

29544

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERGANİ BAKIR İŞLETMESİ FLOTASYON ATIKSULARININ
MADEN ÇAYI'NDAKİ KİRLİLİK POTANSİYELİ

Faruk GÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

1993
ELAZIĞ

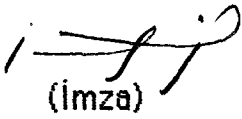
T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERGANİ BAKIR İŞLETMESİ FLOTASYON ATIKSULARININ
MADEN ÇAYI'NDAKİ KİRLİLİK POTANSİYELİ

Faruk GÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

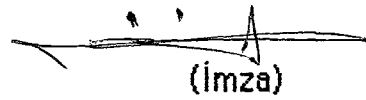
Bu Tez, 28.01.1993 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/Çoğunluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.


(İmza)

Prof. Memnune BİLDİK


(İmza)


Prof. Dr. Mustafa BOYBAY


(İmza)

Doç. Dr. Mehmet CİCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERGANI BAKIR İŞLETMESİ FLOTASYON ATIKSULARININ MADEN ÇAYI'NDAKİ KİRLİLİK POTANSİYELİ

Faruk GÜR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

1993, Sayfa: 81

Bu çalışmada, Etibank Ergani Bakır İşletmesi Flotasyon atıksularının Dicle'nin başlangıcı olan Maden Çayı üzerindeki kirlilik potansiyeli araştırılmıştır.

Bu amaçla Maden Çayı'nın , tesisi kapsayan 7 km'lik bir kısmından kirliliği belirleyecek şekilde numune alma istasyonları seçilmiştir. Ekim 1991 tarihinden itibaren bir yıl süreyle ayda bir alınan su numunelerinde sıcaklık, pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, alkalinite, katı madde ve ağır metaller(Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Ni, Cd, ve Pb) tayin edilmiştir. Ayrıca flotasyon katı atığına EPA ekstraksiyon testi uygulanarak ağır metal kirlilik potansiyeli belirlenmiştir.

Ergani Bakır İşletmesi Flotasyon atıklarının dinlendirildiği barajlardan Maden Çayı'na akan atıksularda yüksek miktarda, esas

itibariyle sülfürlü minerallerden ibaret, katı madde tesbit edilmiştir. Gerek bu katı maddenin znmesi ve gerekse yağışların cevher ve curuf sahasından sızdırdığı suların Maden ayı'nda ağır metal kirliliği oluşturduğu belirlenmiştir. Bazı metallerin konsantrasyonlarının çeşitli su kriterlerindeki limit değerlerini aştığı tesbit edilmiştir.

Flotasyon katı atığının EPA akstraksiyon test sonuçları, bu atığın atmosferik ve bakteriyel etkilerle bozunarak sürekli bir kirlilik potansiyeli oluşturacağını göstermektedir.

ANAHTAR KELIMELER : Ağır Metal Kirliliği, Metalurjik Atıkların Kirlilik Potansiyeli, Maden Drenajlarının Kirliliği, EPA (Ağır Metal) Ekstraksiyon Testi

SUMMARY

Master Thesis

**POLLUTION POTENTIAL OF FLOTATION WASTEWATERS OF ERGANI COPPER
PLANTS ON MADEN BROOK**

Faruk GÜR

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

1993, Page : 81

The flotation wastewaters of the Ergani Copper plant of Etibank was examined for its pollution potential on the Maden Brook, the cradle of the Dicle River.

Sampling sites in the length of 7 km were chosen on the Maden Brook as such to comprise the whole region of the copper plant. Starting as from October 1991 water samples were analysed monthly for solid substances, chemical oxygen demand, alkalinity and heavy metals (Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Ni, Cd and Pb),and the temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, of the samples were measured. In addition, the pollution potential of heavy metals were examined by EPA Extraction Test applied to the solid wastes of flotation.

High amounts of solids consisted basically of sulphur minerals was found in the wastewater discharged into the Maden Brook from the flotation waste settling ponds of the Ergani Copper Plant. It was found that the both, the dissolution of these solid wastes and the leakages from the slag and ore heaps caused by rainfall result in heavy metal pollution in the Maden Brook. Concentrations of some heavy metals were found to exceed the tolerable limit values shown in various water criteria.

EPA extraction test results indicate that these flotation solid wastes will be a permanent pollution potential due to decomposition of the waste by atmospheric and bacterial effects.

KEY WORDS : Heavy Metal Pollution, Pollution Potential of Metalurgical Wastes, Pollution by Mine Drainage, EPA (Heavy Metal) Extraction Test

TEŐEKKÖR

Konumun seçiminde ve çalışmalarım süresince yakın ilgi ve yardımlarını gördüğüm tez yöneticisi Sayın Hocam Prof.Memnune BİLDİK'e sonsuz teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarım ve literatür taramalarım sırasında, değerli mesailerinden feraget ederek, engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Hocam Doç.Dr.Fikret TÜMEN'e ve numunelerin alınmasında her türlü kolaylığı gösteren Etibank Ergani Bakır İşletmesi Müdür ve Müdür Yardımcılarına şükranlarımı sunarım.



VIII

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	V
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	X
TABLoların LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Ergani Bakır İşletmesi.....	3
2.1.1. Flotasyon.....	5
2.1.2 Ergani Bakır İşletmesinde Flotasyonla Cevher Zenginleştirilmesi.....	7
2.2. Su Kirlenmesi.....	9
2.2.1. Akarsu Ortamında Kirleticiler.....	9
2.2.2. Kirlilik Parametreleri.....	13
2.3. Ağır Metal Kirliliği.....	19
2.3.1. Ağır Metallerin Canlı Bünyesine Etkileri.....	21
2.3.2. Sularda Ağır Metal Standartları.....	25
2.3.3. Ağır Metallerin Sulardan Uzaklaştırılması.....	26
3. MATERYAL ve METOD.....	32
3.1. Numunelerin Alınması ve Hazırlanması.....	32
3.2. Deneysel Çalışmalar.....	35
3.2.1. Chelatium-Ekstraksiyon Yöntemi İle Ağır Metal Tayini.....	35

3.2.2. $K_2Cr_2O_7$ Yöntemi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini.....	36
3.2.3. Alkalinite Tayini.....	38
3.2.4. Toplam Katı Madde Tayini.....	39
3.2.5. Uçucu Katı Madde Tayini.....	39
3.2.6. Süspansiyon Katı Madde Tayini.....	39
3.2.7. Flotasyon Katı Atığının Analizi.....	40
3.2.8. Flotasyon Katı Atığının Kirlilik Potansiyelinin Tespiti (EPA Ekstraksiyon Testi).....	42
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
5. SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR.....	62
EKLER	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Ergani Bakır İşletmesi flotasyon tesisinin basitleştirilmiş akım şeması	10
Şekil 2.2. Çeşitli metallerin hidroksitlerinin teorik çökme eğrileri.....	30
Şekil 3.1. Atıksu numune alma istasyonları.....	33
Şekil 4.1. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında sıcaklık değişimi.....	44
Şekil 4.2. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında pH değişimi.....	46
Şekil 4.3. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında iletkenlik değişimi.....	46
Şekil 4.4. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında çözünmüş oksijen değişimi.....	47
Şekil 4.5. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında kimyasal oksijen ihtiyacı değişimi.....	48
Şekil 4.6. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında alkalinite değişimi.....	49
Şekil 4.7. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında toplam katı madde değişimi.....	50
Şekil 4.8. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında uçucu katı madde değişimi.....	51
Şekil 4.9. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında süspanse katı madde değişimi.....	51
Şekil 4.10. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Cu değişimi.....	52
Şekil 4.11. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Fe değişimi.....	53
Şekil 4.12. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Mn değişimi.....	54
Şekil 4.13. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Co değişimi.....	55
Şekil 4.14. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Zn değişimi.....	56
Şekil 4.15. Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Ni değişimi.....	57
Şekil 4.16 Ekim-1991/Eylül-1992 arasında Cd değişimi.....	58
Şekil 4.17. Flotasyon atığından EPA ekstraksiyon testi ile çözünen metal miktarları.....	59

TABLULARIN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çeşitli ülke içme suyu standartları.....	27
Tablo 2.2. Türk standartlarına göre içme suyu ağır metal limitleri....	28
Tablo 2.3. Kıta içi su standartları.....	28
Tablo 2.4. Saf sudaki ağır metal hidroksit ve sülfürlerinin teorik çözünürlükleri.....	31
Tablo 4.1. Maden bölgesinde aylara göre yağış miktarı dağılımı.....	43
Tablo 4.2. Maden Çayı debisinin aylara göre değişimi.....	44
Tablo 4.3. Katı numunenin kimyasal analizi.....	58

1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetler sonucunda çevrede meydana getirilen değişiklikler ekolojik dengenin bozulmasına yol açmakta ve sonuçta canlılar zarar görmektedir. Su ve hava gibi ortamların hareketli olması kirlenme sonucunun belirli bir yerde sınırlı kalmamasına neden olmaktadır. Ayrıca kirlenen bir ortamın temizlenmesindeki teknik ve ekonomik güçlükler kirlenmenin kaynağında gerekli önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır.

Günümüzde endüstriyel ve evsel atıklarla yaklaşık bir milyon değişik kirleticinin tabii sulara verildiği tahmin edilmektedir. Bunların bir kısmı sulara istenmeyen koku ve lezzet verip insan yaşamına direkt tehlike arzetmez ve makul bir süre sonunda mineralize olarak zararsız hale gelirler. Ancak polisiklik aromatikler, pestisidler, radyoaktif maddeler ve ağır metaller gibi bazı kirleticiler direkt olarak insan yaşamını tehlikeye sokarlar. Bunlardan ağır metaller organik kirleticilerin aksine su ekosistemindeki tabii proseslerle elimine olmazlar, dip sedimanlarda birikerek ve çeşitli proseslerle değişerek zamanla mobilize olur ve biyolojik zincir yoluyla insan bünyesine geçip birikerek kronik ve akut hastalıklar yaparlar [Förstner ve Wittman 1983].

Ağır metal kirlenmesinin önemli kaynaklarından birisi de madencilik endüstrisidir. Oluşan çeşitli atıklar ve curuflar görmüş oldukları işlemlerin sonucunda veya atmosferik etkileşimlerle aktifleşerek çözünür duruma gelirler. Bu artıklar yeryüzü ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesi yönünden tehlikeler arzederler. Elazığ'ın Maden ilçesinde kurulu bulunan ve 1939 yılından bu yana faaliyetini sürdüren Ergani-Etibank Bakır İşletmelerinin ortaya çıkardığı çeşitli atıklar tesisin civarında çok büyük miktarlara ulaşmış bulunmaktadır. Bu tesiste ilk yıllarda yüksek tenörlü bakır cevherleri işlenmekteydi. Ancak zamanla

bu tür cevherlerin tükenmesiyle düşük tenörlü cevherler flotasyonla zenginleştirilerek işlenmiş, reverber ve konverter curufları olarak meydana getirdiği atıklara bir de flotasyonda oluşan pritik artıklar eklenmiştir. 1990 yılından sonra bu tesiste izabe işleminden vazgeçilmiş ve sadece flotasyon işlemiyle kalkopirit konsantresi üretimi sürdürülmektedir.

Etibank Bakır İşletmelerinde yılda yaklaşık 450 bin ton cevher işlenmekte ve üretilen 50-55 bin ton konsantreye karşılık yaklaşık 400 bin ton cevher artığı oluşmaktadır. [Anonim 1985, Bildik vd. 1989]. Bu artık su ile karıştırılarak atık dinlendirme barajlarına atılmakta ve taşıma suyu Maden Çayı'na verilmektedir. Atık dinlendirme barajlarının kafi gelmemesi sonucu pritik artık-su karışımı zaman zaman doğrudan Maden Çayı'na akıtılmaktadır. İzabe sisteminin çalıştırıldığı yaklaşık 40 yıllık periyotta oluşan reverber curufuyla zaman zaman atılan konverter curufu ve sülfürik asit tesisi için bir dönemde üretilmiş bulunan pirit konsantresi fabrika civarında büyük yığınlar oluşturmuştur. Bu curuflar ve pirit konsantresi büyük ölçüde eğimli arazilere yığılmış olup, yağışlarla karşı karşıya kaldığında bazı ağır metalleri suya verebilmektedir [Bildik vd.1989, Altundoğan vd. 1992, Tümen vd. 1992, Tümen vd. 1991].

Dicle Nehrinin başlangıcı olan Maden Çayı bu işletmenin atıklarından dolayı kirlenme tehdidi ile karşı karşıyadır. Dicle üzerine kurulan ve kurulmakta olan barajlar nedeniyle bu kirlenmenin önemi daha da büyümektedir.

Bu çalışmada Dicle Nehri'nin (Maden Çayı) Ergani Bakır İşletmeleri civarındaki kirlilik kaynağı açısından önemli yerlerinden seçilen 8 istasyonda bir yıl süre ile birer aylık periyotlarla alınan su örneklerinde ağır metaller ve bazı kirlilik parametreleri tayin edilerek kirliliğin mertebesi ve mevsimlere göre değişimi incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ergani Bakır İşletmesi

Dünyanın en eski bakır yataklarından biri olan Ergani Bakır Yatakları tahminen M.Ö. 7000 yılından beri bilinmektedir. M.Ö. 2000 yılında Asuriler, daha sonra Rumlar, 12. asırda Araplar tarafından işletildiği bilinen bu yataklar 1850-1915 yılları arasında Osmanlı Devleti tarafından işletilmiştir. Bu dönemde toprağın üst tabakasından hidrostatik seviyeye kadar inilerek çıkarılan cevher, ilçe merkezinden yaklaşık 1 km uzaklıkta ve Dicle Nehri kenarında kurulan kalhane de ilkel izabe yolu ile işlenerek kara bakır üretilmiştir.

Madenin imtiyazı 1918 yılında İtibari Milli Bankasına, 1924 yılında bu bankaya beş müessesenin iştiraki ile kurulan Ergani Bakır T.A. Şirketine geçmiştir. Daha sonra İtibari Milli Bankasının hisseleri İş Bankasına geçmiş ve 1935 yılında Etibank'ın kurulmasıyla tüm hisseler Devlet tarafından alınarak bu bankaya devredilmiştir. Ergani Etibank Bakır İşletmesinde 23 Mart 1939 tarihinde üretime başlanmış ve aynı yıl 4233 ton blister bakır üretimi yapılmıştır.

Ergani Bakır Yatakları, merkezi Maden ilçesi olmak üzere, 20 km çapında bir alanı kaplamaktadır. Bu alan içerisindeki en önemli yataklar Ana Yatak, Mihrap Dağı Ocağı ve Kısabekir Yatağı'dır. Ana Yatak 1000 m uzunluğunda, 400 m genişliğinde ve 150 m derinliğindedir. Mihrap Dağı ocağı Ana Yatağa 1 km uzaklıkta, Kısabekir Yatağı ise işletmeye 13 km uzaklıktadır. 1987 yılı itibari ile Ana Yatak'ta % 1.23 Cu tenörlü 5 916 146 ton, Mihrap Dağı yatağında ise % 0.90 Cu tenörlü 339 364 ton cevher rezervi bulunmaktadır.

Ergani Bakır İşletmesinde, başlangıçta bakır tenörü yüksek

(yaklaşık % 11-12) olduğundan, cevherden doğrudan izabe işlemi ile blister bakır üretimi yapılmıştır. Cevherdeki bakır tenörünün giderek düşmesi sonucu 1972 yılından itibaren düşük tenörlü cevherlerin flotasyonla zenginleştirilmesine başlanmıştır. Flotasyon tesisinin kurulu kapasitesi 600 000 ton cevher/yıl dır. Tesiste yılda 350 000-600 000 ton cevher işlenerek elde edilen 20 000-45 000 ton/yıl konsantreden izabe tesisinde 2000-8000 ton/yıl blister bakır üretilmiştir. Bakır tenörünün giderek düşmesi üretimin ekonomik olmamasına sebep olmuş ve 1990 yılından itibaren izabe tesisi kapatılmıştır. Ortalama bakır tenörü 1989 yılında % 1.08, 1990 yılında ise % 1.05 tir. 1990 yılından beri tesiste yalnızca bakır tenörü yaklaşık % 20 olan konsantre elde edilmektedir. Üretilen konsantrenin bir miktarı ihraç edilmekte, büyük kısmı ise bakır üretimi için Murgul Bakır İşletmesine gönderilmektedir.

İzabe tesisi baca gazındaki SO_2 'in ve flotasyon tesisi atığının esas katı maddesi olan piritin hem çevreye olumsuz etkilerini önlemek ve hem de bu atıkları değerlendirmek için, 1972 yılında işletme içerisinde sülfürik asit tesisi kurulmuştur. 1973 yılında üretime geçen tesiste 1986 yılına kadar 2000-20000 ton/yıl arasında değişen miktarlarda teknik sülfürik asit (%90-92 H_2SO_4) üretilmiştir. Üretilen sülfürik asidin pazarlanamaması sonucu 1986 yılında tesis kapatılmıştır.

Yalnız izabe tesisinin çalıştığı 1972 yılına kadar olan dönemde işletme atık sahasına giderek artan miktarda reverber curufu ile fırın rejiminin bozuk olduğu dönemlerde ve pota çırpmaları esnasında daha az miktarda soğuk konverter curufu atılmıştır. Reverber curufunun büyük kısmı çimento katkı maddesi olarak kullanılmış, halen atık sahasında bulunan yaklaşık 30 000 ton konverter curufu üzerinde liç çalışmaları sürdürülmektedir.

Flotasyon ve sülfürik asit tesislerinin de çalıştığı dönemde

(1972-1986 arasında) dik ve meyilli atık sahasına reverber ve soğuk konverter curuflarına ilaveten pirit kavurma tesisi atığı da (pirit külü) atılmış ve pirit ayrıldıktan sonra kalan flotasyon atığı doğrudan Maden Çayı'na verilmiştir.

1986 yılından itibaren, H_2SO_4 tesisi kapatıldığından, flotasyon tesisi atığından ayrılan pirit atık sahasında büyük yığınlar oluşturmaktadır. 1986 yılından sonra flotasyon tesisinden pirit de atıldığından piritik atık-su karışımında katı madde miktarı artmıştır. Bu nedenle flotasyon tesisi atıkları önce, 1986 yılında işletmeye alınan, atık barajlarına gönderilmektedir. Burada çökebilen kısım tutulduktan sonra sıvı kısım Maden Çayı'na verilmektedir. Atık barajlarının toplam kapasitesi $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'dür. Halen atık barajlarında $3 \times 10^5 \text{ m}^3$ civarında atık bulunmaktadır. Ancak, kış aylarında, özellikle Maden Çayı'nın debisinin yüksek olduğu dönemlerde flotasyon atıksuları doğrudan Maden Çayı'na verilmektedir. Flotasyon tesisinden yılda yaklaşık $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ atıksu deşarj edilmektedir [Ergani Bakır İşletmesi Faaliyet Raporu 1991, A. Pekmezci 1992, Sözlü görüşme].

2.1.1. Flotasyon

Selektif bir proses olan flotasyon, ince öğütülmüş cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan fizikokimyasal yöntemlerden biridir. Başlangıçta özellikle sülfürlü bakır, kurşun, çinko minerallerinin ayrılması için geliştirilen bu yöntem, günümüzde oksitli minerallere ve kömür dahil metalik olmayan mineraller ile birlikte kimya endüstrisinin birçok dalında uygulanmaktadır. Flotasyon işlemi, cevherdeki bir minerale hava habbeciklerinin seçimli olarak yapışması sonucu, mineralin efektif yoğunluğunun oldukça azalması ve böylece yüzmesine dayanır. Bu yol ile

istenilen bir mineral yüzdürülürken diğerleri su içinde kalır. Yüzen kısım zenginleştirilmiş cevher olarak sistemden alınır.

Flotasyonla zengileştirme için, bir cevherde bulunan saf mineral yüzeyinin hidrofob, diğerlerinin ise hidrofil bir film tabakası ile kaplanması gerekir. Bu açıklamadan da anlaşılacağı gibi flotasyonda mineral parçacıklarının kimyasal yapısı değiştirilemez, sadece yüzey özellikleri uygun şekilde değiştirilir. Flotasyon, biri diğerinden kırılarak ayrılmış (serbest) halde bulunan minerallerden oluşmuş herhangi bir karışıma uygulanabilir. Uygulamada, partiküllerin hava habbeciği tarafından yüzeye yükseltilebilecek kadar küçük olması gerekir. Böylece partikülün hava habbeciğine yapışması ile oluşan yüzdürme kuvveti yerçekimi kuvvetinden daha büyük olur. Pratikte 5-200 mikron arasında öğütülmüş mineraller ile çalışılır [Atak 1982, John 1973, Wills 1981].

Flotasyon işlemi aşağıdaki kademelerden oluşur.

(1) Değerli minerallerin birbirinden ve gang minerallerinden ayrılması için cevherin suda uygun inceliğe kadar öğütülmesi,

(2) Oluşan mineral çamurunun yaklaşık % 25 katı madde içerecek şekilde suda dağıtılması,

(3) Hazırlanan karışıma küçük miktarlar halinde regülatör maddelerin ilavesi,

(4) Kollektör reaktiflerinin ilavesi,

(5) Köpük yapıcı reaktiflerin ilavesi,

(6) Mekanik karıştırıcılarla karıştırılarak veya tabandan hava üflenerek karışımdan hava habbelerinin geçmesinin sağlanması. Bu işlemle, kollektörle kaplı mineraller gaz habbeciklerine yapışarak yüzeydeki köpük tabakasında toplanırlar.

(7) Köpüğün sistemden uzaklaştırılması.

Flotasyon işleminde kullanılan reaktifler, kollektörler,

regülatörler ve köpük yapıcılar olmak üzere üç temel grupta toplanır. *Kollektörler*, cevherin içerdiği kıymetli mineralin yüzeyini seçimli olarak hidrofob bir film tabakası ile kaplayarak onu ıslanmaz hale getiren ve mineralin hava habbeciğine yapışmasını sağlayan kimyasal maddelerdir. Kollektörler heteropolar bileşiklerdir. Yüzdürülecek mineralin kollektöre olan ilgisini artırmak için, flotasyonda *regülatör* adı verilen maddelerden yararlanılır. Regülatörler genellikle anorganik, bazıları da organik maddelerdir. Bastırıcı, aktivatör, pH ayarlayıcı ve disperleyici ... gibi görevler yaparlar. Bastırıcılar bir kollektörün bir mineral tarafından adsorpsiyonunu önleyen yada azaltan maddelerdir. Aktivatörler ise adsorpsiyonu artıran maddelerdir. Flotasyon reaktiflerinin etkinliği büyük ölçüde çözeltinin pH'ına bağlıdır. Flotasyon devresine ilave edilen *köpürtücüler*, genellikle hava-su arayüzeyinde adsorplanabilen, heteropolar yüzey aktif organik reaktiflerdir. Bunların görevi, mineral ile yüklü hava kabarcıklarını flotasyon hücrelerinden uzaklaştırıncaya kadar taşıyacak bir köpük oluşturmaktadır [Atak 1982, Fuerstenau 1972, John 1973].

2.1.2. Ergani Bakır İşletmesinde Flotasyonla Cevher Zenginleştirilmesi

Ergani Bakır İşletmesi'nde işletilen cevher diyabaz içinde masif piritik ve porfiri olup ana mineral kalkopirittir (CuFeS_2). Cevherdeki bakır tenörü giderek azaldığından (yaklaşık % 1.5 Cu), 1972 yılında 600 000 ton cevher/yıl kapasiteli flotasyon tesisi işletmeye alınmıştır. Flotasyon tesisinde bakır tenörü ortalama % 1.18 olan cevher işlenerek ortalama % 20 Cu tenörlü kalkopirit konsantresi elde edilmektedir.

Cevher, kaba kırma ünitesinde maksimum 200 mm boyutunda

kırıldıktan sonra, açık cevher sahasına stok edilir. Stok edilen bu cevher bantlı konveyörler vasıtasıyla elek açıklığı 50 mm olan elekten elenir. Elek üstü birinci konik kırıcıda -50 mm'ye kadar kırılır. Elek altı ve elek üstü bantlı konveyörler vasıtasıyla elek açıklığı 20 mm olan titreşimli elekte elenir. Elek üstü ikinci konik kırıcıda -20 mm'ye kırılarak elek altı ile birlikte konveyör yardımıyla her biri 750 ton kapasiteli 3 siloda stoklanır. Daha sonra bu 3 silodan alınan cevher önce 70 ton/saat kapasiteli iki çubuklu değirmende 1.8 mm boyutuna öğütülür. Buradan herbiri 1000 ton/gün kapasiteli ve siklonlarla kapalı devre çalışan üç adet Denver tipi bilyalı değirmene beslenir. Bu değirmenlerde cevher 0.2 mm boyutuna öğütülür. Öğütülen cevher kollektif ve selektif olmak üzere iki aşamada flotasyon işlemine tabi tutulur.

Kollektif flotasyonda cevher pH 8.5'da kollektör ve köpürtücüler yardımıyla yüzdürülerek kaba konsantre (pirit+kalkopirit) elde edilir. Yüzemeyen kısım (gang mineralleri) temizleme devresi selüllerinde temizleme işlemine tabi tutulduktan sonra yüzen kısım kaba konsantre olarak bilyalı değirmenlere beslenir. Çöken kısım kaba artık olarak atık barajlarına gönderilir. Bu devrede 49 adet 3000 L hacimli DR Denver tipi flotasyon selülü kullanılmaktadır. Devrenin pH'ı (8.5) çubuklu değirmenlerin girişine kireç sütü verilerek ayarlanır. Ayrıca devreye kollektör olarak % 6'lık 40g/ton 3418 A Aerofin ile 30 g/ton Z-5 (Potasyum Amil Ksantat), köpürtücü olarak Flotigol CS (Kresilik Asit) beslenir.

Kollektif flotasyon devresinden elde edilen kaba konsantre bilyalı değirmenlerde 0.074 mm boyutuna öğütüldükten sonra, piriti bastırmak için sisteme kireç ilave edilerek pH 8.5'dan 11.5'a çıkarılır ve selektif flotasyona tabi tutulur. Selektif flotasyonda kalkopirit yüzdürülerek pirit bastırılır. Selektif devre girişine saf 1-2 g/ton Z-200

(izopropil Etil Thiocarbomate) beslenir. Bu devrede 10 adet 3000 L DR Danver tipi selül ile temizleme amacıyla 4'lü ve 6'lı gruplar halinde 20 adet 1000 L hacimli DR Danver tipi selül kullanılmaktadır. Temizleme işleminden sonra kalkopirit konsantresi yoğunlaştırıcı tankında toplanarak dinlendirilir. Filtre edildikten sonra yaklaşık % 20 Cu tenörlü kalkopirit konsantresi elde edilir. Selektif flotasyon selüllerinin artığı, pirit selüllerinde süpürme işlemine tabi tutulduktan sonra çöken kısım atık barajlarına, yüzen kısım ince öğütme bilyalı değirmen girişine beslenir. Tesisin basitleştirilmiş akım şeması Şekil.2.1'de görülmektedir.

Flotasyon tesisinin su ihtiyacı, Maden Çayı kenarında açılmış olan kuyu ve pompalar ile temin edilerek, 3400 m³ kapasiteli tanklarda stoklanır. Tesisin su sarfiyatı 7 m³/1ton cevherdir [Ergani Bakır İşletmesi Faaliyet Raporu 1991].

2.2. Su Kirlenmesi

2.2.1. Akarsu Ortamındaki Kirleticiler

Kirlenme kısaca, suyun doğal durumunun ve doğal dengesinin bozulması olarak tanımlanmaktadır. Akarsu ortamına atıksu karıştığında, su ortamında özelliklerini kirlenmeden önceki kalitesine doğru götürülen bir doğal arıtım başlar. Bu süreç, akarsuyun özellikleri ve iklim koşulları ile yakından ilgilidir. Yavaş akan ve havuzlanma özelliği gösteren akarsuların havalanma hızı yavaş olduğundan, doğal arıtım olayı uzun sürmektedir. Dik akarsu yatakları iyi bir havalandırma sağladığından doğal arıtım olayı kısa sürede tamamlanabilmektedir. Normal olarak atık

asimilasyonu için Ülkemiz koşullarında en kritik durum, düşük akım koşulları ve yüksek su sıcaklığının olduğu yaz ve güz mevsimlerinde oluşmaktadır.

Kararlı kimyasal atıkların bu doğal arıtma ile temizlenmesi hemen hemen tümüyle akarsu akışına bağlıdır. Pek çok kimyasal madde, reaktif özellikte olduğundan, adsorpsiyon, kimyasal reaksiyon ve biyolojik ayrışma gibi olaylarla uzaklaşmaktadır. Evsel atıksularda bol miktarda bulunan bakteriler akarsu ortamında, koşulların elverişli olmayışı nedeniyle hızla yok olur. Besin maddelerinin azalması, sıcaklık, başka canlılar tarafından tüketilme gibi olaylar, mikroorganizmaların yok olmasını etkileyen ana unsurlardır [Karpuzcu 1991, Anonim 1991, Uslu ve Türkmen 1987, Kor 1974, Gölhan 1970].

Jeolojik açıdan, yeryüzündeki akarsular oluşumlarından beri karalardan aldıkları maddeleri deniz ve okyanuslara taşıyagelmışlerdir. Söz konusu olan maddelerin büyük bir kısmını atmosferik taşıma süreçleri sonucunda oluşan ve suda çözülmüş halde bulunan maddelerle akıntıyla taşınan tanecikler meydana getirmektedir. Bunun yanısıra yeryüzündeki yaşam süreçlerinin ürünü olan çok miktarda organik atık da akarsulara karışarak denizlere taşınır. Böylece deniz ve okyanusların karalardan doğal olarak taşınan maddeler için bir birikim ortamı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yüzeysel suların kullanılmış sular ve diğer atıklar için bir alıcı ve uzaklaştırıcı ortam olarak kullanılması sonucunda, doğal dengelelere getirebilecekleri kirlilik türleri Dünya Sağlık Örgütü'nce (WHO) aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

Bakteriler, virüsler ve diğer hastalık yapıcı canlılar. Suların hijyenik açıdan kirlenmesine neden olan bu organizmalar, genellikle hastalıklı veya hastalık taşıyıcısı olan hayvan ve insanların

atıklarından kaynaklanır. Bulaşıcı etki, ya atıklarla doğrudan temasla veya atıkların karıştığı sulardan dolaylı olarak gerçekleşir.

Organik maddeler. Ölmüş hayvan ve bitki artıkları ile tarımsal artıkların yüzeysel sulara karışması sonucunda ortaya çıkan kirlenmedir. Bu maddelerin alıcı su ortamlarında yarattıkları oksijen ihtiyacı su kalitesinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Endüstri atıkları. Bu tür atıklar fenol, arsenik, siyanür, krom, kadmiyum, kurşun gibi toksik maddeler içerirler. Teknolojik gelişmeye paralel olarak bir taraftan endüstri atıklarının içerdikleri maddelerin çeşitleri artmakta, diğer taraftan bu bileşenlerin kimyasal yapıları giderek daha karmaşık hale gelmektedir.

Yağlar ve benzeri maddeler. Tankerler veya boru hatlarıyla taşınan petrolün kazalar sonucunda yüzeysel sulara karışması sonucu ortaya çıkan kirlenmedir.

Sentetik deterjanlar. Bu tip deterjanların içerdikleri fosfatlar yüzeysel sularda ötrofikasyona ve dolayısı ile ikincil kirlenmeye neden olmaktadır. Sentetik deterjanların evlerde kullanılmaya başlaması, evsel atıksuların özelliğini değiştirmiş ve bu sulara endüstriyel sularda rastlanan benzer nitelikler kazandırmıştır.

Radyoaktivite. Günümüzde alternatif enerji kaynağı olarak nükleer enerjiden yararlanma hızla artmaktadır. Bu tip tesislerden çıkan reaksiyon ürünleri de (örneğin plütonyum) radyoaktiftir. Nükleer atıkların yeraltında veya denizaltında çok uzun zaman saklanması için kullanılan kaplardan kaynaklanabilecek sızmalar radyoaktif kirlenmeye sebep olmaktadır. Radyoaktif kirlenme bunun dışında hastahanelerden, araştırma kuruluşlarından ve bazı endüstri dallarından da kaynaklanabilmektedir. Atmosferde yapılan nükleer silah denemeleri sonucunda artan radyoaktivite, yağmur sularını kirlenmekte ve bunun sonucu olarak

yüzeysel sular, radyoaktif kirlenmeye uğrayabilmektedir.

Pestisitler. Bu tür yapay organik maddeler, zararlı böcek, bitki ve mantarlarla mücadelede kullanılmaktadır. Bunların besin zincirine girmesi ve bu zincirler boyunca biyoakümülayona uğramaları ekosistemlerde önemli sorunlar yaratır.

Yapay organik kimyasal maddeler. Bu maddeler ilaç, petrokimya ve zirai kimya endüstrilerinde giderek artan miktarlarda üretilmektedir. Bu yapay maddeler, yerlerini aldıkları doğal maddelere kıyasla, daha güç biyolojik parçalanmaya uğrarlar.

Anorganik tuzlar. Bunlar toksik olmayıp, ancak çok yüksek konsantrasyonda kirlenici olarak düşünülebilirler. Suları içme, sulama ve birçok endüstriyel kullanım için kullanılmayacak hale getirebilirler.

Yapay ve doğal tarımsal gübreler. Gübrelerin içerdiği azot ve fosfor sulanmadan dönen drenaj sularıyla yüzeysel sulara karışır ve ikincil kirlenmeye neden olurlar.

Atık ısı. Tek geçişli soğutma suyu sistemine sahip termik santraller, yüzeysel sulara büyük miktarlarda artık ısı verirler. Suyun sıcaklığının artması bir yandan doğal arıtma süreçlerini hızlandırırken, öte yandan oksijenin sudaki doygunluk derişimini azaltır. Böylece anaerobik duruma geçiş kolaylaşabilir [Uslu ve Türkmen 1987].

2.2.2. Kirlilik Parametreleri

Kısaca, suyun doğal durumunun, doğal dengesinin bozulması olarak tanımlanan kirlenme, üç grupta incelenebilir : (1) Fiziksel kirlilik, (2) Kimyasal kirlilik, (3) Biyolojik kirlilik.

Çoğu zaman kimyasal kirliliğin devamında fiziksel kirlilik meydana gelir. Yani, bu iki kirlilik iç içedir. Kil, kum, kül... gibi suda

çözünmeyen maddelerin sebep olduğu fiziksel kirlilik sonucu suyun rengi, kokusu, tadı değişir. Bu durum, suya ışığın girişi zorlaşacağından ve sudaki çözünmüş oksijen dengesi bozulacağından, suda yaşayan canlıları etkiler. Termal kirlenme fiziksel kirlenme kapsamındadır.

Kirlilik grupları içerisinde en yaygın ve önemli kirlenme kimyasal kirlenmedir. Kimyasal kirlenme sonucu suyun rengi, kokusu, tadı, canlılar için kullanılabilirliği, pH değeri tamamen değişir.

Biyolojik kirlenmenin başlıca kaynağı kanalizasyon sularıdır. Suda çok sayıda patojen mikroorganizma oluşmasına neden olur [Uslu ve Türkmen 1987, Hammer 1977].

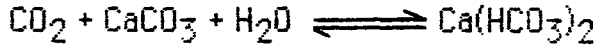
Kullanım amacına ve incelenen suyun ihtiva edebileceği maddelere bağlı olarak, su kalitesinin belirlenmesinde şu parametreler kullanılır : pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, iletkenlik, alkalinite, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacı, toplam katı madde, uçucu katı madde, süspansiyon katı madde ve ağır metal kirliliği.

pH : Suyun asitlik ve bazlık karakterini belirlemede kullanılır. Tabii suların pH değeri 6.5-8.5 arasında değişir. pH'ın bu değerlerden yüksek veya düşük olması sularda yaşayan canlılar açısından tehlikeli sonuçlar doğurur.

pH, su ve atıksuların kimyasal ve biyolojik arıtma proseslerinde, atıksuların koagüle edilmesinde, suyu giderilmiş çamurların veya cisimlerin oksitlenmesinde içme sularının dezenfeksiyon ve yumuşatma işlemlerinde ve korozyonun önlenmesinde çok büyük önem taşır [Uslu ve Türkmen 1987, Kor 1974, Anonim 1983, Samsunlu vd. 1986].

Alkalinite : Suyun asitleri nötrleştirme kapasitesine, diğer bir deyimle önemli pH değişmesi olmadan hidrojen iyonunu adsorplama kapasitesine alkalinite denir. Tabii suların alkalinitesi başlıca zayıf asitlerin tuzlarından ileri gelir. Karbon dioksitin topraktaki bazik

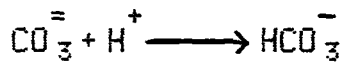
maddelere etkisiyle meydana gelen bikarbonatlar alkalinitenin başlıca şeklini oluştururlar.



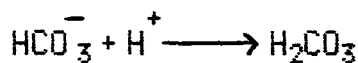
Suda bulunan borat, silikat ve fosfat gibi diğer zayıf asitlerin tuzları, kirlenmiş veya anaerobik sularda bulunan asetik asit ve propiyonik asit gibi zayıf organik asitlerin tuzları da suyun alkalinitesine katkıda bulunurlar.

Suyun alkalinitesi başlıca üç temel maddeden (hidroksitler, karbonatlar ve bikarbonatlar) ileri gelir. Alkalinite, konsantrasyonu belirli bir asitle suyun titre edilmesi ile basitçe tayin edilir ve sonuç kalsiyum karbonat cinsinden ifade edilir.

Alkalinitesi yüksek (pH'sı 8.3'den yüksek) numunelerin titrasyonu iki kademede yapılır. Titrasyonun birinci kademesinde indikatör olarak fenolftalein kullanılır. pH 8.3'de, karbonat iyonları bikarbonat iyonlarına dönüşür. Bu alkaliniteye fenolftalein alkalinitesi denir.



Titrasyonun ikinci kademesinde, dönüm noktası yaklaşık 4.0-4.5 arasında olan bir indikatör (metiloranj) kullanılır. pH 4.5'de bikarbonat iyonları karbonik aside dönüşür.



Sarfedilen toplam asit miktarına göre bulunan alkaliniteye toplam alkalinite denir [Sawyer 1978, Anonim 1985, APHA 1985, Samsunlu vd. 1986].

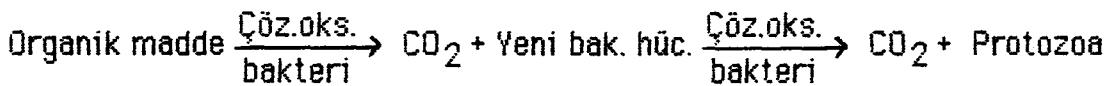
Çözünmüş Oksijen : Oksijenin sudaki çözünürlüğü, sıcaklığa, pH değerine, sudaki çözünmüş maddelerin derişimine, havadaki oksijenin

kısmi basıncına, biyokimyasal parçalanmalara ve planktonlara bağlıdır. Sudaki çözülmüş oksijen miktarı sudaki bileşiklerin fotosentez olayı sonucu verdikleri oksijen ile havadaki oksijenin difüzyon yoluyla suya geçmesine bağlıdır.

Çözülmüş oksijen suda yaşayan ve yaşamı solunum olayına bağlı tüm aerob canlılar için gereklidir. Sıvı atıklarda biyolojik değişmelerin hangi tür (aerobik veya anaerobik) mikroorganizmalarla meydana geldiğini belirleyen bir faktördür. Nehir ve göllerde çözülmüş oksijen miktarı 6 mg/L den az olmamalıdır [Anonim 1983, Sawyer 1978, Uslu ve Türkmen 1987].

Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) : Biyolojik oksijen ihtiyacı, bir atıksu örneğindeki organik maddelerin 20°C'ta aerobik şartlarda karışık mikroorganizmalarla oksidasyonunda kullanılan oksijen miktarı olarak tanımlanabilir. Yüzey suları ve atıksularda organik kirlenme parametresi olarak yaygın bir şekilde kullanılan beş günlük BOİ (BOİ₅) dir.

Biyokimyasal oksidasyon yavaş ve teorik olarak sonsuz zamanda tamamlanan bir prosestir. 20 günlük periyotta oksidasyon yaklaşık % 95-99 oranında tamamlanır. BOİ testi için genellikle beş günlük periyot kullanılır ve oksidasyon % 60-70 tamamlanır. Temperatur sabit tutularak test 20°C'ta yapılır. Genel biyolojik reaksiyon aşağıdaki denklemle ifade edilir.

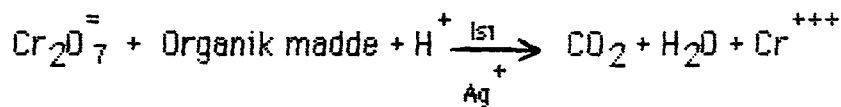


Burada esas reaksiyon organik maddenin metabolize edilmesi, bakteri tarafından çözülmüş oksijen kullanılarak karbondioksit verilmesi ve bakteri popülasyonunda belirli bir artıştır. İkinci reaksiyon ise, protozoaların oksijen kullanarak bakterileri besin olarak tüketmesidir.

Biyolojik oksijen ihtiyacı testi sırasında çözülmüş oksijenin azalması doğrudan doğruya ayrışabilen organik madde miktarı ile ilgilidir [Sawyer 1978, Samsunlu vd. 1986].

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) : 1 m³ suda bulunan organik maddenin, asitli ortamda kuvvetli bir oksitleyici (K₂Cr₂O₇) ile oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarına o suyun "Kimyasal oksijen ihtiyacı" denir.

Bu test tabii ve atıksulardaki organik maddelerin miktarını ölçmek için kullanılır. Temel olarak, bazı bileşikler dışında bütün organik maddeler asidik ortamda kuvvetli yükseltgenlerle tamamen CO₂ ve H₂O'ya dönüşürler. Organik azot ise daha ileri basamaklarda nitratlara dönüşür. Oksitlenebilen organik maddelerin oksijen eşdeğeri asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici kullanılarak ölçülür. Bu amaç için potasyum bikromat en uygun oksitleyicidir. Test yüksek sıcaklıkta yapılmalıdır. Bazı organik maddelerin oksidasyonunu kolaylaştırmak için katalizör (gümüş sülfat) kullanılır. Bazı anorganik bileşikler testi bozduğundan, bunlar dikkatle uzaklaştırılmalıdır. Organik maddelerin asitli ortamda K₂Cr₂O₇ ile reaksiyonu,

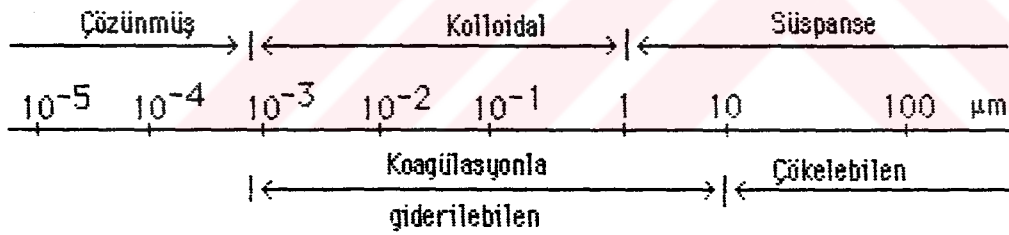


şeklinde gösterilir [Hammer 1977].

KOİ testi endüstriyel ve kentsel atıklarda biyolojik hayat için zehirli bileşikler içeren organik maddelerin tayininde kullanılır. KOİ değerleri genellikle biyolojik oksijen ihtiyacı değerlerinden (BOİ) daha büyüktür. Bunun nedeni kimyasal oksidasyonun biyolojik olarak ayrışmayan organik maddeleri de ayrıştırabilmesidir. Birçok atık tipi için BOİ ile KOİ arasında ilişki kurulabilir ve bu durum arıtma tesislerinin

kontrol ve işletmesinde büyük kolaylık sağlar. Biyolojik oksijen ihtiyacı testi ile birleştiğinde, kimyasal oksijen ihtiyacı testi, zehirli şartların ve biyolojik indirgenemeyen organik maddelerin varlığının tespit edilmesinde yararlıdır [Uslu ve Türkmen 1987, Sawyer 1978, APHA 1985].

Katı Maddeler : Tabii ve atıksulardaki süspanse veya çözünmüş haldeki maddeler katı maddeler olarak isimlendirilirler. Katı maddelerin alışılmış tanımı, buharlaştırma işleminden (103-105°C'ta kurutma) sonra geriye kalan maddelerin tümüdür. Yüksek konsantrasyonlarda katı madde içeren kirlenmiş sular, alıcı suya olumsuz etkiler yapar. Bu tür sular alıcı su ortamında çökelmelere ve fazla miktarda dip çamuru oluşmasına neden olurlar. Kıvrımlı nehirlerde yağışlı mevsimler boyunca süspanse katı madde miktarı artar. Sudaki katı maddeler tanecik boyutlarına göre şu şekilde sınıflandırılır [Samsunlu vd. 1986].



Evsel ve endüstriyel su temininde katı madde tayinleri çok önemlidir. Çökebilen katı madde tayini biyolojik arıtma proseslerini kullanan tesislerde, endüstriyel atıkların arıtımı için ön çökeltme tankları gereksiniminin belirlenmesinde ve boyutlandırılmasında kullanılır.

Süspanse katı madde tayini ön çökeltme tanklarında çökelebilen katılar uzaklaştırıldıktan sonra, süspanse katıların miktarını belirlemek için kullanılır. Ayrıca aktif çamur prosesinde, havalandırma tankındaki katı madde konsantrasyonunun kontrolünde da kullanılır [Uslu ve Türkmen 1987, Sawyer 1978, APHA 1985].

2.3. Ağır Metal Kirliliği

Canlı bünyesinde eser miktarda bulduklarında yaşamsal olumlu etkilere sahip olan bazı elementler, belirli bir miktarın üzerinde canlıları olumsuz yönde etkileyerek toksik etki yapmaktadırlar. Bu etkileri nedeniyle son yıllarda ağır metallerin önemli çevre kirleticileri oldukları kabul edilmiş ve atıksuların belirli limitlerde ağır metal ihtiva etmesi gerektiği çeşitli standartlarla belirlenmiştir.

Ağır metallerin su ekosistemine girişleri çeşitli kaynaklardan olabilmektedir. Herşeyden önce tabiatta bulunan minerallerin bileşiminde bulunan metaller çeşitli etkileşimlerin sonucunda suda çözünür hale geçip su ekosistemine girerler. Ayrıca metal üretimi sırasında meydana gelen atıklar da ağır metal kirliliğine neden olurlar. Metalleri ve tuzlarını kullanan endüstrilerin atıkları ağır metalce zengin çeşitli atıklar halinde çevreye yayılırlar.

Ağır metaller tabiatta genellikle sülfür, oksit, karbonat ve silikat mineralleri halinde bulunurlar. Bunların sudaki çözünürlükleri oldukça düşüktür. Pirit veya diğer sülfürlü bir mineral hava oksijeni ve nemin etkisiyle bozunmaya uğrar. Dolayısıyla suda çözünen bir sülfat bileşiği meydana gelir, metal katyonunun suya geçmesine ve pH'ın düşmesine yol açar. Piriti örnek olarak alırsak, bu durumda Fe^{2+} iyonu çözünerek suya karışır. Fe^{2+} iyonu süratle Fe^{3+} iyonuna yükseltgenir ve hidroliz sonucunda $Fe(OH)_3$ çöker. Bu yükseltgenmeye thiobacillus ferrooxidans gibi bakteriler de yardımcı olur [Förstner ve Wittmann 1983, Parsons 1977, Stumm ve Morgen 1970]. Başka bir örnek de çözünmüş CO_2 içeren yağmur sularının bazik kayalara (örneğin % 50 MgO içeren peridodite) etki ederek magnezyumu bikarbonat şeklinde çözmesidir. Kaya bünyesindeki demir de

benzer şekilde çözünür, Fe^{3+} 'e yükseltgenir ve yine $Fe(OH)_3$ şeklinde çöker [Dean vd. 1972].

Değişik atıksu kaynaklarından gelen ağır metaller sulara karıştıktan sonra bir şekilde (hidroksit, karbonat, sülfür, sülfat v.s.) çökerler ve dip kısımlarda hareketsiz kalırlar. Ancak herhangi bir nedenle pH düşüşünün olduğu durumlarda, örneğin biyokimyasal reaksiyonlarla CO_2 'in ortaya çıkıp O_2 'in azaldığı durumlarda veya anaerobik ortamlarda H_2S 'in ortaya çıkıp pH'ı düşürmesi gibi, ağır metaller yeniden çözünme ve çökme proseslerine uğrar ve böylece mobilize olabilirler. Akarsular içme ve sulama gibi değişik amaçlarda kullanılabilir. Fakat günümüzde akarsuların çoğu endüstriyel ve evsel atıksuların etkisi ile kullanılmaz hale gelmiştir.

İspanya'da yapılan bir çalışmada, önceleri kirliliği düşük olan ve bölgenin sulama ihtiyacını önemli ölçüde karşılayan Guadimar nehrinin beslendiği kollardan Agrio'nun, civarındaki pirit işletmelerinden deşarj olan asidik maden suları nedeniyle (ağır metal konsantrasyonunun yükselmesi, çözünmüş oksijenin ve pH'ın düşmesi sebebiyle) kirliliğinin yüksek değerlere ulaştığı belirtilmiştir [Cabrera vd. 1982].

Güney Irak'ta önemli bir tatlı su kaynağı olan Şattül Arap nehrinin bölgedeki petrol yatakları ve petrokimya faaliyetleri sonucu Pb, Ni ve V'ca kirlendiği ifade edilmektedir [Abaychi ve Douabul 1984].

Ağır metal drenajlarının yol açmış olduğu kirliliğe tipik örneklerden birisi de Japonya'daki Toya gölünün kirlenmesidir. Bu göldeki kirlenmenin çevredeki hidroelektrik santralleri ve Osasu nehrinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Başlıca etkenin yüksek ağır metal içerikli asidik maden drenajları olduğu belirtilmektedir [Katsumi vd. 1979].

Nehir yatağının zengin cevher bölgelerinden geçmesinin sebep

olduğu kirliliğe İngiltere'nin Carnon nehri örnek verilebilir. Zengin sülfürlü cevher bölgelerinden geçen bu nehirde yapılan çalışmada kirliliğin kış aylarında arttığı belirtilmiştir [Johnson ve Thornton 1986].

2.3.1. Ağır Metallerin Canlı Būnyesine Etkileri

Eser elementler, canlı metabolizmasında çok önemli rol oynarlar. Çeşitli enzim, hormon ve vücut pigmentlerinin bileşeni olarak önemli işlevlere sahiptirler. Ancak vücutta belirli miktarların üzerinde bulunmaları ise zararlı olmaktadır.

İnsan vücuduna metaller su, hava ve besinlerle girerler. Bitkiler, hayvanlar ve su ürünleri metalleri depo ederler. Böylece insanlar bütün yiyecek ve içecekler ile beraber belirli miktarlarda metalleri de alırlar. Özellikle toksik organik atıkların metaller ile birleşerek veya başka bileşiklere dönüşerek daha toksik hale geçmeleri önemli sorunlar yaratmaktadır [Duffus 1980, Hammer 1977].

Bu metallerin vücuttaki işlemleri, eksikliğinin veya fazlağının doğurduğu sonuçlar aşığıdaki şekilde açıklanmaktadır.

Krom : Yetişkin bir insanda 6 mg kadar bulunan krom, yaşlanma ile azalır. Bütün dokularda eser miktarda bulunur [Yenson 1981]. Cr(III) kromun en kararlı şekli olup, ağız yoluyla alındığında zehirli etki göstermez. Bitkiler tarafından kolaylıkla alınarak bol miktarda biriktirilip depo edilirler. Tam tersine, Cr(VI)'nın çok kuvvetli yükseltgen, daha kararsız ve kanserojen olduğu, ağız yoluyla alındığında zehirli etki gösterdiği bilinmektedir. Cr(VI) bileşikleri Cr(III) tuzlarından yaklaşık 100 kat daha toksiktir. Toksik olduğundan, Doğal sularda çok düşük konsantrasyonlarda bulunan krom, toksit etkisi nedeniyle içme, kullanma ve sulama sularında bulunması istenmez. Su ortamına metal kaplama

işlemlerinden deri, boya ve cam endüstrilerinden deşarj edilen atıksularla ulaşmaktadır. Ayrıca, korozyon inhibitörü olarak sulara katılan kromatlar da alıcı ortamlara karışabilirler.

Kromun vücutta belirli miktarlarda birikmesi ülser, bronşit, akciğer ve böbrek hastalıklarına sebep olmaktadır. Ayrıca belirli miktarların üzerinde krom alan bünyeler kansere yakalanırlar [Förstner ve Wittmann 1983].

Kurşun : Vücutta kan dolaşımı ve sinir sistemi üzerine etki eder. Vücuda girişi ağız yoluyla yiyecek ve içeceklerden, solunum yoluyla da havadan olmaktadır. Kurşun, motorlu araçların ekzos gazlarıyla havaya karışır ve bu yolla solunum sistemine girer [Duffus 1980].

Doğal su ortamlarında çok düşük konsantrasyonlarda bulunan bu metal, sulara patlayıcı madde üretimi, fotoğrafçılık işlemleri, boya ve akümülatör bataryası üreten tesislerin atık sularından geçmekte, özellikle kemik dokusunda birikerek kurşun zehirlenmesine neden olmaktadır. Kurşun zehirlenmesi çocukluk devresinde gerçek bir problemdir ve zeka geriliği gibi problemlerin ana kaynağıdır.

Kurşun bileşikleri iştahsızlık, karın ağrıları, yorgunluk, felç ve duyu organları bozukluklarına neden olur. Kurşun, kendi adı ile anılan plumbizm hastalığına da yol açar.

İngiltere'de yaşlılar üzerinde yapılan bir incelemede, kanında 70-80 mg/100 ml kurşun bulunan kimselerde anemi ve sinir sistemi hastalıkları tesbit edilmiştir. Normal şartlar altında vücutta bulunan kurşunun % 90'dan fazlası iskelet içerisindedir.

İçme sularının kurşun içeriği, tesisatlarda kurşun boruların kullanılmasıyla artmaktadır. Özellikle sertliği az olan sulara kurşunun çözünürlüğü artmaktadır [Förstner ve Wittmann 1983].

Kadmiyum : Bütün vücutta 30 mg kadar bulunur. Bunun yaklaşık sekizde biri karaciğerde, üçte biri böbrekte, geriye kalan kısmı ise diğer organlarda bulunur [Yenson 1981].

Kronik kadmiyum zehirlenmesinin oluşum periyodu oldukça değişiktir. Genellikle 5-10 yıl olan bu süre 30 yıla kadar çıkabilmektedir. Zehirlenmenin ilk devresi boyunca diş renginin bozularak sarılaşması, koklama duyusunun azalması ve kaybolması ile ağız kuruması meydana gelir. Sonra kırmızı kan hücrelerinin azalması ve kemik iliğinin bozulmasına sebep olur. Hastalığın en önemli karakteristik özelliği damar ağrıları ve bacaklardaki kas ağrılarıdır.

Kadmiyumun vücutta birikmesi baş ağrısı, susuzluk hissi, boğaz kuruluğu, sinirlilik ve tahriş edici öksürük gibi problemlere sebep olur [Förstner ve Wittmann 1983, Duffus 1980].

Civa : Toksiklik derecesi en fazla olan metal civadır. Bunu kadmiyum, kurşun ve diğerleri takip eder. Civa buharı çok kuvvetli zehirdir. Laboratuvarlarda yere dökülüp dağılan civa süratle buharlaşır ve solunumla vücuda giren civa sürekli birikimle zehirlenmelere neden olur. Vücuttaki civa birikimi 25 mg'ı bulduğu zaman nörolojik bozukluklar, 25-100 mg arasında görme ve işitme bozuklukları, denge bozuklukları ve parmak uçlarında dokunma hissini azalması, 200 mg'ın üzerinde ise sağırılık, körlük, felç ve ölüm olayları ortaya çıkmaktadır [Türkiye Çevre Sorunları Vakfı 1991].

Arsenik ve Selenyum : Son derece zehirli olan bu elementler su ortamına bazı sanayi atıklarından ve pestisitlerden karışmaktadır [Duffus 1980]. Ayrıca bulunduğu miktarlara bağlı olarak toprak ve cevherlerden de kaynaklanmaktadır. Özellikle kükürtle bileşikler oluşturan arsenik (AsS realgar; As_2S_3 , auripigment) çözünerek doğal su ortamlarına ulaşmaktadır. Arsenik özellikle toz halinde zehirsizdir. Havadaki nem ve

su ile As_2O_3 'e dönüşür. Çok zehirli olan bu bileşik sinir sistemi bozuklukları ve felç yapar. Arseniğin kanserojen olduğu da ileri sürülmektedir [Förstner ve Wittmann 1983, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı 1991]. Selenyum'un bira mayası ve bazı solunum enzimlerinin aktivitesini durdurduğu bilinmektedir. Eksikliğinde insanlardaki etkileri bilinmemektedir [Yenson 1981].

Demir : Vücuttaki demir miktarı 4-5 g kadardır. Her dokuda az miktarda bulunan demir karaciğer, dalak ve bağırsak duvarlarında fazla miktarda bulunur. Hemoglobinin kompleksinde bulunan demir havanın moleküler oksijenini gevşek bir şekilde bağlayarak dokuların derinliklerine taşır. Bu görev kanın oksijen taşıma yeteneğini 70 kat artırır. Vücutta demir eksikliği kansızlığa (anemi) neden olur. Anemi, kandaki hemoglobin konsantrasyonunun normalden (ortalama % 15'den) az olduğu haldir ki, çoğu kez bu hastalıkta hemoglobinle birlikte eritrositlerin de azaldığı görülür. Demir fazlalığı ise siroz, şeker hastalığı ve deri pigmentasyonu ile kendini gösterir. Bu durumda vücuttaki demir 4-5 g'dan 20-60 g'a kadar çıkar [Yenson 1981, Kleiner 1951].

Bakır : Yetişkin bir insanın vücudunda 100-150 mg kadar bakır bulunur. Canlı vücudunda önemli bir işleve sahiptir. Demir ve bakır kandaki beraberliklerinden dolayı birlikte ele alınırlar. Bakır hemoglobinin bir bileşeni değildir, kandaki işlevi alyuvarların olgunlaştırılması ve ömürlerinin uzatılmasıyla ilgilidir.

Bakır eksikliğinde, demir eksikliğine benzer küçük hücreli bir anemi oluşur ve bu durum demir vermekle düzelmez. Ayrıca hücrelerin yaşama süreleri kısalır. Bakır vücutta yağların yükseltgenmesini katalizlemek görevini de yapar. Eksikliği ayrıca Menek Sendromu'na sebep olmaktadır. Bu hastalık büyümenin durması, saçta seyrelme ve renk

değişmesi, artan beyinsel dejenerasyon ile kendini gösterir [Yenson 1981].

Kobalt : Kobalt en fazla karaciğerde olmak üzere insan vücudunun her tarafında yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Yerkabuğunda çok az bulunur. İnsan vücudunun bir Co(III) kompleksi olan B₁₂ vitaminine ihtiyacı vardır. Bununla birlikte organ veya dokularda aşırı derecede bulunmaz.

Yapılan araştırmalarda, kobalt eksikliğinin bazı deney hayvanlarında hemoglobin yapımını azalttığı, buna karşılık fazlalığının ise hücrelerin sayısını normalin üzerine çıkardığı gözlenmiştir [Yenson 1981, Kleiner 1951].

Mangan : Mangan, yiyeceklerde bol bulunmasına rağmen, vücutta zor tutulan elementlerden biridir. 70 kg ağırlığındaki bir insanda ortalama 12-20 mg civarında bulunur. Eksikliği iskelet yapısını etkiler, boy kısalığına ve yapısal organ bozukluklarına yol açar. Toksik olması nedeniyle de vücutta fazla bulunması istenmez [Yenson 1981].

Baryum : Vücutta birikmesi, kaslara, kalp adalesine, damarlara ve sinir sistemine zararlı etki yapar [Förstner ve Wittmann 1983].

Yukarıda canlı bünyesindeki durumları açıklanan ağır metallerin hemen hepsi belirli miktarların üzerinde genellikle zehirli özellik gösterirler.

2.3.2. Sularda Ağır Metal Standartları

Ağır metallerin ve arsenik gibi bazı elementlerin hemen hepsi belirli miktarların üzerinde toksik etki gösterirler. Ayrıca bunların birçoğu canlı bünyesinden kolayca atılamaz ve birikirler. Bu nedenle önemli bir çevre kirleticisi olan bu elementlerin çeşitli sularda hangi limitlerde bulunması gerektiği bir ilgi odağı olmuştur. Çeşitli ülke standartlarında bu değerler birbirinden az-çok farklılıklar gösterir.

Ayrıca yeni gelişmelerin ışığında bu değerler yeniden gözden geçirilip güncelleştirilmektedir. Bu nedenle bazı elementler eski standartlarda olmadığı halde yeni standartlarda yer almaktadır.

Çeşitli ülkelerin içme suyu standartları Tablo 2.1'de, Türk Standartlarına göre içme suyu ağır metal limitleri Tablo 2.2'de ve Kıtaiçi su standartları Tablo 2.3'de verilmiştir [Förstner ve Wittmann 1983, TSE 266, Uslu ve Türkmen 1987].

2.3.3. Ağır Metallerin Sulardan Uzaklaştırılması

Su kirliliği probleminin oluşumunda en büyük faktörlerden biri endüstriyel atık sulardan biri olan asidik maden sularıdır. Bu problemin çözülmesi için çeşitli metotlar bulunmaktadır. Bunlar arasında, asidik maden sularına kireç ilavesi, sülfat indirgeyici bakterilerin kullanılması, elektrokoagülasyon, elektrodializ, destilasyon v.b. sayılabilir. Fakat bunların bazılarının çok pahalı olması, bazılarının sülfatın giderilmesinde yetersiz kalması değişik yöntemlerin araştırılmasına sebep olmuştur [Koehrsen ve Gundt 1970, Smagin vd. 1974].

Atık sularda ağır metaller, serbest inorganik veya kompleks organik bileşikler şeklinde bulunurlar. İnorganik ağır metalleri uzaklaştırmak için kullanılan en uygun metot kimyasal çöktürmedir. Ağır metal bir organik kompleksleştirici ile birlikte olduğu zaman, konsantrasyonunun azaltılması için kimyasal çöktürme her zaman etkin bir metot değildir. Bu gibi durumlarda iyon değişirme, ultrafiltrasyon, solvent ekstraksiyonu, sementasyon, aktif karbon adsorpsiyonu, elektrolitik çöktürme gibi diğer bazı işlemler uygulanır [Lanouette ve Paulson 1976].

Tablo : 2.1. Çeşitli ülke içme suyu standartları (Förstner ve Wittmann 1983)

Madde	FRG (1975)	USPHS (1962)	JAPONYA (1968)	USSR (1970)	WHÖ (1970)	WHÖ (1971)	SABS (1971)	NAS (1972)	AVUSTURALYA (1973)	US EPA (1975)	US EPA (1976)
Arsenic	40	10	50	50	50	50	50	100	50	50	50
Baryum	-	1000	-	4000	1000	-	-	1000	1000	1000	-
Kadmium	6	10	-	10	10	10	50	10	10	10	10
Krom(VI)	50	50	50	100	50	-	50	50	50	50	50
Bakır	-	1000	1000	100	50	50	1000	1000	10000	-	1000
Kurşun	40	50	100	100	100	50	50	50	50	50	50
Çiwa	4	-	1	5	-	1	-	2	-	2	2
Selenyum	8	10	-	1	10	10	-	10	10	10	10
Gümüş	-	50	-	-	-	-	-	-	50	50	-
Çinko	2000	5000	100	1000	5000	5000	5000	5000	5000	-	5000

* Bütün konsantrasyonlar µg/L'dir.

- WHO (World Health organization)
- USPHS (US Public Health Service)
- SABS (South African Bureau of Standards)
- NAS (USA National Academy of Sciences)
- EPA (Environmental Protection Agency)

Tablo:2.2.Türk Standartlarına göre içme suyu ağır metal limitleri
(TSE 266)

Madde	Tavsiye edilen miktar ($\mu\text{g/L}$)	Müsaade edilebilecek maksimum miktar ($\mu\text{g/L}$)
Arsenik	-	50
Kadmiyum	-	0.5
Krom (VI)	-	50
Bakır	1000	1500
Kurşun	-	50
Civa	-	-
Selenyum	-	10
Gümüş	-	50
Çinko	5000	15000
Mangan	100	500
Demir	300	1000

Tablo : 2.3. Kıtaçi su standartları (Uslu ve Türkmen 1987).

Madde	Su Kalite Sınıfı		
	I	II	III
Arsenik	20	50	100
Baryum	1000	2000	2000
Kadmiyum	3	5	10
Krom (VI)	-	20	50
Bakır	20	50	200
Kurşun	10	20	50
Civa	0.1	0.5	2
Selenyum	10	10	20
Çinko	200	500	2000
Mangan	100	500	3000
Kobalt	10	20	200
Nikel	20	50	200
Demir	300	1000	5000

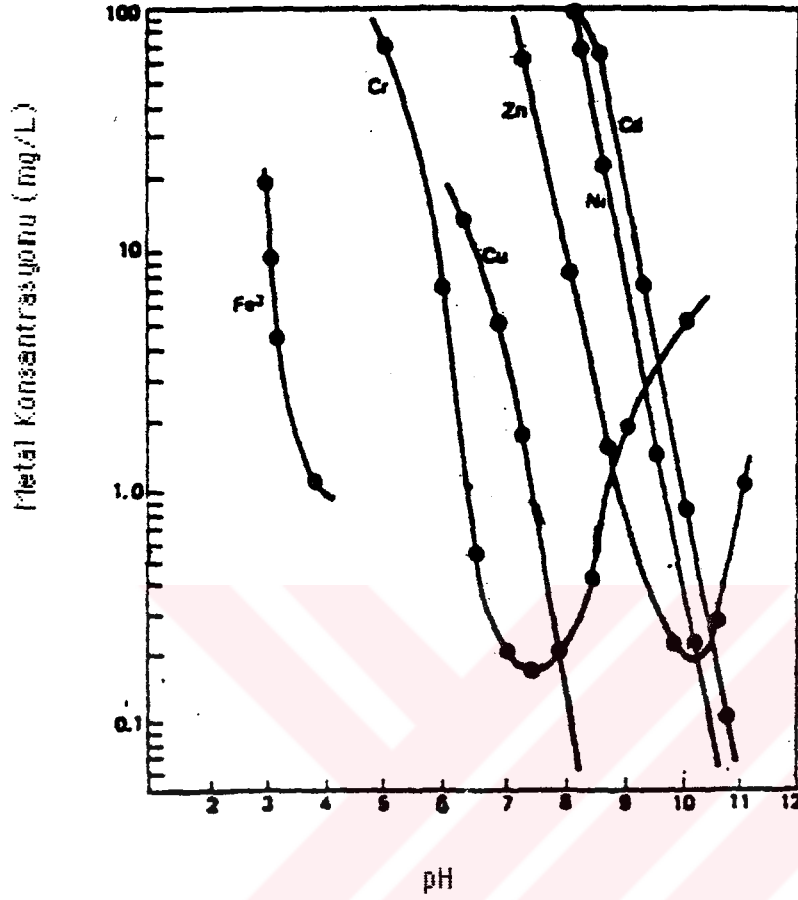
* Bütün değerler $\mu\text{g/l}$ dir.

Kimyasal Çöktürme. Endüstriyel atıksulardan ağır metaller, genellikle kireç, sodyum hidroksit ve sodyum karbonat ile bazı durumlarda sülfürler kullanılarak yapılan çöktürme işlemi ile giderilebilir [Dean vd. 1972, Lanouette ve Paulson 1976].

Metaller cinslerine, kompleksleştiricilerin mevcudiyetine (amonyak, limon asidi, EDTA gibi) ve çözünmeyen OH^- , CO_3^{2-} ve SO_4^{2-} gibi bileşiklerin oluşmasına bağlı olarak farklı pH değerlerinde çökerler. Çeşitli metallerin hidroksitlerinin teorik çökme eğrileri Şekil 2.2'de görülmektedir [Eckenfelder 1989]. Saf sudaki ağır metal hidroksit ve sülfürlerinin teorik çözünürlükleri Tablo 2.4'de verilmiştir [Meites 1963, Hogness ve Johnson 1954].

Aynı atıksuda iki veya daha fazla metal iyonu bulunduğunda, çökme için gerekli optimum pH her bir iyon için farklı olabilir. Bu durumda fraksiyonlu çöktürme uygulanır. Yani metal iyonlarının bir veya birkaçı bir pH aralığında, diğerleri başka bir pH aralığında çöktürülür. Ağır metallerin kimyasal çöktürmesi kesikli yada sürekli arıtma sistemleri ile yapılabilir. Kesikli arıtma işlemi genellikle küçük hacimli ve miktarı günden güne değişen atıksulara, sürekli arıtma ise büyük hacimli ve özellikleri hemen hemen değişmeyen atık sulara uygulanır [Lanouette ve Paulson 1976].

İyon Değişimi. Kimya ve metalurji endüstrilerinde kullanılan sıvı iyon değişimi (solvent ekstraksiyonu) işlemi, bir organik reaktifle çözeltiden belirli bir metal iyonunun ekstraksiyonunu içerir. Bu reaktif uygun organik çözücüler içerisinde çözünebilen ağır metal bileşiği ile reaksiyona girer. Uranyum ve bakır endüstrileri için benimsenen bu proses, endüstriyel atıklardan metallerin geri kazanılmasında başarıyla uygulanabilmektedir.



Şekil. 2.2. Çeşitli metallerin hidroksitlerinin teorik çökme eğrileri

Sementasyon. Çözünmüş metal iyonunu içeren çözeltinin daha aktif bir metal ile teması halinde meydana gelen yer değiştirme olayına dayanan sementasyon, özellikle çözeltilerden bakır ve gümüşü gidermek için uygulanır.

Atık çözeltilerde bulunan bazı metaller çözünmeyen tipte anodlar kullanılarak çöktürme yöntemiyle de kazanılabilir [Dean vd. 1972].

Adsorpsiyon. Birçok organik metal bileşiği aktif karbon tarafından adsorbe edilir. Adsorpsiyon kapasitesi genellikle pH'ın düşmesi ve konsantrasyonun yükselmesi ile artar. Karbon toz veya granül şeklinde kullanılır. Granül halindeki karbon rejenere edilebileceğinden tercih edilir [Lanouette ve Paulson 1976].

Spesifik bir ortamın temizlenmesi için en uygun yöntem, atıksuyun özellikleri ve arıtılmış suyun arıtma derecesi dikkate alınarak ön denemelerle belirlenmelidir.

Tablo : 2.4. Saf sudaki ağır metal hidroksit ve sülfürlerinin teorik çözünürlükleri .

Metal İyonu	Metal İyonunun Çözünürlüğü	
	Hidroksitlerde	Sülfürlerde
Cd^{2+}	2.3×10^{-5}	6.7×10^{-10}
Cr^{3+}	8.4×10^{-4}	-
Co^{2+}	2.2×10^{-1}	1.0×10^{-9}
Cu^{2+}	2.2×10^{-2}	5.8×10^{-18}
Fe^{2+}	8.9×10^{-1}	3.4×10^{-5}
Pb^{2+}	2.1	3.8×10^{-9}
Mn^{2+}	1.2	2.1×10^{-3}
Hg^{2+}	3.9×10^{-4}	9.0×10^{-20}
Ni^{2+}	6.9×10^{-3}	6.9×10^{-3}
Ag^{2+}	13.3	7.4×10^{-12}
Sn^{2+}	1.1×10^{-4}	3.8×10^{-8}
Zn^{2+}	1.1	2.3×10^{-7}

3. MATERİYAL VE METOD

Bu çalışmada Etibank Ergani Bakır İşletmesi Flotasyon Atıksularının Dicle Nehrinin başlangıcı olan Maden Çayı üzerindeki kirlilik potansiyeli araştırılmıştır.

3.1. Numunelerin Alınması ve Hazırlanması

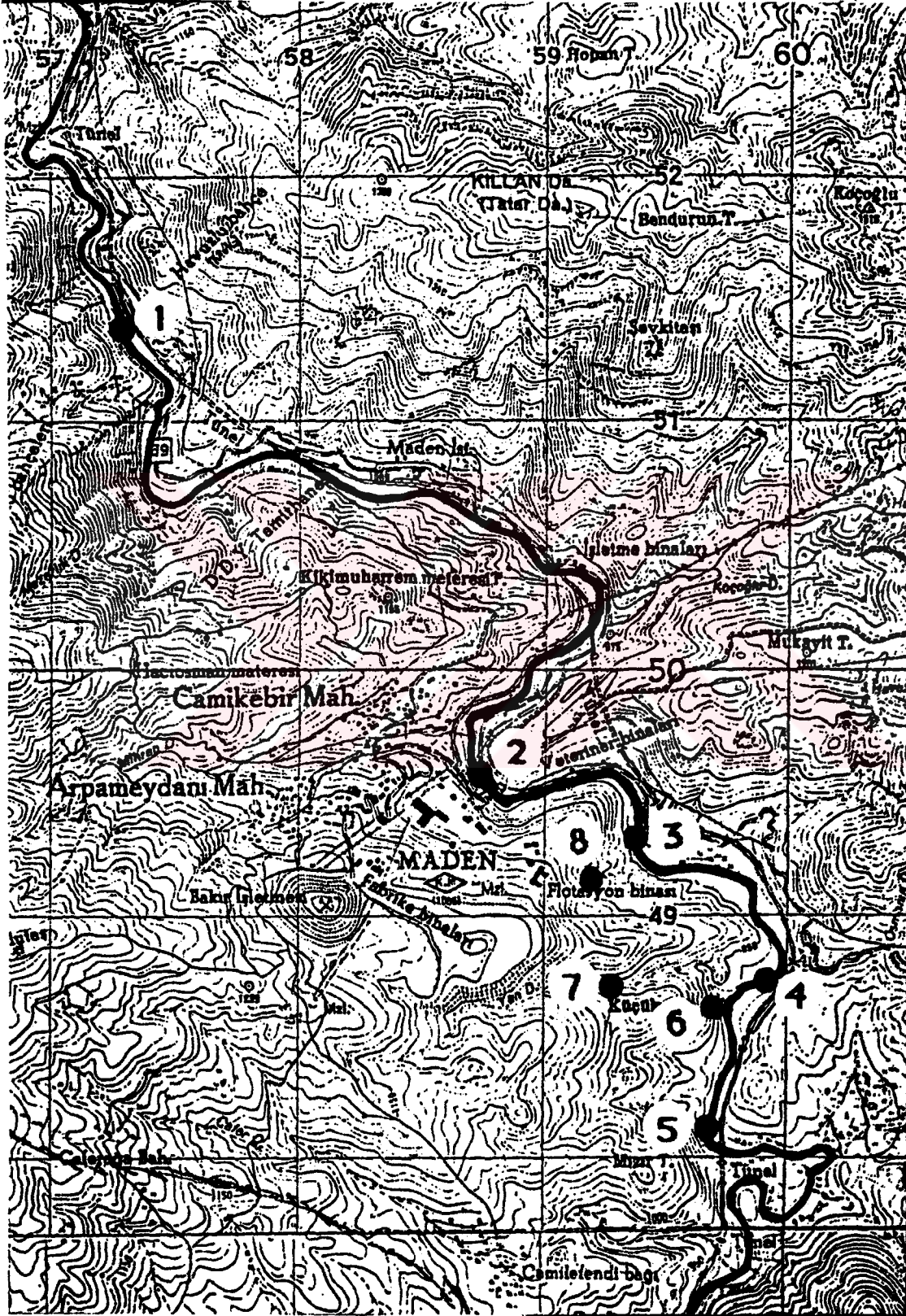
Çalışma için gerekli su numuneleri, Maden Çayı'ndaki kirliliği belirleyecek şekilde yaklaşık 7 km'lik bir mesafe içinde seçilen 8 farklı istasyondan Ekim 1991 tarihinden itibaren bir yıl süre ile periyodik olarak her ay alınmıştır. Analiz için alınan numune yerleri Şekil 3.1'deki krokide gösterilmiştir.

1. numune alma istasyonu Maden Çayı'nın akış yönünde Maden DDY istasyonuna yaklaşık 2 km mesafedeki Çınar Soğuk su bölgesindedir. Ergani Bakır İşletmesi atıkları ve Maden ilçesi evsel atıksularının Maden Çayı'na karıştığı yerden uzakta olan bu nokta Maden Çayı'nın karakterini belirlemek için seçilmiştir.

2. numune alma istasyonu (ilçe girişindeki benzin istasyonunun altı) Maden ilçesi evsel atıksularının deşarj edildiği yer olup evsel atıksuların Maden Çayı üzerindeki potansiyelini araştırmak için seçilmiştir.

3.,4.,5.,6.,7.,8. numune alma istasyonları Ergani Bakır İşletmesi katı atıkları ile flotasyon atıksularının Maden Çayı üzerindeki kirlilik potansiyelini belirlemek için seçilmiştir.

Bakır İşletmesi tersip havuzlarına yaklaşık 25 m mesafede seçilen 3. numune alma istasyonu ile flotasyon atıksularının



Şekil 3.1. Atıksu numune alma istasyonları

deşarj noktasına 300 m mesafede olan 4. istasyon flotasyon atıksularının doğrudan Maden Çayına verilmesi sonucu Maden Çayında meydana gelen kirliliği ve işletme sahasında bulunan katı atıklara yağışın etkisini belirlemek için seçilmiştir.

5. istasyon flotasyon atıksularının deşarj noktasından yaklaşık 500 m ileridedir. Bu istasyon flotasyon atıksularının Maden Çayına karışması sonucu meydana gelen etkileri araştırmak için seçilmiştir.

6. istasyon flotasyon atıksularının Maden Çayına deşarj noktası olup, 2. flotasyon atıksuyu dinlendirme baraj çıkışıdır.

7. istasyon 1. flotasyon atıksuyu dinlendirme baraj çıkışıdır.

8. istasyon ise flotasyon tesisi atıksu çıkışıdır.

Atıksu numunelerinde kirliliği belirlemek için pH, sıcaklık, iletkenlik, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, alkalinite, toplam katı madde, uçucu katı madde, süspanse katı madde ve ağır metal (Cu, Fe, Zn, Co, Ni, Mn, Cd, Pb) tayinleri yapılmıştır.

Çözülmüş oksijen ve sıcaklık YSI Model 57 oksijen metre ile, iletkenlik HACH-PORTABLE WATER ANALYSIS INSTRUMENTATION kondüktivimetre ile, pH CG 818 model pH metre ile numune alma yerlerinde ölçülmüştür. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini, 1-2 damla derişik H_2SO_4 ile asitlendirilen atıksu numunelerinde $K_2Cr_2O_7$ yöntemine göre [APHA 1985], ağır metal tayinleri HNO_3 ile asitlendirilen örneklerde Chelatium-Ekstraksiyon yöntemi (ASTM D-1688, D-1068, D-1691, D-3558, D-1686, D-858, D-3557, D-3559 standartları) uygulanarak Perkin-Elmer 370 Model Atomik Absorpsiyon Spektrometresinde yapılmıştır. Ayrıca, atıksu dinlendirme barajlarından alınan katı numuneye EPA kirlilik testi uygulanarak pH'ı yaklaşık 5 olan ortamda çözeltiye verdikleri metal iyonlarının miktarı tesbit edilmiştir [EPA 1980].

3.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.1. Chelatium–Ekstraksiyon Yöntemi ile Ağır Metal Tayini

Gerekli Reaktifler

Derişik HCl :sp. gr. 1.19 , % 37'lik

(1+49) HCl : 1 hacim derişik HCl'e (sp.gr.1.19) 49 hacim saf su ilave edilir.

(1+2) HCl :1 hacim derişik HCl'e (sp.gr. 1.19) 2 hacim saf su ilave edilir.

Derişik HNO₃ :sp. gr. 1.42 , % 65 'lik

2.5 N NaOH :100 gr NaOH 1000 ml saf su içerisinde çözülür.

Bromphenol - Blue indikatörü: 0.1 g bromphenol blue % 50'lik 100 ml etanol içerisinde çözülür.

Pirolidin–dithiokarbomik asit–kloroform reaktifi. 1 L kloroform ile 36 ml pirolidin iyice karıştırılır. Bu karışıma 30 ml CS₂ yavaş yavaş ilave edilir ve kloroform ile 2 L'ye tamamlanır.

Deneyin Yapılışı : Mavi bant süzgeç kağıdından 1L hacmindeki bir behere süzülen 500 ml'lik bir örneğe 25 ml derişik HCl ilave edildi ve hacmi 75–100 ml kalıncaya kadar bir su banyosu veya ısıtıcı kullanılarak kaynatılmadan buharlaştırıldı. Çözelti soğutuldu. Mavi bant süzgeç kağıdından 1 L'lik ayırma hunisine süzüldü. Süzgeç kağıdı iki–üç defa saf su ile yıkandı, çözelti saf su ile yaklaşık 500 ml'ye tamamlandı. Birkaç damla bromphenol–bule indikatörü ilave edilerek çalkalandı. Kalıcı Mavi renk elde edilinceye kadar NaOH çözeltisi ilave edildi. Sonra Mavi renk kayboluncaya kadar HCl (1+49) ilave edilmek suretiyle çözeltinin pH'ı 2.3'e ayarlandı. Bu çözeltiye 50 ml pirolidin–dithiokarbomik

asit-kloroform reaktifi ilave edildi ve 20-30 dakika kuvvetlice çalkalandı. Ayırma hunisinin ağız kapatılarak fazlar tamamen ayrılıncaya kadar bekletildi. Fazlar ayrıldıktan sonra, alttaki kloroform fazı bir behere alındı. Ayırma hunisinde kalan sulu faz 50 ml kloroform ile yeniden ekstrakte edildi ve kloroform fazı aynı erlene boşaltıldı. Ekstrakte edilen faz renksiz oluncaya kadar bu işleme devam edildi. Elde edilen ekstraktlar aynı erlende toplanarak bir ısıtıcıda tamamen kuruyuncaya kadar buharlaştırıldı. Erlen 45° eğik bir şekilde tutularak 10 ml derişik HNO_3 damlalar halinde ilave edildi. Kalıntı ile asit arasındaki temas beherin döndürülmesiyle sağlandı. Asit dikey bir pozisyonda erlene ilave edilirse, yüksek ısı ve sıçrama ile birlikte şiddetli bir reaksiyon meydana gelir. Erlen içerisindeki çözelti, üzerinde amyant olan düşük sıcaklıktaki ısıtıcı üzerinde tamamen kuruyuncaya kadar buharlaştırıldı. 10 ml HCl (1+2) çözeltisi ilave edildi ve 1 dakika karıştırılarak ısıtıldı (Kurutulan kalıntıya HCl (1+2) ilave edildiği zaman çözünme tam olmuyorsa, taze pirolidin kullanılmalı veya pirolidin dithiokarbomik asit-kloroform reaktifi kullanılmadan önce pirolidin damıtılmalıdır). Çözelti soğutuldu ve 50 ml'lik balon jöjeye alınarak, saf su ile hacmi 50 ml'ye tamamlandı. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile uygun oyuk katot lambaları kullanılarak Cu, Fe, Zn, Mn, Ni, Cd, Co, Pb tayinleri yapıldı.

3.2.2. $K_2Cr_2O_7$ Yöntem ile Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini

Gerekli Reaktifler

($H_2SO_4 + Ag_2SO_4$) çözeltisi : 1 L derişik H_2SO_4 içerisine 5.5 g

Ag_2SO_4 ilave edilir. Tamamen çözünmesi için çözelti bir gece bekletilir.

Standart $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi, 0.25 N : 103 °C' de 2 saat kurutulmuş $K_2Cr_2O_7$ 'den 12.2586 g alınarak 1 L saf su içerisinde çözülür.

Standart amonyum demir - 2-sülfat çözeltisi, 0.1 N : 39 g $Fe(NH_4)_2 \cdot 6 H_2O$ saf suda çözülür. 20 ml derişik H_2SO_4 ilave edilir, soğutulur ve saf su ile 1000 ml' ye tamamlanır. Bu çözelti her kullanılmadan önce potasyum bikromat'a karşı ayarlanır.

Ayarlama: 10 ml standart $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi saf su ile 100 ml'ye seyreltilir. 30 ml derişik H_2SO_4 ilave edilir. Soğutulur. 2-3 damla ferroin indikatörü ilave edilerek 0.1 N amonyum demir-2-sülfat çözeltisi ile renk kırmızıya dönüşünceye kadar titre edilir.

$$\text{Normalite} = \frac{K_2Cr_2O_7 \text{ çözeltisi (ml)} \times 0,25}{\text{Titrasyonda harcanan amonyum demir-2-sülfat çözeltisi (ml)}}$$

Ferroin çözeltisi : 1.485 g 1-10 fenontrolinmonohidrat, 0.695 g $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ ile birlikte saf suda çözülür ve 100 ml'ye tamamlanır.

Deneyin Yapılışı : Mavi bant süzgeç kağıdından behere süzülen her bir örnekten 20 ml alınarak ağız rodajlı balona konuldu. Balona 0.4 g Hg_2SO_4 ve 10 ml standart $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ilave edildi. 30 ml ($H_2SO_4 + Ag_2SO_4$) çözeltisi yavaşça ilave edildi ve derhal geri soğutucuya bağlanarak 1-2 saat kaynatıldı. Soğutulduktan sonra 2-3 damla ferroin indikatörü ilave edildi. Amonyum demir-2-sülfat çözeltisi ile renk yeşil-kahverengi üzerinden kırmızıya dönüşünceye kadar titre edildi. Aynı işlemler saf su (şahit) ile tekrarlandı. Atıksu numunelerindeki KODI aşağıdaki formülden hesaplandı.

$$\text{KOİ(mg /L)} = \frac{(V_0 - V_1) \times N \times 8000}{V}$$

Burada ;

V_0 : Şahite harcanan amonyum demir-2-sülfat çözeltisi (ml)

V_1 : Numuneye harcanan amonyum demir-2-sülfat çözeltisi (ml)

V : Alınan numune (ml)

N : Amonyum demir-2-sülfat çözeltisinin normalitesi

3.2.3. Alkalinite Tayini

Gerekli Reaktifler :

Fenolftalein çözeltisi : 0.5 g fenolftalein % 95'lik 50 ml etilalkolde çözülür. Üzerine 50 ml saf su eklenir. 0.02 N NaOH çözeltisi ile hafif pembe renk görülünceye kadar titre edilir.

Metiloranj çözeltisi: 0.05 g metiloranj 100 ml saf suda çözülür.

Standart H_2SO_4 çözeltisi ,0.02 N:0.563 ml derişik H_2SO_4 saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır.

Deneyin Yapılışı: Mavi bant süzgeç kağıdından erlene süzülen her bir numuneden 50 ml alındı. 3 damla fenolftalein çözeltisi ilave edildi. Renk oluşursa, renk kayboluncaya kadar standart H_2SO_4 çözeltisi ile titre edilir. Aynı numuneye 3 damla metiloranj çözeltisi ilave edilerek standart H_2SO_4 çözeltisi renk açık sarıdan açık kahverengiye dönüşünceye kadar titre edildi ve alkalinite aşağıdaki formülden hesaplandı.

$$\text{Toplam alkalinite (mg/l CaCO}_3\text{)} = \frac{B \times N \times 50000}{\text{Numune hacmi (ml)}}$$

Burada;

B : İkinci dönüm noktasına kadar harcanan standart H_2SO_4 çözeltisi (ml)

N : H_2SO_4 çözeltisinin normalitesi

3.2.4. Toplam Katı Madde Tayini

Numune alındıktan hemen sonra, numune kabı iyice karıştırılarak 100 ml alındı ve bir porselen kapsülde 105 °C'de etüvde tamamen buharlaştırılarak sabit tartıma getirildi. Toplam katı madde aşağıdaki formülden hesaplandı.

$$\text{Buharlaşma kalıntısı (mg/L)} = \frac{\text{Kalıntı (mg)} \times 1000}{\text{Numune (ml)}}$$

3.2.5. Toplam Uçucu Madde Tayini

Toplam katı madde tayininde porselen kapsülde kalan buharlaşma kalıntısı 550 °C'de ki fırında 15-20 dakika yakıldı. Soğutuldu ve tartıldı. Yakma sonucu meydana gelen kayıp, uçucu maddelerin toplam miktarını verir.

$$\text{Toplam uçucu madde (mg/L)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Numune (ml)}}$$

Burada;

A : Buharlaşma kalıntısının ağırlığı (mg)

B : 550°C'de yakmadan sonraki ağırlık

3.2.6. Toplam Süspans Madde Tayini

Çökebilene katı maddeler ayrıldıktan sonra, su numunesinden 50 veya 100 ml alınarak sabit tartıma getirilmiş olan Geoch krozesinden süzüldü. 103°C'de etüvde 1 saat kurutuldu. Desikatörde soğutuldu ve tartıldı. Süspans katı madde miktarı aşağıdaki formülden hesaplandı.

$$\text{Süspanse katı madde (mg/L)} = \frac{\text{Süspanse madde (mg)} \times 1000}{\text{Numune (ml)}}$$

3.2.7. Flotasyon Katı Atığının Analizi

Flotasyon katı atığındaki metaller, kavrulmuş katı numuneye lityum metaborat eritisi-nitrik asitte çözme yöntemi (Bailey ve Woods 1974) uygulanarak elde edilen çözeltide Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile tayin edildi. Katı atıktaki kükürt ve silis tayinleri gravimetrik yöntemlerle yapıldı (Baykut ve Erdem 1968).

Metallerin Tayini: Atık kükürtlü olduğundan, 200 mesh'in altına öğütülüp 105°C'ta kurutulmuş numuneden 5 g alınarak 700°C'ye ısıtılmış fırında 5 saat kavruldu ve desikatörde soğutulduktan sonra tartıldı. Kavrulmuş numuneden alınan 0.1 g'lık örnek platin krozede 0.5 g lityum metaborat ile homojen oluncaya kadar karıştırıldı. Karışımın üzeri 0.5 g lityum metaborat ile kaplandı ve 900°C'ye ısıtılmış fırında 15 dakika eritildi. Fırından alınan erimiş karışım, katılaşmasına fırsat vermeden, içerisinde 60 ml % 15'lik HNO₃ çözeltisi bulunan behere çok seri bir şekilde boşaltıldı. Manyetik karıştırıcı ile çözününceye kadar karıştırıldı. Elde edilen çözelti % 15'lik HNO₃ çözeltisi ile 100 ml'ye tamamlandı. Bu şekilde hazırlanan 2 paralel örnekte, Perkin-Elmer Model 370 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile uygun oyuk katot lambaları kullanılarak metaller tayin edildi ve kavurma kaybı dikkate alınarak orjinal katı maddedeki metal miktarları hesaplandı.

Kükürt Tayini : -200 mesh'e öğütülmüş ve kurutulmuş numuneden 0.5 g alınarak üzeri bir saat camı ile kapatılmış bir kapsülde 7.5 ml derişik HNO₃ ve 2.5 ml derişik HCl ile bir gece reaksiyona bırakıldı. Daha sonra kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Elde edilen kalıntıya 5 ml

derişik HCl eklenerek tekrar kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Kurumuş kapsül muhteviyatı 5 ml derişik HCl ile nemlendirilerek 100 ml sıcak su ile alındı ve süzüldü. Kalıntı önce soğuk, sonra sıcak su ile yıkandı. Elde edilen süzüntü ısıtıldı ve 20 ml % 10'luk NH_3 ile çöktürüldü ve 15 dakika 70°C de ısıtıldıktan sonra süzüldü. Elde edilen süzüntü, 1-2 damla metiloranj ilave edilerek, HCl ile nötralleştirildi. Çözeltiye, 4,5 g kristalize BaCl_2 'ün 100 ml sıcak sudaki çözeltisi ilave edilerek BaSO_4 çöktürüldü ve süzüldü. Daha sonra süzgeç kağıdı üzerindeki BaSO_4 çökeltisi ile birlikte kurutuldu ve önce bek alevinde sonra elektrik fırınında yakılarak BaSO_4 miktarı tayin edildi ve bundanda kükürt miktarı hesaplandı.

Silis Tayini : -200 mesh'e öğütülmüş ve kurutulmuş numuneden 1 g alınarak bir kapsülde 15 ml derişik HCl ile bir gece reaksiyona bırakıldı. Daha sonra kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Elde edilen kalıntıya 5 ml derişik HCl ilave edilerek yeniden buharlaştırıldı. Kurumuş kapsül muhteviyatı 5 ml derişik HCl asidi ve 100 ml sıcak su ile alındı ve süzüldü. Kalıntı süzgeç kağıdı ile birlikte bir krozeğe koyularak fırında yakıldı ve tartıldı. 1 ml su, iki damla derişik H_2SO_4 ve 3 ml % 40 'lık saf fluorür asidi ilave edilerek karışım kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Kalıntı 1 ml fluorür asidi ile yeniden aynı şekilde buharlaştırıldı ve kalıntı çıplak alevde yakıldı. Desikatörde soğutulduktan sonra tartıldı. İki tartım arasındaki farktan SiO_2 miktarı bulundu.

3.2.8. Flotasyon Katı Atığının Kirlilik Potansiyelinin Tesbiti (EPA Ekstraksiyon Testi)

Flotasyon tesisinden hidrolik olarak dinlendirme barajlarına taşınan katı maddenin kirlilik potansiyelinin tesbiti için artığa EPA

(Environmental Pollution Agency)'nin katı atıklar için öngördüğü ekstraksiyon testi uygulanmıştır. Bu amaçla 1991 Ekim ayında flotasyon atıksularının dinlendirildiği 2. atıksu dinlendirme barajından alınan katı numune bir yıl süreyle atmosferik etkilere maruz bırakılmıştır. Alınan numuneye bir defa alınışını izleyen bir kaç gün içinde, bir defada bir yıl atmosferik etkiye maruz kaldıktan sonra 1992 Ekim ayında aşağıda açıklanan EPA ekstraksiyon testi uygulanmıştır.

EPA Ekstraksiyon Testi : 80 °C' de kurutulmuş katı atıktan 100 g alınarak 1600 ml saf su ile 24 saat oda sıcaklığında mekanik olarak karıştırıldı. Karıştırma süresince pH'nın 5±0.2 değerinde kalması için karışıma kontrollü bir şekilde 0.5 N CH₃COOH ilave edildi. Ekstraksiyon işlemi bittikten sonra, süzülen çözeltiliye Chelatium-Ekstraksiyon yöntemi uygulanarak ağır metal konsantrasyonları Perkin-Elmer Model 370 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile ölçüldü.

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ergani Bakır İşletmesi civarında çeşitli kirlilik kaynaklarının Dicle Nehri'nin başlangıcı olan Maden Çayı'na etkisini belirlemek için, Bölüm 3.1'de açıklandığı şekilde seçilen 8 noktadan bir yıl süre ile birer aylık periyotlarla alınan atıksu numunelerinde yapılan analiz sonuçları 12 ayrı tablo halinde Ekler kısmında; numune alma istasyonlarında kirlilik parametrelerinin aylara göre değişimi ise 16 ayrı grafik halinde Şekil 4.1,4.16'da verilmiştir.

Kış aylarında yağış miktarının artması ve karların erimesi ile nehir debisinde önemli artışlar gözlenmektedir. Maden Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan aylara göre toplam yağış miktarları Tablo : 4.1'de, Maden Çayı'nın, Elazığ Elektrik Etüd İdaresi'nden alınan, aylara göre debi ölçüm değerleri ise Tablo : 4.2'de verilmiştir.

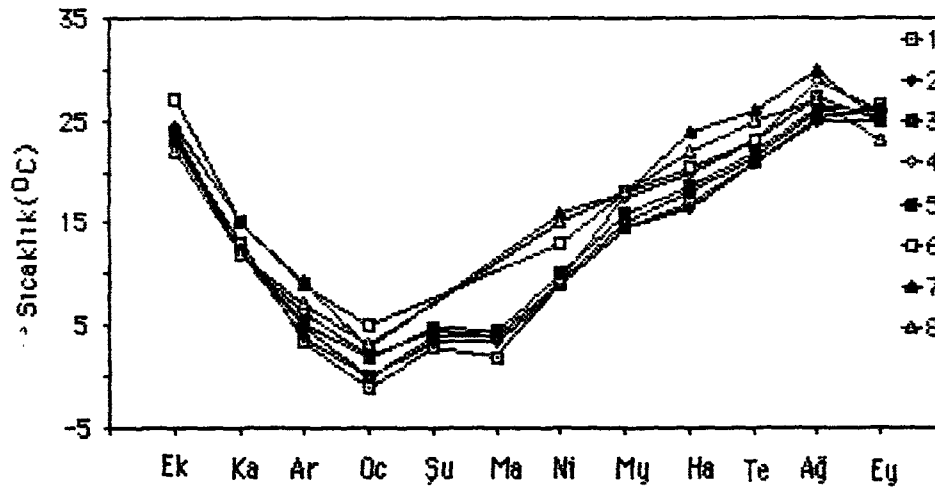
Tablo : 4.1. Maden Bölgesinde Aylara Göre Toplam Yağış Miktarı Dağılımı

Aylar	Toplam Yağış Miktarı (kg/m ²)
1991 Ekim	92.0
1991 Kasım	99.8
1991 Aralık	180.0
1992 Ocak	54.4
1992 Şubat	261.5
1992 Mart	23.9
1992 Nisan	4.1
1992 Mayıs	111.7
1992 Haziran	43.9
1992 Temmuz	-
1992 Ağustos	-
1992 Eylül	1.7

Tablo : 4.2. Maden Çayı Debisinin Aylara Göre Değişimi
(Çayönü akım istasyonu)

Tarih	Debi (m ³ /s)
08.10.1991	2.012
12.11.1991	4.939
02.12.1991	19.167
30.01.1992	9.814
Şubat	-
11.03.1992	33.177
27.03.1992	96.846
17.04.1992	67.544
08.05.1992	78.873
13.05.1992	45.300
17.06.1992	11.028
09.07.1992	5.192
19.08.1992	1.914
23.09.1992	1.625

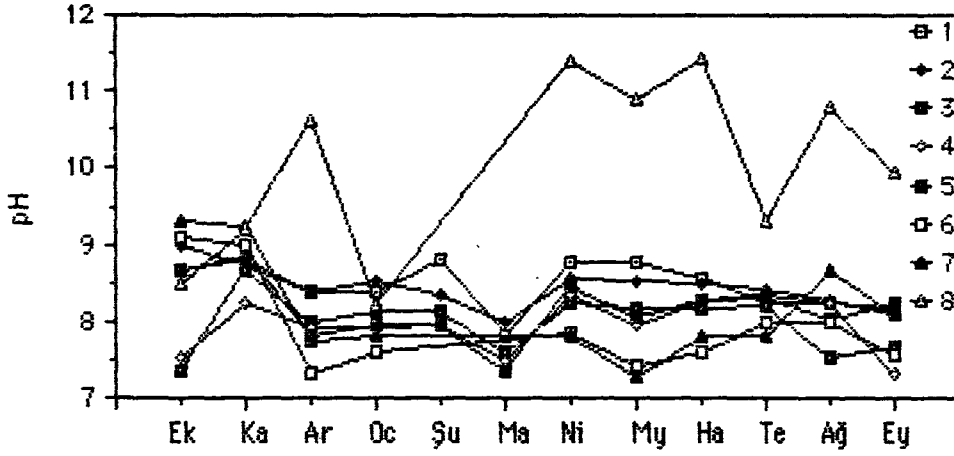
Maden Çayı'nın karakterini belirlemek için 1. istasyondan alınan su numunelerinde su sıcaklığının yıl boyunca -1.0°C ile 26.5°C arasında değiştiği görülmektedir. Su sıcaklığının en düşük olduğu ay Ocak ayı,



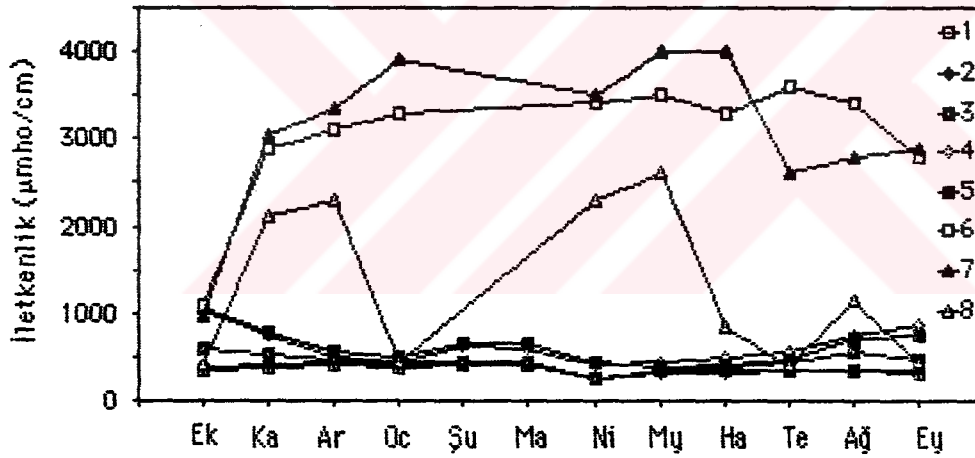
Şekil 4.1. Ekim/ 1991- Eylül/1992 arasında sıcaklık değişimi

en yüksek olduğu ay ise Eylül ayıdır. Maden Çayı üzerindeki diğer numune alma noktalarında da 1. istasyondakine paralel değişimler gözlenmiştir. Bu da termik kirlenmenin söz konusu olmadığını göstermektedir.

1. istasyonda suyun pH'ı 7.80-8.82 arasında değişmektedir. Su debisinin en yüksek olduğu ve karların erimeye başladığı Mart ayında pH en düşük değerini almakta, yağışın en yüksek olduğu Şubat ayında ise en yüksek değere erişmektedir. 2. istasyondaki pH değişimleri 1. istasyondakinden çok az farklılıklar göstermektedir. 3. istasyondan alınan numunelerde ise pH değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bunun atık sahasındaki curuf ve diğer atıklardan sızarak Çay'a ulaşan sulardan kaynaklandığı düşünülebilir. pH'da düşmenin en fazla gözleendiği aylar Ağustos, Eylül ve Ekim aylarıdır. Ağustos ayında pH 8.18'den 7.54'e Ekim ayında ise 8.97'den 7.35'e düşmüştür. Bu aylar çay'da debinin en düşük, su sıcaklığının en yüksek olduğu aylardır. 4. istasyondan alınan numunelerde pH değerleri genelde biraz daha düşük olmakla birlikte 3. istasyondakine paralel bir değişim göstermektedir. 5. istasyonda ise pH değerleri bir miktar yükselerek 1. istasyondaki değerlere yaklaşmaktadır. Bu yükselme 6. istasyonda Maden Çayı'na karışan flotasyon atık sularının pH'sının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. 8., 7., 6. istasyonlar sırasıyla flotasyon tesisi atıksu çıkışı 1. ve 2. atıksu dinlendirme barajı çıkışlarıdır. pH genellikle 8. istasyonda yüksek (10.00-11.40) 7. ve 6. istasyonlarda daha düşük (7.50-8.00) bulunmuştur. pH'nın 8. istasyonda yüksek olması flotasyon işleminin ikinci kademesinin, piriti bastırmak için, yüksek pH'da (11.50) gerçekleştirilmesinden ileri gelmektedir. 6. ve 7. istasyonlarda pH'ın düşmesinin ise piritik artıta bulunan sülfür minerallerinin kimyasal ve biyokimyasal bozunmaya uğradığı şeklinde açıklanabilir. Flotasyon tesisinin çalışmadığı aylarda 8. istasyondan alınan numunelerde pH normalden daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.2. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında pH değişimi

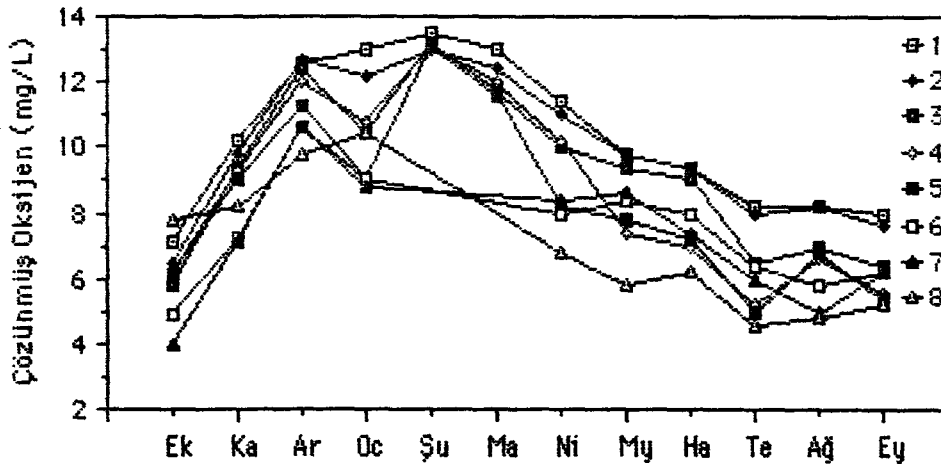


Şekil 4.3. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında iletkenlik değişimi

Suyun iletkenlik değerleri 1. istasyonda 250-415 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişmektedir. İletkenlik Ocak ayında en yüksek değere, Nisan ayında ise en düşük değere ulaşmaktadır. Nisan ayında yağış miktarının az (4.10 kg/m^2) ancak, suyun debisinin yüksek ($65.544 \text{ m}^3/\text{s}$), Ocak ayında ise debinin düşük ($9.814 \text{ m}^3/\text{s}$) yağış miktarının oldukça yüksek (54.4 kg/mg^2) olması, iletkenliğin yağış miktarı ve debiye bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. 2., 3., 4. ve 5. istasyonlardan alınan su numunelerinde

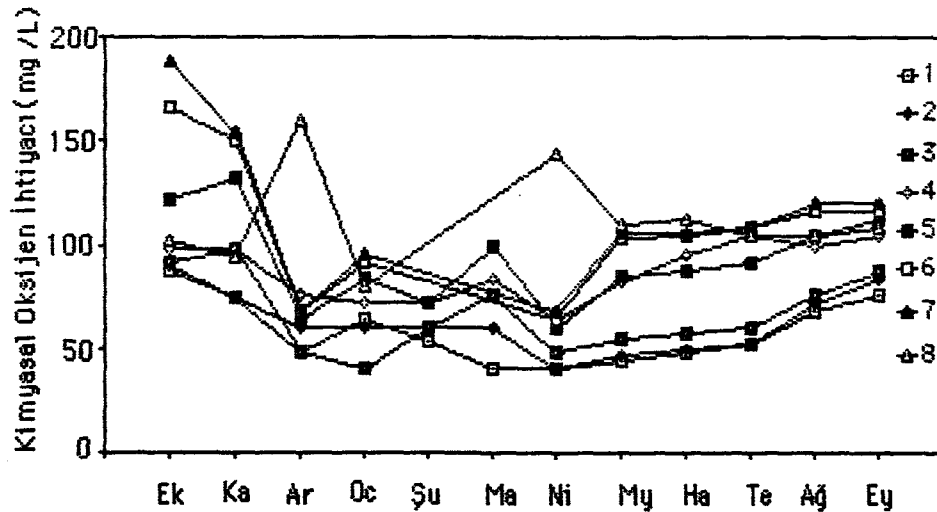
iletkenlik değerleri daima bir önceki istasyondakinden daha yüksek bulunmuştur. İletkenliğin bu sürekli artışına 2. istasyonda evsel atıksuların, 3. ve 4. istasyonlarda curuf sahasından sızan mineral içerikli suların, 5. istasyonda ise flotasyon atıksularının çay'a karışmasının sebep olduğu söylenebilir.

1. istasyondan yıl boyunca alınan su numunelerinde, suyun sıcaklığına bağlı olarak, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 7.1-13.5 mg/L arasında değişmektedir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun en yüksek olduğu aylar su sıcaklığının en düşük olduğu Ocak ve Şubat ayları, en düşük olduğu aylar ise su sıcaklığının en yüksek olduğu Eylül ve Ekim aylarıdır. 2., 3., 4. ve 5. istasyonlardan alınan su numunelerinde çözünmüş oksijen konsantrasyonu daima bir önceki istasyondan daha düşük bulunmuştur. Özellikle Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları oksijen konsantrasyonunun en fazla düşme gösterdiği aylardır. Temmuz ayında 1. istasyonda 8.2 mg/L olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2., 3., 4. ve 5. istasyonlarda sırasıyla 8.0, 6.5, 5.2 ve 5.0 mg/L olmuştur. Bu durum kirlenmenin 2. istasyondan 5. istasyona doğru arttığını göstermektedir. 6., 7. ve 8. istasyonlardan alınan numunelerde çözünmüş oksijen miktarı sıcaklığa ve diğer etkenlere bağlı olarak değişik değerler göstermektedir.

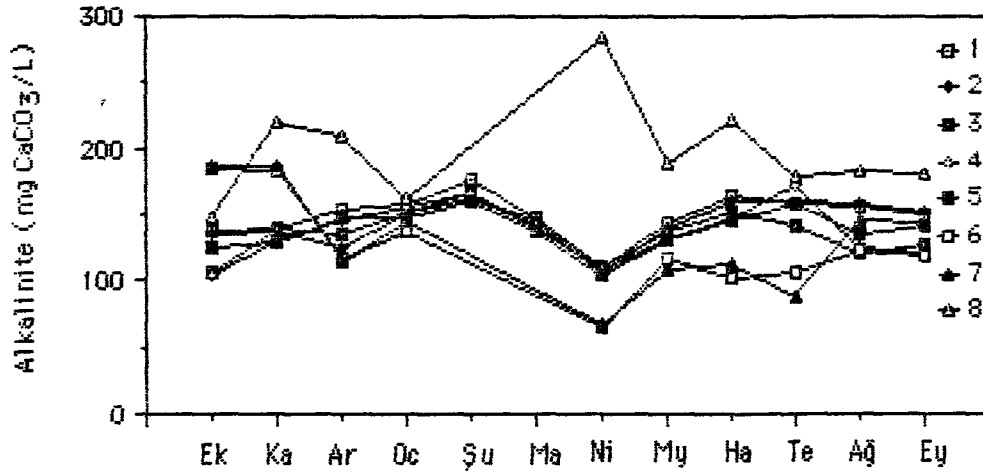


Şekil 4.4. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında çözünmüş oksijen değişimi

1. istasyonda KOİ 40 mg/L ile 88 mg/L arasında değişmektedir. KOİ Mart ve Nisan aylarında en düşük, Eylül ve Ekim aylarında ise en yüksek değerdedir. Mart ve Nisan ayları suyun debisinin yüksek (96.846-67.544) olduğu aylardır. Eylül ve Ekim ayları ise debinin en düşük (1.625-2.012m³/s) ve su sıcaklığının en yüksek (26.5-23.0°C) olduğu aylardır. 2. ve 3. istasyonlarda 1. istasyona kıyasla KOİ'nin az miktarda arttığı tesbit edilmiştir. 4. ve 5. istasyonlarda ise KOİ önceki istasyonlara kıyasla daha fazla artmıştır. Bu istasyonlarda en fazla artış flotasyon atıksuyunun doğrudan Maden Çayı'na verildiği Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarına rastlamaktadır. Temmuz ayında 3. istasyonda 60 mg/L olan KOİ, 4. istasyonda 104 mg/L ve 5. istasyonda ise 92 mg/L'ye yükselmiştir. 6., 7. ve 8. istasyonlarda ise, KOİ daima 4. ve 5. istasyonlardakinden daha yüksektir. KOİ Mayıs ayında 4. ve 5. istasyonlarda sırasıyla 82 ve 85 mg/L olduğu halde 6., 7. ve 8. istasyonlarda 103, 106 ve 110 mg/L'dir. Bu durum flotasyon atıksuyunun KOİ'nin yükselmesinde ve kirliliğin artmasında önemli etken olduğunu göstermektedir. Flotasyon işleminde yardımcı madde olarak kullanılan organik maddeler bu yükselmeye etkin rol oynamaktadır.



Şekil 4.5. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında kimyasal oksijen ihtiyacı değişimi

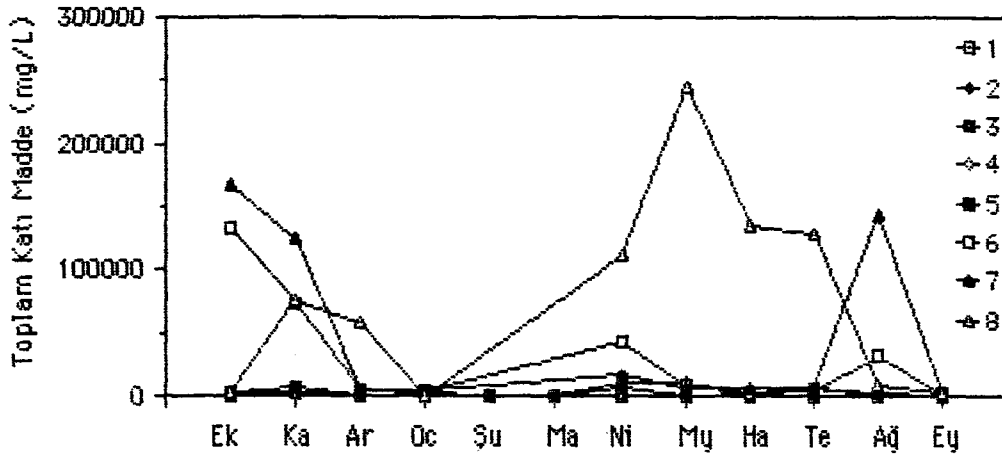


Şekil 4.6. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında alkalinite değişimi

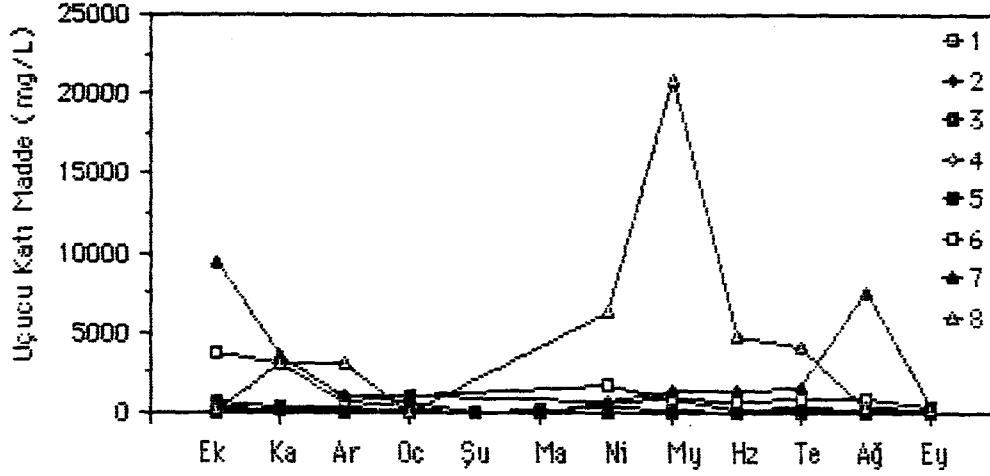
1. istasyonda alkalinite 110-176 mg CaCO₃/L değerleri arasında değişmektedir. Bu değişim pH değişimi ile uyum içindedir. Aynı uyum çay üzerindeki bütün istasyonlardaki alkalinite değişimlerinde de görülmektedir. Flotasyon tesisi çıkışı olan 8. istasyonda alkalinite yüksek, dinlendirme barajları çıkışları olan 6. ve 7. istasyonlarda ise alkalinite, pH'da olduğu gibi, düşük bulunmuştur.

1. istasyonda yıl boyunca toplam katı madde miktarı 90 mg/L ile 610 mg/L arasında değişmektedir. Yalnız Kasım ayında tesbit edilen 2000 mg/L katı maddenin arizi bir durumdan kaynaklandığı sanılmaktadır. Uçucu ve süspansen katı madde miktarlarındaki değişim toplam katı madde değişimi ile uyum içindedir. Katı madde miktarı 1. istasyondan 5. istasyona kadar sürekli artış göstermekle birlikte en yüksek artışlar 4. ve 5. istasyonlarda tesbit edilmiştir. Debinin düşük olduğu Ekim ayında 1. istasyonda 90 mg/L olan toplam katı madde miktarı, 2. istasyonda 200 mg/L'ye yükselirken debinin yüksek olduğu Mart ayında 190 mg/L'den 270 mg/L'ye çıkmaktadır. 3. istasyonda katı madde miktarı 1. ve 2. istasyonlardan daha fazladır. 4. istasyonda ise özellikle flotasyon

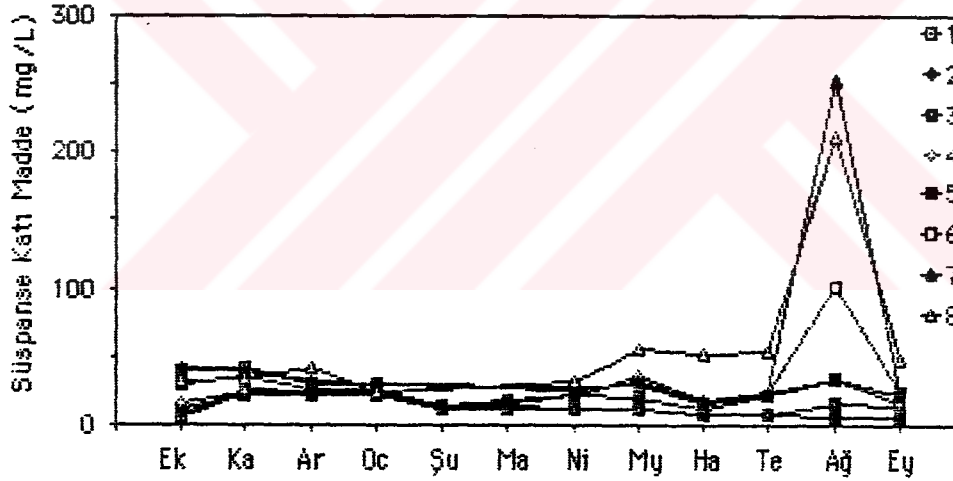
atıksuyunun doğrudan çay'a verildiği aylarda önemli artışlar kaydedilmiştir. Zira flotasyon tesisi atıksuları bazı kısa devrelerde bu noktadan da çay'a verilmektedir. Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında 3. istasyonda sırasıyla 690, 250, 350 ve 260 mg/L olan katı madde miktarı 4. istasyonda sırasıyla 10930, 9810, 2600 ve 6080 mg/L'ye yükselmiştir. Bu durum flotasyon atıksuyunun çay'daki kirlenmeyi ne denli etkilediğini açıkça göstermektedir. 5. istasyondaki katı madde miktarı 4. istasyondakine yakın veya daha yüksek değerlerde seyretmektedir. Bu istasyondaki katı madde miktarını da özellikle flotasyon tesisinden ve atıksu dinlendirme barajlarından gelen sular etkilemektedir. Genellikle flotasyon tesisi çıkışında daha yüksek olan katı madde konsantrasyonu dinlendirme barajları çıkışlarında daha düşüktür. Ancak tesisin düzenli çalışmadığı ve hiç çalışmadığı zamanlarda alınan numunelerde aksine durumlarla karşılaşmıştır.



Şekil 4.7. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında toplam katı madde değişimi



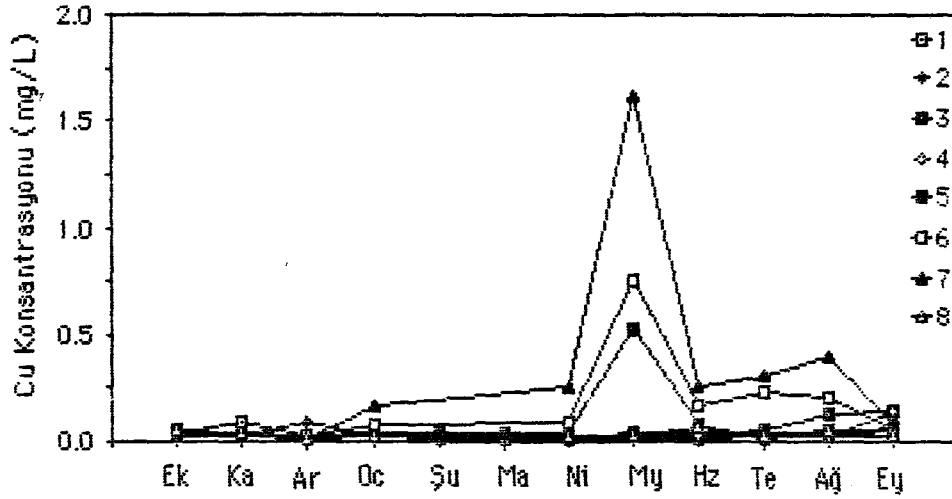
Şekil 4.8. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında uçucu katı madde değişimi



Şekil 4.9. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında süspansöz katı madde değişimi

1. istasyondan yıl boyunca alınan numunelerde bakır, demir, mangan, kobalt, çinko ve nikel tesbit edilebildiği halde kadmiyum ve kurşunun varlığı tesbit edilememiştir. Genellikle, debinin düşük olduğu aylarda sudaki metal konsantrasyonu yükselmekte, debinin yüksek olduğu aylarda ise düşmektedir.

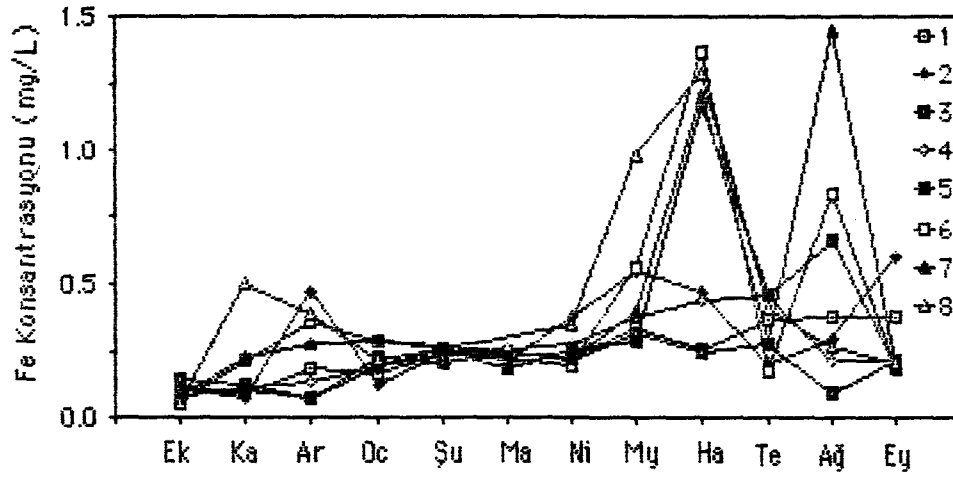
Bakır konsantrasyonunda 1. istasyondan 5. istasyona kadar, aynı zamanda yapılan analizlerde, düzenli bir artış tesbit edilememiştir.



Şekil 4.10. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Cu konsantrasyonu değişimi

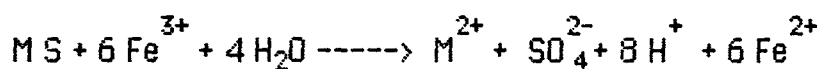
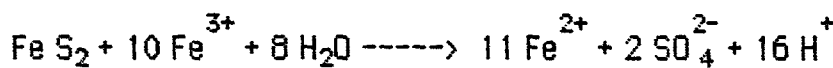
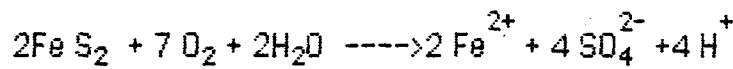
5. istasyonda tespit edilen yüksek değerler flotasyon tesisi atıksuyunda ve dinlendirme barajlarından çıkan sularda bakır konsantrasyonunun yüksek olduğu aylara rastlamaktadır. Ocak ayında bakır konsantrasyonu 1. istasyonda 0.028, 2.'de 0.080, 3.'de 0.018, 4.'de 0.023, 5.'de 0.015, 6.'da 0.028, 7.'de 0.018 ve 8. istasyonda 0.015 mg/L'dir. Mayıs ayında ise 1. istasyon ile 4. istasyon arasında 0.018 ile 0.032 mg/L arasında değişen bakır konsantrasyonu 5. istasyonda 0.527 mg/L'ye yükselmiştir. Bu durumun 6. ve 7. istasyonlarda bakır konsantrasyonunun yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Aynı anda 7. istasyonda (1. dinlendirme baraj çıkışında) bakır konsantrasyonu 1.620 mg/L, 6. istasyonda ise (2. dinlendirme baraj çıkışında) 0.747 mg/L'dir.

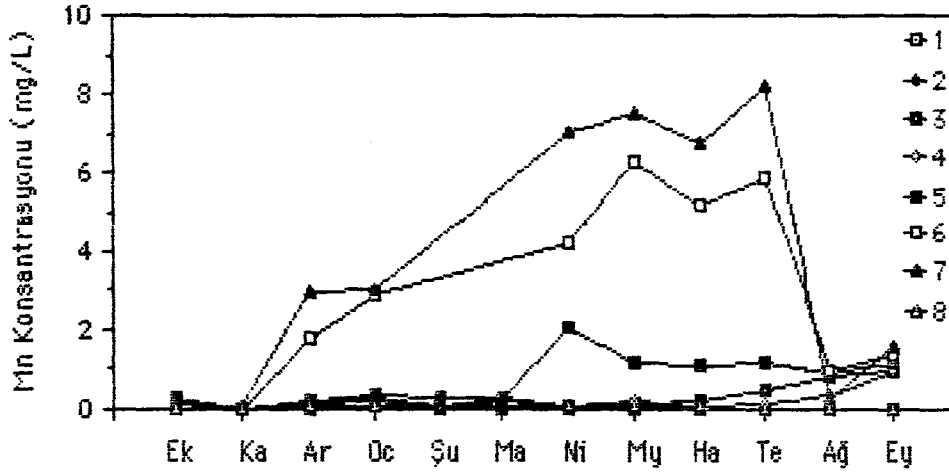
1. istasyonda yıl boyunca demir konsantrasyonu 0.088-0.378 mg/L arasında değişmektedir. Demir konsantrasyonun en düşük olduğu aylar su sıcaklığının en yüksek, debinin ve yağış miktarının en düşük olduğu Ağustos ve Eylül aylarıdır. 2. istasyonda Aralık, Nisan, Mayıs, Haziran ve Eylül aylarında alınan numunelerde demir konsantrasyonlarında



Şekil 4.11. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Fe konsantrasyonu değişimi

1.istasyona nazaran % 50-100 arasında artış tesbit edilmiştir. Benzer artışlar diğer istasyonlarda da gözlenmektedir. Demir konsantrasyonlarındaki artışın piritik atıkların kimyasal ve bakteriyel oksidasyonla bozunması sonucu olduğu düşünülebilir. Zira pirit ve diğer sülfürler atmosferik oksijen ve nemin etkisiyle bozunurlar. Piritteki sülfür (S_2^{2-}) sülfata yükseltgenir H^+ ve Fe^{2+} iyonları açığa çıkar. Bu reaksiyon bir defa başlayınca, meydana gelen Fe^{2+} iyonu atmosferik oksijenle Fe^{3+} e yükseltgenir; Fe^{3+} piriti oksitleyerek ilave Fe^{2+} ve asitliği meydana getirir. Oksijenin varlığında bakterilerde (thiobacillus ferrooxidans) Fe^{2+} 'nin oksidasyonuna yardım ederler. Bu esnada diğer metal sülfürler de çözünebilirler (Förstner ve Wittmann 1983).

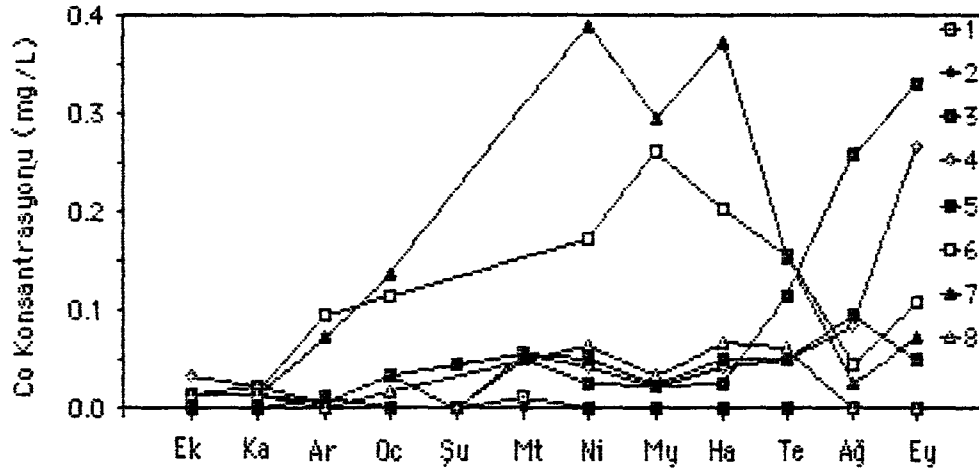




Şekil 4.12. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Mn konsantrasyonu değişimi

1. istasyonda mangan konsantrasyonu yıl boyunca 0.006-0.053 mg/L arasında değişmektedir. Diğer istasyonlarda ise, mangan konsantrasyonu 1. istasyondan 5. istasyona doğru artış göstermektedir. Bu artışlar yağış miktarının yüksek olduğu aylara rastlamaktadır. Bu durumun curuf sahasında atmosferik etkilerle bozunarak çözünür hale geçen minerallerin eriyen kar ve yağmur suları ile çözünerek çay'a taşınmasından kaynaklandığı söylenebilir. Flotasyon tesisi atıksuyunda ve dinlendirme barajları çıkış sularında (8., 7. ve 6. istasyonlar) mangan konsantrasyonunun yükselmesi, etkisini 5. istasyonda bariz şekilde kendini göstermektedir. Nisan ve Mayıs aylarında bu durum kolayca gözlenmektedir.

1. ve 2. istasyonlardan yıl boyunca alınan numunelerden yalnız Aralık ve Mart aylarındaki 0.011 mg/L konsantrasyonunda kobalt tesbit edilebilmiştir. Kobalt'ın diğer istasyonlardan alınan su numunelerinde bulunması, curuf, cevher ve flotasyon atığındaki kobalt minerallerinin atmosferik ve bakteriyel etkilerle çözünür hale gelerek atık sahasından sızan sularla çay'a taşındığını göstermektedir. 3., 4. ve 5.

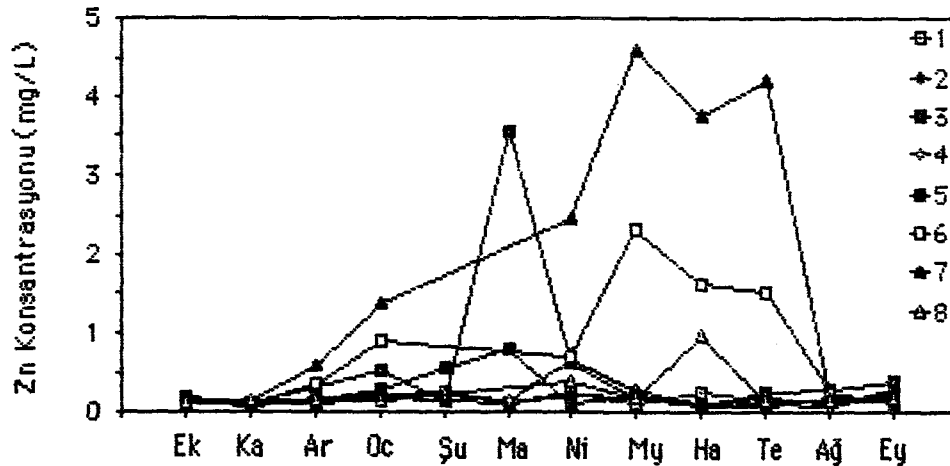


Şekil 4.13. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Co konsantrasyonu değişimi

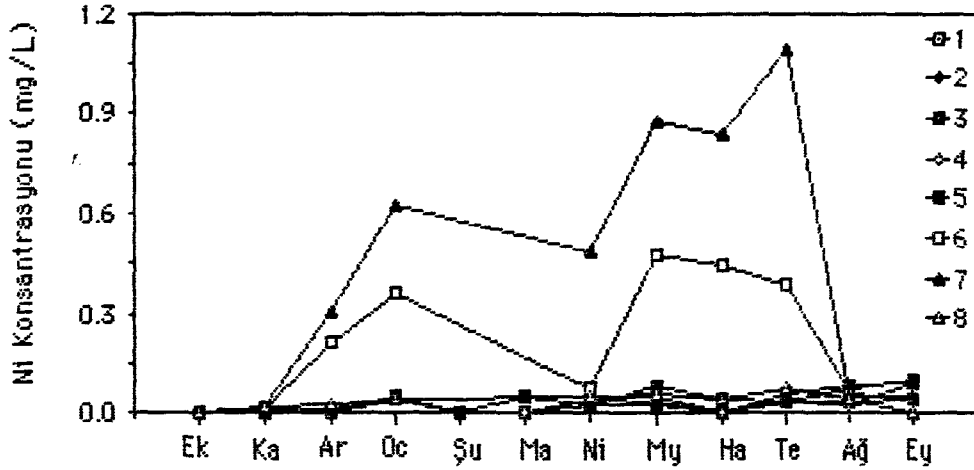
istasyonlarda genelde yaklaşık 0.013-0.050 mg/L civarında olan kobalt konsantrasyonu özellikle 3. istasyonda Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında sırasıyla 0.115, 0.258, 0.331 mg/L değerlerinde bulunmuştur. Flotasyon atıksularında, özellikle dinlendirme barajları çıkış sularında (8., 7. ve 6. istasyonlarda), kobalt konsantrasyonu Nisan ayında sırasıyla 0.065, 0.390, 0.171 mg/L, Mayıs ayında sırasıyla 0.032, 0.295, 0.261 mg/L, Haziran ayında ise sırasıyla 0.203, 0.373, 0.067 mg/L'dir.

1. istasyondan yıl boyunca alınan su numunelerinde çinko konsantrasyonu 0.089-0.251 mg/L arasında değişmektedir. 2. istasyonda çinko değişimi hemen hemen 1. istasyondakine paralel yürümektedir. 3. istasyondan (curuf sahası önü) alınan örneklerde ise çinko konsantrasyonunun Aralık, Ocak, Mart ve Nisan ayında aşırı miktarda arttığı tesbit edilmiştir. Mart ayında ilk iki istasyondan alınan numunelerde sırasıyla 0.089, 0.118 mg/L olan çinko konsantrasyonu 3. istasyonda 3.536 mg/L'ye yükselmiştir. Şubat ayında yağışın en yüksek değerde, Mart ayında da debinin yüksek olduğu dikkate alınırsa, çinko konsantrasyonundaki bu artışın curuf sahasındaki atıklardaki çinko minerallerinin atmosferik etkilerle çözünürleştiği ve eriyen kar ve

yağmur suları ile çözülerek çay'a karıştığı söylenebilir. Çinko'nun aşırı yükseldiği aylarda 4. istasyondan alınan su numunelerinde aynı artışın gözlenememesi bu durumu desteklemektedir. Flotasyon tesisi çıkışı (8. istasyondan) alınan su numunelerinde çinko konsantrasyonu genellikle 0.095-0.176 mg/L arasında değişmekte iken, dinlendirme barajları çıkışlarında (7., 6. istasyonlar) bazı aylarda bu değerin aşırı yükseldiği tesbit edilmiştir. Bu durum Ocak, Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında açıkça gözlenmektedir. Mayıs ayında tesis çıkışında 0.178 mg/L olan çinko konsantrasyonu 1. dinlendirme barajı çıkışında (7. istasyon) 4.598 mg/L, 2. dinlendirme barajı (6. istasyon) çıkışında 2.307 mg/L olmuştur. Bu da çinko konsantrasyonu artışının, dinlendirme barajında biriken piritik atığın atmosferik ve bakteriyel etkilerle çözünür hale geldiği düşüncesini desteklemektedir. Ayrıca Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında flotasyon artık sularının doğrudan çay'a verilmesi de dinlendirme barajlarında su seviyesinin düşmesine, atık üzerinde atmosferik etkinin artmasına ve dinlendirme barajlarında çıkan karışımın su miktarının azalmasına, bu suretle çinko konsantrasyonunun artmasına yardımcı olduğu söylenebilir.



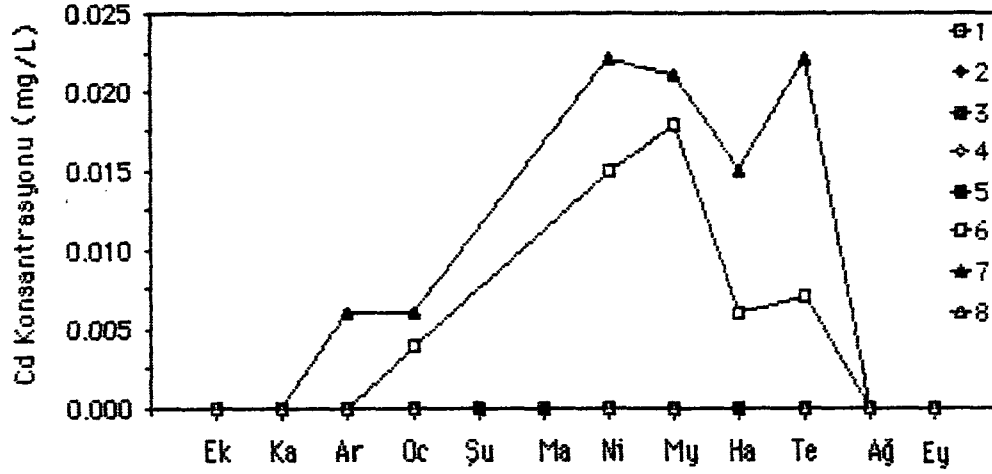
Şekil 4.14. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Zn konsantrasyonu değişimi



Şekil 4.15. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Ni konsantrasyonu değişimi

İlk istasyondan alınan su numunelerinde nikel'e ancak çay'da su debisinin düşük olduğu aylarda rastlanılabilmektedir. Debinin en düşük olduğu Eylül ayında nikel konsantrasyonu 0.040 mg/L'dir. Genelde çinko ve mangan konsantrasyonunun yüksek olduğu aylarda nikel konsantrasyonu da yükselmiştir. Bu durumda, diğer metal konsantrasyonlarında olduğu gibi atmosferik ve bakteriyel bozunmanın nikel konsantrasyonu üzerinde de aynı şekilde etkili olduğu söylenebilir. Nitekim çinko konsantrasyonun yüksek olduğu Mayıs ayında 6., 7. ve 8. istasyonlardan alınan su numunelerinde tesbit edilen nikel konsantrasyonları sırasıyla 0.070, 0.487, 0.051 mg/L'dir.

1., 2., 3., 4. ve 5. istasyonlardan yıl boyunca alınan su numunelerinin hiç birinde kadmiyum'a rastlanmadığı halde, flotasyon atık sularından ve atık su dinlendirme barajları çıkışlarından alınan su numunelerinde 0.006-0.022 mg/L arasında değişen konsantrasyonlarda kadmiyum tesbit edilmiştir. Bu da, diğer metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu aylara rastlamaktadır. Diğer metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu Mayıs ayında 6. ve 7. istasyonlardan alınan su numunelerinde kadmiyum konsantrasyonu sırasıyla, 0.018-0.021 mg/L'dir.



Şekil 4.16. Ekim/1991-Eylül/1992 arasında Cd konsantrasyonu değişimi

Bütün istasyonlarda yıl boyunca alınan su numunelerinin hiç birinde kurşunun varlığı tesbit edilememiştir.

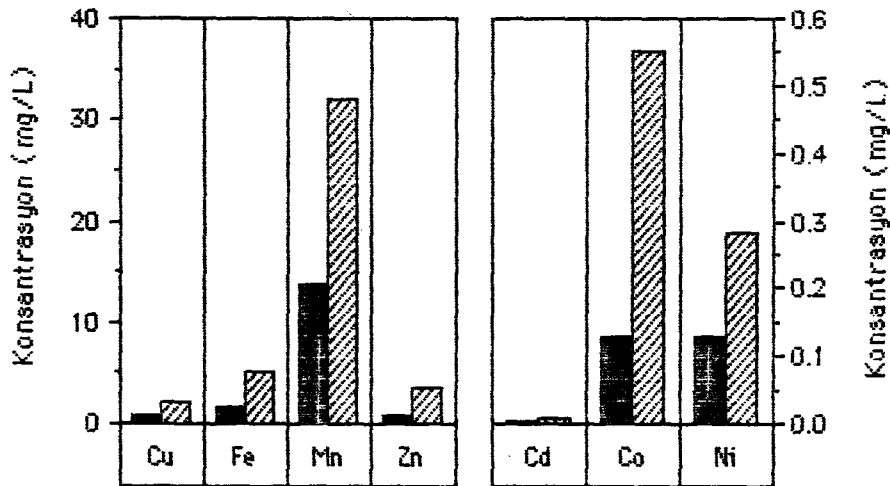
Flotasyon atıksuyu dinlendirme barajlarından 1991 Ekim ayında alınan katı numunenin 3'üncü bölümde açıklanan yöntemle yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo : 4.3. Katı Numunenin Kimyasal Analizi (Ekim 1991)

Madde	%
Fe	21.01
Cu	0.95
Co	0.06
Mn	0.15
Cd	0.004
Zn	0.52
Ni	0.05
S	21.96
Silis	31.0

Bu katı atığa 1991 Ekim ayında numune alındıktan kısa bir süre sonra uygulanan EPA kirlilik testi sonucunda elde edilen çözelti ile aynı katı atığa, bir yıl açık havada atmosfer etkisine bırakıldıktan sonra 1992 Ekim ayında uygulanan EPA kirlilik testi sonucunda elde edilen çözeltinin analiz sonuçları Şekil 4.17'de ve Ekler kısmında Tablo 13'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi atmosferik etkiye maruz kalan katı atıktan pH 5 deki su ortamında çözeltilmeye geçen metal konsantrasyonlarında ilk atıldığı zamandaki durumuna göre, yaklaşık % 100-300 arasında değişen artışlar tesbit edilmiştir. En fazla artışın demir, çinko ve kobalt konsantrasyonlarında olduğu belirlenmiştir.

Bu durum, sülfürlü bileşiklerden ibaret olan atığın atmosferik ve bakteriyel etkileşimlerle bozunarak çözünür hale geldiğini göstermektedir. Çözünür hale geçen bu ağır metaller yağmur ve kar sularının etkisi ile Maden Çayı'na karışarak ağır metal kirliliğinin artmasında rol oynamaktadır.



Şekil 4.17. Flotasyon atığından EPA ekstraksiyon testi ile çözünen metal miktarları

- Orijinal numunedeki miktarlar
- ▨ 1 yıl süreyle atmosfer şartlarına bırakılmış numunedeki miktarlar

5. SONUÇ

Etibank Ergani Bakır İşletmesi flotasyon atıksularının Maden Çayı üzerindeki kirlilik potansiyelini araştırmak amacı ile yapılan bu çalışmada, Bakır İşletmesi civarını kapsayan Maden Çayının 7 km'lik kısmında çeşitli kirlilik parametreleri incelenmiş ve aşağıdaki hususlar tesbit edilmiştir.

Maden Çayı'nın pH'ı 7.80-8.82 arasında değişmektedir. İncelenen sahanın başlangıcı olan 1. istasyon ile sonu kabul edilen 5. istasyon arasında önemli bir değişme kaydedilmemekle beraber yağış miktarının yüksek olduğu ve karların eridiği aylarda pH'ta bariz bir düşme tesbit edilmiştir.

İlk istasyonda yıl boyunca 250-415 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişen iletkenlik 5. istasyonda 360-1048 $\mu\text{mho/cm}$ 'ye ulaşmaktadır. İletkenliğin en fazla artış gösterdiği aylar Eylül, Ekim ve Kasım aylarıdır.

İlk istasyon ile 5. istasyon arasında çözünmüş oksijen miktarındaki tesbit edilen bariz düşüşler kirlenmenin olduğunu göstermektedir.

İlk istasyonda aylara göre 40-88 mg/L arasında değişen kimyasal oksijen ihtiyacı son istasyonda 60-132 mg /L arasında değişmektedir. Artışlar daha çok flotasyon atıksularının Maden Çayı'na karışmasından sonra tesbit edilmektedir. Maden ilçesinden gelen atıksuların kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerini beklendiği şekilde etkilemediği tesbit edilmiştir. Bu durumun merkezi kanalizasyon tesisi olmamasından ileri geldiği düşünülebilir.

Maden çayındaki katı madde miktarları kış aylarında artmaktadır. Bu artış, özellikle debinin yüksek olduğu kış aylarında flotasyon atıksularının doğrudan Maden Çayı'na deşarj edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Maden Çayı'nda toplam katı madde miktarı ilk noktadan son noktaya kadar yaklaşık % 100- 3000 arasında artış göstermektedir. Toplam Katı madde miktarına paralel olarak uçucu ve süspansiyon katı madde miktarlarında artmaktadır. Maden Çayı'nda akıntının az olduğu yerlerde ve kıyılarda dip çamuru halinde biriken katı maddeler kimyasal ve biyokimyasal bozunma sonucu kirliliğin giderek artmasına ve daha ileri noktalara kaymasına sebep olabilecektir.

Maden Çayı'nın karakterini belirleyen ilk istasyonda, ağır metal içeriğinin TSE ve Kıtaiçi I. kalite su standartlarındaki sınır değerlerin altında olduğu bulunmuştur. Cevher, curuf ve piritik atıkların atmosferik ve bakteriyel etkileşimlerle bozunması sonucu çözünür hale geçen ağır metal bileşiklerinin yağmur ve kar suları ile birlikte Maden Çayı'na karışması ağır metal konsantrasyonunu artırarak 5. istasyonda Kıtaiçi II. kalite su standartları limit değerlerinin üzerine çıkmasına sebep olduğu, hatta bazı aylarda bazı metallerin Kıtaiçi III. kalite su standartları limit değerlerini aştığı tesbit edilmiştir. Örneğin Cu, Mn, Co, Ni ve Fe için Nisan- Ağustos ayları arasında pik konsantrasyonlar olarak sırasıyla 0.53; 2.07; 0.09; 0.08 ve 1.16 mg/L değerleri bulunmuştur.

Ağır metal kirliliği potansiyelini tesbit etmek için flotasyon katı atığına, bir defa ilk alındığı sırada bir defa da bir yıl süreyle atmosfere ve yağışa açık bir yerde bekletildikten sonra uygulanan EPA ekstraksiyon testinin sonucuna göre, bu atıktan pH 5' deki su ortamına çözünerek geçen ağır metallerin miktarlarında yaklaşık % 100 ile % 300 arasında değişen artışlar tesbit edilmiştir. Buna göre, flotasyon atıksuları ile dinlendirme barajlarına atılan, oradan da Maden Çayı'na taşınan piritik atığın zamanla atmosferik ve bakteriyel bozunmaya uğrayarak kirliliği sürekli kılacağı ve ileri noktalara taşıyabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- ABAYCHI, J.K., DOUABUL, A.A.Z., 1984. "Trace Metals in Shatt Al Arab 'River", Marine Science Centre, The University of Basrah, Water Res. Vol.19, No.4, pp. 457-462.
- ALTUNDOĞAN, H.S., ÖZER, A., TÜMEN, F., 1992. "Bakır Curuflarının Asidik Ortamlardaki Ağır Metal Çözünürlükleri", VIII. Kimya ve Kimya Müh. Sempozyumu, Vol. 4, 7-11 Eylül , Sf. 195-201 İstanbul.
- ANONİM, 1980."Identification and Listing of Hazardous Waste, EPA 8700-12(FR), U.S. Environmental Pollution Agency.
- ANONİM, 1976. "U.S. Environmental Protection Agency Quality Criteria for Water, EPA- 440/9-76-023,DC, Washington.
- ANONİM, 1991. "Ergani Bakır İşletmesi Faaliyet Raporu".
- ANONİM, 1985. "Krupp Industrietechnik GMBH'in Etibank Genel Müdürlüğüne Verdiği Rapor".
- ANONİM, 1983. "Kurtboğazı Baraj Gölü Kirlilik Araştırması", Ankara.
- ANONİM, 1991. "Türkiye Çevre Sorunları 91", Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara.
- APHA, AWWA, WPCF, 1985. "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 16 th Edition.

ASTM Committee Standarts, D-858 Test Methods for Manganese in Water,
1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-1068 Test Methods for Iron in Water, 1916
Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-1686 Test Methods for Nickel in Water,
1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-1688 Test Methods for Copper in Water,
1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-1691 Test Methods for Zinc in Water, 1916
Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-3557 Test Methods for Cadmium in Water,
1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-3558 Test Methods for Cobalt in Water,
1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ASTM Committee Standarts, D-3559 Test Methods for Lead in Water, 1916
Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ATAK, S., 1982. "Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları", İTÜ Maden Fakültesi,
İstanbul.

- BAILEY, N.T., WOODS, S.I., 1974. "A Comparison of two Rapid Methods for the Analysis of Copper Smelting Slags by Atomic Absorption Spectrometry", Anal. Chim. Acta. 69 : 19-25.
- BİLDİK, M., BOYBAY, M., SOLMAZ, B., CİCİ, M., TÜMEN, F., 1989. "Elazığ Bölgesinde Endüstriyel Katı Atıklarının Çevre Kirliliğine Etkisi, TÜBİTAK, Deniz Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu, Proje no: Çağ-114, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- CABRERA, F., TOCA, C.G., DIAZ, E., De ARAMBARRI, P., 1982. " Acid Mine Water and Agricultural Pollution in a River Skirting The Donana National Park, Water Resourch, Vol. 12., Spain.
- DEAN, G.I., BOSQUI, F.L., LANQUETTE, H.K., 1972. "Removing Heavy Metals from Wastewater", Environ. Sci. and Technol., Vol. 6, No.6.
- DUFFUS, H.I., 1980. "Environmental Toxicology, Department of Brewing and Biological Sciences, Heriot-Watt University, Edinburgh.
- ECKENFELDER, W.W., 1989. "Industrial Water Pollution Control", Mc Graw-Hill International Editons, Civil Engineering Series.
- ERDEM, B., BAYKUT, F., 1968. "Analitik Kimya", Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- FÖRSTNER, U., WITTMANN, G.T.W., 1983. "Metal Pollution in the Aquatic Environment, Berlin.

FUERSTENAU, D.W., 1962. "Froth Flotation, 50 th Anniversary Volume, Society of Mining Engineers, New York.

GÖLHAN, M., AKSOĞAN, S., 1970. "Suların Arıtılması", İstanbul.

HAMMER, I.M., 1977. "Water and Wastewater Technology, John Wiley-Sons., New York.

HARVEY, D., RICHARD, F.U, 1980. "Rotating-Disc Biological Treatment of Acid Mine Drainage", Journal WPCF. Vol. 52, No.2

HOGNESS and JONHSON, 1954. "Ionic Equilibrium as Applied to Qualitative Analysis, Holt Rinehart and Winston Co.," , 360-362, New York.

JOHN , M.C., 1973. "Unit Operatrons in Mineral Processing". Chap. 7., 8., 9.

JONSANS, C.A., THORNTON, I., 1986. "Hydrological and Chemical Factors Controlling the Concentrations of Fe, Cu, Zn and As in a River System Contaminated by Acid Mine Drainage", Applied Geochemistry Research Group, Water Resourch Vol. 21, No.3, pp. 359-365, London.

KARPUZCU, M., 1991. "Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü", Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KATSUMI, G., TANEMURA, T., KAWAMURA, S., 1977. "Effect of Acid Mine Drainage on the pH of Lake Toya, Water Resourch, Vol. 12, pp. 735-740, Japon.

- KEEFER, G.B., SACK, A.W., 1983 "Sludge Recycle and Reuse in Acid Mine Drainage Treatment", Journal WPCF, Vol. 55, No.3.
- KENDRICK, J.P., 1977. "Acid Mine Drainage, an old Problem with a new Dimension, Journal WPCF, July.
- KOEHRMAN, L.G., GANDT, A.F., 1970. Mine-Drainage Control Design for Reclamation and Neutralization. Proc. 25 th., Ind. Waste Conf., Purdue Univ., Ind.
- KLEINER, S.I., 1951. "Human Biochemistry", Third Edition, New York.
- KOR, N., 1974. "Çevre Sağlığı ve Teknolojisi", Cilt-1, İTÜ Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Kürsüsü, İstanbul.
- LANQUETTE, H.K., 1977. Heavy Metals Removal, Industrial Pollution Control, Chemical Engineering Deskbook Issue, October 17.
- LANQUETTE, H.K., POULSON, G.E., 1976. Treatment of Heavy Metals in Wastewater, Industrial Pollution Control, Vol. 8, No.10, pp. 55-57.
- LORRAINE, H.F., NORDSTROM, D.K. WALTER, H.F., 1987. "Interaction of Acid Mine Drainage with Waters and Sediments of West Squaw Creek in the West Shasta Mining District", Environ. Sci. Technology Vol. 21., California.
- MEITES, L., 1963. "Handbook of Analytical Chemistry", Mc Graw-Hill, New York.

- PARSONS, J.D., 1957. "Effects of Acid Mine Wastes on Aquatic Ecosystems"
Department of Botany, Southern Illinois University at Carbondale,
Ill.62901, Water, Air and Soil Pollution, USA.
- SAMSUNLU, A., ŞENGÜL, F., MÜEZZİNOĞLU, A., 1986. "Çevre Mühendisliği
Kimyası", Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Müh. Böl., İzmir.
- SAWYER, N.C., PERRY, L. McCARTY, 1978. "Chemistry for Environmental
Engineering, Third Edition. Mc Graw-Hill Kogakusha.
- SİSLER, F.D., SENFTLE, F.E., SKINNER, J., 1977. "Electrochemical
Neutralization of Acid Mine Water", U.S. Geological Survey, Journal
WPCF.
- SMAGIN, V.M., 1973. "Purification of Mine Water of the Western Sonetsk
Basin by Distillation", In Nauch. Tr. Pern. Nauch-Issled. Ugol. Inst.
15, 173.
- STUMM, W., MORGEN, J.J., 1970. "Aquatic Chemistry, an Introduction
Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters",
Wiley-Interscience, New York.
- TÜMEN, F., BOYBAY, M., SOLMAZ, B., CİCİ, M., BİLDİK, M., 1991. "Elazığ
Ferrokrom Fabrikası ve Keban Simli-Kurşun İşletmesi Katı
Atıklarının Kirlilik Potansiyeli", Doğa-Tr. J. of Engineering and
Environmental Sciences, 15(1991), 464-485.
- TÜMEN, F., BİLDİK, M., BOYBAY, M., CİCİ, M., SOLMAZ, B., 1992. "Ergani Bakır
İşletmeleri Katı Atıklarının Kirlilik Potansiyeli", Doğa-Tr. J. of
Engineering and Environmental Sciences, 16(1992), 43-53.

TS 266, 1986. "İçme Suları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

USLU, O., TÜRKMAN, A., 1987. "Su Kirliliği ve Kontrolü", T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, 1., İzmir.

WILLS, B.A., 1981. "Mineral Processing Technology", 2nd Edition, Comborne School of Mines, Cornwall England.

YENSON, M., 1981. "İnsan Biyokimyası", İ.Ü. Tıp Fakültesi, Biyokimya Kürsüsü, İstanbul.



EKLER

Tablo 1: Ekim Ayı Analiz Sonuçları

Tarih:1/10/1991

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	23.0	23.0	23.5	24.0	24.0	27.0	24.5	22.0	
pH	8.66	8.97	7.35	7.53	8.65	9.08	9.30	8.50	
İletkenlik (µmho/cm)	336	370	580	1025	1048	1080	965	414	
Cözünmüş Oksijen (mg/L)	7.1	6.5	5.8	6.1	6.1	4.9	4.0	7.8	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	88	90	92	98	122	166	188	102	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	138	135	106	105	126	184	186	148	
Toplam Katı Madde (mg/L)	90	200	800	1300	2640	132000	167300	1500	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	10	40	200	300	600	3800	9500	200	
Süspans Katı Madde (mg/L)	5.0	7.5	11.9	16.3	29.0	40.5	42.6	32.3	
Ağır Metaller (mg / L)	Bakır	0.040	0.036	0.052	0.023	0.027	0.048	0.036	0.052
	Demir	0.112	0.112	0.138	0.086	0.086	0.061	0.086	0.048
	Mangan	0.012	0.012	0.251	0.199	0.127	0.000	0.000	0.026
	Kobalt	0.000	0.000	0.013	0.033	0.013	0.013	0.013	0.013
	Çinko	0.104	0.151	0.132	0.143	0.172	0.118	0.100	0.095
	Nikel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon tesisi çalışmıyordu.Hava açikti.

Tablo 2: Kasım Ayı Analiz Sonuçları

Tarih:5/11/1991

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	13.0	12.0	12.0	12.0	12.3	15.2	15.0	12.0	
pH	8.81	8.74	8.67	8.24	8.83	9.00	9.23	11.21	
İletkenlik (µmho/cm)	380	410	525	740	790	2900	3050	2100	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	10.2	9.8	9.4	9.3	9.0	7.2	7.1	8.2	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	75	75	98	98	132	150	154	94	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	140	138	140	132	130	182	188	219	
Toplam Katı Madde (mg/L)	2000	2700	2700	2900	5500	72700	125200	74000	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	100	110	110	120	300	3000	3600	3100	
Süspansiyon Katı Madde (mg/L)	23.5	25.4	22.5	24.6	36.5	41.8	39.3	33.7	
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.083	0.030	0.024	0.027	0.027	0.034	0.039	0.034
	Demir	0.088	0.075	0.125	0.112	0.100	0.212	0.225	0.500
	Mangan	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.015	0.052	0.030
	Kobalt	0.000	0.000	0.023	0.023	0.015	0.015	0.015	0.015
	Çinko	0.091	0.087	0.089	0.079	0.089	0.099	0.133	0.144
	Nikel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.016	0.016	0.016
	Kadmilyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Bir gün önce hava yağmurluydu.

Tablo 3: Aralık Ayı Analiz Sonuçları

Tarih:6/12/1991

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	3.5	4.1	5.0	6.5	5.2	9.0	9.2	7.2	
pH	8.37	8.40	8.00	7.91	7.81	7.32	7.73	10.63	
İletkenlik (µmho/cm)	415	440	475	490	560	3100	3350	2300	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	12.6	12.7	12.4	12.0	11.3	10.6	10.6	9.8	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	48	60	48	76	64	68	68	160	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	155	125	135	145	147	118	115	210	
Toplam Katı Madde (mg/L)	500	600	700	500	1000	3800	4600	58200	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	80	150	100	200	300	600	1000	3100	
Süspansiyon Katı Madde (mg/L)	22.5	23.2	23.6	23.3	26.2	29.5	30.8	40.9	
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.028	0.088	0.018	0.023	0.015	0.028	0.018	0.015
	Demir	0.187	0.467	0.075	0.131	0.075	0.355	0.277	0.392
	Mangan	0.007	0.007	0.163	0.219	0.201	1.750	2.970	0.069
	Kobalt	0.011	0.011	0.005	0.005	0.005	0.094	0.073	0.000
	Çinko	0.118	0.098	0.305	0.157	0.124	0.343	0.592	0.124
	Nikel	0.008	0.000	0.008	0.008	0.000	0.213	0.306	0.026
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon tesisi çalışmadığından "8" numaralı numune 9/12/1991 tarihinde alındı.

Tablo 4: Ocak Ağı Analiz Sonuçları

Tarih:8/1/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	-1.0	0.0	0.0	2.2	2.0	5.0	3.0	3.2	
pH	8.38	8.53	8.14	7.91	7.96	7.62	7.83	8.20	
İletkenlik (µmho/cm)	375	395	430	440	490	3300	3900	440	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	13.0	12.2	10.4	10.8	9.0	9.0	8.8	10.4	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	64	60	40	72	84	92	96	80	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	159	152	153	157	147	138	145	163	
Toplam Katı Madde (mg/L)	500	350	400	370	1400	4650	5160	650	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	120	60	50	80	600	1000	1040	60	
Süspans Katı Madde (mg/L)	21.8	23.6	23.4	24.1	26.3	29.1	30.2	24.3	
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.022	0.027	0.036	0.039	0.041	0.071	0.161	0.020
	Demir	0.167	0.119	0.226	0.190	0.190	0.285	0.285	0.214
	Mangan	0.053	0.013	0.231	0.270	0.312	2.864	3.045	0.044
	Kobalt	0.000	0.000	0.032	0.032	0.032	0.115	0.136	0.018
	Çinko	0.207	0.174	0.508	0.192	0.261	0.883	1.388	0.153
	Nikel	0.038	0.038	0.038	0.046	0.046	0.365	0.627	0.038
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon tesisi çalışmıyordu. Kar yağdıyordu.

Tablo 5: Şubat Ayı Analiz Sonuçları

Tarih :19/2/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık (°C)	3.0	3.5	4.0	4.5	4.7				
pH	8.82	8.35	8.14	7.94	7.96				
İletkenlik (µmho/cm)	390	400	420	630	660				
Çözülmüş Oksijen (mg/L)	13.5	13.0	13.2	13.1	13.1				
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	54	60	60	72	72				
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	176	162	166	166	160				
Toplam Katı Madde (mg/L)	130	210	250	280	300				
Uçucu Katı Madde (mg/L)	20	20	40	40	60				
Süspanse Katı Madde (mg/L)	11.7	11.8	13.6	13.8	14				
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.017	0.017	0.019	0.022	0.041			
	Demir	0.250	0.244	0.206	0.231	0.256			
	Mangan	0.006	0.000	0.030	0.037	0.291			
	Kobalt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044			
	Çinko	0.251	0.143	0.143	0.207	0.540			
	Nikel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			

Not : Arıza ve bakım nedeni ile flotasyon tesisi çalışmadığından 6-7-8 numaralı numuneler alınamadı. Kar yağdı.

Tablo 6: Mart Ağı Analiz Sonuçları

Tarih :10/3/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	2.0	3.5	4.0	4.0	4.5				
pH	7.80	7.98	7.60	7.50	7.36				
İletkenlik (µmho/cm)	390	395	430	600	640				
Çözülmüş Oksijen (mg/L)	13.0	12.4	11.8	12.0	11.6				
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	40	60	76	84	100				
Alkalinite (mg CaCO ₃ /l)	148	146	139	142	138				
Toplam Katı Madde (mg/L)	190	270	300	360	680				
Uçucu Katı Madde (mg/L)	30	40	40	80	140				
Süspanse Katı Madde (mg/L)	12.1	14.3	14.8	15.2	18.3				
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.019	0.029	0.042	0.042	0.038			
	Demir	0.215	0.215	0.245	0.225	0.185			
	Mangan	0.000	0.008	0.182	0.255	0.295			
	Kobalt	0.011	0.000	0.050	0.055	0.055			
	Çinko	0.089	0.118	3.536	0.141	0.785			
	Nikel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050			
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			

Not : Arıza ve bakım nedeni ile flotasyon tesisi çalışmadığından 6-7-8 numaralı numuneler alınamadı. Kar yağdıyordu.

Tablo7: Nisan Ayı Analiz Sonuçları

Tarih:8/4/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	9.0	9.0	9.2	9.4	10.2	13.0	16.0	15.0	
pH	8.76	8.55	8.25	8.34	8.46	7.84	7.82	11.40	
İletkenlik (µmho/cm)	250	250	260	400	450	3400	3500	2300	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	11.4	11.0	10.0	10.2	8.2	8.0	8.4	6.8	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	40	40	48	64	60	64	68	144	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	110	107	110	108	104	66	68	283	
Toplam Katı Madde (mg/L)	610	540	690	10930	5980	43710	17490	111920	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	50	50	50	670	380	1750	750	6320	
Süspanse Katı Madde (mg/L)	11.5	12.0	12.3	22.6	21.7	28.1	25.8	31.4	
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.015	0.015	0.017	0.020	0.032	0.085	0.249	0.022
	Demir	0.220	0.378	0.210	0.276	0.257	0.191	0.220	0.350
	Mangan	0.006	0.010	0.037	0.076	2.021	4.147	7.076	0.056
	Kobalt	0.000	0.000	0.025	0.041	0.050	0.171	0.390	0.065
	Çinko	0.242	0.219	0.608	0.659	0.108	0.682	2.440	0.381
	Nikel	0.022	0.022	0.022	0.042	0.022	0.070	0.487	0.051
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.022	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon atık suları dinlendirme havuzlarına verilmeden doğrudan Maden Çayı'na veriliyordu. Cıvardaki karlar kısmen çözünmüştü.

Tablo 8: Mayıs Ağı Analiz Sonuçları

Tarih : 5/5/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	14.5	14.5	15.0	17.5	16.0	18.0	18.0	18.0	
pH	8.76	8.52	8.16	7.95	8.06	7.44	7.30	10.90	
İletkenlik (µmho/cm)	330	300	350	450	360	3500	4000	2600	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	9.8	9.8	9.4	7.4	7.8	8.4	8.6	5.8	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	45	47	55	82	85	103	106	110	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	144	139	137	132	131	117	108	189	
Toplam Katı Madde (mg/L)	250	250	250	9890	890	8350	5370	243220	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	50	50	30	880	140	830	1350	20970	
Süspansiyon Katı Madde (mg/L)	12.7	12.6	12.6	36.5	20.2	30.3	31.6	55.6	
Ağır Metaller (mg /L)	Bakır	0.020	0.020	0.032	0.018	0.527	0.747	1.620	0.023
	Demir	0.341	0.553	0.317	0.381	0.282	0.565	0.399	0.983
	Mangan	0.020	0.020	0.131	0.186	1.181	6.303	7.565	0.050
	Kobalt	0.000	0.000	0.021	0.021	0.026	0.261	0.295	0.032
	Çinko	0.094	0.164	0.172	0.282	0.198	2.307	4.598	0.176
	Nikel	0.023	0.023	0.034	0.046	0.079	0.474	0.880	0.057
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.021	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon atık suları dinlendirme havuzlarına verilmeden doğrudan Maden Çayı'na veriliyordu.

Tablo 9: Haziran Ayı Analiz Sonuçları

Tarih : 4/6/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	17.0	16.5	18.0	20.0	18.5	20.5	24.0	22.0	
pH	8.55	8.50	8.16	8.26	8.26	7.61	7.82	11.42	
İletkenlik (µmho/cm)	350	310	380	500	400	3300	4000	850	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	9.4	9.4	9.0	7.0	7.2	8.0	7.4	6.2	
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	48	50	58	96	88	105	106	112	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	165	161	153	147	146	103	112	221	
Toplam Katı Madde (mg/L)	330	250	350	2600	2290	3040	5650	135640	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	60	40	50	180	80	710	1390	4770	
Süspanse Katı Madde (mg/L)	8.1	7.8	8.3	18.4	12.3	15.3	17.2	51.3	
Ağır Metaller(mg /L)	Bakır	0.019	0.039	0.029	0.026	0.076	0.169	0.259	0.059
	Demir	0.253	0.474	0.246	0.439	1.162	1.369	1.205	1.289
	Mangan	0.015	0.011	0.173	0.088	1.118	5.209	6.786	0.041
	Kobalt	0.000	0.000	0.025	0.042	0.050	0.203	0.373	0.067
	Çinko	0.228	0.113	0.069	0.075	0.099	1.629	3.754	0.965
	Nikel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.446	0.842	0.045
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.015	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon atık suları dinlendirme havuzlarına verilmeden doğrudan Maden Çayı'na veriliyordu.

Tablo 10: Temmuz Ayı Analiz Sonuçları

Tarih : 7/7/1992

Kirlilik Parametreleri	Numune No								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Sıcaklık(°C)	21.0	21.0	21.5	23.0	22.0	23.0	26.0	25.0	
pH	8.23	8.43	8.20	8.36	8.32	8.00	7.81	9.32	
İletkenlik (µmho/cm)	350	350	450	550	480	3600	2600	400	
Çözülmüş Oksijen (mg/L)	8.2	8.0	6.5	5.2	5.0	6.4	6.0	4.6	
Kimyasal Oksijen ihtiyacı (mg/L)	52	52	60	104	92	108	108	104	
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	159	160	141	173	159	107	88	178	
Toplam Katı Madde (mg/L)	190	220	260	6080	6010	4050	6180	27640	
Uçucu Katı Madde (mg/L)	50	60	30	370	250	870	1590	4070	
Süspanse Katı Madde (mg/L)	7.4	7.6	7.7	23.8	21.7	21.4	24.2	53.0	
Ağır Metaller (mg/L)	Bakır	0.024	0.032	0.054	0.029	0.018	0.231	0.309	0.024
	Demir	0.371	0.199	0.272	0.458	0.458	0.173	0.285	0.411
	Mangan	0.013	0.013	0.469	0.137	1.188	5.865	8.212	0.026
	Kobalt	0.000	0.000	0.115	0.051	0.051	0.155	0.154	0.060
	Çinko	0.122	0.161	0.247	0.087	0.055	1.510	4.220	0.128
	Nikel	0.033	0.033	0.061	0.042	0.033	0.389	1.090	0.070
	Kadmiyum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.022	0.000
	Kurşun	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Not : Flotasyon atık suları dinlendirme havuzlarına verilmeden doğrudan Maden Çayı'na veriliyordu.

Tablo 13 : Katı Atığa Uygulanan EPA Kirlilik Testlerinden Elde Edilen Çözeltilerde Metal Konsantrasyonları (mg/L)

Madde	Ekim 1991	Ekim 1992	% Artış
Cu	0.88	2.04	132
Fe	1.53	5.08	232
Zn	0.88	3.62	311
Ni	0.13	0.23	115
Co	0.13	0.55	323
Mn	13.65	31.92	134
Cd	0.005	0.01	100
Pb	-	-	-