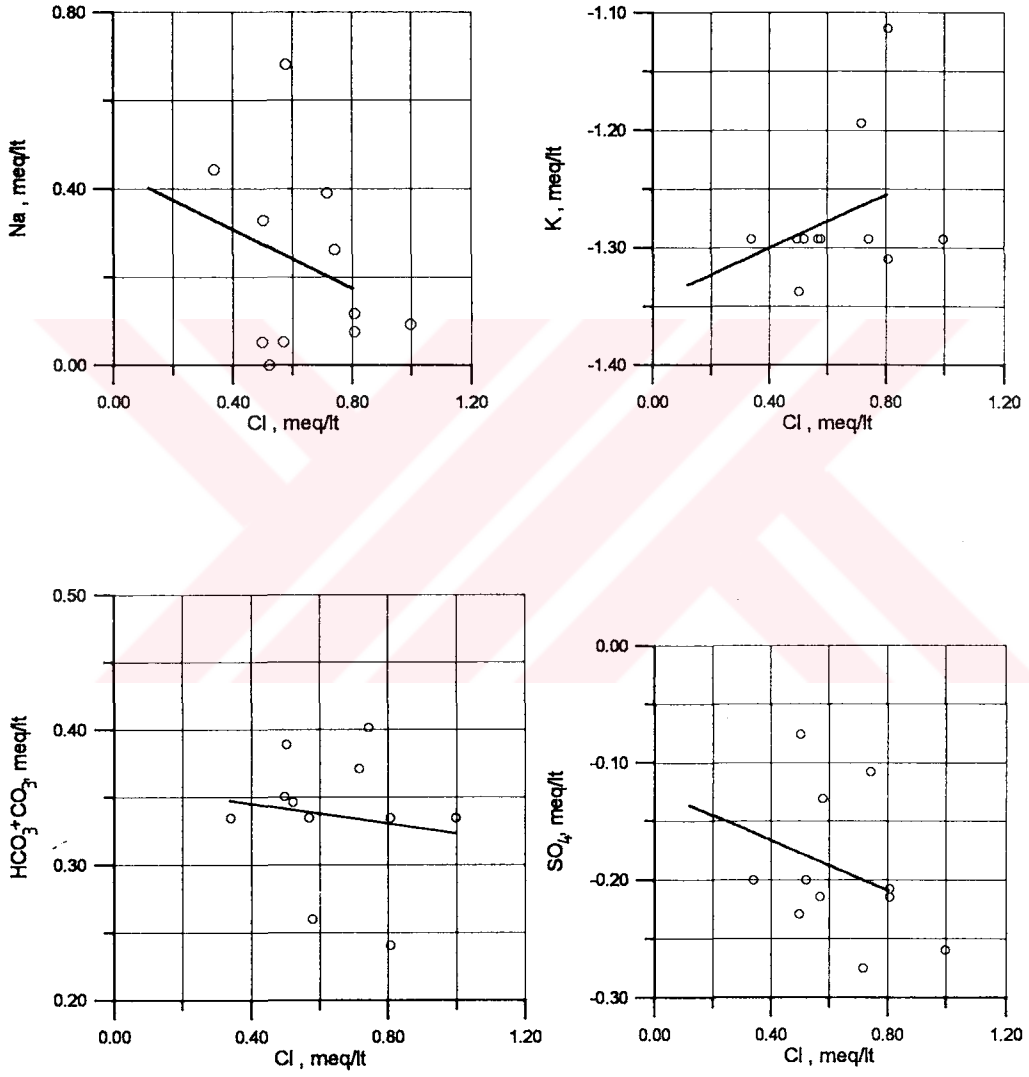
MAŞ-1 (287.60 mg/l), MAŞ-2 (125.22 mg/l) örneklerinde saptanan yüksek klor içeriği bu örneklerdeki kalsiyumla da ilişkilidir ve bu kesim yüksek kalsiyum içerikli kayaçların geniş yayılım gösterdiği bölgedir. Öte yandan Mahmudiye ve İstanbul Derelerinde izlenen konsantrasyon artışı ise büyük olasılıkla bu bölgede kurulmuş İstanbul Segman tesislerinin atıklarından kaynaklanmaktadır.

Analiz sonuçları incelendiğinde (Tablo 6.4) kuzeydeki derelerin tümünde sodyum içeriklerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Yine klor değerleri de benzer artışı göstermiştir. Bu da bu derelere klor iyonu veren başlıca tuzun sodyum klorür olduğunu göstermektedir. Havzadaki derelerde Na/Cl oranları oldukça düşük olup, bu oran kuzeydeki derelerde biraz daha fazla artış göstermiştir. Ancak kendi aralarında ele alınıp incelendiğinde sodyum ile klor arasındaki benzer konsantrasyon artışına rağmen, iyonların birbirleri ile değişimi (Şekil 6.9 a) negatif bir korelasyon arzeder. Güney kesimde ise İstanbul ve Mahmudiye Derelerin haricindeki derelerde hem Na hemde Cl değerleri düşüktür. Güney kesimde klor konsantrasyonunun yüksek olduğu iki derenin Na değerleri de kuzeydeki dereler gibi artış göstermezler. Her iki iyon değişimi arasında belirgin olmayan, zayıf bir negatif korelasyon vardır (Şekil 6.10 a). Bu da bu kesimde izlenen litoloji ile ilişkilidir.

Havzadaki derelerde ölçülen potasyum değerleri göl suyundaki değerlerle benzer olup klor ile değişimi pozitif bir korelasyon göstermektedir (Şekil 6.9 b, 6.10 b). Ancak bu ilişki sodyumda olduğu gibi kuvvetli değildir.

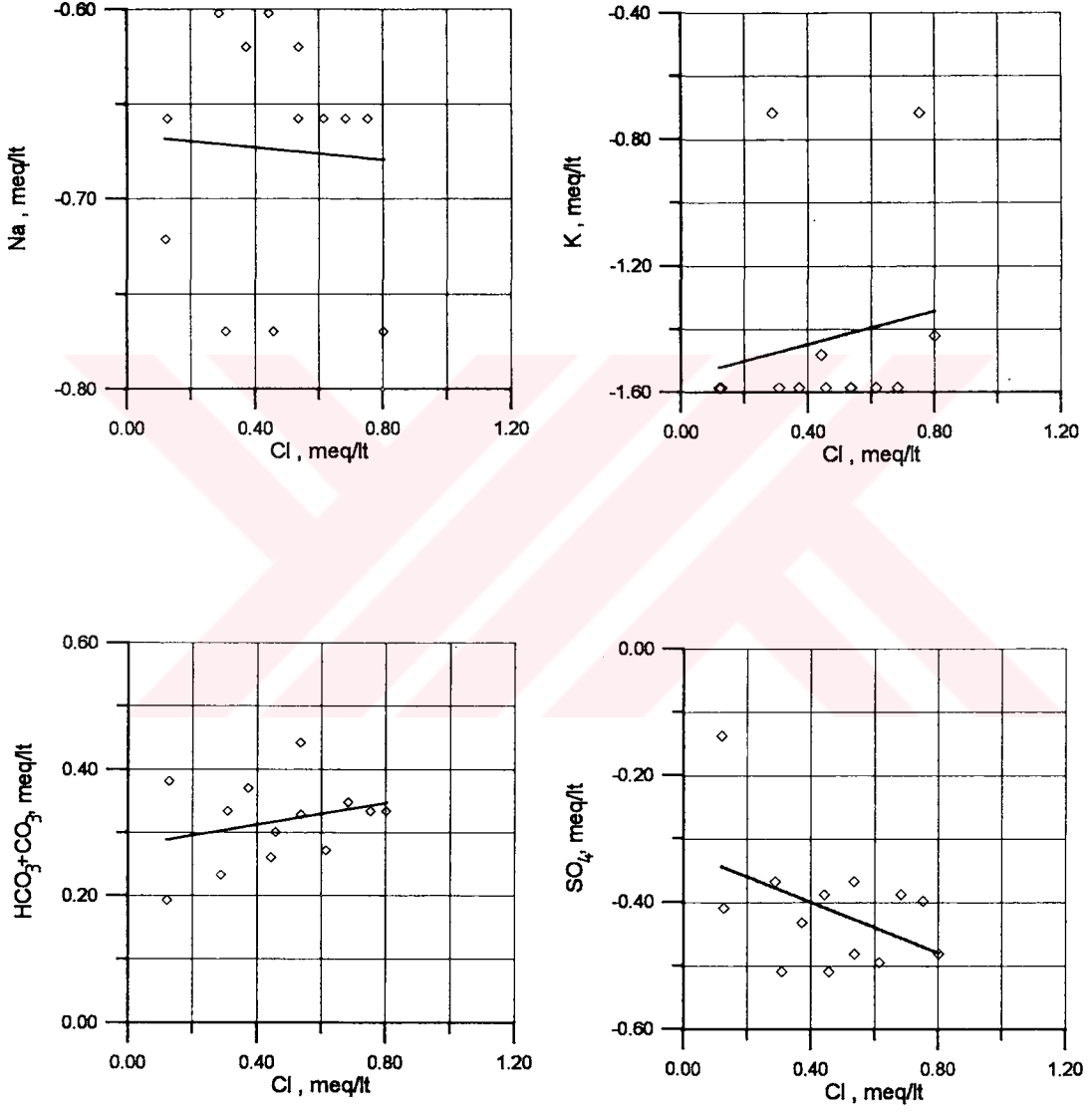
Derelerin Na/Cl oranlarının azalmasıyla birlikte $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ oranlarında da izlenen düşüş güney kesimde belirgin olup, klor ile pozitif korelasyon göstermektedir (Şekil 6.10 c). Ancak benzer ilişki kuzeyde yeralan derelerde izlenmemiştir (Şekil 6.9 c).

Tablo 6.4'de verilen sülfat değerleri incelendiğinde kuzey kesimde yeralan derelerin sülfat konsantrasyonlarının arttığı izlenir. Bu kesimde klor konsantrasyonlarında da izlenen artış ilk anda SO_4 ile Cl arasında doğrusal bir ilişkinin varlığını düşündürmektedir. Ancak örnekler kendi aralarında ele alınıp, her iki iyon değişimi incelendiğinde (Şekil 6.9 d), tam tersi bir ilişki gözlenmiş ve negatif bir korelasyon izlenmiştir. Benzer ilişki (Şekil 6.10 d) güney kesimdeki derelerden alınan örneklerde de görülmektedir.



Şekil 6.9 Sapanca Gölü Kuzeyindeki Derelerin

a) Na/Cl; b) K/Cl; c) HCO₃+CO₃/Cl; d) SO₄/Cl Değişimleri.



Şekil 6.10 Sapanca Gölü Güneyindeki Derelerin

a) Na/Cl; b) K/Cl; c) HCO₃+CO₃/Cl; d) SO₄/Cl Değişimleri.

6.3. DERE VE GÖL SUYUNUN AĞIR METAL JEOKİMYASI

Majör elementler açısından değişik kimyasal bileşimler gösteren göl ve dere suları, havzada yeralan sanayi tesislerinin atıklarını dere suları ile göle boşaltmaları ve evsel atıklarında kanalizasyonlarla göle karışmalarından dolayı, ağır metalleri içerebileceği düşüncesinden hareketle analize tabi tutulmuşlardır. Ancak yapılan analiz sonuçları hem dere hemde göl suyunun ağır metallerce kirlenmiş olmadığını göstermiştir. Öte yandan, bu metallerin yüksek konsantrasyonlarda izlenmemeleri, STUMM and BACCINI (1978)'in ifade ettikleri nedenlerle izah edilebilir. Bunlardan birincisi ağır metal eriyiklerinin genelde düşük konsantrasyonlar göstermesidir. İkincisi ise ağır metallerin iyi bir tampon olmamasından kaynaklanan ve örnekleme ve kimyasal işlemler esnasında kontaminasyona bağlı olarak azalmasındandır. Bu yüzden de sulardaki metal konsantrasyonları için güvenilir background ve referans değerlerinin saptanması zorlaşır.

Sapanca Göl suyu ve onu besleyen derelerde de ağır metallerin ölçülememiş olması, buna rağmen dip sedimanlarında metal konsantrasyonlarının saptanması, ağır metallerin sedimanların bünyesinde zenginleştiğini göstermektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sapanca Gölü Kuzey Anadolu Fay zone üzerinde yer alan, kuzey ve güneyinden geçen iki fay hattı arasında kalmış ve İzmit Körfezinden alüvyon bir baraj ile ayrılmış tektonik çöküntü gölüdür. Dolayısıyla, kuzey ve güney havzalarının iki farklı kıtaya ait kaya birimlerinden oluşması jeolojik anlamda en önemli özelliğidir. Güneyinde büyük oranda metamorfiklerden oluşmuş kaya birimleri bulunurken kuzey kesimde fliş fasiyesine ait çeşitli birimler izlenir. Bu nedenle, kuzeyden ve güneyden göle dökülen derelerin, kaynaktan göle kadar katettikleri litolojide tümüyle farklıdır. Bu jeolojik özellikler, ve gölün yakın çevresindeki çeşitli kaynakların yarattığı antropolojik faktörler göl sediman ve suyunun jeokimyasını topluca etkilemiştir. Söz konusu etkilerin dip sedimanları üzerindeki mineralojik ve hem dip sedimanları hem de göl suyu üzerindeki jeokimyasal parametrelerinin ortaya konulması amacıyla bu tez kapsamında yürütülen araştırmalar aşağıdaki sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Söz konusu etkilerin dip sedimanları üzerindeki mineralojik ve hem dip sedimanları hemde göl suyu üzerindeki jeokimyasal parametrelerinin ortaya konulması amacıyla bu tez kapsamında yürütülen araştırmalar aşağıdaki sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

DİP SEDİMANLARI

Optik mikroskop ve X-Işınları Difraksiyon yöntemleri kullanılarak, Sapanca Gölü dip sedimanlarında;

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

genel mineral birliği saptanmıştır. Sediman çözümlemesini ifade eden bu bileşimin yanısıra sadece kil fraksiyon çözümlemesi dikkate alındığında, çokluk sırası değişken olarak,

"smektit+muskovit-illit+klorit" birlikteliği saptanmıştır.

Sedimanlar içersinde mika+kil minerallerinin oranı oldukça yüksektir. Ancak tek tek mineraller dikkate alındığında hemen tüm örneklerde kuvars ana mineral durumundadır. Kuvarsın ve genellikle albit tipindeki feldspatların esas itibarıyla malzeme boyutundaki artışla doğru orantılı olarak çoğalmasının yanı sıra; silt, kil hakim boyutlu birçok örnekte de bu minerallerin yüksek oranlarda bulunuyor olması onların kum altı boyutlara kadar ufalarak taşındığını gösterir. Gerçektende optik mikroskop incelemeleri sonucu bu minerallerin çok farklı boyutlarda - aynı örnekte dahi - bulunabildikleri anlaşılmıştır. Buna karşın mika ve kil minerallerinin toplam oranlarında malzemedeki boyut artışına paralel olarak belirgin bir azalmanın olduğu gözlenmiştir. Yine optik mikroskop incelemelerinden kil minerallerinin tümüyle, mika minerallerinin ise büyük oranda, her zaman ufak boyutlarda bulunduğu saptanmıştır.

Elek ve pipet analiz yöntemleri ile tane boyu dağılımları belirlenen Sapanca Gölü yüzey çökellerinde 1) kum, 2) silt, 3) kil olmak üzere başlıca üç ana sediman tipi belirlenmiştir. %0.5-30 çakıl, %2-91 kum, %7-93 silt, %1.5-32 kil boyutlu malzeme bulunan ve kilden kumlu çakıla kadar değişen sediman türlerini içeren Sapanca Gölü dip sedimanlarının göl dibindeki dağılımının silt bileşeni baskın "karasal kökenli yüzey sedimanları" şeklinde olduğu izlenmiştir. Çökellerin tane dağılımları; kaya birimlerinin erozyonu, derelerle taşınım ve dalga-akıntı etkisi ile oluşan dip erezyonu gibi aktivitelerle denetlenmektedir. Taşınım mesafesine bağlı olacak şekilde dip sedimanlarında gölün merkezi kesimlerine doğru tane boyu ufalması gözlenir. Kum+çakıl boyutlu malzeme gölün kuzey ve güneyinde ince bir şerit halinde yayılım gösterir. Kuzeyde olağan bir geçiş şeklinde kumlu silt ve siltli kum boyutlarında temsil edilen alanlara geçilirken, güneybatı ve güneydoğuda nispeten küçük iki alanda kum+çakıl boyutlu alandan ani olarak killi silt boyutlu alanlara geçiş vardır. Sapanca Gölü'nün başlıca sediman boyutu ise silttir. Göl alanının yarısından fazla oranı silt boyutlu sediman çökelimindedir. Göl dibinde yaygın olarak silt bileşenli malzemenin izlenmesi iki nedenden kaynaklanmaktadır. Birincisi göl içersine büyük bir su girişi yoktur. İkincisi de, gölde hakim olan su akıntı hızının silt boyutlu malzemenin birikimine uygun olmasıdır. Bu özellikler gölde düşük enerjiye sahip bir ortamın varlığını göstermektedir.

Sedimanlardaki ağır metallerin hem litojenik hemde antropojenik olarak zenginleştiği izlenmiştir. Metallerin konsantrasyonları her metal için (Ni ve Pb

hariç) TUREKIAN and WEDEPOHL (1961)'ün verdiği standartları aşmamıştır. Metallerin çoğu, sedimanlardaki kil materyalinin dağılımına bağlı olarak ince taneli malzemelerde, soğrafi olarak ise özellikle gölün göney kesiminden alınan örneklerde zenginleşme göstermişlerdir. Cu, Pb, Zn, Co, Mn ve Cr konsantrasyonları göl güney havzasındaki şistler, kuvarsit, kristalen kalker, gnays ve amfibolitlere bağlı litolojilerin ayrışması ile ilişkili olarak artış göstermiştir. Bu kesimden alınan kaya örneklerinde de kuzey kesimdeki birimlerden daha yüksek değerler ölçülmesi buradaki litojenik zenginleşmeyi desteklemiştir. Öte yandan Ni, Cr, Zn, Cu konsantrasyonlarındaki artışın litolojinin yanısıra havzada kurulmuş olan sanayi tesislerinden ve evsel atıklardan etkilenerek antropojenik bir kirlenmenin varlığını göstermektedir. Antropojenik (evsel ve sanayi atıklar ile tarımsal faaliyetler sonucu oluşu) etkiler dere ve göl sularının yanısıra dip sedimanlarında da izlenmiştir.

Bazı metaller (Pb, Mn ve Cr) seçici davranarak silt boyutlu malzemelerde artış göstermişlerdir. Kil fraksiyon çalışmaları sonucu yapılan kimyasal analizlerde Pb konsantrasyonunun izlenmemesi tane boyu dağılım analizi ile ortaya konan sonuçlarda benzerdir. Cu, Ni, Zn konsantrasyonları kil boyutlu malzeme arttıkça zenginleşmekte, buna karşın Fe konsantrasyonu kil boyutlu malzeme miktarı arttıkça azalmaktadır. Ölçülen Fe değerlerinin yüksekliği dip sedimanlarındaki klorit mineralinin çokluğu ilede doğru orantılıdır. As konsantrasyonu, özellikle kil boyutlu malzemelerde ve antropojenik bir kirlenme sonucu artış gösterirken V, Ba ve Sr silt boyutlu malzemelerde ve litolojiye bağlı olarak sediman mineralojisi ile ilişkili olan bir zenginleşme göstermişlerdir. Baryum muhtemelen göl çevresindeki kuvars ve feldspatça zengin kumtaşlarının erozyonu sırasında, detritik Si mineralleri ile taşınmıştır. Kuzey kesimde yeralan derelerde ve bu kesimdeki göl sularında klor konsantrasyonunun artışına bağlı olarak Sr zenginleşmesinin izlenmesi çökelme ortamının uygun olmasından kaynaklanmıştır.

GÖL VE DERE SULARI

Alkali özellikte su bileşimine sahip olan Sapanca Gölü sularında, 20°C su sıcaklığında; 5 m. derinlikte 7.59-8.42, 15 m. derinlikte 7.72-8.34, 30 m. derinlikte 7.80-7.99 pH değerleri ölçülmüştür. Derin kesimlerden alınan örneklerin pH değerlerindeki azalma, buradaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu ile serbest kalan CO₂ miktarındaki artıştan

kaynaklanmıştır. 25°C 'ye normalize edilen konduktivite değerlerinin ise derinlikle arttığı, 5 m. derinlikte 254-264 $\mu\text{s/cm}$ 15 m. derinlikte 254-270 $\mu\text{s/cm}$, 30 m. derinlikte 278-282 $\mu\text{s/cm}$ arasındaki değerlerde ölçülmüştür. Yüzey ve derin sulardan alınan örneklerin Ca^{+2} ve HCO_3^- konsantrasyonlarındaki farklılıklar elektrik konduktivite değerlerini etkilemiştir. Yine organik maddelerin fotosentezine bağlı olarak, çözünmüş oksijen değerlerinin, 10-15 m. derinlikte artış gösterdiği izlenmiştir.

Bilindiği gibi Sapanca Göl suyu, çevredeki yerleşim birimlerinin ve sanayi tesislerinin içme ve kullanım ihtiyacını karşılayana doğal sulardır. Göl suyunda izlenen fiziksel parametre değerlerinin TÜRK STANDARTLARI (1984) ve WHO (1984)'ün önerdiği standartlara uygunluğu nedeniyle, göl suyunun halen içilebilir kalitede olduğu saptanmıştır. Elektrik konduktivite ve SAR değerlerinin dağılımı; düşük-orta tuzlulukta, düşük sodyumlu su sınıflaması içinde kalan göl suyunun %10'dan küçük SAR değerleri ile sulama amaçlı olarakta kullanılabileceğini göstermiştir.

TUĞRUL ve MORKOÇ (1991), bölgede yaptıkları limnolojik çalışmada göldeki fosfat derişiminin düşüklüğünden dolayı, klorofil-a maksimumunun daima termoklin tabakasının altında olduğunu, bununda yüzey ışık şiddetinin %1'e indiği derinliğe kadar biyolojik sistemin varlığı ile ilgili olduğunu söylemişlerdir. 28-35 arasında hesaplanan Trofik State indeksinin (TSI) oligotrofik özelliğe karşılık geldiğini saptamışlardır. Bu çalışmada ölçülen fiziksel parametrelerde TUĞRUL ve MORKOÇ (1991)'un çalışmaları ile hemen hemen benzer olmasına rağmen kimyasal parametre değerleri düşünülen çeşitli nedenlerden dolayı (örnekleme zamanı, örnek alım noktalarının farklılığı, analiz yöntemlerinin farklılığı, v.s) farklılıklar göstermiştir.

Sapanca Göl sularında ve gölü besleyen derelerde konsantre olan iyonların çoğu göl çevresindeki litolojilerle ilintili olarak suların kimyasal bileşimini değiştirmiştir. Sapanca Gölü su toplama havzasının Sakarya kıtası ve İstanbul zonu olarak bilinen iki farklı kıtasal temele ve dolayısıyla farklı kaya birimlerine sahip olması nedeniyle hem kuzey hemde güney kesimdeki dere ve göl sularının kimyasal bileşimleri farklılıklar göstermiştir. Güney kesimde yeralan derelerde (Mahmudiye ve İstanbul dereler hariç) iyon konsantrasyonlarında çok yüksek bir artış izlenmemiştir. Ayrıca göl suyunun dere suları ile benzer kimyasal bileşim göstermesi ölçülen iyonlarının

kaynağının sadece litoloji ve taşıyıcı etkenler olmasını düşündürür. Ancak Mahmudiye ve İstanbul Dere örneklerinde Ca^{+2} , Na^+ , Cl^- ve SO_4^{-2} iyonlarının artış göstermesi litolojiden çok antropojenik bir kirlenmeyi ifade eder. Gerçektende bu kesimde kurulmuş olan sanayi tesislerinin varlığı ve atıklarını bu dereler vasıtasıyla göle boşaltmaları hem derelerin hemde bu kesimdeki göl suyunun iyon konsantrasyonlarındaki artışına neden olmuştur.

Kuzeydeki dere sularında Ca^{+2} , Na^+ , Cl^- ve SO_4^{-2} iyonlarının yüksek konsantrasyonlarda ölçülmesi kaynağın litojenetik olduğunu göstermiştir. Öte yandan Fındık dere de izlenen yüksek Cl^- konsantrasyonu bu kesimde kurulu olan Süthane ve Serflex fabrikasının atıklarını dereye vermesinden kaynaklanmıştır. Koca dere de izlenen iyon konsantrasyon artışının litoloji kadar bu kesimde yapılan zirai işlemler esnasında kullanılan tarımsal mücadele ilaçları ve kimyasal gübrelerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Derelerde izlenen iyon konsantrasyonlarındaki artış bu kesimdeki göl suyu örneklerinde de saptanmıştır.

Hem kuzey hemde güney kesimde (Mahmudiye ve İstanbul derelerin döküldüğü klor konsantrasyonundaki artış ve tuzluluğun belirlenmesinde kullanılan Ca/Mg , Ca/Cl , Na/Cl oranları gözönüne alındığında göl suyunun temiz-su özelliğinin azaldığı söylenebilir. Ancak gölün doğal kaynaklar içermesi, göl suyunun belirli aralıklarla Çark suyu ile Sakarya nehrine deşarjı göl suyunda doğal bir temizlenmeyi sağlamaktadır. ERTÜRK (1994), Sapanca Gölü dip sedimanlarındaki % TOK değerlerinin oldukça düşük olduğunu ve organik kirlenme açısından da göl suyunun kendini temizleyebileceğini belirtmektedir.

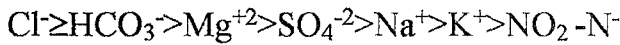
Klor iyonlarının artış gösterdiği derelerde SO_4^{-2} , Na^+ , Ca^{+2} iyonlarının da artış göstermesi özelliğinden hareketle bu iyonlar arasında kurulan ilişkide beklenen sonuçlar elde edilememiştir. İyonlar kendi aralarında pozitif ilişki gösterirken, klor ile olan ilişkileri negatif korelasyonlu bulunmuştur. Buna rağmen, dere suları her ne kadar göl suyunun bileşiminde değişiklik yaratabilmişse de klor açısından bir etkilenmenin olduğunu söylemek zordur. Dere sularının klorca zengin olmasına karşın göl suyunun genel kompozisyonu düşük klor içerikli olup, tuzlu göller sınıfına dahil edilen su bileşiminde değildir.

Göl sularında toprak alkali elementler baskın olarak izlenmiştir ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$). İyon konsantrasyonları gözönüne alınarak yapılan sınıflamada "karışık-sular" sınıflaması içinde yer alan göl suyu, kıyıya yakın kuzey ve güney kesimlerinde $\text{SO}_4^{-2} + \text{Cl}^{-} > \text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-}$, özellikle doğu kesimde $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-2} > \text{SO}_4^{-2} + \text{Cl}^{-}$ özelliği göstermektedir. $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$ oranının 1'den büyük değerler alması göl dibindeki karbonat ayrışmasını destekler.

Sularda ölçülen nitrat azotu değerleri bugüne kadar yapılan çalışmalarda ölçülen değerlere benzerlik göstermesine rağmen, nitrit azotunda ölçülen değerlerin önceki çalışmalardan yüksek olması, dere sularına karışan sanayi ve evsel atıklar ile gübreleme esnasında kullanılan azotlu gübrelerin etkisidir. Bu nedenle dereler yoluyla göl sularında kirlilik artışı saptanmıştır.

Schoeller indeksi kullanılarak matematiksel anlamda iyon değişimi ortaya konan göl suları, düşük değişim reaksiyonlarına sahip kloro-alkalin özelliklidir. Ancak kaynakların gözlemlendiği kesimlerde iyi bir katyon-anyon değişimi izlenmiştir. Öte yandan düşük değişim reaksiyonlarının izlendiği kesimlerde $\text{HCO}_3^{-} > \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ değerlerinin izlenmesi göl suyunun düşük değişim reaksiyonuna sahip sert sular olduğu görüşü ile uyum içersindedir.

Kimyasal ayrışmanın yoğun olarak izlendiği göl suyundaki iyonların dağılımı



şeklindedir.

Sapanca Göl suları kimyasal sınıflama içindne Sulin, Piper ve Schoeller'in önerdikleri şekilde sınıflamaya tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekildedir;

1. Az sert sular sınıfına giren göl suları, su için de çözünmüş iyonlarının toplam miktarları gözönüne alındığında, 1000 mg/l'den küçük değerleri ile "tatlı sular" sınıflaması içinde kalmıştır.

2. Sulin (1946)'nin jenetik sınıflamasında;

$qNa/qCl < 1$ olup, göl suyu "magnezyum klorür" tipindedir. Ancak klor konsantrasyonunun yüksek olduğu kesimlerde "kalsiyum klorürlü" su tipinde olduğu gözlenmiştir.

3. Göl suyu örneklerinin kimyasal parametreleri Piper diyagramlarına uygulandığında göl suyunun "karışık sular" sınıflaması içinde olduğu saptanmıştır. Buda göl suyu iyonlarının hiçbirinin %50'yi aşmadığını göstermiştir.

4. Schoeller tarafından verilen diyagramlar kullanıldığında göl suyunun, "çok iyi kaliteli sular" sınıfına girdiği, 2-7 meq/l'tyi aşmayan $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ değerleri ile "doğal karbonatlı" sular olduğu gözlenmiştir. Ayrıca,

$rSO_4^{2-} < rCa^{+2}$ değerleri ilede "sülfatça doyunluğun altındaki sular" sınıflaması içinde yer aldığı saptanmıştır.

Sapanca Gölü, çevresinde onu kirletecek etkilerin şiddetle artış göstermesine karşın, bilimsel parametreler bazında halen temiz suya sahiptir. Diğer bir ifadeyle, çevresindeki son derece hızlı-anormal nüfus artışına ve sanayi tesislerinin yapılaşmalarına rağmen, kendisini korumaya devam etmektedir. Bu korumada; 1) İçersindeki doğal su kaynaklarının zenginliği ve Çark Suyu drenajı, 2) Ağır metal konsantrasyonlarını, adsorban davranarak tutan dip sediman özelliği muhtemelen etkili olmuştur ve olmaktadır. Ancak bu doğal korumanında bir sınırı olduğu muhakkaktır. Topluma düşen görev bu doğa harikası gölümüzü kendisini koruyamayacak sınıra getirmemek olmalıdır. Sapanca Gölü, bırakınız sanayileşmiş bir çevre içinde kalmasını, içinde dahi yüzülmemesi, sadece seyredilmesi gereken bir doğa eseridir.

KAYNAKLAR

- AKA, A., (1983), Sapanca Gölü Hidroloji Raporu, DSİ. III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir.
- AKARTUNA, M., (1968), Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. İst. Üni. Fen Fak., Sayı. 20, 105 s.
- AMADI, P.A., OFOEGBU, C.O., MORRISON, T., (1989), Hydrogeochemical Assessment of Groundwater Quality in Parts of the Niger Delta, Nigeria. Environ. Geol. Water Sci., V. 14(3), p. 195-202.
- ASTM, D 1126-67, D 513-71, D 1252-67, D 516-68, D 1129-74, D 1067-70, D 992-71, C 371-71.
- AZMATULLAH, M., EKWERE, S.J., (1985). Heavy Metal Distribution in Sediments from Cross River Estuary, Southeastern Nigeria. J. Min. Geol., V.21, p.165-169.
- BACK, W., (1966), Hydrochemical Facies of Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain. US. Geological Survey Professional Paper, 498-A, 42 p.
- BAYKAL, F., (1940), Kandıra-Adapazarı Bölgesinin Jeolojik Etüdü. İst. Ün., Yay., T.VIII, Fask. 4.
- BLATT, H., MIDDLETON, G., MURRAY, R., (1972), Origin of Sedimentary Rocks, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- BORTELSON, G.C., (1970), The Chemical Investigation of Recent Lake Sediments from Wisconsin Lakes and Their Interpretation, Env. Sci. Tech., V.9, p.799-808.
- BOWEN, H.J.M., (1966), Trace Elements In Biochemistry of the Elements. London Academic Press., p.173-210.
- BRINDLEY, G.W., BROWN, G., (1980), Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification. Mineral Soc. Monog., No.5, London.

- BRULAND, K.W., BERTINE, K., KOIDE, M., GOLDBERG, E.D., (1974), History of Metal Pollution in Southern California Coastal Zone, Environ. Sci. Technol., V.8, p.425-432.
- BÜRKÜT, Y., (1986), Uygulamalı Jeokimya (Analiz Metodlu), İst. Tek. Üni. Sayı. 1327, 408 s., Gümüşsuyu.
- CHAKRAPANI, G.J., SUBRAMANIAN, V., (1993), Heavy Metals Distribution and Fractionation in Sediments of Mahanadi River Basin, India. Environ. Geol., V.22, p.80-87.
- CLARKE, F.W., (1924), Data of Geochemistry. US. Geol. Survey. Bull., V.770, p.543-593.
- COSMA, B., FRACHE, R., BAFFI, F., DADONE, A., (1982), Trace Metals in Sediments from the Lagurian Coast, Haly., Marine Pollution Bulletin, V.13, p.127-132.
- DAVIS, M.W., EHRLICH, (1970), Relationship Between Measures of Sediment Size Frequency Distribution and The Nature of Sediments. Geol. Soc. America Bull., V.81, p.3537-3548.
- DEGENS, E.T., KULBICKI, G., (1973), Hydrothermal Origin of Metals in Some East African Rift Lakes, Mineral Deposita, V.8, p.388-401.
- DSİ, (1960), Sapanca ve Edremit Mıntıklarındaki Erozyon, Sel ve Rüşubat Araştırmaları., Rapor No: 19-1.
- DSİ, (1965), Sapanca Ovası Planlama ve Arazi Tasnifi, DSİ Raporu, Ankara
- DSİ, (1981), Sular İçin Standart Metodlar, 166s.
- DSİ, (1984), Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması Raporu, Ankara, 135 s.
- EATON, F.M., (1950), Significance of Carbonate in Irrigation Waters, Soil Science, V.69, p.122-133.
- ERİNÇ, S., (1949), Sapanca Gölünün Derinlik Haritası ve Morfometrisi, Türk Coğrafya Dergisi, s.139-141.
- ERTÜRK, O., (1994), Sapanca Gölünün Jeolojisi, Dip Sedimanlarının Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Ens., 119 s.

- FOLK, R.L., WARD, W.C., (1957), Brazos River Bar: A Study in The Significance of Grain Size Parameters. Jour. Sed. Petrology, V.27, p.3-26.
- FOLK, R.L., (1974), Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co. Drawer M. University Station Austin, Texas, p.182.
- FORSTNER, U., MULLER, C., (1973), Heavy Metal Accumulation in River Sediments; A Responce to Environmental Pollution, Geoforum, V.14, p.53-61.
- FREEZE, R.A., CHERRY, J.A., (1979), Groundwater, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- GIBBS, R.J. (1970), Mechanisms Controlling World Water Chemistry. Science, V.170, p.1088-1090.
- GIBBS, R.J., (1977), Transport Phases of Transition Metals in The Amazon and Yukon Rivers. Geol. Soc. Am. Bull., V.88, p.829-843.
- GRAF, D.L., (1960), Geochemistry of Carbonat Sediments and Sedimentary Carbonat Rocks, Illinios State. Geol. Survey., p.301-307.
- GRAUT, F.F., (1925), Relation of Texture and Composition of Clays. Bull. Geol. Soc. Amer., V.36, p.393-416.
- GRIM, R., (1968), Clay Mineralogy, New-York, Mc Graw Hill.
- GUBTA, L.P., SUBRAMANIAN, V., (1994), Environmental Geochemistry of The River Gomti: A Tributary of The Ganges River. Env. Geol., V.24, p.253-243.
- HANDA, B.K., (1969), Description and Classification of Media for Hydrochemical Investigations. Symposium on Groundwater Studies in Arid and Semiarid Regions, Roorkee, India, 109 p.
- HAQUE, M.A., SUBRAMANIAN, V., (1982), Cu, Pb and Zn Pollution of Soil Environment. Environ Control., V.00, p.13-90
- HAUKES, W., WEBB, J., (1962), Geochemistry in Mineral Exploration, Newyork, Harper and Raw.
- HUTCHINSON, G.E., WOLLACK, A., (1940), Studies on Connecticut Lake Sediments: II. Chemical Analysis of A Core from Linsley Pond., North Branford. Am. J. Sci., V.238, p.439-517.

- JENNE, E.A., (1968), Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn Concentrations in Solid and Water: The Significant Role of Hydrous Mn and Fe Oxides. In: Trace Inorganics in Water, Am. Chem. Soc., Adv. in Chem. Ser. , V.73, p.337-387.
- JHA, P.K., VAITHIYANATHAN, P., SUBRAMANIAN, V., (1993), Mineralogical Characteristics of The Sediments of A Himalayan River: Yamuna River - A Tributary at The Ganges. Environ-Geol., V.22, p.13-20.
- JONES, B.F., EUGESTER, H.P., RETTING, S.L., (1977), Hydrochemistry of The Lake Magadi Basin, Kenya. Geoschim. Cosmochim. Acta, V.41, p.53-72.
- JONES, B.F., BOWSER, C.J., (1978), The Mineralogy and Related Chemistry of Lake Sediments. Lake Chemistry, Geology, Physics, Ed. Abraham Lerman, Springer-Verlag, V.7, p.179-227.
- KETİN, İ., (1976), San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları Arasında Bir Karşılaştırma. T.J.K. Bülteni, Cilt. 19, s.149-154.
- KONAR, A., (1989), Çevre-Gıda-İnsan İlişkisi ve Önemi, Çevre 89 Kongresi, Adana.
- LAHN, E., (1948), Türkiye Göllerinin Jeoloji ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Etüd, MTA, Seri B, No: 12.
- LEONİ, L., SARTORI, F., DAIMANI, V., FERRETTI, O., VIEL, M., (1991), Trace Element Distributions in Surficial Sediments of The Northern Tyrrhenian Sea: Contribution to Heavy Metal Pollution Assesment, Environ. Geog., Water. Sci., V.17, No: 2, p.103-116.
- LUSCZYNSKI, N.J., SWARZENSKI, W.V., (1966), Saltwater Encroachment in Southern Nassau and SE Queens Counties, Long Island, Newyork, US Geological Survey Paper, 1613-F
- MANICKAM, S., BABAROUX, L., OTTMANN, F., (1985), Composition and Mineralog of Suspended Sediment in The Fluvio-Estaurine Zone of The Loire River, France, Sedimentology, V.32, p.721-741.
- MARTIN, J.M., MEYBECK, M., (1979), Elemental Mass Balance of Material Carried by Major World Rivers. Mar. Chem., V.7, p.173-206.

- MERCADO, A., (1985), The Use of Hydrogeochemical Patterns in Carbonate, Sand and Sandstone Aquifers to Identify Intrusion and Flushing of Saline Water, Groundwater, V.23, p.635-645.
- MTA, (1946), Kocaeli 38-2 Bölgesinin Jeoloji Haritası
- NTEKIM, E.E.U., EKWERE, S.J., UKPONG, E.E., (1993), Heavy Metal Distribution in Sediments from Calabar River, Southeastern Nigeria, Environ. Geol., V.21, p.237-241.
- OKAY, A., (1989), Tectonic Units and Sutures in The Pontides, Northern Turkey, in A.M.C., Şengör ed., Tectonic Evolution of The Tethyan Region NATO Advanced Science Institute (ASI) Series, C.259, p.109-116.
- PIPER, A.M., (1953), A Graphical Procedure in The Geochemical Interpretation of Water Analysis; U.S. Geological Survey Groundwater, Note: 12.
- RAJU, S.C., GOUD, P.P.V., (1993), Quality Characterization of Groundwater in Koilsagar Project Area, Mahabubnagar District, Andhra Pradesh, India. Env. Geol. Water. Sci., V.16, No: 2, p.121-128.
- RISCH, C., (1909), Der Sabandjasee und Seine Umgebung. Petermanns Mitteilungen, 55 Band.
- ROBBINS, J.A., CALLENDER, E., (1975), Diagenesis of Manganese in Lake Michigan Sediments, Am. J. Sci., V. 275, p.512-533.
- ROBINSON, B.P., (1962), Ion-Exchange Minerals and Disposal of Radioactive Waters: A Survey of Literature, US Geological Survey Water Supply Paper, 1616, 132 p.
- ROSSMANN, R., (1973), Lake Michigan Ferromanganese Nodules, 24 th. Int. Geol. Congr., MONTREAL, Sec., 10 p. 336-341.
- SALINET, L., (1943), Sapanca Güneyinin Maden-Zuhurları Raporu, MTA Derleme Rapor, No:452.
- SALİHOĞLU, I., (1991). DSİ'nin Su Kalitesine İlişkin Çalışmaları ve Göllerde Kalite Araştırması, Göller Bölgesi Tatlı Su Kaynaklarının Korunması ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Isparta, s. 189-207.
- SARI, İ., KURT, M., (1975), Adapazarı-Sapanca-Geyve-Akyazı Çevresinin Fe, Mn Ağırlıklı Metalik Madenler Prospeksiyonu; MTA Raporu, No: 7384.

- SARIN, M.M., KRISHNASWAMY, S., (1984), Major Ion Chemistry of The Ganga-Brahmaputra River System, India. *Nature*, v. 312(5994), p. 538-541.
- SARIN, M.M, KRISHNASWAMY, K., DILLI, K., SOMAYAJULU, B.L. K., MOORE, W.S., (1989), Major Ion Chemistry of The Ganga-Brahmaputra River System: Weathering Processes and Fluvial to The Bay of Bengal, *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.52, p. 997-1009.
- SCHOELLER, H., (1959), Arid Zone Hydrology, Recent Developments UNESCO, p. 85-83.
- SHEPARD, F.P., (1954), Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Jour. Sed-Petr.*, v.24, p. 151-158.
- SPENCER, D.W., (1963), The Interpretation of Grain Size, Distribution Curves of Clastic Sediments, *Jour. Sed. Petrology*, v.33, p. 180-190.
- STUMM, W., MORGAN, J.J., (1970), *Aquatic Chemistry*, Wiley Interscience, Newyork.
- STUMM, W., BACCINI, P. (1978), *Lakes Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag, Newyork, v.4, p. 91-123.
- SUBRAMANIAN, V., VAN GRIEKEN, R., VAN'T DACK, L. (1987), Heavy Metals Distribution in The Sediments of Ganges and Brahmaputra Rivers. *Environ. Geol. Water Sci.*, v.9, No:2, p. 93-103.
- ŞAHİNCİ, A., (1991), Doğal Suların Jeokimyası. İzmir, 548 s.
- ŞENGÖR, A.M.C., (1979), The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance. *Jour. Geol. Soc., London*, v.136, p. 269-282.
- ŞENGÖR, A.M.C., YILMAZ, Y., (1981), Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, v.75, p. 181-241.
- TARAS, M.J., (1971), *Standart Methods for Water and Wastewater*. ed. chair. Greenberg, A.E., Hoak, R.D., Rand, M.C.,
- TARAS, M.J., (1971), *Standart Methods for The Examination of The Water and Wastewater*.

- T.C. Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı, (1983), Sapanca 83 Sempozyumu, Sempozyum Dizisi: 2.
- THOMAS, R.L., KEMP, A.L., LEWIS, C.F.M., (1972), Distribution, Composition and Characteristics of The Surficial Sediments of Lake Ontario, Jour. Sed. Petrology, v.42, No:1, p. 66-84.
- TREMBLAY, J.J. D'cruzt, ANGER, H., (1973), Saltwater Intrusion in The Summerside Area. Groundwater, v. 11(4), p. 285-295.
- TUĞRUL, S., MORKOÇ, E, (1991), Determination of Limnological characteristics of The Sapanca Lake, Doğa-Tr.J. of Engineering and Environmental Sci., v.15, p. 265-282.
- TUREKIAN, K.K., WEDEPOHL, K.H., (1961), Distribution of The Elements in Some Major Units of The Earth Crust. Bull. Geol. Soc. Am., v.72, p. 297-323.
- TUREKIAN, K.K., (1964), The Oceans, Streams and Atmosphere. In: K.H. Wede-pohl (ed.), Handbook of Geochemistry, Spring-Verlag, V.1, p. 297-323 Türk Standartları, (1984), İçme Suları, TS 266, UDK 662. 6:543.
- TWENHOFEL, W.H., (1933), The Physical and Chemical Characteristics of the Sediments of Lake Mendota, A Fresh Water Lake of Wisconsin, Jour. Sed. Petrology, v.3, p. 68-76.
- U.S. Salinity Laboratory, (1954), Diagnosis and improvement of Saline and Alkaline Soils. U.S. Department Agriculture Handbock, 60 p.
- VAITHIYANATHAN, P., RAMANATHAN, A., SUBRAMANIAN, V., (1992), Sediment Transport in Cauvery River Basin Sediment Characteristics and Controlling Factors, J. Hydrol., v. 139, p. 197-210.
- VARNAVAS, S.P., (1993), Antropogenic Input of Pb, Zn, Cr, Cu and C Org. in Patraicos Bay, Greece. Mar. Envir. Research, v.70, p. 211-222.
- VARNAVAS, S.P., PANAGOS, A.G., LAIOS, G., (1987), Trace Elements in Surface Sediments of Navarino Bay, Greece. Env. Geol. Water Sci., v.10, p. 159-168.

- WHO, (1984), Guidelines for Drinking-Water Quality. V.1-Recommendations. Geneva, Switzerland. WHO, 130 p.
- WIJKERSLOOTH, P., (1939), Bilecik-Adapazarı Arasının Manganez prospeksiyonu. MTA Derleme Rap; No:1143.
- YALÇIN, N., SEVİNÇ, V., (1993), Sapanca Gölüne Besi Maddesi Yüklenmesi ve Gölün Trofik Durumu, Doğa-Tr.J. of Engineering and Environmental Sci., v.17, p. 289-295.
- YILMAZ, Y., (1977), Bilecik-Söğüt Dolayındaki "Eski Temel Karmaşığı"nın Petrojenetik Evrimi, İ.Ü. Fen Fak., Doçentlik Tezi, (Yayınlanmamış).
- YILMAZ, Y., GÜRPINAR, O., GENÇ, Ş.C., BOZCU, M., YILMAZ, K., ŞEKER, H., YİĞİTBAŞ, E., KESKİN, M., (1990), Armutlu Yarımadası ve Dolayının Jeolojisi, TPAO Raporu, Rap. No. 2796, 210 s.
- YILMAZ, H., (1993), Kil Minerallerinin Duraylılık Alanları ve Oluşum Ortamları. Dokuz Eylül Üni. Müh. Mim. Fak. Yayınları.
- YILMAZ, Y., GENÇ, Ş.C., YİĞİTBAŞ, E., BOZCU, M., YILMAZ, K., (1994), Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase Yaşlı Kıta Kenarının Jeolojik Evrimi. Türkiye 10. Petrol Kongresi, Ankara, s. 37-55.
- YİĞİT, V., MÜFTÜGİL, N., (1984), A Study on The Sapanca Lake Water Pollution and Nutrient Status, Technical Report, TÜBİTAK-MRI, Food and Nutrient Dept., Publ., No. 78.

ÖZGEÇMİŞ

1961 yılında Kütahya'da doğdu. Ankara, Aydınlikevler Lisesi'nden 1978 yılında mezun oldu. 1980 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı ve 1984 yılında "Jeoloji Mühendisi" ünvanı aldı. 1985 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Programında yüksek lisans öğrenimine başladı ve 1988 yılında "Jeoloji Yüksek Mühendisi" ünvanı aldı. 1986 yılından itibaren İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilimdalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Esenli evli ve bir çocuk annesidir. İngilizce ve almanca bilmektedir.

